



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN KONDENSER REFLUX TIPE *SHELL AND TUBE*  
*HEAT EXCHANGER* SEBAGAI PENUNJANG SISTEM DESTILASI  
ETHANOL MELALUI SIMULASI *SOFTWARE*  
*SIMULATION FLOW SOLIDWORKS 2009***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

**SUHARTOYO BUDI UTOMO**

**NPM : 040502065Y**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN KONDENSER REFLUX TIPE *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* SEBAGAI PENUNJANG SISTEM DESTILASI ETHANOL  
MELALUI SIMULASI *SOFTWARE SIMULATION FLOW SOLIDWORKS 2009***

**SKRIPSI**

**SUHARTOYO BUDI UTOMO**

**NPM : 040502065Y**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Suhartoyo Budi Utomo

NPM : 040502065Y

Tanda Tangan : .....

Tanggal : 31 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Suhartoyo Budi Utomo  
NPM : 040502065Y  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PERANCANGAN KONDENSER REFLUX  
TIPE *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER*  
SEBAGAI PENUNJANG SISTEM  
DESTILASI ETHANOL MELALUI  
SIMULASI *SOFTWARE SIMULATION FLOW*  
*SOLIDWORKS 2009*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara ( .....)

Penguji : Dr. Ir. Wardjito, M.Eng ( .....)

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

Penguji : Ir.Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng ( .....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 31 Desember 2009

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Dr. Ir. Warjito, selaku pembimbing akademis yang telah sabar membimbing dari awal semester hingga akhir.
- (3) Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng dan Ir. Ardiansyah, M.Eng. selaku dosen Perpindahan Kalor dan Massa beserta Ir. Haryo Tedjo, M. Eng., yang telah banyak membantu dalam perancangan dan perkuliahan.
- (4) Karyawan dan staf DTM FTUI yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini (khususnya Pak Udiyono staf Lab lantai 3, mbak Yani Staf Perpustakaan, dan mbak Tina)
- (5) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral (khususnya Ibu tersayang , Mas Wawan yang baik hati, dan mbah sami nenek tercinta); dan tetangga dekat yang senantiasa memberi semangat (novi dan sekeluarga).
- (6) rekan-rekan mesin angkatan 2005 (khususnya Fery dan Irsyad sebagai rekan skripsi, William S. M'05 atas sumbangsuhnya tentang APK) dan semuanya yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
- (7) rekan-rekan kuliah PKM (khususnya Ferdy Bastian, M'06)
- (8) rekan-rekan Kaskus UI (Orthanc, Thedjo, Lazy lily, dst) yang telah banyak mendukung saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

- (9) rekan-rekan Kost Aries yang senantiasa memberikan semangat dan menghibur dikala sedih maupun senggang (rekan trup, futsal, billiard, dst).
- (10)rekan-rekan yang telah memberikan pinjaman pakaian untuk sidang, yaitu Dito afandi dan mas afdal.
- (11)kepada rekan-rekan yang telah meminjamkan uang untuk nge-print, yaitu : Ridwan, Imam Taufani, dan Dedi Setiono
- (12)kepada Kinanti Larasati yang senantiasa menjadi inspirasi dalam pengerjaan skripsi ini
- (13)kepada semua orang yang telah mendoakan kelancaran skripsi ini dan semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

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

Depok, 31 Desember 2009

Penulis

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

---

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

Nama : Suhartoyo Budi Utomo

NPM : 040502065Y

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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 : **PERANCANGAN KONDENSER REFLUX TIPE *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* SEBAGAI PENUNJANG SISTEM DESTILASI ETHANOL MELALUI SIMULASI *SOFTWARE SIMULATION FLOW SOLIDWORKS 2009*** 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 mempublikasikan 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 : 31 Desember 2009

Yang menyatakan

(Suhartoyo Budi Utomo)

## ABSTRAK

Nama : Suhartoyo Budi Utomo  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul : PERANCANGAN KONDENSER REFLUX TIPE *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* SEBAGAI PENUNJANG SISTEM DESTILASI ETHANOL MELALUI SIMULASI *SOFTWARE SIMULATION FLOW SOLIDWORKS 2009*

Penggunaan energi pada bangunan-bangunan saat ini juga berdampak pada minimnya jumlah energi yang tersedia dan mendorong timbulnya berbagai efek negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penerapan konsep *green building* di Negara-negara maju sudah mulai dikembangkan. Salah satu cara untuk mengoptimalkannya adalah dengan menerapkan konsep *Zero Energy Building (ZEB)*, baik dengan melakukan konservasi maupun konversi energi (salah satu potensi yang dapat dikembangkan adalah *PEM Fuel Cell*). Dalam mendukung konsep ZEB, maka suplai ethanol untuk PEM Fuel Cell akan diproduksi sendiri melalui sistem destilasi. Salah satu komponen yang vital pada sistem tersebut adalah kondenser. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang kondenser reflux tipe *shell and tube* dengan kapasitas kalor 2287 W dengan temperatur uap ethanol sebesar 376,2 K pada tekanan 104 kPa. Perbandingan hasil perhitungan dengan simulasi *Solidworks Simulation Flow 2009* memiliki selisih 2.2- 11.93 % dan keduanya telah memenuhi syarat untuk terjadi kondensasi, sehingga dapat dicapai desain yang lebih optimal.

Kata kunci :  
CFD, Kondenser Ethanol, Shell and tube heat exchanger



## ABSTRACT

Name : Suhartoyo Budi Utomo  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : DESIGN OF REFLUX CONDENSER SHELL AND  
TUBE HEAT EXCHANGER TYPE TO SUPPORT  
ETHANOL DESTILATION SYSTEM SIMULATED BY  
SIMULATION FLOW SOLIDWORKS 2009

The utilize of building energy tend to reduce amount of available energy and make negative effects to the environment. Furthermore, the application of *Green Building* in the advance countries has been developed. One of way to optimize it is *Zero Energy Building (ZEB)* concept, both by doing conservation or conversion. (*PEM Fuel Cell*). In order to support ZEB, ethanol supply for PEM Fuel Cell will be produced itself by distillation system. Condenser is the vital component on that system. Because of that important role, this research try to design reflux condenser shell and tube type with heat capacity 2287 W, temperatur inlet ethanol 376,2 K, at pressure 104 kPa. The verification of simulation with *Solidworks Simulation Flow 2009* has a range different about 2.2- 11.93 %. Both of them has fulfill the requirement to make vapor ethanol condensed, so the design will be optimum and efficient.

Keywords :

CFD, Reflux Condenser, Shell and Tube Heat Exchanger

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
NOTASI	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	1
1.3 TUJUAN PENULISAN	2
1.4 RUANG LINGKUP PENULISAN	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	<b>4</b>
2.1 ZERO ENERGI BUILDING	4
2.2 PEM FUEL CELL	4
2.3 SISTEM DESTILASI ETHANOL	5
2.4 COMPUTATUIONAL FLUID DYNAMICS	5
2.5 PERPINDAHAN KALOR	6
2.6 ALAT PENUKAR KALOR	7
2.6.1 Kondenser	8
2.6.2 Perancangan Kondenser	9

<b>BAB III PERHITUNGAN</b>	17
3.1 Spesifikasi	17
3.2 Keseimbangan Energi	18
3.3 <i>Mean Temperature Difference</i>	19
3.4 <i>Heat Transfer Area</i>	19
3.5 <i>Tube</i>	19
3.6 <i>Shell</i>	19
3.7 Perkiraan Nilai Keseluruhan Koefisien Perpindahan Kalor	20
3.8 <i>Heat Transfer Coefficient</i>	20
<b>BAB IV PEMODELAN DAN SIMULASI</b>	22
4.1 PEMODELAN CAD	22
4.2 SIMULSI CFD	23
4.2.1 Computational Domain	23
4.2.2 Optimasi Mesh	24
4.2.3 Hasil Simulasi	26
4.3 VERIFIKASI	29
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	30
5.1 KESIMPULAN	30
5.2 SARAN	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	33

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Reaksi elektrokimia Pada Sel Tunam	4
Gambar 2.2 Sistem Destilasi Ethanol	5
Gambar 2.3 Klasifikasi Alat Penukar Kalor	8
Gambar 2.4 Klasifikasi Kondenser	8
Gambar 2.5 Kondenser Reflux	9
Gambar 2.6 Prosedur perhitungan desain <i>shell and tube heat exchanger</i>	10
Gambar 2.7 Grafik faktor koreksi temperatur	13
Gambar 2.8 <i>Tube patterns</i>	13
Gambar 2.9 <i>Pitch Square</i>	14
Gambar 4.1 Tampak Isometri	22
Gambar 4.2 Tampak Samping dan Depan	22
Gambar 4.3 Optimasi Simetris Computational Domain	23
Gambar 4.4 Computational Domain Awal	23
Gambar 4.5 Mesh Automatic Level 3	24
Gambar 4.6 <i>Mesh Adaptive</i>	25
Gambar 4.7 Distribusi Temperatur dan kondensasi Fluida Ethanol	26
Gambar 4.8 Distribusi Temperatur Fluida Air	26
Gambar 4.9 Distribusi Tekanan Fluida Air	28
Gambar 4.10 Distribusi Tekanan Fluida Ethanol	28

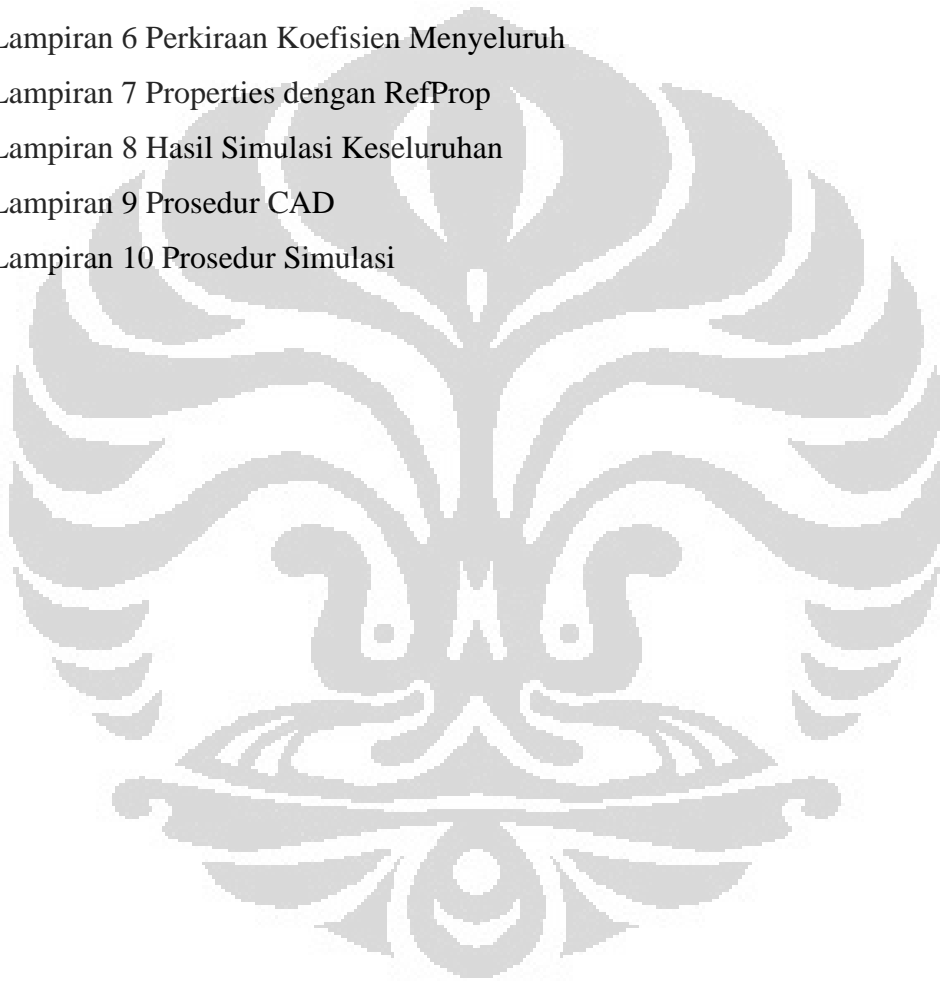
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perkiraan nilai koefisien menyeluruh	11
Tabel 2.2.	Nilai konstanta $K_1$ dan $n_1$	13
Tabel 2.3.	Koefisien faktor <i>fouling</i>	15



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Standar Tube	34
Lampiran 2 Standar TEMA	36
Lampiran 3 Koreksi Faktor F	37
Lampiran 4 Unit Conversion	38
Lampiran 5 Tabel Fouling	41
Lampiran 6 Perkiraan Koefisien Menyeluruh	43
Lampiran 7 Properties dengan RefProp	44
Lampiran 8 Hasil Simulasi Keseluruhan	45
Lampiran 9 Prosedur CAD	52
Lampiran 10 Prosedur Simulasi	53



## NOTASI

$q$	laju perpindahan kalor	[W]
$k$	konduktivitas termal	[W/m°K]
$\frac{dT}{dx}$	gradient suhu ke arah perpindahan kalor	
$T_s$	Temperatur permukaan	[K]
$T_{Sur}$	Temperatur Lingkungan	[K]
$\sigma$	konstanta Boltzman $5,669 \times 10^{-8}$	[W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> ]
$h$	koefisien perpindahan kalor konveksi	[W/m <sup>2</sup> °K]
$T_w$	Temperatur plat	[K]
$T_\infty$	Temperatur fluida	[K]
$U$	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh	[W/m°K]
$A$	Luas permukaan perpindahan kalor	[m <sup>2</sup> ]
$A_o$	Luas permukaan perpindahan kalor keseluruhan	[m <sup>2</sup> ]
$\Delta T_m$	Beda suhu rata-rata yang digunakan dalam penukar kalor	[K]
$m_h$	laju aliran fluida panas	[kg/s]
$c_{p,h}$	Nilai kalor spesifik fluida panas	[J/kg°K]
$T_{h,i}$	Temperatur inlet fluida panas	[K]
$T_{h,o}$	Temperatur outlet fluida panas	[K]
$m_c$	laju aliran fluida dingin	[kg/s]
$c_{p,c}$	Nilai kalor spesifik fluida dingin	[J/kgK]
$T_{c,o}$	Temperatur inlet fluida dingin	[K]
$T_{c,i}$	Temperatur outlet fluida dingin	[K]
$U_o$	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh	[W/mK]
$h_o$	Outside fluid film coefficient	[W/mK]

$h_i$	Inside fluid film coefficient	[W/mK]
$h_{od}$	Outside dirt factor (fouling factor)	[W/mK]
$h_{id}$	Inside dirt factor (fouling factor)	[W/mK]
$k_w$	Konduktifitas termal dinding tube	[W/mK]
$d_i$	Inside tube diameter	[m]
$d_o$	Outside tube diameter	[m]
$N_t$	Jumlah tube	
$D_b$	Diameter <i>bundle</i>	[m]
$d_o$	Diameter luar <i>tube</i>	[m]
$D_s$	Diameter <i>Shell</i>	[m]
$D_e$	Diameter Equivalent	[m]
$G_s$	Shell side mass velocity untuk $D_e$	[kg/s.m <sup>2</sup> ]
$A_s$	Heat transfer area untuk $D_e$	[m <sup>2</sup> ]
$W$	mass flowrate pada tube	[kg/s]
$Re_i$	Reynold Number untuk internal flow	
$Re_o$	Reynold Number untuk eksternal flow	
$Pr$	Prandtl Number	
$Nu$	Nusselt Number	
$R_D$	<i>Fouling Factor</i>	[W/mK]
$R_{di}$	<i>Fouling Factor for tube on fluid</i>	[W/mK]
$R_{do}$	<i>Fouling Factor for tube on Shell</i>	[W/mK]
$C$	Clearance	[m]
$P_T$	Pitch Square	[m]
$B$	Baffle Spacing	[m]
$\mu$	Viskositas Dinamik	[Pa.s]



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Berkurangnya cadangan sumber energi minyak bumi khususnya dan energi fosil pada umumnya merupakan persoalan penting saat ini. Terutama keterkaitannya sebagai sumber bahan bakar pembangkit tenaga listrik dan dampak yang ditimbulkannya pada kerusakan lingkungan dan perubahan iklim. Penggunaan energi pada bangunan-bangunan saat ini juga berdampak pada minimnya jumlah energi yang tersedia dan mendorong timbulnya berbagai efek negatif terhadap lingkungan. Selain itu, kebutuhan akan energi semakin meningkat dan penggunaan energi semakin berlebih. Oleh karena itu, penerapan konsep *green building* di Negara-negara maju sudah mulai dikembangkan. Salah satu cara untuk mengoptimalkannya adalah dengan menerapkan konsep *Zero Energy Building (ZEB)*, baik dengan melakukan konservasi maupun konversi energi (pemanfaatan potensi energi yang bersifat dapat diperbaharui).

Salah satu potensi yang dapat dikembangkan adalah *PEM Fuel Cell*. Sebuah teknologi konversi energi potensial kimia gas hidrogen menjadi energi termal dan potensial listrik melalui proses oksidasi (ionisasi proton dan elektron) dan reduksi (pembentukan air) pada sebuah membran polymer berkatalis. Model tersebut mempunyai dimensi relatif kecil dan banyak diaplikasikan untuk peralatan berpindah (*mobile*) serta untuk rumah tinggal (*residence*).

Dalam mendukung konsep ZEB, maka suplai ethanol untuk PEM Fuel Cell akan diproduksi sendiri melalui sistem destilasi. Salah satu komponen yang vital pada sistem tersebut adalah kondenser. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang kondenser yang memiliki desain yang efisien untuk sistem tersebut.

## 1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dan manfaat dari desain kondenser ini adalah untuk

1. Merancang kondenser reflux untuk menunjang sistem destilasi ethanol
2. Melakukan simulasi dan verifikasi perancangan kondenser dengan menggunakan perangkat lunak

Dengan pertimbangan-pertimbangan di atas maka diharapkan perancangan kondenser yang dihasilkan optimal, efektif, dan efisien.

## 1.3 RUANG LINGKUP PENULISAN

Pembatasan masalah dalam penulisan ini adalah:

- ❑ Perancangan kondenser reflux tipe *shell and tube* dengan satu laluan dengan posisi vertikal.
- ❑ Melakukan simulasi dan verifikasi dengan hasil perhitungan.
- ❑ Perangkat lunak yang digunakan adalah *Simulation Flow Solidworks 2009*

## 1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

### BAB I. PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan diadakannya penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB II. DASAR TEORI

Bab tinjauan pustaka, berisikan teori – teori, literatur dan informasi yang digunakan dalam mendukung dalam penelitian ini.

### BAB III. PERHITUNGAN

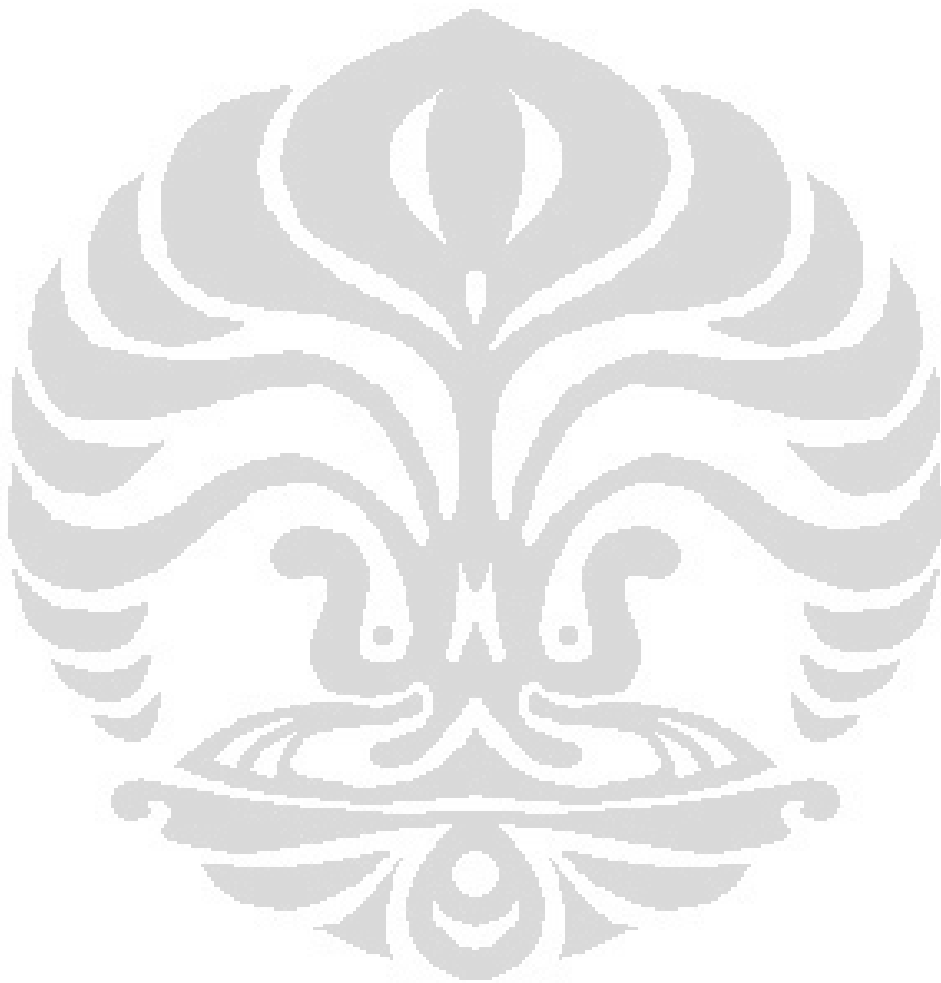
Bab ini berisikan proses perhitungan dalam proses pemodelan dan perancangan konstruksi kondenser reflux.

### BAB IV. PEMODELAN DAN SIMULASI

Bab ini akan membahas pemodelan dan simulasi perancangan kondenser reflux yang disertai verifikasi dari hasil perhitungan

## BAB V. KESIMPULAN

Bab ini akan berisi kesimpulan yang diambil dari analisa Tugas Akhir dan saran-saran untuk tahap pengembangan selanjutnya yang mungkin dilakukan.



## BAB II

### DASAR TEORI

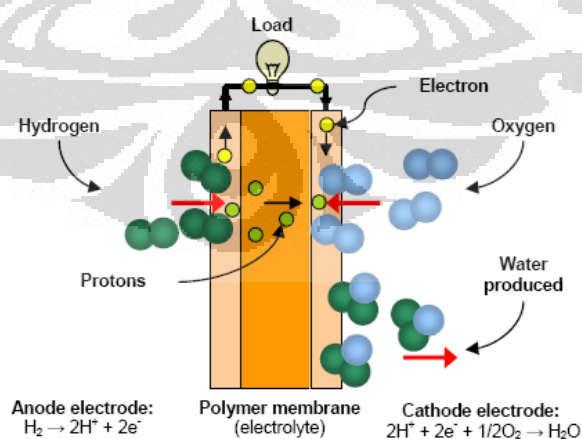
#### 2.1 ZERO ENERGY BUILDING

*Zero Energy Building* (ZEB) adalah sebuah bangunan komersial atau residensial dengan pengurangan kebutuhan energi yang besar melalui efisiensi yang didapat, contohnya kebutuhan energi secara seimbang dapat di suplai dari teknologi yang dapat di perbaharui. Salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui tersebut adalah *PEM Fuel Cell*

Kontribusi bangunan komersial pada masalah pemanasan global semakin meningkat. Peningkatan efisiensi energi dan pendorongan produksi *on-site power generation* akan secara signifikan mengurangi dampak negatif bangunan komersial tersebut terhadap lingkungan. ZEBs lebih sehat, nyaman, dan mengurangi polusi, bahkan tidak mahal untuk dioperasikan.

#### 2.2 PEM FUEL CELL

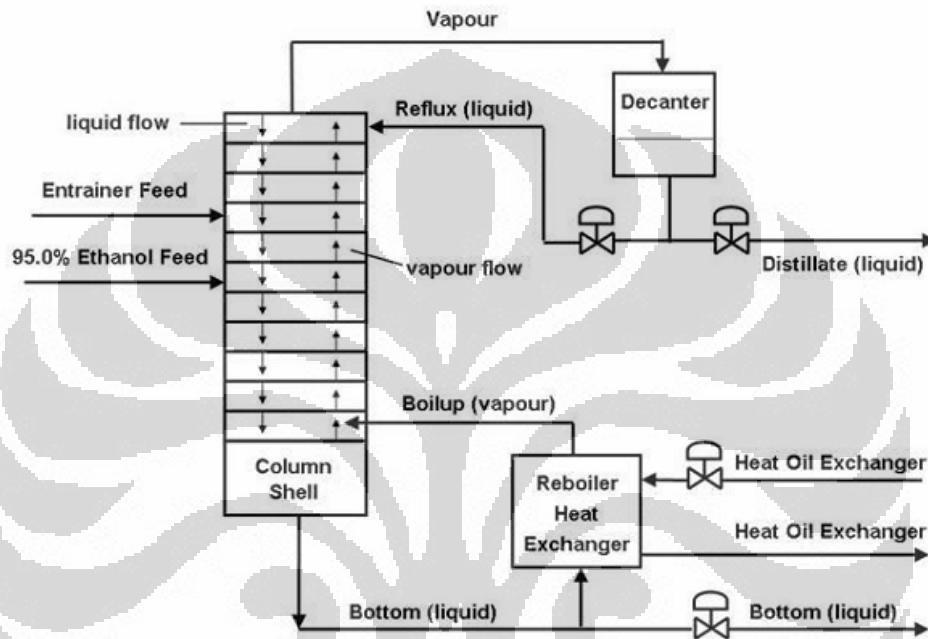
Fuel Cell membran elektrolit adalah sebuah piranti konversi energi elektromia pada sebuah membran elektrolit hasil reaksi gas reaktan hidrogen dan oksigen dengan bantuan katalis. Selain potensial gerak listrik dalam reaksi elektrokimia juga akan dihasilkan energi termal reaksi.



Gambar 2.1 Proses Reaksi elektrokimia Pada Sel Tunam

### 2.3 SISTEM DESTILASI ETHANOL

Salah satu potensi yang dapat dikembangkan pada konsep ZEB pada penelitian ini adalah PEM Fuel Cell. Oleh karena itu, sebagai suplai bahan alkohol diperlukan ethanol yang didapatkan dari destilasi fermentasi. Adapun untuk mendapatkan ethanol yang lebih banyak diperlukan desain sistem destilasi yang efisien. Merujuk pada jurnal [9], skema yang ada adalah sebagai berikut,



Gambar 2.2 Sistem Destilasi Ethanol

Pada kesempatan ini peneliti akan merancang komponen condenser reflux (*Decanter*) pada sistem tersebut. Dari hasil pembahasan diskusi dengan tim, maka dipilihlah jenis alat penukar kalor tipe *shell and tube*.

### 2.4 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

CFD merupakan teknik komputasi yang telah banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan fluida di bidang engineering. Melalui pendekatan metode volum hingga dengan berbagai persamaan-persamaan yang mengaturnya, CFD telah banyak dikembangkan sebagai tool yang handal. Banyak perangkat lunak yang telah berkembang hingga saat ini, salahsatunya adalah *Simulation Flow Solidworks 2009*. Walaupun begitu, pada dasarnya CFD terdiri dari 3 modul:

- Preprocessor

Modul untuk pendefinisian properties maupun geometri model dengan boundary conditionnya hingga ke dalam penentuan mesh-nya.

- Solver

Solver merupakan modul untuk memecahkan permasalahan yang telah didefinisikan oleh Preprocessor

- Postprocessor

Merupakan visualisasi hasil dari solusi yang diberikan solver, baik dengan grafik maupun gradasi warna.

## 2.5 PERPINDAHAN KALOR

### 2.4.1. KONDUKSI

Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada benda padat. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian suhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah. Persamaan di bawah tentang konduksi kalor disebut dengan hukum Fourier (Joseph Fourier; ahli matematika fisika dari Perancis).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

### 2.4.2. KONVEKSI

Konveksi adalah pertukaran energi antara permukaan benda padat yang mempunyai luasan A dengan fluida sekitarnya.

Persamaan umum perpindahan kalor konveksi adalah :

*Fluksi kalor (laju kalor  $Q$  / luas permukaan  $A$ ),  $Q/A$ , sebanding dengan beda temperatur antara fluida dan permukaan padat. Pembandingnya dikenal dengan koefisien perpindahan kalor konveksi yang disimbolkan dengan  $h$ .*

$$q = hxA \times (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

### 2.4.3. RADIASI

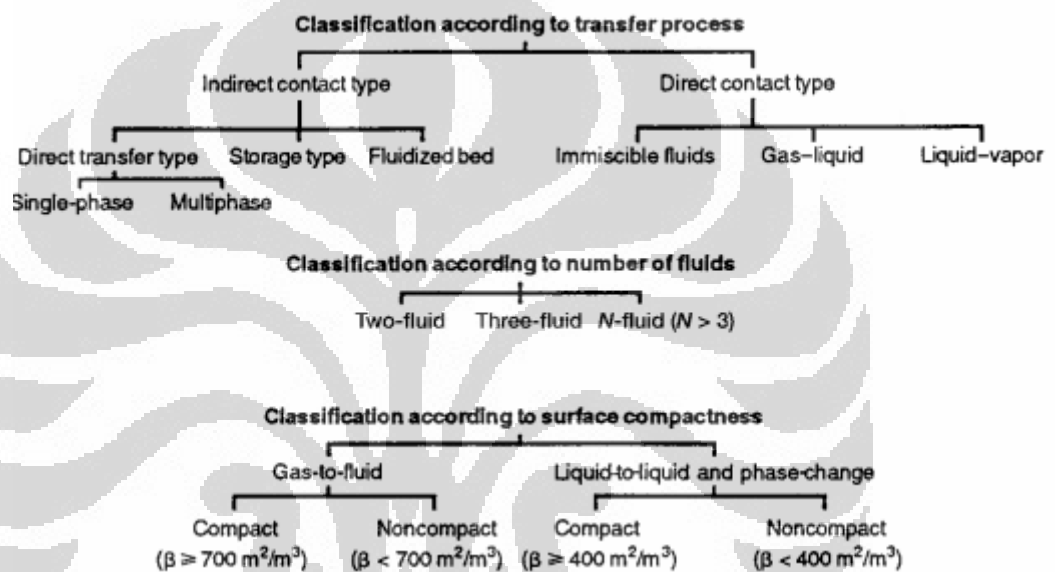
Radiasi panas adalah pancaran gelombang elektromagnetik dari permukaan atau gas yang beradiasi yang mempunyai temperatur tinggi. Radiasi panas tidak membutuhkan media penghantar seperti halnya pada konduksi atau konveksi panas. Radiator (penyinar) ideal, atau *benda hitam (black body)*,

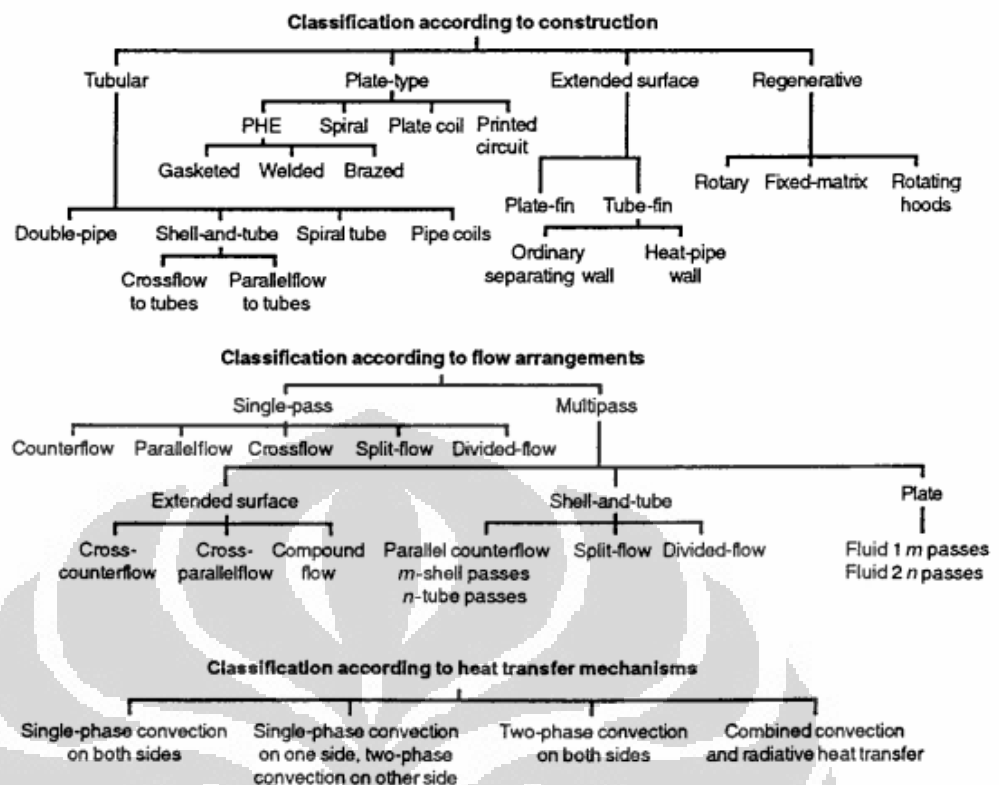
memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda. Jika dua benda saling bertukar kalor dengan proses radiasi, maka kalor bersih yang bertukar sebanding dengan beda  $T^4$ . jadi,

$$q = \sigma A(T_s - T_{Sur}) \quad (2.3)$$

## 2.6 ALAT PENUKAR KALOR

Alat penukar kalor merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan kalor antara dua atau lebih aliran fluida.

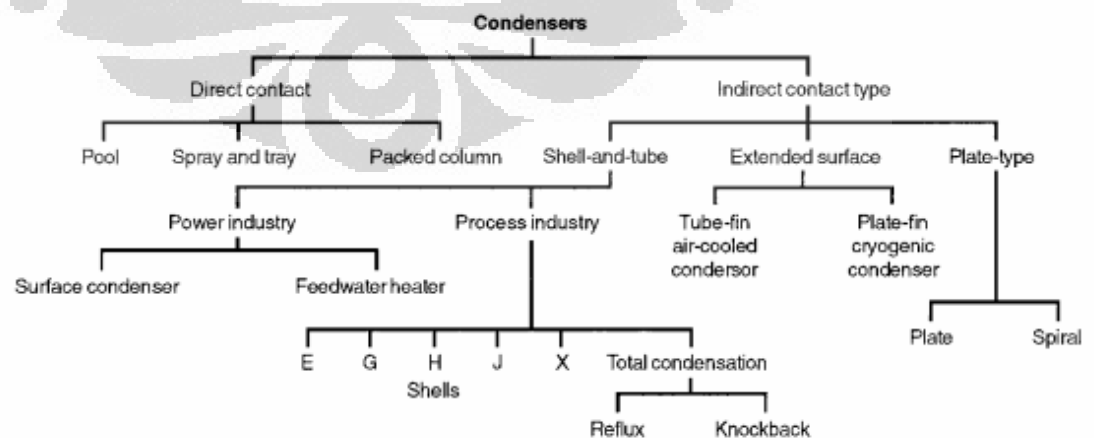




Gambar 2.3 Klasifikasi Alat Penukar Kalor [7]

### 2.6.1 Kondenser

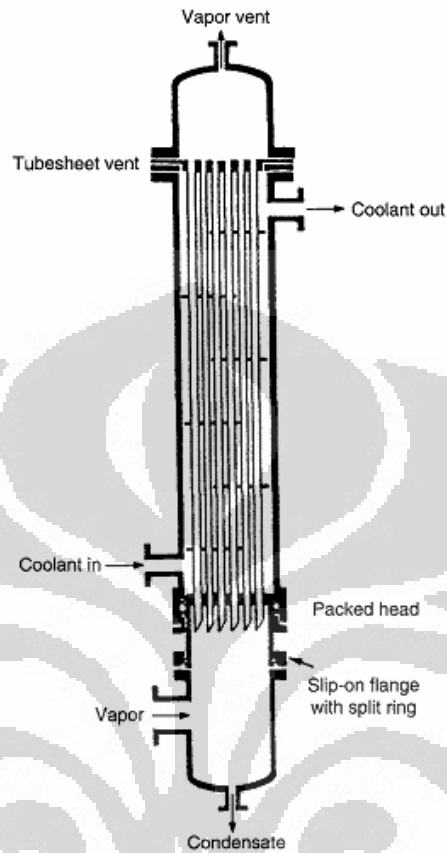
Salah satu aplikasi alat penukar kalor yang banyak digunakan adalah kondenser. Kondenser adalah alat yang berfungsi untuk menyerap kalor yang dilepas oleh fluida panas.



Gambar 2.4 Klasifikasi Kondenser [8]



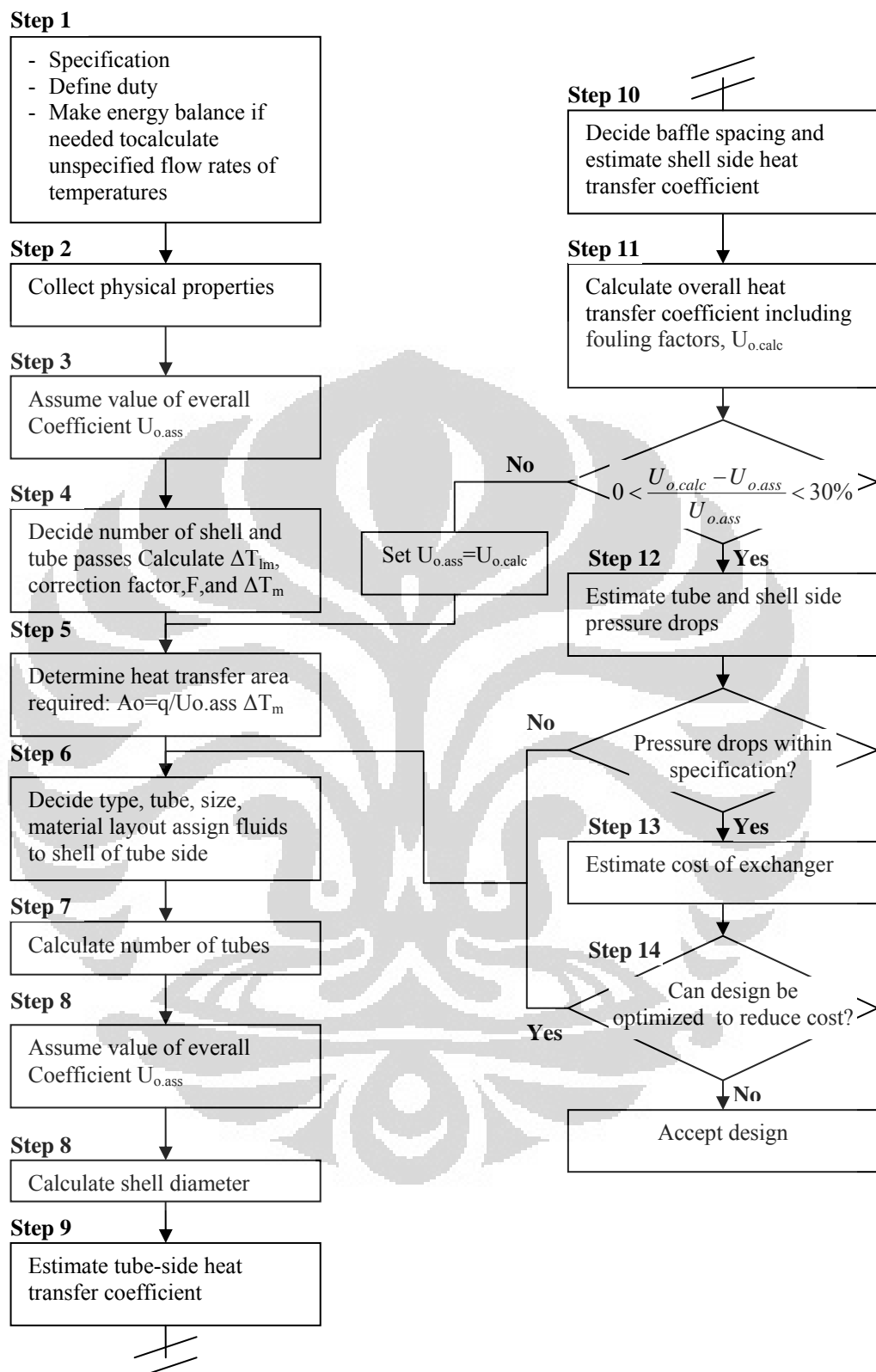
Pada perancangan kondenser ini dipilih jenis kondenser reflux, karena biasa digunakan dalam sistem destilasi.



Gambar 2.5 Kondenser Reflux [8]

### 2.6.2 Perancangan Kondenser

Kondenser yang dirancang adalah kondenser reflux tipe *shell and tube*. Adapun langkah-langkah perancangannya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Prosedur perhitungan desain *shell and tube heat exchanger* [13]

Langkah-langkah perancangan :

- Keseimbangan Energi

Persamaan umum perpindahan kalor :

$$q = UA_o \Delta T_m \quad (2.4)$$

Perpindahan kalor juga dapat diperoleh dari persamaan :

$$q = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.5)$$

(untuk kalor laten)

$$q = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.6)$$

(untuk kalor sensible)

- Tabel Perkiraan Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Tabel 2.1 Perkiraan nilai koefisien menyeluruh

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	$U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900

- Beda suhu rata-tata log (LMTD)

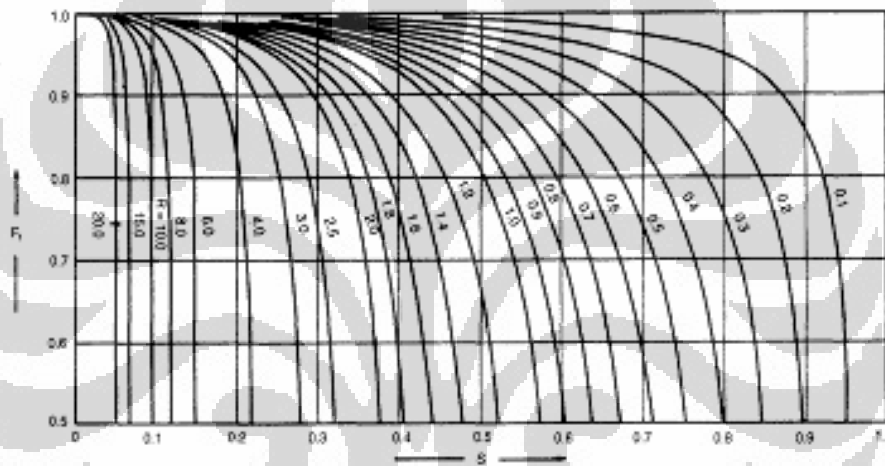
$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})} \quad (2.8)$$

Faktor koreksi temperatur :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (2.9)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (2.10)$$

$$\Delta T_m = F_t \Delta T_{lm} \quad (2.11)$$

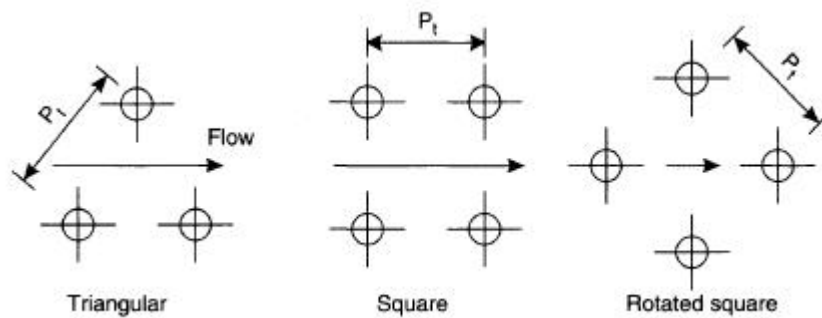


Gambar 2.7 Grafik faktor koreksi temperatur  
(one shell pass; two or more even tube passes)

- Dimensi dan layout *Shell and tube*

Susunan pipa dalam *shell and tube heat exchanger* terdiri dari 3 macam seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3 , yaitu :

1. Pola segitiga ( *equilateral triangular* )
2. Pola bujur sangkar ( *square* )
3. Pola bujursangkar yang diputar ( *rotated square pattern* )



Gambar 2.8 Tube patterns

Jumlah tube dapat dihitung dari persamaan :

$$Nt = \frac{A_o}{\pi d_o L} \quad (2.12)$$

$$D_b = d_o \left( \frac{N_t}{K_1} \right)^{1/n_1} \quad (2.13)$$

Nilai  $K_1$  dan  $n_1$  ditentukan dari tabel 2.3

Diameter shell dihitung dari persamaan :

$$D_s = D_b + BDC \quad (2.14)$$

Tabel 2.2 Nilai konstanta  $K_1$  dan  $n_1$ 

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n_1$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Pitch dapat dihitung dengan persamaan,

$$p_t = 1.25d_o \quad (2.15)$$

- Persamaan Empiris Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh
  - Untuk heat transfer coefficient pada sisi *tube* ( $h_i$ ), persamaan empiris kondensasi untuk tube vertikal pada  $30 < Re < 2100$  menggunakan persamaan : [8]  
Bilangan Reynold

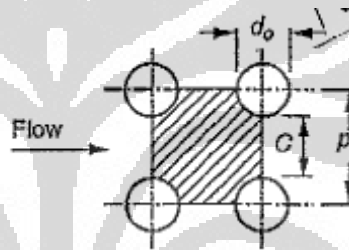
$$\Gamma = \frac{W}{n_t \pi D_i} \quad (2.16)$$

$$\text{Re}_i = \frac{4\Gamma}{\mu_L} \quad (2.17)$$

$$h = \frac{\text{Re} \left[ k_L^3 \rho_L g / \mu_L^2 \right]^{1/3}}{1.08 \text{Re}^{1.22} - 5.2} \quad (2.18)$$

- Untuk heat transfer coefficient pada sisi *shell* ( $h_o$ ) [8],  
Diameter Equivalent untuk Square Pitch [3],

$$D_e = \frac{4(P_T^2 - \pi d_o^2 / 4)}{\pi d_o} \quad (2.19)$$



Gambar 2.9 Pitch Square [3]

$$A_s = \frac{D_s CB}{P_T} \quad (2.20)$$

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s} \quad (2.21)$$

$$C = P_T - d_o \quad (2.22)$$

$$\frac{h_o D_e}{k} = 0.36 \left( \frac{D_e G_s}{\mu} \right)^{0.55} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (2.23)$$

(Persamaan Mc Adam untuk  $2 \times 10^3 < \text{Re}_o < 10^6$ )

- Untuk Overall Heat Transfer coefficient [8]

$$U_c = \left[ \frac{D_o}{h_i D_i} + \frac{D_o \ln(D_o / D_i)}{2k_{tube}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1} \quad (2.24)$$

$$U_d = \left[ \frac{1}{U_c} + R_D \right]^{-1} \quad (2.25)$$

$R_D = \text{Fouling Factor}$

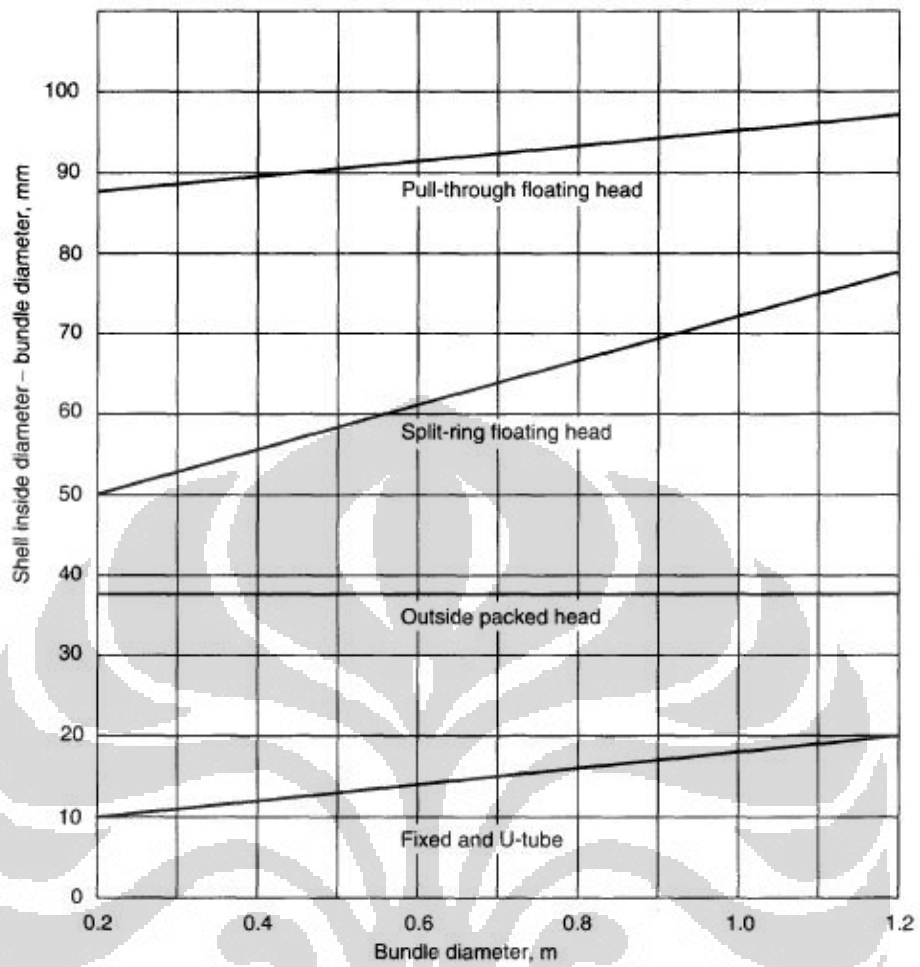
$$R_D = (R_{di} \cdot D_o / D_i) + R_{do} \quad (2.26)$$

$R_{di} = \text{Fouling Factor for tube on fluid}$

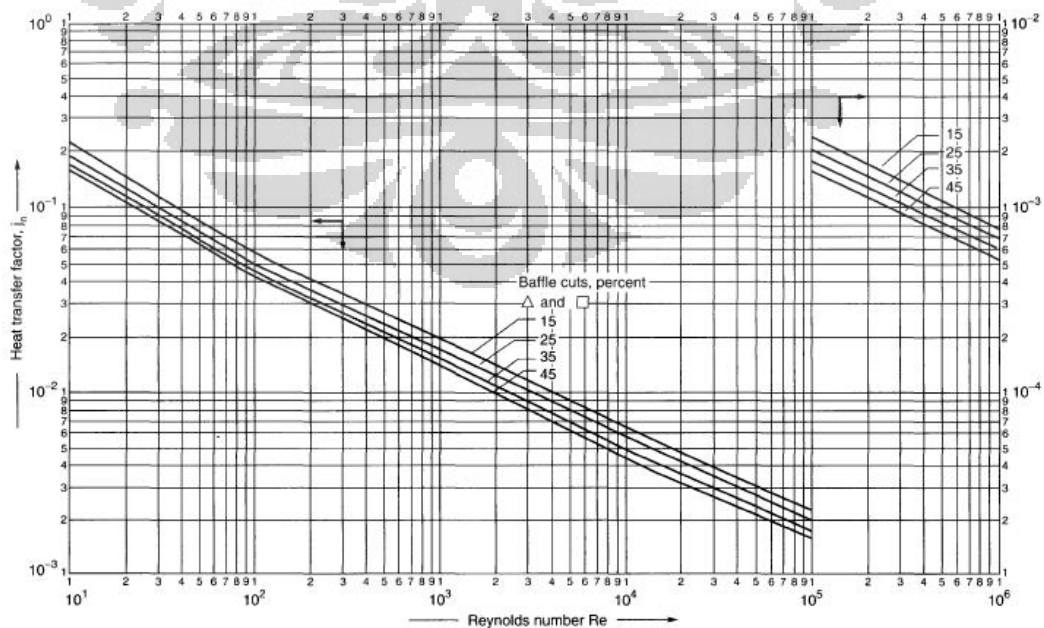
$R_{do} = \text{Fouling Factor for tube on Shell}$

Tabel 2.3 Koefisien faktor *fouling*

Fluid	Coefficient ( $W/m^2 \cdot C$ )	Factor (resistance) ( $m^2 C/W$ )
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	3000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002



Gambar 2.10 Shell bundle clearance



Gambar 2.11 shell side heat transfer factors, segmental baffle

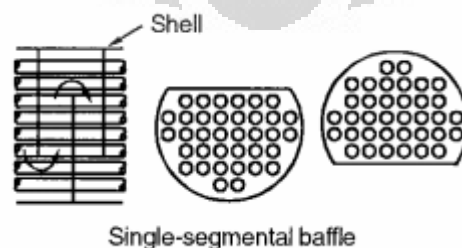


## BAB III

### PERHITUNGAN DIMENSI

#### 3.1 Spesifikasi Awal

- a. Penempatan Fluida
  - Kondenser tipe vertikal
  - Uap yang dikondensasikan berada pada tube
  - Air pendingin di *Shell*
- b. Tipe *Shell and Tube*
  - Tipe *E-Shell* digunakan karena lebih ekonomis, sehingga tipe AEL akan digunakan dalam desain ini.
  - Jumlah lintasan di *shell* : 1
  - Jumlah lintasan di *tube* : 1
- c. Tubing
  - Diameter ¼ in
  - 16-BWG tubes
  - Panjang 35 cm.
- d. Tube layout
  - Tipe pitch square
- e. Baffles
  - Jarak segmental baffle 0.4 kali diameter shell
  - Cut 35 % untuk kondensasi uap



- f. Konstruksi Material
  - Tube : Tembaga (cupro-nickel alloy untuk resistansi terhadap korosi)

- Shell : Plain Carbon Steel

### 3.2 Keseimbangan Energi

$$q = m_h (h_{h,i} - h_{h,o}) \quad (2.5)$$

$$= 2287.35 \text{ W}$$

$$q = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.6)$$

$$m_c = 0.15 \text{ kg/s}$$

#### Fluida panas : Ethanol

Temperature masuk  $T_{h1} = 376.2 \text{ K}$

Temperatur keluar  $T_{h2} = 352 \text{ K}$

Laju aliran  $m_h = 0.0026 \text{ kg/s}$

Enthalpi masuk  $h1 = 1310 \text{ kJ/kg}$

Enthalpi masuk  $h1 = 416.3 \text{ kJ/kg}$

Tekanan  $P = 104 \text{ kPa}$

REFPROP (ethanol) - NIST Reference Fluid Properties - [5: ethanol: Specified state points]														
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions														
	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Cp (kJ/kg-K)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)	Viscosity (μPa-s)	Liquid Viscosity (μPa-s)	Vapor Viscosity (μPa-s)	Prandtl	Liquid Prandtl	Vapor Prandtl
1	376.20	0.10400	1310.1	Superheated	1310.1	1.8940	Superheated	1.8940	11.136	Superheated	11.136	0.87373	Superheated	0.87373
2	353.00	0.10400	1267.0	Superheated	1267.0	1.8140	Superheated	1.8140	10.428	Superheated	10.428	0.85451	Superheated	0.85451
3	352.00	0.10400	416.31	416.31	Subcooled	3.1917	3.1917	Subcooled	436.88	436.88	Subcooled	9.1106	9.1106	Subcooled

#### Fluida Dingin : Air

Temperatur masuk  $T_{c1} = 293 \text{ K}$

Laju aliran  $m_c = 0.15 \text{ kg/s}$

REFPROP (water) - NIST Reference Fluid Properties - [6: water: Specified state points]														
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions														
	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Cp (kJ/kg-K)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)	Viscosity (μPa-s)	Liquid Viscosity (μPa-s)	Vapor Viscosity (μPa-s)	Prandtl	Liquid Prandtl	Vapor Prandtl
1	293.00	0.10130	83.380	83.380	Subcooled	4.1842	4.1842	Subcooled	1005.3	1005.3	Subcooled	7.0317	7.0317	Subcooled
2	298.40	0.10130	105.97	105.97	Subcooled	4.1812	4.1812	Subcooled	885.04	885.04	Subcooled	6.0902	6.0902	Subcooled
3	295.70	0.10130	94.675	94.675	Subcooled	4.1825	4.1825	Subcooled	942.07	942.07	Subcooled	6.5347	6.5347	Subcooled

### 3.3 Mean Temperature Different

Beda suhu rata-rata log dihitung dengan persamaan :

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})} \quad (2.8)$$

$$= 66.38 \text{ K}$$

Faktor koreksi temperature :

$$P = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}} = 0.084 \quad (2.9)$$

$$R = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{c2} - T_{c1}} = 3.46 \quad (2.10)$$

Dari tabel , faktor koreksi temperatur ( $F_t$ ) = 0.99

$$\Delta T_m = F_t \Delta T_{lm} = 65.72 \text{ K} \quad (2.11)$$

### 3.4 Heat Transfer Area

$$A_o = \frac{q}{U \Delta T_m} \quad (2.4)$$

$$= 0.258 \text{ m}^2$$

### 3.5 Tube

Jumlah tube dapat dihitung dari persamaan :

$$N_t = \frac{A_o}{\pi d L} = 36.95 \sim 37 \quad (2.12)$$

### 3.6 Shell

Diameter bundle ( $D_b$ ) dapat dihitung dari persamaan :

$$D_b = d_o \left( \frac{N_t}{K_l} \right)^{1/n_1} = 65.4 \text{ mm} \quad (2.13)$$

Dari table 2.3, didapatkan nilai :

$$K_1 = 0.215, n_1 = 2.207,$$

Diameter *Shell* ( $D_s$ )

Dari spesifikasi yang ada didapat :

$$D_s = 3 \text{ inch} = 0.0762 \text{ m}$$

Pitch dapat dihitung dari persamaan :

$$p_t = 1.25d_o = 7.94 \text{ mm} \quad (2.19)$$

### 3.7 Perkiraan nilai keseluruhan koefisien perpindahan kalor

Perkiraan nilai keseluruhan koefisien perpindahan kalor dapat ditentukan dengan melihat tabel.

Dari tabel 2.1, didapatkan nilai koefisien berada di 20-300 W/m<sup>2</sup>°C

Maka ditentukan  $U_o = 131 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , untuk mengatasi fouling maka dipilih nilai  $U$  yang lebih kecil dari nilai rata-rata agar diperoleh *heat transfer area* yang lebih luas.

### 3.8 Heat transfer coefficient

- Bilangan Reynold untuk tube [8]

$$\Gamma = \frac{W}{n_t \pi D_i} = 0,00322 \quad (2.16)$$

$$Re = \frac{4\Gamma}{\mu_L} = 29,45 \quad (2.17)$$

- Untuk heat transfer coefficient pada sisi tube ( $h_i$ ), persamaan empiris kondensasi untuk tube vertikal pada  $Re < 2100$  menggunakan persamaan : [8]

$$h_i = \frac{Re [k_L^3 \rho_L g / \mu_L^2]^{1/3}}{1,08 Re^{1.22} - 5,2} = 2211710 \text{ W/m}^2\text{.K} \quad (2.18)$$

- Untuk heat transfer coefficient pada sisi shell ( $h_o$ ),

Diameter Equivalent untuk Square Pitch [3],

$$D_e = \frac{4(P_T^2 - \pi d_o^2 / 4)}{\pi d_o} = 0,0065 \text{ m} \quad (2.19)$$

$$A_s = \frac{D_s C B}{P_T} = 0,000479 \text{ m}^2 \quad (2.20)$$

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s} = 163,11 \text{ kg/sm}^2 \quad (2.21)$$

$$C = P_T - d_o = 0.00165 \text{ m} \quad (2.22)$$

$$\text{Re} = 2123,26$$

Sehingga dapat digunakan persamaan McAdams,

$$\frac{h_o D_e}{k} = 0.36 \left( \frac{D_e G_s}{\mu} \right)^{0.55} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (2.23)$$

$$\text{Sehingga, } h_o = 4239,29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- Overall Heat Transfer Coefficient

$$U_c = \left[ \frac{D_o}{h_i D_i} + \frac{D_o \ln(D_o / D_i)}{2k_{tube}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1} = 4253 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (2.24)$$

$$U_c > U_o \text{ (memenuhi)}$$

$$R_D = (R_{di} \cdot D_o / D_i) + R_{do} = 0.001237 \quad (2.26)$$

$$R_{di} = 0.0002$$

$$R_{do} = 0.002$$

$$U_d = \left[ \frac{1}{U_c} + R_D \right]^{-1} = 404.45 \quad (2.25)$$

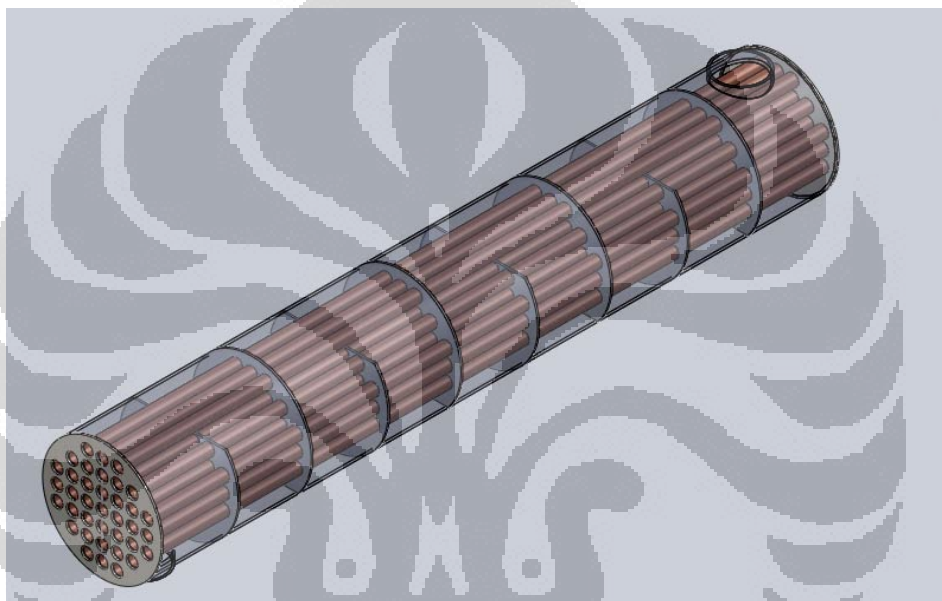
$$U_d > U_a \text{ (memenuhi)}$$

## BAB IV

### PEMODELAN DAN SIMULASI

Pada simulasi ini digunakan *software Solidworks Simulation Flow 2009* untuk komponen condenser.

#### 4.1 PEMODELAN CAD DENGAN SOLIDWORKS 2009



Gambar 4.1 Tampak Isometri



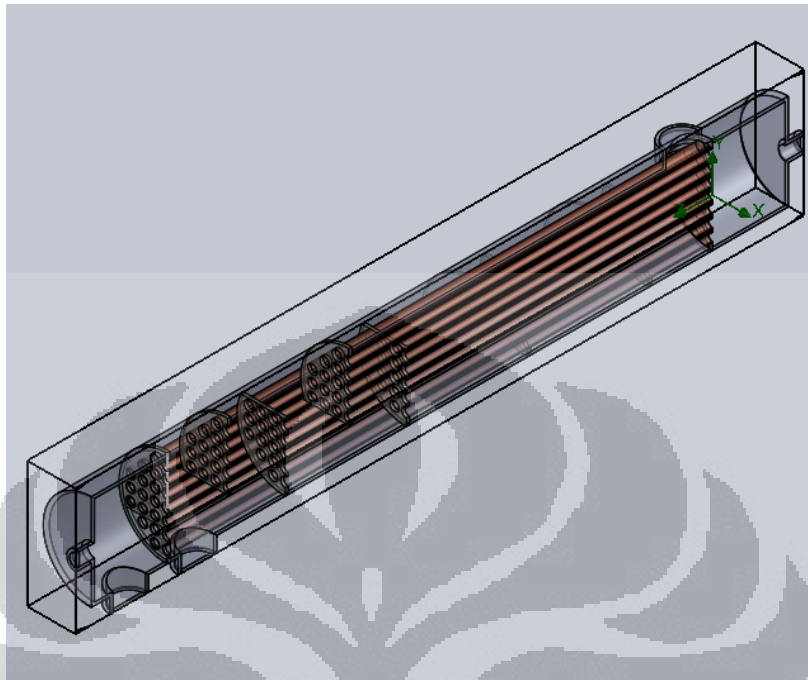
Gambar 4.2 Tampak Samping dan Depan

Spesifikasi :

- Tube : ¼ Inch (Tembaga), 37 buah
- Shell : 3 Inch (Plain Carbon Steel)
- Baffle : 35 % cut dan 0.4 kali spasi (Plain Carbon Steel)
- Nozzle : 1 Inch dan ½ Inch Plain Carbon Steel)

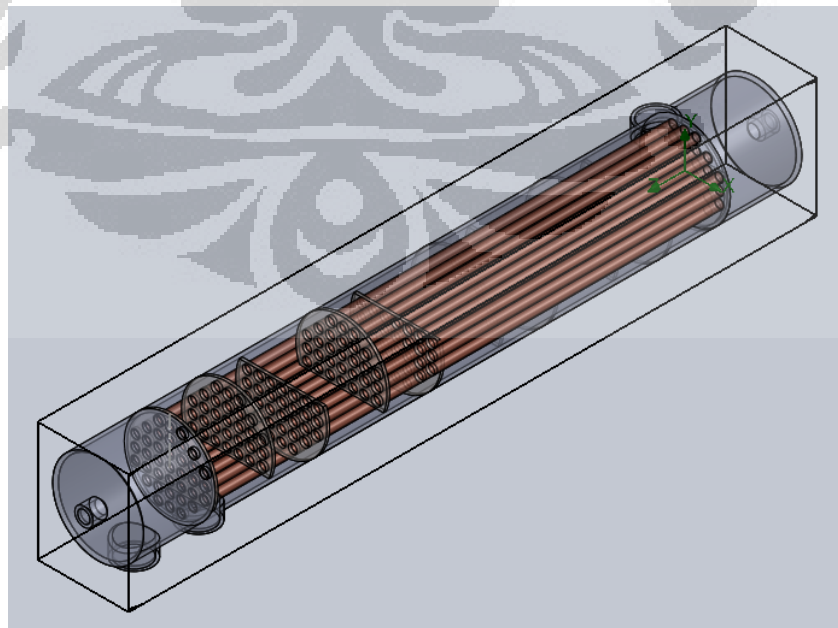
## 4.2 SIMULASI CFD DENGAN SOLIDWORKS 2009

### 4.2.1 Penyederhanaan *Computational Domain* (Simetris)



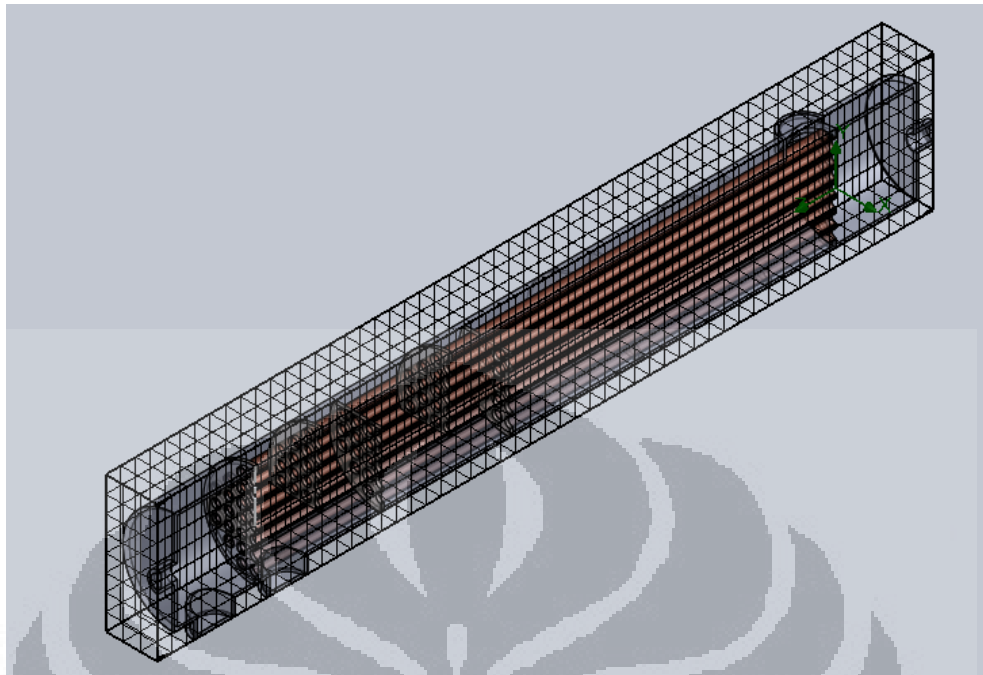
Gambar 4.3 Optimasi Simetris *Computational Domain*

Karena bentuk geometri condenser ini simetris, maka perhitungan dapat disederhanakan menjadi setengahnya saja, sehingga dapat menghasilkan waktu simulasi yang lebih efisien.



Gambar 4.4 *Computational Domain* Awal

## Optimasi Mesh

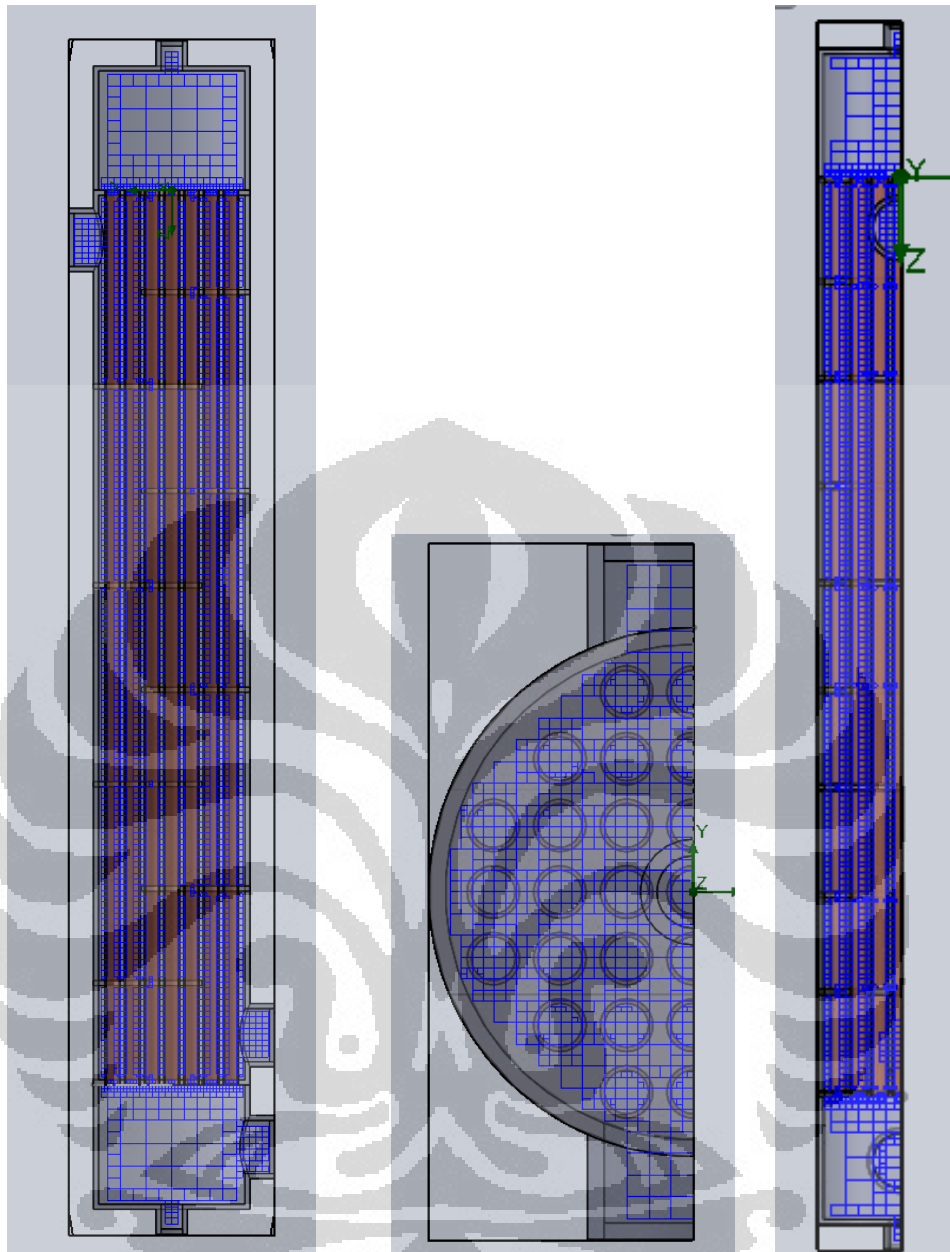


Gambar 4.5 Mesh Automatic Level 3

### 4.2.2 Optimasi Mesh

- Mesh yang digunakan adalah automatic setting Level 3
- Dari perbandingan beberapa level, hasil yang diperoleh tidak terlalu signifikan, sehingga level 3 sudah memenuhi
- Adanya Refinement Mesh



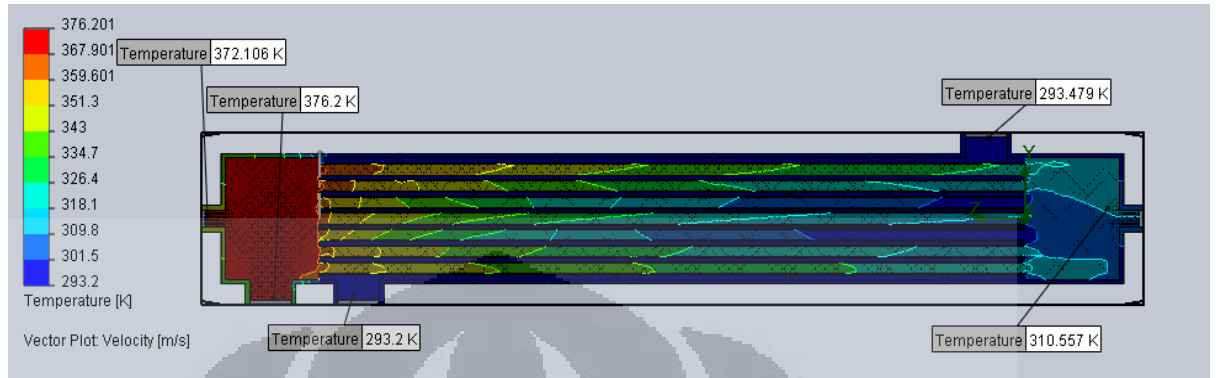


Gambar 4.6 *Mesh Adaptive*

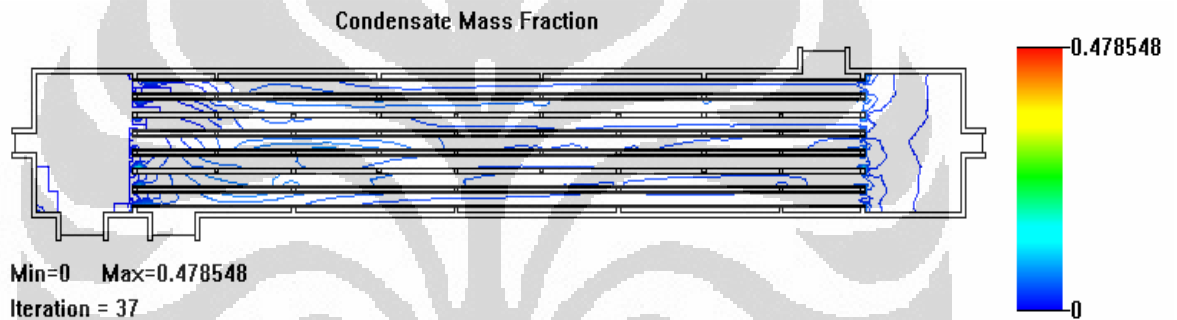
Dari hasil *Mesh Adaptive* di atas terlihat adanya daerah yang memiliki mesh lebih rapat, yaitu bagian yang mendekati dinding dan jarak yang sedikit. Hal ini penting sekali dalam menangkap fenomena aliran yang terjadi pada bagian tersebut, sehingga pola yang di peroleh bisa merepresentasikan aliran sebenarnya.

## 4.2.3 Hasil Simulasi

### 4.2.3.1 Distribusi Temperatur



(a)

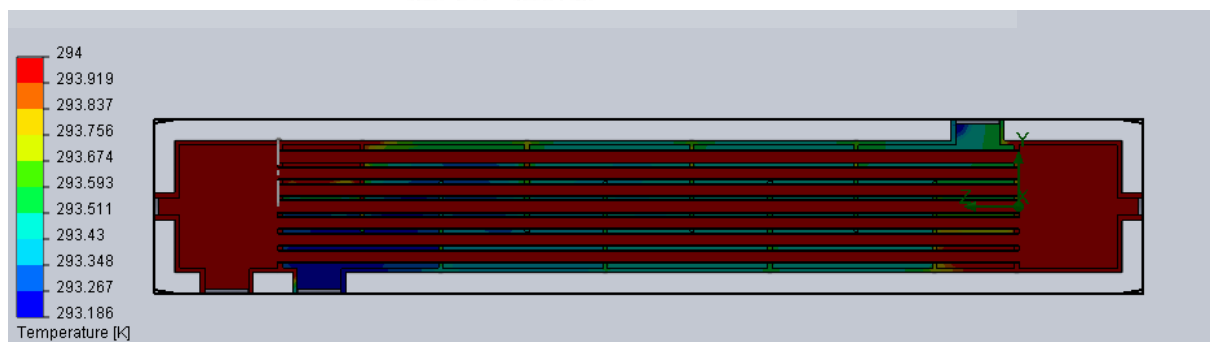


(b)

Gambar 4.7 Distribusi Temperatur Fluida Ethanol,

(a) Contour dan isoline (b) Isoline Kondensasi

Gambar di atas menunjukkan distribusi temperatur fluida panas. Temperatur Menurun dari inlet 376.2 K hingga outlet menjadi 320 K. Berdasarkan literatur, titik kondensasi ethanol adalah 352 K, sehingga hasil tersebut sudah memungkinkan untuk terjadinya kondensasi.

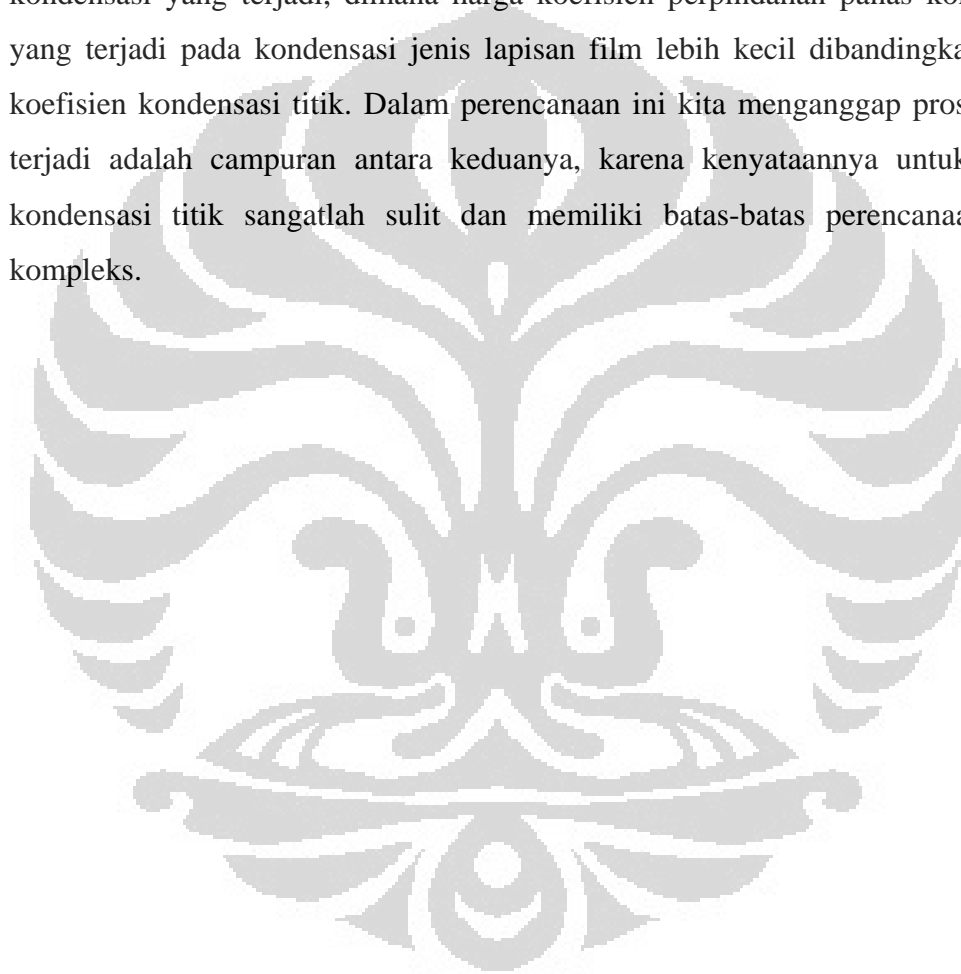


Gambar 4.8 Distribusi Temperatur Fluida Air

Universitas Indonesia

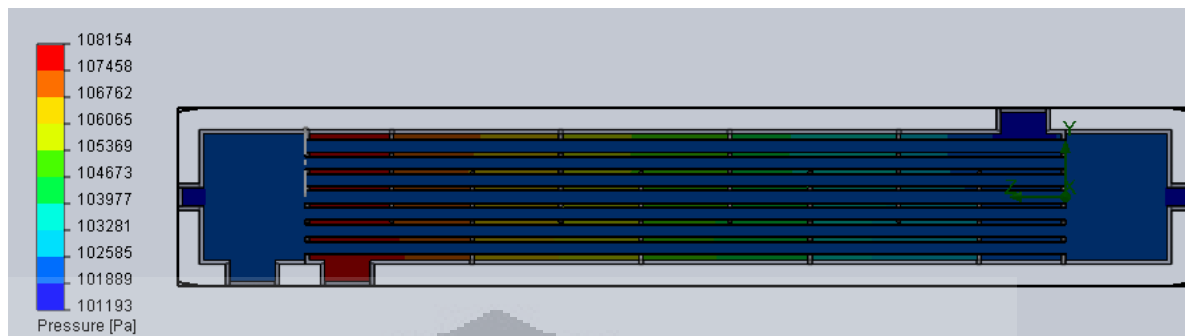
Pada distribusi temperatur di atas memiliki selisih yang tidak terlalu jauh, sehingga cukup aman bagi material kondenser tersebut. Selain itu, kondenser umumnya memiliki selisih temperatur hingga 6 K. [11]

Untuk mengeliminir harga koefisien perpindahan panas kondensasi ini kita terlebih dahulu harus memperhatikan jenis kondensasi yang terjadi, dimana proses kondensasi ada 2 jenis yaitu kondensasi lapisan film dan titik. Dari jenis kondensasi yang terjadi, dimana harga koefisien perpindahan panas kondensasi yang terjadi pada kondensasi jenis lapisan film lebih kecil dibandingkan harga koefisien kondensasi titik. Dalam perencanaan ini kita menganggap proses yang terjadi adalah campuran antara keduanya, karena kenyataannya untuk terjadi kondensasi titik sangatlah sulit dan memiliki batas-batas perencanaan yang kompleks.

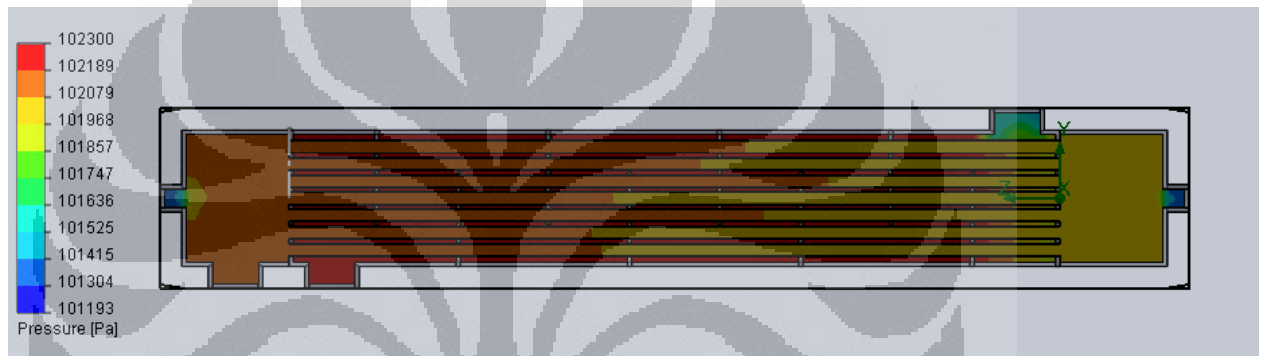


### 4.2.3.2 Distribusi Tekanan

#### Distribusi Tekanan



Gambar 4.9 Distribusi Tekanan Fluida Air



Gambar 4.10 Distribusi Tekanan Fluida Ethanol

Air pendingin yang dialirkan ke dalam tube kondenser akan mengalami proses penurunan tekanan (*pressure drop*). Penurunan tekanan ini dapat disebabkan :

1. Pengaruh masuknya air pendingin ke dalam tube
2. Pengaruh gesekan antara air pendingin dengan permukaan aliran tube (*friction effect*)
3. Pengaruh keluarnya air pendingin dari dalam tube (*exit effect*)

Penurunan tekanan ini merupakan salah satu kerugian beban yang akan dialami oleh pompa air pendingin. Oleh sebab itu, nilainya perlu diperhitungkan agar diketahui pengaruhnya terhadap beban pendingin. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi memenuhi standar yang telah ditentukan, yaitu jatuh tekanan tidak boleh melebihi 10 psia atau 68.948 Pa. [11]

### 4.3 VERIFIKASI

#### 4.3.1 Distribusi Temperatur

- Ethanol
  - Temperatur Outlet perhitungan : 352 K
  - Temperatur Outlet simulasi : 310 K
  - Selisih =  $\frac{352 - 310}{352} \times 100\% = 11.93 \%$
  
- Air
  - Temperatur Outlet perhitungan : 352 K
  - Temperatur Outlet simulasi : 293.4 K
  - Selisih =  $\frac{352 - 293.4}{352} \times 100\% = 2.2 \%$

Perbedaan yang agak jauh ini disebabkan karena penyederhanaan model dari simulasi yang mengabaikan kekasaran permukaan.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. KESIMPULAN

Setelah membahas tentang perencanaan kondenser reflux yang akan digunakan pada system destilasi ethanol berkapasitas 2287 Watt dengan Temperatur 376,2 K dan tekanan masuk sebesar 104 kPa, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Tube pendingin yang digunakan memakai bahan jenis tembaga. Ukuran dan besaran tube memiliki jenis BWG yang memiliki dimensi :
  - Diameter luar :  $\frac{1}{4}$  inch
2. Kondenser ini memiliki sistem aliran tube pendingin satu laluan (*single pass*), dan arah aliran uapnya menuju ke atas (*upflow*), dengan susunan tube vertikal dengan panjang 35 cm.  
Luas permukaan perpindahan panas pada kondenser ini adalah 0.258 m<sup>2</sup>, karena itu membutuhkan tube pendingin sebanyak 37 buah.
3. Untuk mendapatkan sejumlah tube di dalamnya, maka diperlukan tabung (*shell*), dimana luas bidang tabung harus lebih besar dibandingkan dengan luas bidang tube dikali dengan jumlah tube, didapatkan :
  - Diameter shell : 3 Inch
  - Tebal shell : 2 mm
4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur outlet dari uap ethanol sudah memenuhi untuk terjadi kondensasi yaitu 320 K, walaupun dibandingkan dengan hasil perhitungan memiliki error 2.2 – 11.93 %.

## 5.2. SARAN

- Dengan adanya perangkat lunak *Simulation Flow Solidworks 2009*, perancangan kondenser dapat dilakukan lebih optimal, akan tetapi memiliki beberapa kendala :
  1. Sulitnya pensimulasian CAD yang berbentuk assembly. Oleh karena itu, sebaiknya CAD digambar dalam satu assembly dengan jenis *Inplace Mates* (proses penggambaran tidak dilakukan terpisah berdasarkan *part* yang kemudian di gabungkan dalam gambar *assembly*).
  2. Membutuhkan spesifikasi computer yang tinggi untuk mendapatkan akurasi mesh yang lebih rapat. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan beberapa optimasi seperti : penyederhanaan computational domain menjadi setengahnya untuk yang simetris dan penyederhanaan mesh baik dengan manual ataupun automatic yang memiliki hasil tidak terlalu jauh jika dibandingkan dengan mesh yang lebih rapat.
- Dalam perencanaan condenser satu laluan jenis *shell and tube* tahapan awal dalam manufakturnya adalah desain thermal (*thermal design*), sehingga dalam perhitungannya tidak boleh mengabaikan faktor-faktor yang ada dalam sebuah instalasi sistem destilasi.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. KESIMPULAN

Setelah membahas tentang perencanaan kondenser reflux yang akan digunakan pada system destilasi ethanol berkapasitas 2287 Watt dengan Temperatur 376,2 K dan tekanan masuk sebesar 104 kPa, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Tube pendingin yang digunakan memakai bahan jenis tembaga. Ukuran dan besaran tube memiliki jenis BWG yang memiliki dimensi :
  - Diameter luar :  $\frac{1}{4}$  inch
2. Kondenser ini memiliki sistem aliran tube pendingin satu laluan (*single pass*), dan arah aliran uapnya menuju ke atas (*upflow*), dengan susunan tube vertikal dengan panjang 35 cm.  
Luas permukaan perpindahan panas pada kondenser ini adalah 0.258 m<sup>2</sup>, karena itu membutuhkan tube pendingin sebanyak 37 buah.
3. Untuk mendapatkan sejumlah tube di dalamnya, maka diperlukan tabung (*shell*), dimana luas bidang tabung harus lebih besar dibandingkan dengan luas bidang tube dikali dengan jumlah tube, didapatkan :
  - Diameter shell : 3 Inch
  - Tebal shell : 2 mm
4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur outlet dari uap ethanol sudah memenuhi untuk terjadi kondensasi yaitu 320 K, walaupun dibandingkan dengan hasil perhitungan memiliki error 2.2 – 11.93 %.

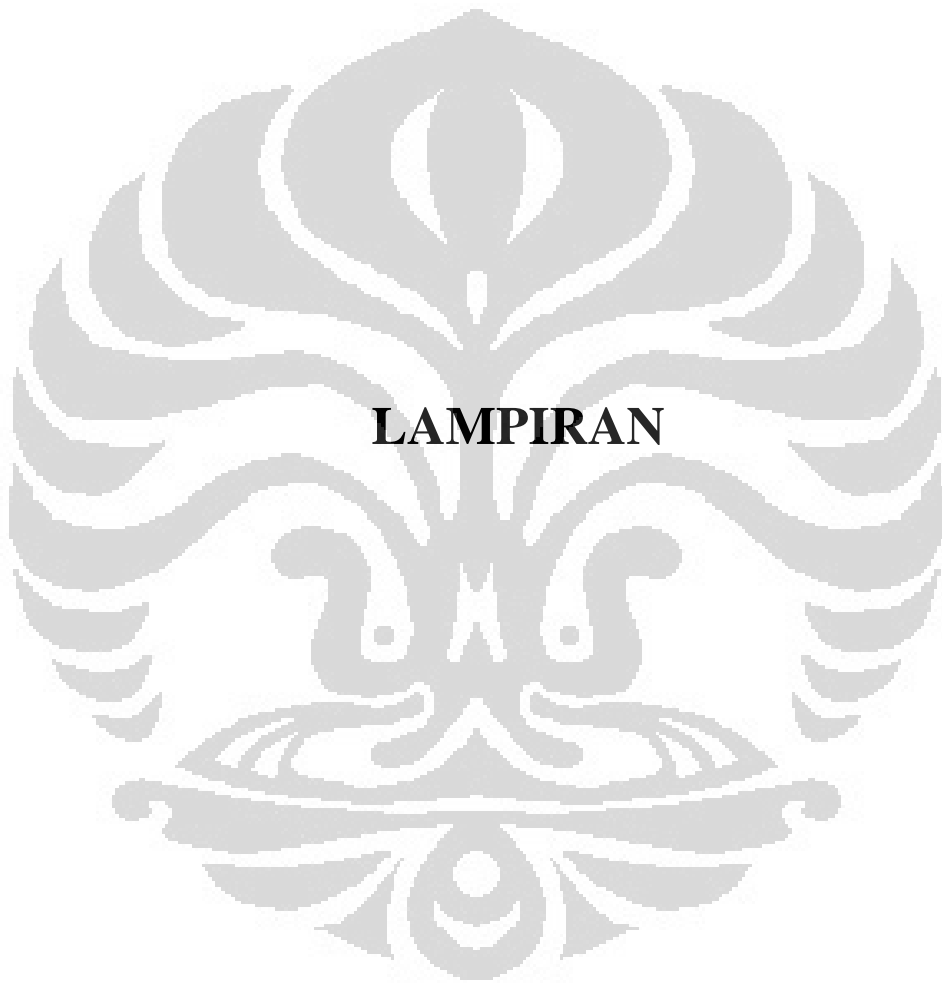


## 5.2. SARAN

- Dengan adanya perangkat lunak *Simulation Flow Solidworks 2009*, perancangan kondenser dapat dilakukan lebih optimal, akan tetapi memiliki beberapa kendala :
  1. Sulitnya pensimulasian CAD yang berbentuk assembly. Oleh karena itu, sebaiknya CAD digambar dalam satu assembly dengan jenis *Inplace Mates* (proses penggambaran tidak dilakukan terpisah berdasarkan *part* yang kemudian di gabungkan dalam gambar *assembly*).
  2. Membutuhkan spesifikasi computer yang tinggi untuk mendapatkan akurasi mesh yang lebih rapat. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan beberapa optimasi seperti : penyederhanaan computational domain menjadi setengahnya untuk yang simetris dan penyederhanaan mesh baik dengan manual ataupun automatic yang memiliki hasil tidak terlalu jauh jika dibandingkan dengan mesh yang lebih rapat.
- Dalam perencanaan condenser satu laluan jenis *shell and tube* tahapan awal dalam manufakturnya adalah desain thermal (*thermal design*), sehingga dalam perhitungannya tidak boleh mengabaikan faktor-faktor yang ada dalam sebuah instalasi sistem destilasi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Bott, TR. *Fouling of Heat Exchanger*. Elsevier. 1995
2. J.P Holman, E Jasjfi, *Perpindahan Kalor*, Erlangga: Jakarta 1995
3. Kakac, Sadic. *Heat Exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press. 2002
4. Kuppan, T,1982, *Heat Exchanger Design Handbook*, Marcel Dekker Inc.1982
5. Maloney, J.o., *Perry's chemical engineer's handbook*, The Mcgraw-Hill Companies, 2008
6. Kreith, F., *Priciple of Heat Transfer*, Harper & Row, Publisher,Inc., 1973
7. K Shah, Ramesh. *Fundamental of Heat Exchanger Design*. John Wiley & Son. 2003
8. Sert, Robert. *Process Heat Transfer*. Elsevier. 2007
9. V. Udeye\*, S. Mopoung, A. Vorasingha and P. Amornsakchai “*Ethanol heterogeneous azeotropic distillation design and construction*“. (International Journal of Physical Sciences Vol. 4 (3), pp. 101-106, March, 2009)
10. Siregar, Paniel. *Desain Termal Kondenser Satu Laluan Jenis Shell and Tube dengan Metode*
11. *Heat Balance*. Skripsi DTM FTUI. 1995
12. Winata, Adi Indra. *Perancangan Shell And Tube Heat Exchanger Tipe Fixed Head dengan Menggunakan Desain 3D Template*. Skripsi DTM FTUI. 2008.
13. Open university course T333 Priciples ans application of Heat Transfer
14. *Software Reprop*
15. *Tutorial Solidworks Simulation Flow 2009*



## Lampiran 1 (Standar Tube) [3] & [5]

Dimensional Data for Commercial Tubing

OD of Tubing (in.)	BWG Gauge	Thickness (in.)	Internal Flow Area (in. <sup>2</sup> )	Sq. Ft. External Surface per Ft. Length	Sq. Ft. Internal Surface per Ft. Length	Weight per Ft. Length, Steel (lb.)	ID Tubing (in.)	OD/ID
1/4	22	0.028	0.0295	0.0655	0.0508	0.066	0.194	1.289
1/4	24	0.022	0.0333	0.0655	0.0539	0.054	0.206	1.214
1/4	26	0.018	0.0360	0.0655	0.0560	0.045	0.214	1.168
3/8	18	0.049	0.0603	0.0982	0.0725	0.171	0.277	1.354
3/8	20	0.035	0.0731	0.0982	0.0798	0.127	0.305	1.233
3/8	22	0.028	0.0799	0.0982	0.0835	0.104	0.319	1.176
3/8	24	0.022	0.0860	0.0982	0.0867	0.083	0.331	1.133
1/2	16	0.065	0.1075	0.1309	0.0969	0.302	0.370	1.351
1/2	18	0.049	0.1269	0.1309	0.1052	0.236	0.402	1.244
1/2	20	0.035	0.1452	0.1309	0.1126	0.174	0.430	1.163
1/2	22	0.028	0.1548	0.1309	0.1162	0.141	0.444	1.126
5/8	12	0.109	0.1301	0.1636	0.1066	0.602	0.407	1.536
5/8	13	0.095	0.1486	0.1636	0.1139	0.537	0.435	1.437
5/8	14	0.083	0.1655	0.1636	0.1202	0.479	0.459	1.362
5/8	15	0.072	0.1817	0.1636	0.1259	0.425	0.481	1.299
5/8	16	0.065	0.1924	0.1636	0.1296	0.388	0.498	1.263
5/8	17	0.058	0.2035	0.1636	0.1333	0.350	0.509	1.228
5/8	18	0.049	0.2181	0.1636	0.1380	0.303	0.527	1.186
5/8	19	0.042	0.2298	0.1636	0.1416	0.262	0.541	1.155
5/8	20	0.035	0.2419	0.1636	0.1453	0.221	0.555	1.136
3/4	10	0.134	0.1825	0.1963	0.1262	0.884	0.482	1.556
3/4	11	0.120	0.2043	0.1963	0.1335	0.809	0.510	1.471
3/4	12	0.109	0.2223	0.1963	0.1393	0.748	0.532	1.410
3/4	13	0.095	0.2463	0.1963	0.1466	0.666	0.560	1.339
3/4	14	0.083	0.2679	0.1963	0.1529	0.592	0.584	1.284
3/4	15	0.072	0.2884	0.1963	0.1587	0.520	0.606	1.238
3/4	16	0.065	0.3019	0.1963	0.1623	0.476	0.620	1.210
3/4	17	0.058	0.3157	0.1963	0.1660	0.428	0.634	1.183
3/4	18	0.049	0.3339	0.1963	0.1707	0.367	0.652	1.150
3/4	20	0.035	0.3632	0.1963	0.1780	0.269	0.680	1.103
7/8	10	0.134	0.2892	0.2291	0.1589	1.061	0.607	1.441
7/8	11	0.120	0.3166	0.2291	0.1662	0.969	0.635	1.378
7/8	12	0.109	0.3390	0.2291	0.1720	0.891	0.657	1.332
7/8	13	0.095	0.3685	0.2291	0.1793	0.792	0.685	1.277
7/8	14	0.083	0.3948	0.2291	0.1856	0.704	0.709	1.234
7/8	16	0.065	0.4359	0.2291	0.1950	0.561	0.745	1.174
7/8	18	0.049	0.4742	0.2291	0.2034	0.432	0.777	1.126
7/8	20	0.035	0.5090	0.2291	0.2107	0.313	0.805	1.087
1	8	0.165	0.3526	0.2618	0.1754	1.462	0.670	1.493
1	10	0.134	0.4208	0.2618	0.1916	1.237	0.732	1.366
1	11	0.120	0.4536	0.2618	0.1990	1.129	0.760	1.316
1	12	0.109	0.4803	0.2618	0.2047	1.037	0.782	1.279
1	13	0.095	0.5153	0.2618	0.2121	0.918	0.810	1.235
1	14	0.083	0.5463	0.2618	0.2183	0.813	0.834	1.199
1	15	0.072	0.5755	0.2618	0.2241	0.714	0.856	1.167
1	16	0.065	0.5945	0.2618	0.2278	0.649	0.870	1.119



## Lampiran 2 (Standar TEMA) [5]

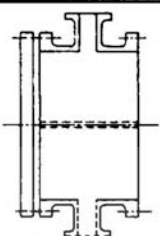
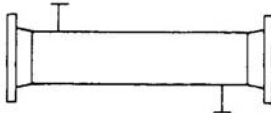
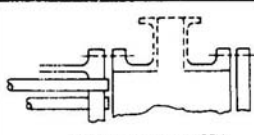
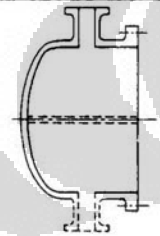
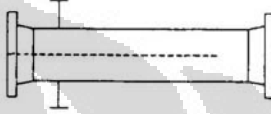
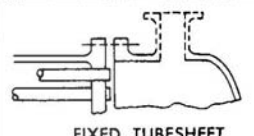
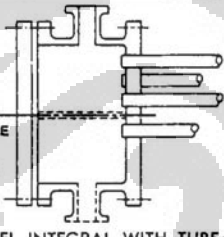
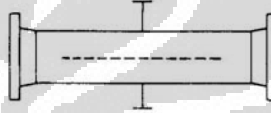
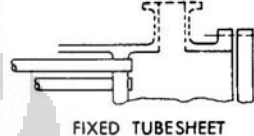
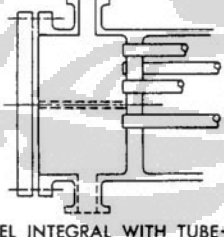

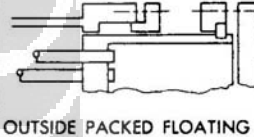
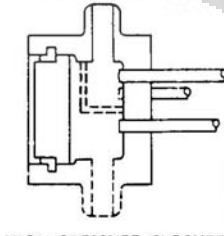
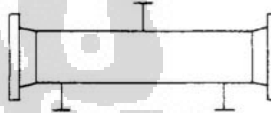
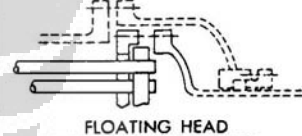

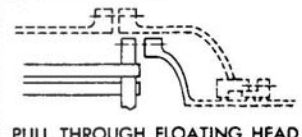

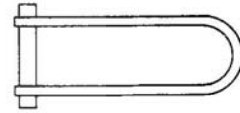
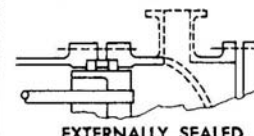
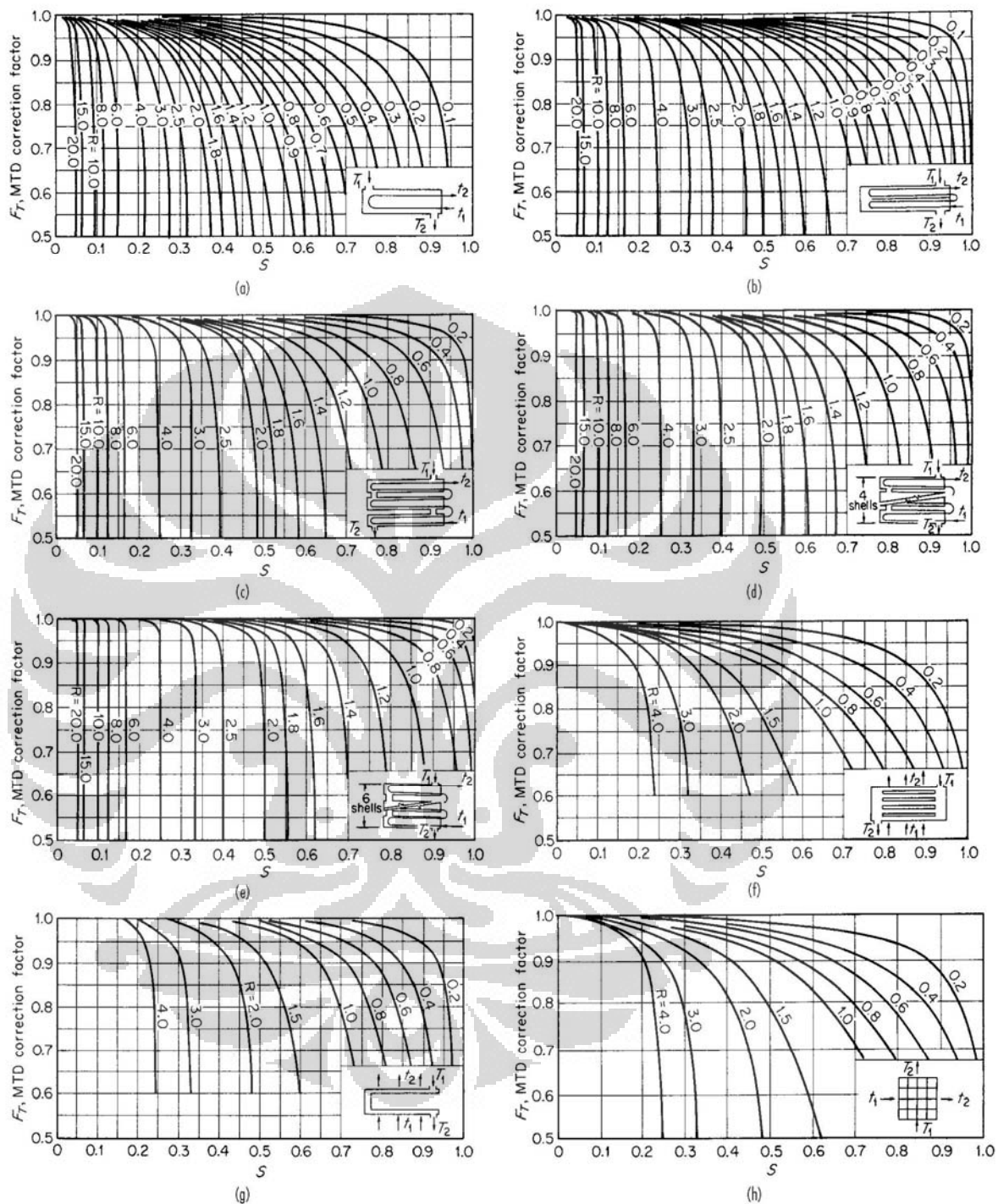
FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
<b>A</b>	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	<b>E</b>	 ONE PASS SHELL	<b>L</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
<b>B</b>	 BONNET (INTEGRAL COVER)	<b>F</b>	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	<b>M</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
<b>C</b>	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>G</b>	 SPLIT FLOW	<b>N</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
<b>N</b>	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>H</b>	 DOUBLE SPLIT FLOW	<b>P</b>	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
<b>D</b>	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	<b>J</b>	 DIVIDED FLOW	<b>S</b>	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		<b>K</b>	 KETTLE TYPE REBOILER	<b>T</b>	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		<b>X</b>	 CROSS FLOW	<b>U</b>	 U-TUBE BUNDLE
				<b>W</b>	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

FIG. 11-35 TEMA-type designations for shell-and-tube heat exchangers. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 6th ed., 1978.)

## Lampiran 3 (Koreksi Faktor F) [5]



**FIG. 11-4** LMTD correction factors for heat exchangers. In all charts,  $R = (T_1 - T_2)/(t_2 - t_1)$  and  $S = (t_2 - t_1)/(T_1 - t_1)$ . (a) One shell pass, two or more tube passes. (b) Two shell passes, four or more tube passes. (c) Three shell passes, six or more tube passes. (d) Four shell passes, eight or more tube passes. (e) Six shell passes, twelve or more tube passes. (f) Cross-flow, one shell pass, one or more parallel rows of tubes. (g) Cross-flow, two passes, two rows of tubes; for more than two passes, use  $F_T = 1.0$ . (h) Cross-flow, one shell pass, one tube pass, both fluids unmixed. (i) Cross-flow (drip type), two horizontal passes with U-bend connections (trombone type). (j) Cross-flow (drip type), helical coils with two turns.

## Lampiran 4 (Unit Conversion) [4]

Physical quantity	Given in Gives	Multiplied by Divided by	Gives Given in	Approximate or useful relationship
Length	ft	0.3048	m	$3\frac{1}{4} \text{ ft} \approx 1 \text{ m}$
	in	25.4 (exact)	mm	$1 \text{ in} \approx 25 \text{ mm}$
	mil	0.0254	mm	
	yard	0.9144	m	
	mile (mi)	1609.3	m	$1 \text{ mi} \approx 1.6 \text{ km}$
	km	0.621388	mi	
Area	ft <sup>2</sup>	0.092903	m <sup>2</sup>	$100 \text{ ft}^2 \approx 9 \text{ m}^2$
	in <sup>2</sup>	645.16	mm <sup>2</sup>	$1 \text{ in}^2 \approx 650 \text{ mm}^2$
	acre	4 047.0	m <sup>2</sup>	
Volume	ft <sup>3</sup>	0.028317	m <sup>3</sup>	$35 \text{ ft}^3 \approx 1 \text{ m}^3$
	U.S. gal	0.003785	m <sup>3</sup>	$260 \text{ gal} \approx 1 \text{ m}^3$
	U.S. gal	3.785	liter (L)	$1 \text{ gal} \approx 3\frac{3}{4} \text{ L}$
	L (liter)	0.2642	U.S. gal	$1 \text{ L} \approx 0.26 \text{ gal}$
	Brit. gal	0.004546	m <sup>3</sup>	
	U.S. gal	0.13368	ft <sup>3</sup>	
	barrel (U.S. pet.)	0.15898	m <sup>3</sup>	
	barrel (U.S. pet.)	42	U.S. gal	
Velocity	ft/s	0.3048	m/s	$10 \text{ ft/s} \approx 3 \text{ m/s}$
	m/s	3.2808	ft/s	
	ft/min	0.00508	m/s	$100 \text{ ft/min} \approx 0.5 \text{ m/s}$
	mi/h	1.6093	km/h	$30 \text{ mi/h} \approx 48 \text{ km/h}$
	km/h	0.6214	mi/h	$50 \text{ km/h} \approx 31 \text{ mi/h}$
	knots	1.852	km/h	



Table 3 Unit conversion (Continued)

Physical quantity	Given in Gives	Multiplied by Divided by	Gives Given in	Approximate or useful relationship
Mass	lb <sub>m</sub>	0.45359	kg	1 lb, r.45 kg
	kg	2.2046	lb <sub>m</sub>	1 kg- 2.2 lb.
	metric ton	2 204.6	lb <sub>m</sub>	metric ton = 10 <sup>3</sup> kg
	ton (2 000 lb.)	907.18	kg	
Force	lb <sub>f</sub>	4.44822	N = kg m/s <sup>2</sup>	
	lb <sub>f</sub>	0.45359	kg <sub>f</sub>	1 N ≈ 0.1 kg <sub>f</sub>
	kg <sub>f</sub>	2.2046	lb <sub>f</sub>	≈ 0.22 lb <sub>f</sub>
	kg <sub>f</sub>	9.80665	N	
	dyne	0.00001 (exact)	N	
Amount of substance	lb <sub>m</sub> -mol	453.6	kmol	
	g-mol	1.000	mol	
	kg-mol	1.000	kmol	
	mol	1 000	kmol	
Mass flow rate	lb <sub>m</sub> /h	0.0001260	kg/s	10 <sup>3</sup> lb/h ≈ .13 kg/s
	kg/s	7 936.51	lb <sub>m</sub> /h	
	lb <sub>m</sub> /s	0.4536	kg/s	
	lb <sub>m</sub> /min	0.00756	kg/s	
Volume flow rate	U.S. gal/min	6.309 x 10 <sup>-5</sup>	m <sup>3</sup> /s	
	U.S. bbl/day	0.15899	m <sup>3</sup> /day	
	U.S. bbl/day	1.84 x 10 <sup>-6</sup>	m <sup>3</sup> /s	
	ft <sup>3</sup> /s	0.02832	m <sup>3</sup> /s	
	ft <sup>3</sup> /min	0.000472	m <sup>3</sup> /s	
Mass velocity (mass flux)	lb <sub>m</sub> /h ft <sup>2</sup>	1.356 x 10 <sup>-3</sup>	kg/s m <sup>2</sup>	
	kg/s m <sup>2</sup>	737.5	lb <sub>m</sub> /h ft <sup>2</sup>	
Energy (work) (heat)	Btu <sup>b</sup>	1 055.056	J = N m = W s	1 Btu ≈ 1 000 J
	Btu	0.2520	kcal	1 kcal ≈ 4 Btu
	Btu	778.28	ft lb <sub>f</sub>	
	kcal	4 186.8	J	1 kcal ≈ 4 000 J
	ft lb <sub>f</sub>	1.3558	J	
Power	W h	3 600	J	
	Btu/h	0.2931	W = J/s	10 <sup>6</sup> Btu/h ≈ 300 kW
	W	3.4118	Btu/h	
	kcal/h	1.163	W	
	ft lb <sub>f</sub> /s	1.3558	W	1 000 kW ≈ 3.5 x 10 <sup>6</sup> Btu/h
	hp (metric)	735.5	W	
	Btu/h	0.2520	kcal/h	
tons refig.	3 5 16.9	W		
Heat flux	Btu/h ft <sup>2</sup>	3.1546	W/m <sup>2</sup>	1 000 Btu/h ft <sup>2</sup> ≈ 3.2 kW/m <sup>2</sup>
	W/m <sup>2</sup>	0.317	Btu/h ft <sup>2</sup>	
	kcal/cm <sup>2</sup> s	41.868	W/m <sup>2</sup>	
Heat transfer coefficient	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	5.6784	W/m <sup>2</sup> K	1 000 Btu/h ft <sup>2</sup> °F ≈ 5 600 W/m <sup>2</sup> K
	W/m <sup>2</sup> K	0.1761	Btu/h ft <sup>2</sup> °F	
	kcal/cm <sup>2</sup> s °C	41.868	W/m <sup>2</sup> K	
Heat transfer resistance	(Btu/h ft <sup>2</sup> °F) <sup>-1</sup>	0.1761	(W/m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>	0.001 (Btu/h ft <sup>2</sup> °F) <sup>-1</sup> ≈ 0.000 18 (W/m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>
	(W/m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>	5.6784	(Btu/h ft <sup>2</sup> °F) <sup>-1</sup>	
Pressure	lb <sub>f</sub> /in <sup>2</sup> (psi)	6.8948	kN/m <sup>2</sup> = kPa	1 psi ≈ 7 kPa
	kPa	0.1450	psi	14.5 psi ≈ 100 kPa
	bar	100	kPa	

(See footnotes on page xxix.)

Table 3 Unit conversion (Continued)

Physical quantity	Given in Gives	Multiplied by Divided by	Gives Given in	Approximate or useful relationship
Pressure (Continued)	lb <sub>f</sub> /ft <sup>2</sup>	0.0479	kPa	
	mm Hg (torr)	0.1333	kPa	1 000 kPa = 1 MPa ≈ 150 psi
	in Hg	3.3866	kPa	
	mm H <sub>2</sub> O	9.8067	Pa	
	in H <sub>2</sub> O	249.09	Pa	1 in H <sub>2</sub> O ≈ .25 kPa
	at (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	98.0665	kPa	
	atm (normal)	101.325	kPa	atm = 760 mmHg
Mass flux	lb <sub>m</sub> /ft <sup>2</sup> s	4.8824	kg/m <sup>2</sup> s	
	lb <sub>m</sub> /ft <sup>2</sup> h	0.001356	kg/m <sup>2</sup> s	
Physical and Transport Properties				
Thermal conductivity	Btu/ft h °F	1.7308	W/m K	steel ≈ 50 W/m K
	W/m K	0.5778	Btu/ft h °F	water (20°C) ≈ 0.6 W/m K
	kcal/m h °C	1.163	W/m K	air (STP) ≈ 24 mW/m K
Density	lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>	16.0185	kg/m <sup>3</sup>	
	kg/m <sup>3</sup>	0.06243	lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>	62.4 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> ≈ 1 000 kg/m <sup>3</sup>
	lb <sub>m</sub> /U.S. gal	119.7	kg/m <sup>3</sup>	
Specific heat capacity	Btu/lb <sub>m</sub> °F	4 186.8	J/kg K	1 Btu/lb <sub>m</sub> °F ≈ 4.2 kJ/kg K
	kcal/kg °C	4 186.8	J/kg K	
Enthalpy	Btu/lb <sub>m</sub>	2 326	J/kg	
	kcal/kg <sub>m</sub>	4 186.8	J/kg	
Dynamic (absolute) viscosity	centipoise (cP)	0.001	kg/m s	kg/m s = N s/m <sup>2</sup> = Pa s
	poise (P)	0.1	Pa s	
	cP	1.000	mPa s	
	cP	1 000	μPa s	water (100°C), 0.31 cP
	lb <sub>m</sub> /ft h	0.0004 134	Pa s	
	lb <sub>m</sub> /ft h	0.4134	cP	
	cP	2.4189	lb <sub>m</sub> /ft h	air (100°C), 0.021 cP
	lb <sub>m</sub> /ft s	1.4482	Pa s	
Kinematic viscosity	stoke (St), cm <sup>2</sup> /s	0.0001	m <sup>2</sup> /s	
	centistoke (cSt)	10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s	
	ft <sup>2</sup> /s	0.092903	m <sup>2</sup> /s	
Diffusivity	ft <sup>2</sup> /s	0.092903	m <sup>2</sup> /s	
Thermal diffusivity	m <sup>2</sup> /h	0.0002778	m <sup>2</sup> /s	
	ft <sup>2</sup> /s	0.092903	m <sup>2</sup> /s	
	ft <sup>2</sup> /h	25.81 × 10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s	
Surface tension	dyne/cm	0.001	N/m	
	dyne/cm	6.852 × 10 <sup>-5</sup>	lb <sub>f</sub> /ft	
	lb <sub>f</sub> /ft	14.954	N/m	
Temperature relations:	°C = $\frac{5}{9} [°F - 32]$	°C = $(°F + 40) \frac{5}{9} - 40$	ΔT(°C) = $\frac{5}{9} \Delta T(°F)$	K = °C + 273.15
	°F = $\frac{9}{5} (°C) + 32$	°F = $(°C + 40) \frac{9}{5} - 40$	ΔT(°F) = $\frac{9}{5} \Delta T(°C)$	R = °F + 459.67
Miscellaneous:	Acceleration of gravity (standard):	g = 9.806 65 m/s <sup>2</sup>		
	Gas constant:	R = 8 314.3 m N/K kmol		
	Stefan-Boltzmann constant:	5.669 7 × 10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> 1.714 × 10 <sup>-9</sup> Btu/ft <sup>2</sup> h R <sup>4</sup>		

<sup>a</sup> Even though the abbreviations s and h were introduced only with the SI, they are used here throughout for consistency.

<sup>b</sup> Note: the calorie and Btu are based on the International Standard Table values. The thermochemical calorie equals 4.184 J (exact) and is used in some older texts.

## Lampiran 5 (Tabel Fouling) [8]

3/96 HEAT EXCHANGERS

**Table 3.3** (Continued)

**Oil refinery streams**

• Crude oil <sup>b</sup>	
– Temperature less than 250°F	0.002–0.003
– Temperature between 250°F and 350°F	0.003–0.004
– Temperature between 350°F and 450°F	0.004–0.005
– Temperature greater than 450°F	0.005–0.006
• Liquid product streams	
– Gasoline	0.001–0.002
– Naphtha and light distillates	0.001–0.003
– Kerosene	0.001–0.003
– Light gas oil	0.002–0.003
– Heavy gas oil	0.003–0.005
– Heavy fuel oils	0.003–0.007
– Asphalt and residuum	0.007–0.01
• Other oil streams	
– Refined lube oil	0.001
– Cycle oil	0.002–0.004
– Coker gas oil	0.003–0.005
– Absorption oils	0.002

<sup>a</sup>Assumes water velocity greater than 3 ft/s. Lower values of ranges correspond to water temperature below about 120°F and hot stream temperature below about 250°F.

<sup>b</sup>Assumes desalting at approximately 250°F and a minimum oil velocity of 2 ft/s.

Source: Refs. [7,8] and [www.engineeringpage.com](http://www.engineeringpage.com).

**Table 3.3** Typical Values of Fouling Factors ( $h \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}$ )

<b>Cooling water streams<sup>a</sup></b>	
• Seawater	0.0005–0.001
• Brackish water	0.001–0.002
• Treated cooling tower water	0.001–0.002
• Municipal water supply	0.001–0.002
• River water	0.001–0.003
• Engine jacket water	0.001
• Distilled or demineralized water	0.0005
• Treated boiler feedwater	0.0005–0.001
• Boiler blowdown	0.002
<b>Service gas streams</b>	
• Ambient air (in air-cooled units)	0–0.0005
• Compressed air	0.001–0.002
• Steam (clean)	0–0.0005
• Steam (with oil traces)	0.001–0.002
• Refrigerants (with oil traces)	0.002
• Ammonia	0.001
• Carbon dioxide	0.002
• Flue gases	0.005–0.01
<b>Service liquid streams</b>	
• Fuel oil	0.002–0.005
• Lubrication oil	0.001
• Transformer oil	0.001
• Hydraulic fluid	0.001
• Organic heat-transfer fluids	0.001–0.002
• Refrigerants	0.001
• Brine	0.003
<b>Process gas streams</b>	
• Hydrogen	0.001
• Organic solvent vapors	0.001
• Acid gases	0.002–0.003
• Stable distillation overhead products	0.001
<b>Process liquid streams</b>	
• Amine solutions	0.002
• Glycol solutions	0.002
• Caustic solutions	0.002
• Alcohol solutions	0.002
• Ammonia	0.001
• Vegetable oils	0.003
• Stable distillation side-draw and bottom products	0.001–0.002
<b>Natural gas processing streams</b>	
• Natural gas	0.001
• Overhead vapor products	0.001–0.002
• C <sub>3</sub> or C <sub>4</sub> vapor (condensing)	0.001
• Lean oil	0.002
• Rich oil	0.001
• LNG and LPG	0.001

(Continued)

## Lampiran 6 (Perkiraan Koefisien Menyeluruh U)

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	$U$ ( $W/m^2\text{ }^\circ C$ )
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900

## Lampiran 7 (Properties dengan RefProp)

**REFPROP (ethanol) - NIST Reference Fluid Properties**  
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions

**3: ethanol: Specified state points**

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Therm. Cond. (mW/m-K)	Viscosity (μPa-s)	Prandtl
1	352.00	0.10400	735.81	416.31	1.6903	153.05	436.88	9.1106
2								

**REFPROP (water) - NIST Reference Fluid Properties**  
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions

**4: water: Specified state points**

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Cp (kJ/kg-K)	Therm. Cond. (mW/m-K)	Viscosity (μPa-s)	Prandtl
1	295.00	0.10133	997.81	91.747	0.32278	4.1829	601.74	957.84	6.6582
2	293.20	0.10133	998.20	84.217	0.29718	4.1840	598.55	1000.4	6.9929
3	300.00	0.10133	996.56	112.65	0.39306	4.1806	610.32	853.83	5.8486
4									

**REFPROP (ethanol) - NIST Reference Fluid Properties - [5: ethanol: Specified state points]**  
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Cp (kJ/kg-K)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)	Viscosity (μPa-s)	Liquid Viscosity (μPa-s)	Vapor Viscosity (μPa-s)	Prandtl	Liquid Prandtl	Vapor Prandtl
1	376.20	0.10400	1310.1	Superheated	1310.1	1.8940	Superheated	1.8940	11.136	Superheated	11.136	0.87373	Superheated	0.87373
2	353.00	0.10400	1267.0	Superheated	1267.0	1.8140	Superheated	1.8140	10.428	Superheated	10.428	0.85451	Superheated	0.85451
3	352.00	0.10400	416.31	416.31	Subcooled	3.1917	3.1917	Subcooled	436.88	436.88	Subcooled	9.1106	9.1106	Subcooled

**REFPROP (water) - NIST Reference Fluid Properties - [6: water: Specified state points]**  
File Edit Options Substance Calculate Plot Window Help Cautions

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Cp (kJ/kg-K)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)	Viscosity (μPa-s)	Liquid Viscosity (μPa-s)	Vapor Viscosity (μPa-s)	Prandtl	Liquid Prandtl	Vapor Prandtl
1	293.00	0.10130	83.380	83.380	Subcooled	4.1842	4.1842	Subcooled	1005.3	1005.3	Subcooled	7.0317	7.0317	Subcooled
2	298.40	0.10130	105.97	105.97	Subcooled	4.1812	4.1812	Subcooled	885.04	885.04	Subcooled	6.0902	6.0902	Subcooled
3	295.70	0.10130	94.675	94.675	Subcooled	4.1825	4.1825	Subcooled	942.07	942.07	Subcooled	6.5347	6.5347	Subcooled
4														

# Lampiran 8 (Hasil Simulasi Keseluruhan)

## FULL REPORT

### System Info

Product	Flow Simulation 2009 0.0. Build: 706
Computer name	PRAMESWA-732555
User name	Ceger
Processors	Intel(R) Core(TM)2 CPU T5500 @ 1.66GHz ( 2 processors)
Memory	2038 MB / 2047 MB
Operating system	Microsoft Windows XP Professional Service Pack 2 (Build 2600)
CAD version	SolidWorks 2009 SP365425488
CPU speed	1666 MHz

### General Info

Model	E:\Skripsi\gambar\desain 7x\new desain\shell assembly.SLDASM
Project name	humidity lg
Project path	E:\Skripsi\gambar\desain 7x\new desain\3
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

## INPUT DATA

### Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On  
 Result resolution level: 3  
 Advanced narrow channel refinement: Off  
 Refinement in solid region: Off

### Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic  
 Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

### Computational Domain

#### Size

X min	-0.0318135 m
X max	0 m
Y min	-0.0418335 m
Y max	0.0418335 m
Z min	-0.06048 m
Z max	0.42048 m

### **Boundary Conditions**

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Symmetry
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

### **Physical Features**

Heat conduction in solids: On  
 Heat conduction in solids only: Off  
 Radiation: Off  
 Time dependent: Off  
 Gravitational effects: On  
 Flow type: Laminar and turbulent  
 High Mach number flow: Off  
 Relative humidity: 70 %  
 Default roughness: 0 micrometer

### **Gravitational Settings**

X component	0 m/s <sup>2</sup>
Y component	0 m/s <sup>2</sup>
Z component	9.81 m/s <sup>2</sup>

Default outer wall condition  
 Heat transfer coefficient: 5 W/m<sup>2</sup>/K  
 External fluid temperature: 293.2 K

### **Initial Conditions**

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101400 Pa Temperature: 376.2 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Solid parameters	Default material: Insulator Initial solid temperature: 293.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m

### **Material Settings**

#### **Fluids**

Ethanol  
Water

#### **Solids**

Insulator  
Plain Carbon Steel  
Copper



## Fluid Subdomains

water

Thermodynamic Parameters	Static Pressure: 101325 Pa Pressure potential: On Temperature: 293.2 K
Velocity Parameters	Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters type:	Turbulence intensity and length
Intensity	2 %
Length	0.000635 m
Flow type	Laminar and Turbulent
Cavitation	Off
Default fluid type	Liquid
Fluids	Water
Faces	Face<2>@Lid Inlet Water-1
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

## Solid Materials

Plain Carbon Steel Solid Material 1

Components	rear end-1 baffle front-5 baffle end-3 baffle end-4 baffle end-5 front end-3 shell-1 baffle front-1 baffle front-2 baffle front-3 baffle end-1 baffle end-2 baffle front-4
Solid substance	Plain Carbon Steel

Copper Solid Material 1

Components	tubess-7 tubess-12 tubess-34 tubess-13 tubess-8 tubess-9 tubess-26 tubess-27 tubess-28 tubess-29 tubess-1 tubess-2 tubess-3 tubess-30 tubess-31 tubess-4 tubess-5 tubess-10
------------	--

	tubess-32 tubess-6 tubess-11 tubess-33
Solid substance	Copper

## Boundary Conditions

### Inlet Mass Flow 1

Type	Inlet Mass Flow
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate normal to face: 0.002 kg/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 376.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

### Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101400 Pa Temperature: 376.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

### Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101400 Pa Temperature: 376.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

### Inlet Mass Flow 2

Type	Inlet Mass Flow
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate normal to face: 0.1 kg/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0

Thermodynamic parameters	Temperature: 293.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

#### Environment Pressure 3

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325 Pa Temperature: 293.2 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.000635 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

## Goals

### *Surface Goals*

#### SG Av Heat Flux 1

Type	Surface Goal
Goal type	Heat Flux
Calculate	Average value
Faces	Face<2>@Lid Outlet Ethanol-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

#### SG Av Heat Flux 2

Type	Surface Goal
Goal type	Heat Flux
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Lid Outlet Water-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

## Calculation Control Options

### *Finish Conditions*

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 0.5

### *Solver Refinement*

Refinement: Disabled

### *Results Saving*

Save before refinement	On
------------------------	----

### ***Advanced Control Options***

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

## **RESULTS**

### **General Info**

Iterations: 307

CPU time: 7568 s

### ***Log***

Mesh generation started		01:54:00 , Dec 17
Mesh generation normally finished		01:56:43 , Dec 17
Preparing data for calculation		01:56:50 , Dec 17
Calculation started	0	01:57:27 , Dec 17
Calculation has converged since the following criteria are satisfied:	306	04:32:30 , Dec 17
Max. travel is reached	306	
Calculation finished	307	04:33:10 , Dec 17

Warnings: A vortex crosses the pressure opening 3 ; Inlet flow/outlet flow=0.021293      Boundary Condition : Environment Pressure

Invalid goals      Goal name: SG Av Heat Flux 1  
                             Goal name: SG Av Heat Flux 2

### **Calculation Mesh**

#### ***Basic Mesh Dimensions***

Number of cells in X	3
Number of cells in Y	8
Number of cells in Z	52

#### ***Number Of Cells***

Total cells	56345
Fluid cells	7272
Solid cells	2891
Partial cells	46182
Irregular cells	0
Trimmed cells	320

Maximum refinement level: 4

### Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101187	108154
Temperature [K]	293.2	376.201
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1.48962	997.562
Velocity [m/s]	0	28.7359
X-velocity [m/s]	-3.07243	9.55354
Y-velocity [m/s]	-8.47267	8.23094
Z-velocity [m/s]	-26.6889	28.7349
Mach Number [ ]	0	0.105546
Heat Transfer Coefficient [W/m <sup>2</sup> /K]	0.00212711	21234.5
Shear Stress [Pa]	2.65074e-15	10.956
Surface Heat Flux [W/m <sup>2</sup> ]	-44311.3	22347.7
Steam Mass Fraction [ ]	0	0.0063982
Ethanol Mass Fraction [ ]	0	0.993602
Steam Volume Fraction [ ]	0	0.0162084
Ethanol Volume Fraction [ ]	0	0.983796
Fluid Temperature [K]	293.2	376.201
Solid Temperature [K]	293.202	349.203
Melting Temperature Exceed [K]	293.202	349.203

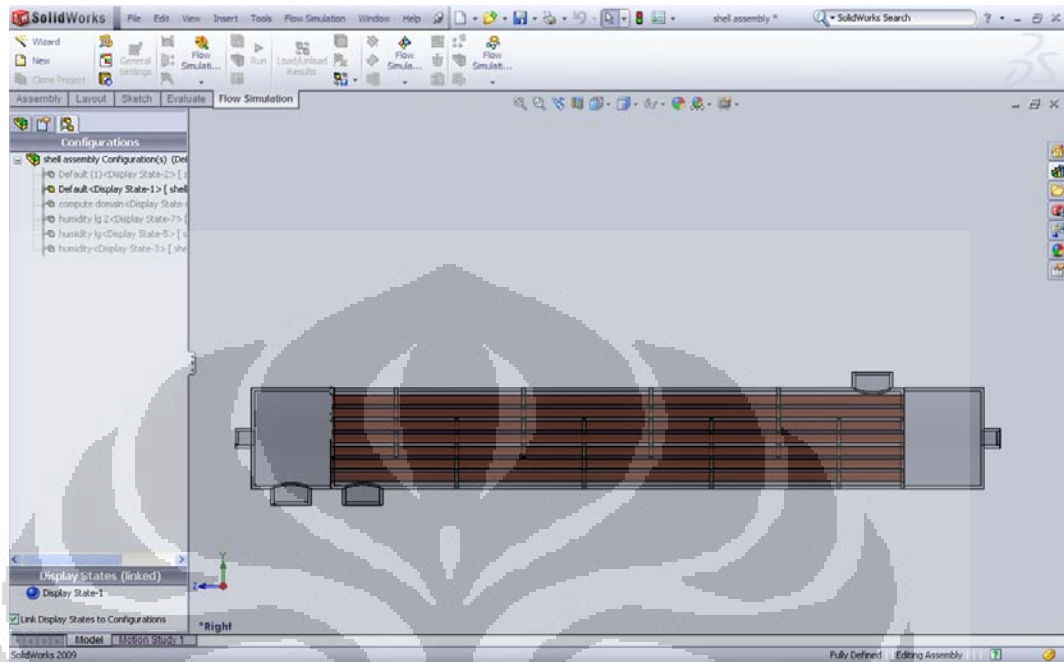
## Lampiran 9 (Prosedur CAD)

Pada simulasi ini semua gambar part harus dibuat dalam file assembly, sehingga untuk menambah part cukup dengan menekan *insert new part*.

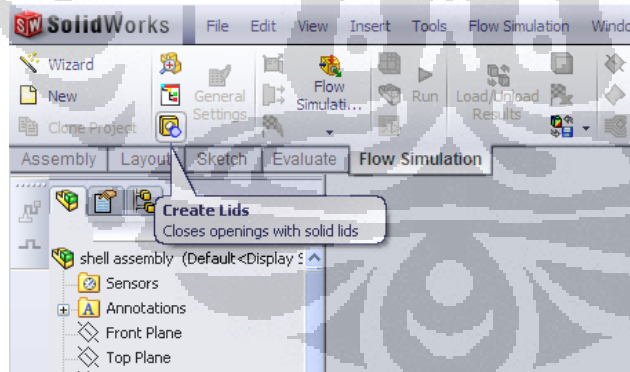
- **Shell and Tube Assembly**
  1. Klik Insert Component dan pilih tube.part yang telah dibuat
  2. Assembly menjadi Shell and Tube dengan perintah Mate
- **Tube :**
  1. Pilih face untuk memulai sketch
  2. Sketch lingkaran sesuai ukuran
  3. Klik Extrude sesuai ukuran
  4. Klik Shell dan pilih permukaan depan dan belakang Tube
- **Shell**
  1. Pilih face untuk memulai sketch
  2. Buat lingkaran sesuai ukuran dan Klik Extrude sesuai ukuran
  3. Buat plane sejajar di permukaan atas shell
  4. Sketch lingkaran sesuai ukuran
  5. Klik Extrude direction 1 sesuai ukuran dan direction 2 up to next
  6. Buat plane sejajar di permukaan bawah shell
  7. Sketch lingkaran sesuai ukuran
  8. Klik Extrude direction 1 sesuai ukuran dan direction 2 up to next
  9. Klik fitur Shell dan pilih permukaan yang ingin dilubangi
  10. Buat lingkaran untuk menutup shell dengan fitur extrude
  11. Buat lingkaran sebesar diameter luar tube dan lubangi dengan fitur Cut Extrude
  12. Klik fitur Linear Pattern dan perbanyak lubang tube sesuai kebutuhan
- **Baffle**
  1. Buat garis Bantu ditengah lingkaran sepanjang Baffle yang diperlukan
  2. Sketch garis dan busur untuk membentuk Baffle
  3. Extrude Sketch yang telah dibuat
  4. Klik fitur Linear Pattern untuk memperbanyak baffle
  5. Lakukan hal yang sama pada baffle sisi satunya

## Lampiran 10 (Prosedur Simulasi)

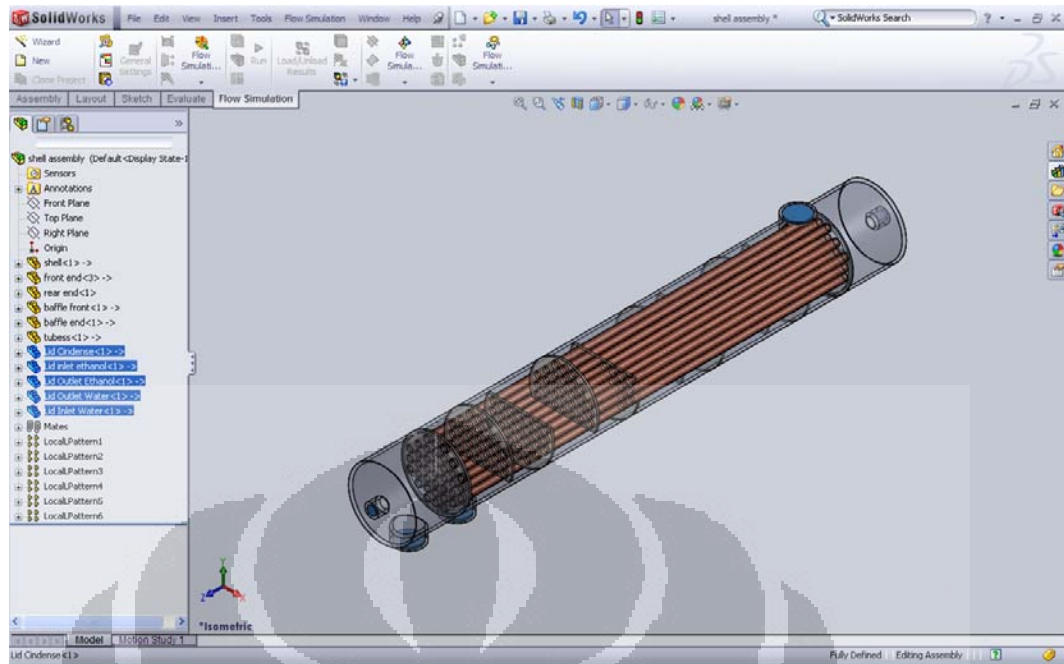
### 1. Open model yang telah dibuat



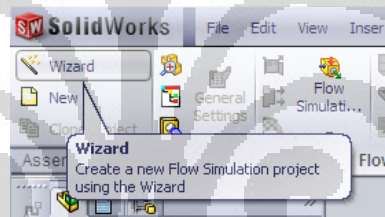
### 2. Tutup semua lubang dengan fitur lid yang nantinya akan digunakan sebagai inlet dan outlet



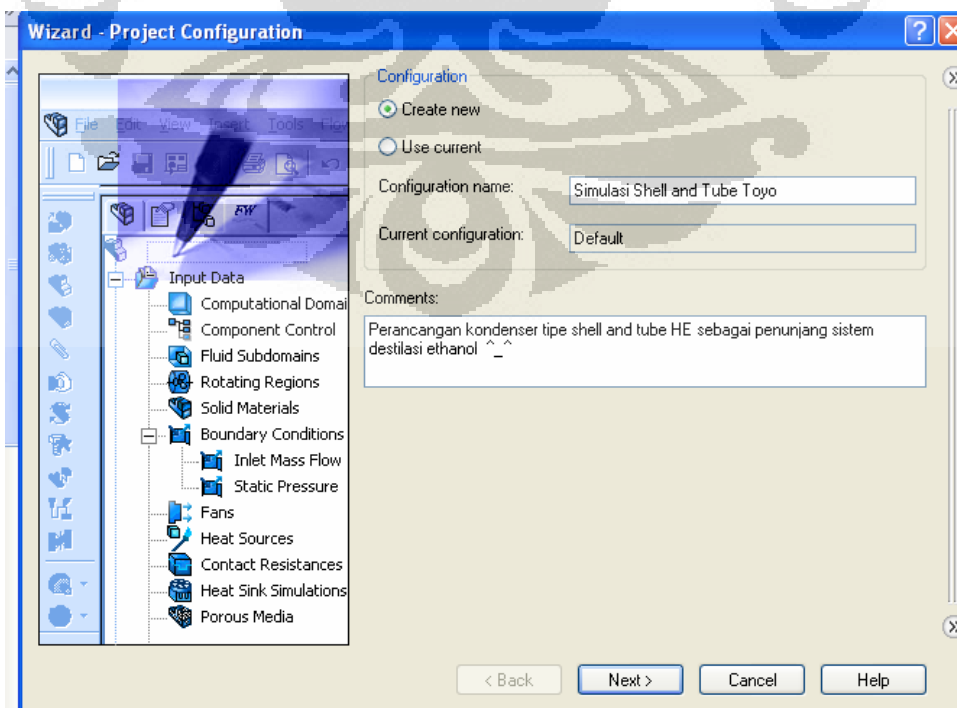
Kemudian pilih permukaan yang berlubang dan lid akan otomatis terbentuk



3. Setelah lid telah dibuat, saatnya memulai langkah selanjutnya untuk melakukan simulasi.

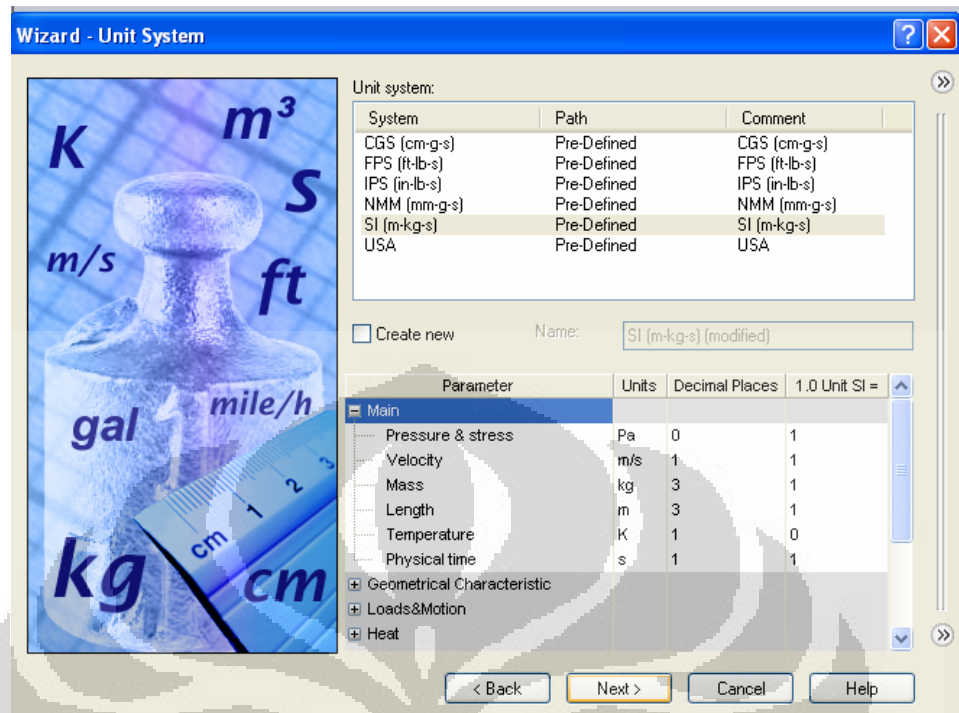


4. Tekan wizard dan akan muncul gambar seperti dibawah

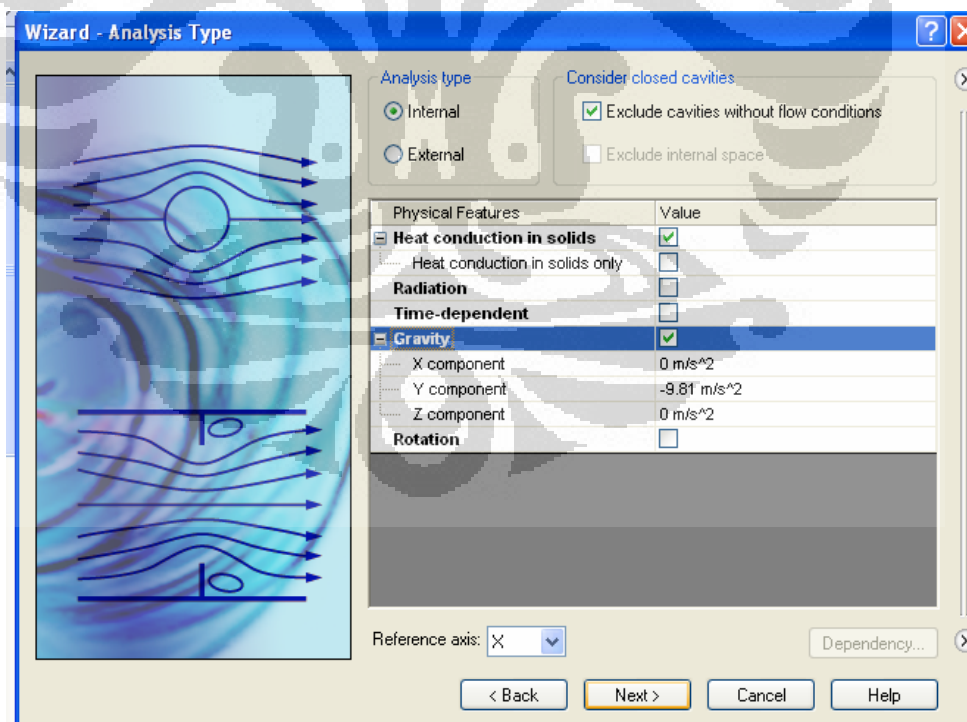




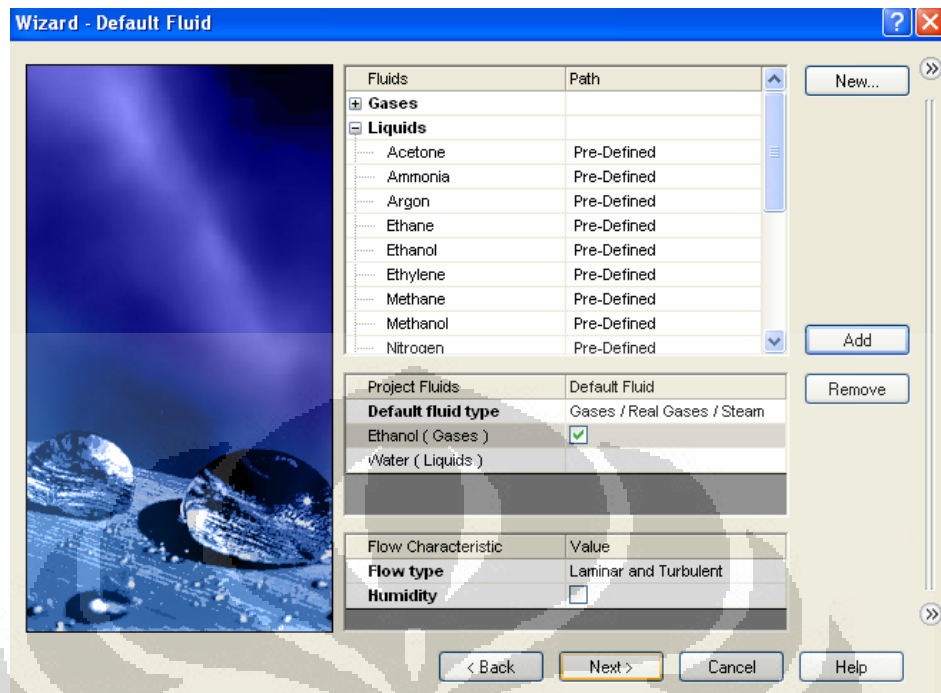
5. Klik next dan tentukan system unit yang akan digunakan



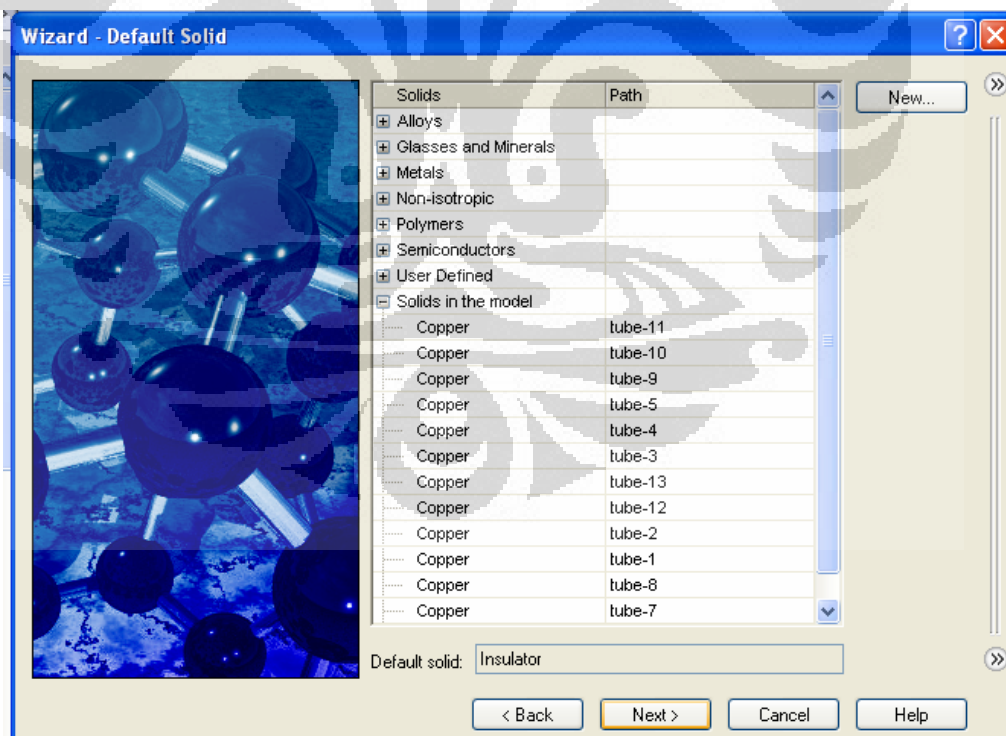
6. Klik next dan tentukan tipe aliran yang akan dianalisa (gravitasi -Z)



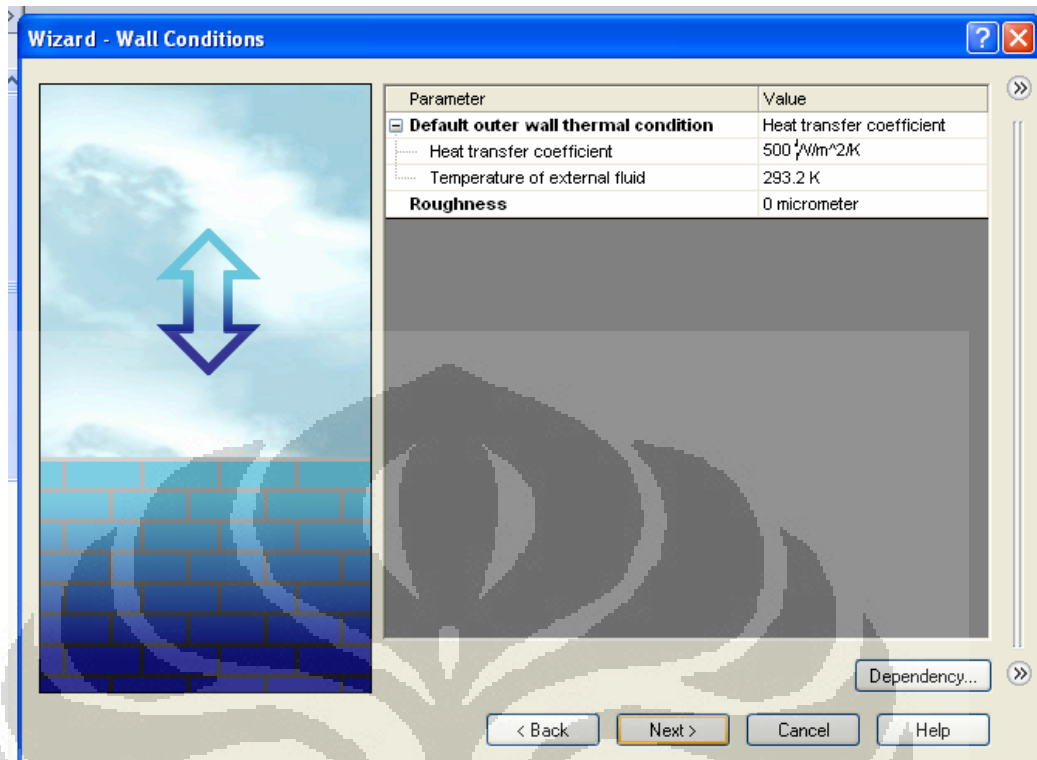
7. Klik next dan tentukan jenis fluida yang akan digunakan



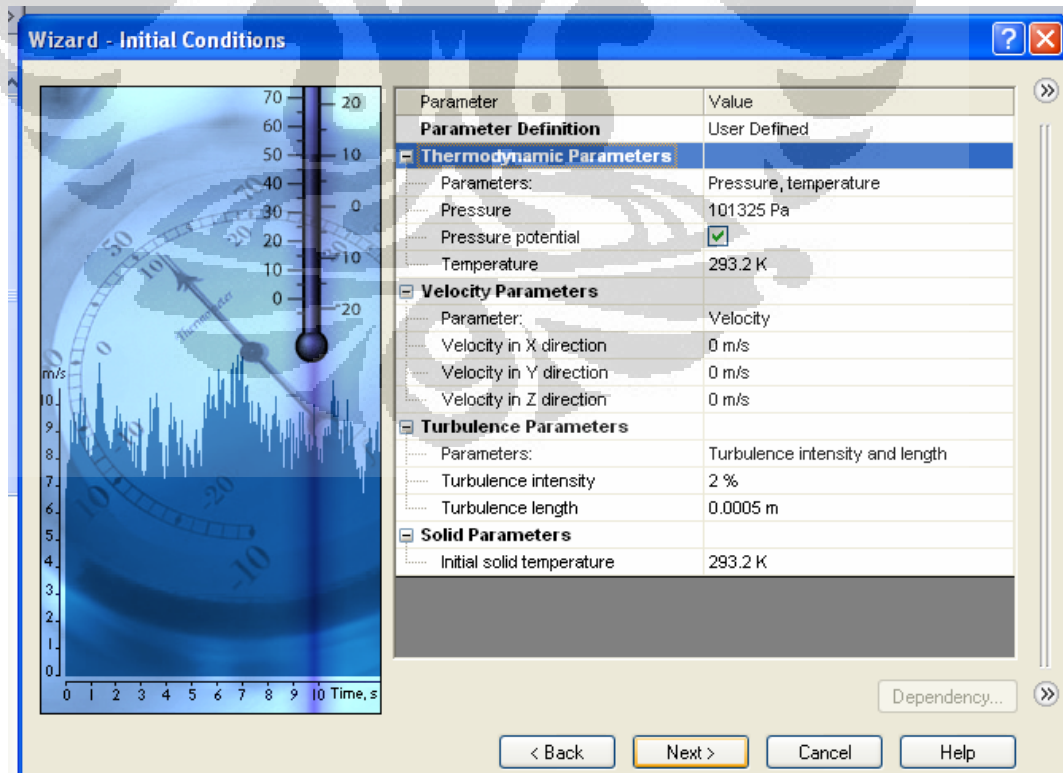
8. Klik next dan tentukan default material untuk solid



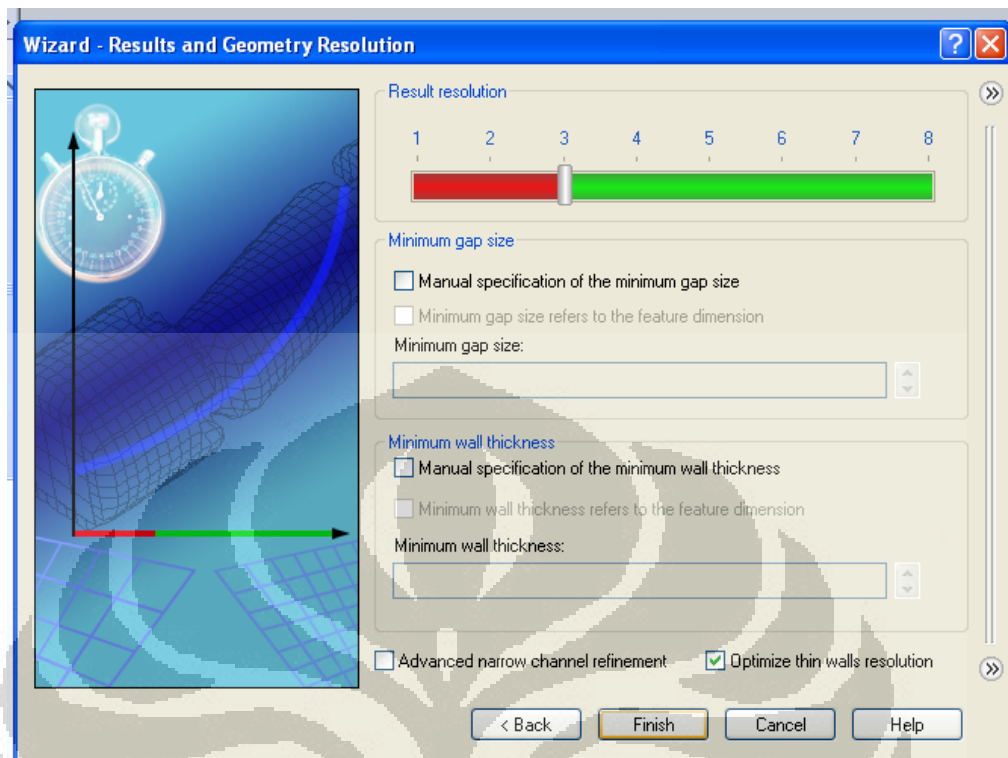
9. Klik next dan tentukan wall condition ( $h=5 \text{ w/m.K}$ )



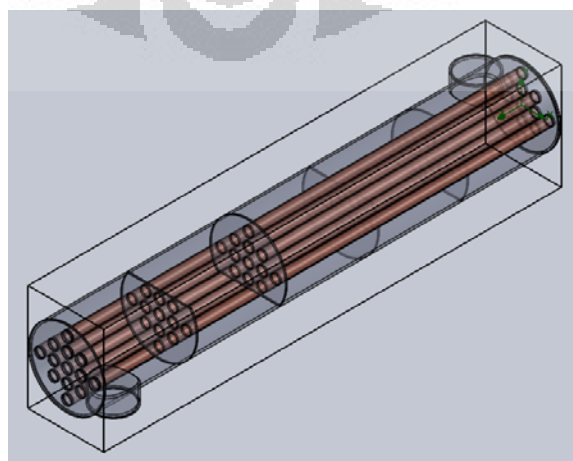
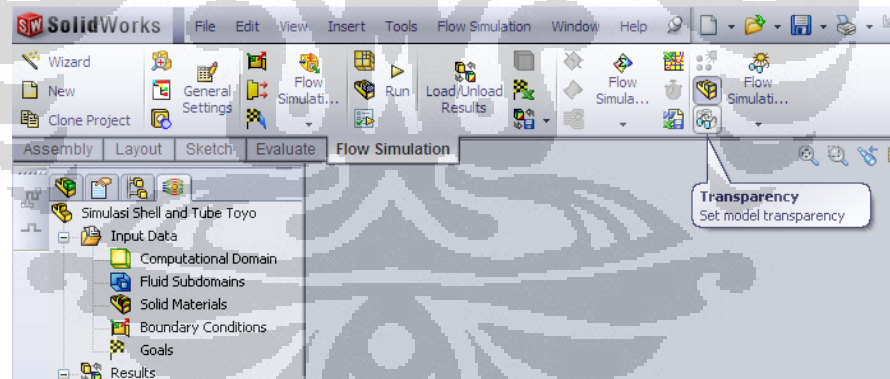
10. Klik *next* dan tentukan *Initial Condition*



11. Klik next dan tentukan mesh sesuai kebutuhan simulasi, kemudian finish

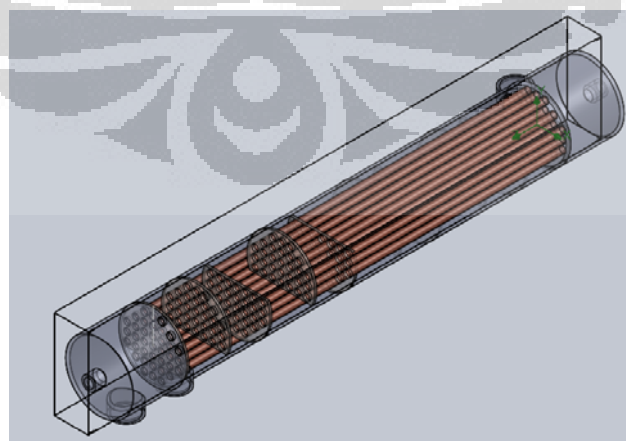
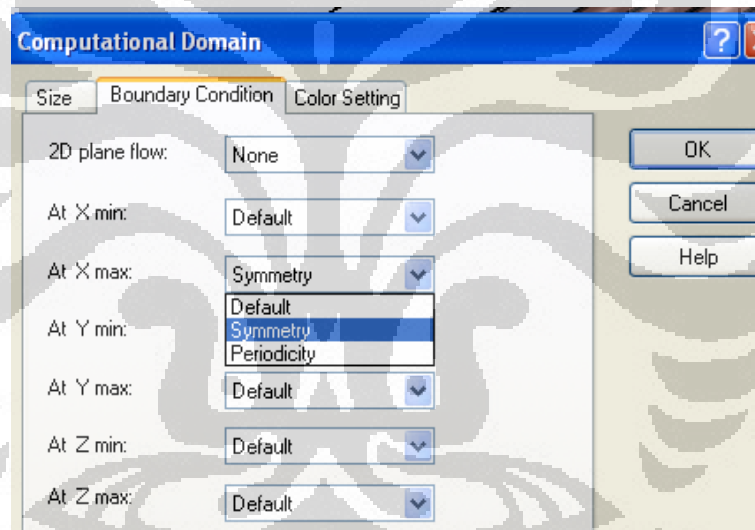
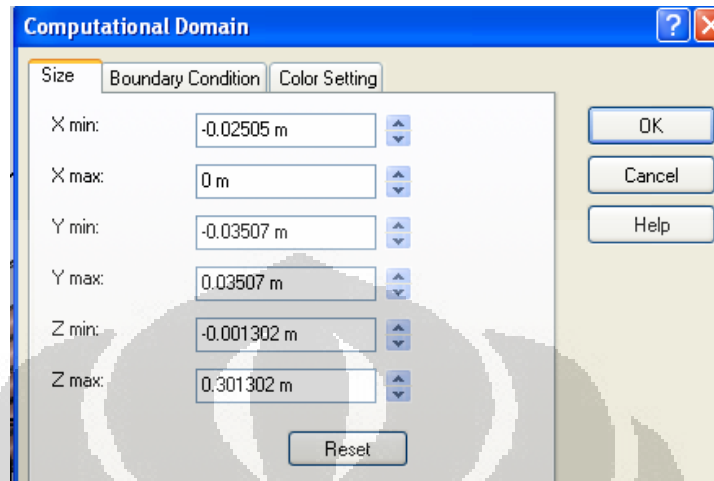


12. Untuk memperjelas gambar aktifkan fitur transparan



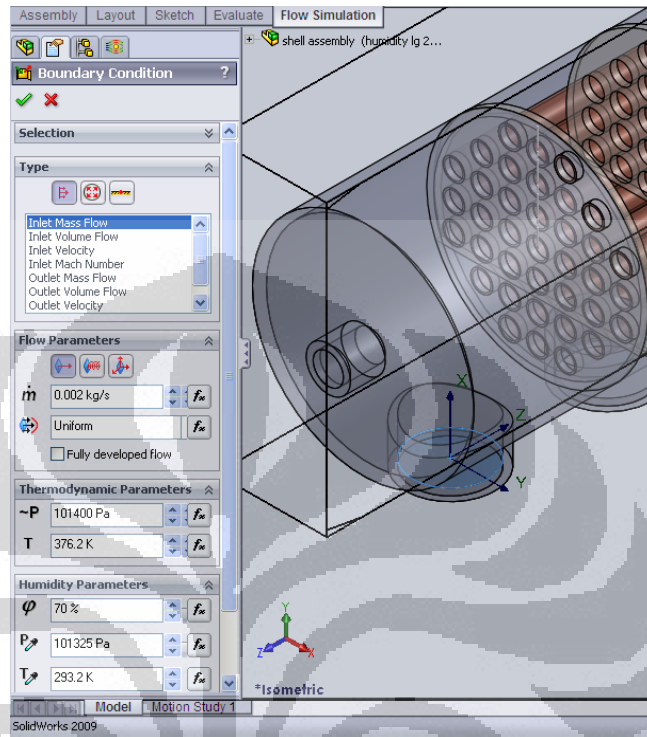
Universitas Indonesia

13. Setelah proses *wizard* selesai, selanjutnya kita harus menentukan *Computational Domain*. Karena model yang akan disimulasikan simetris, maka dapat disederhanakan menjadi setengahnya saja.

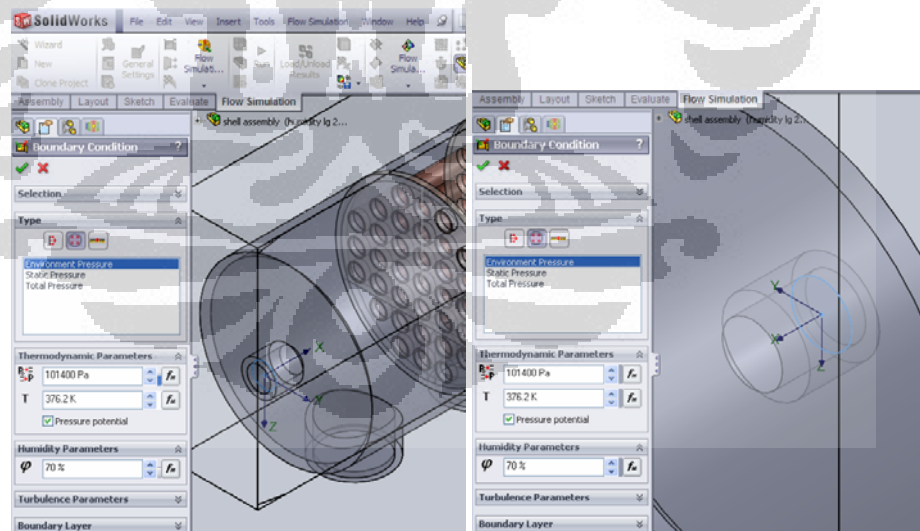


14. Selanjutnya kita harus menentukan *boundary conditions* dengan mengklik permukaan dalam *lid*.

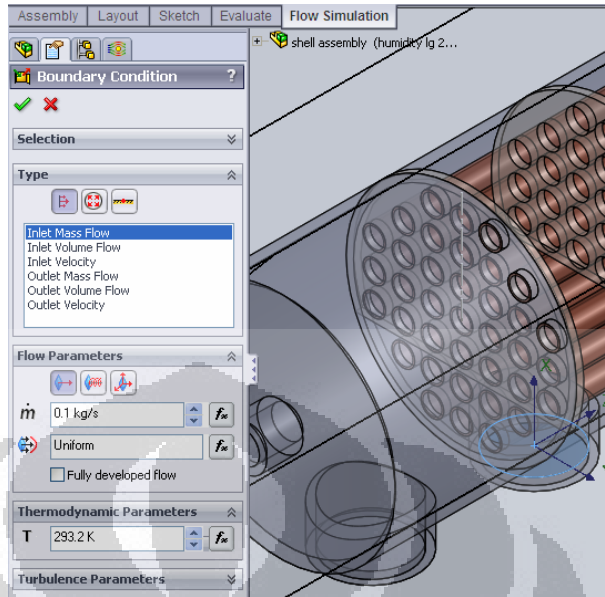
a. Tentukan inlet hot fluid beserta parameter yang diperlukan



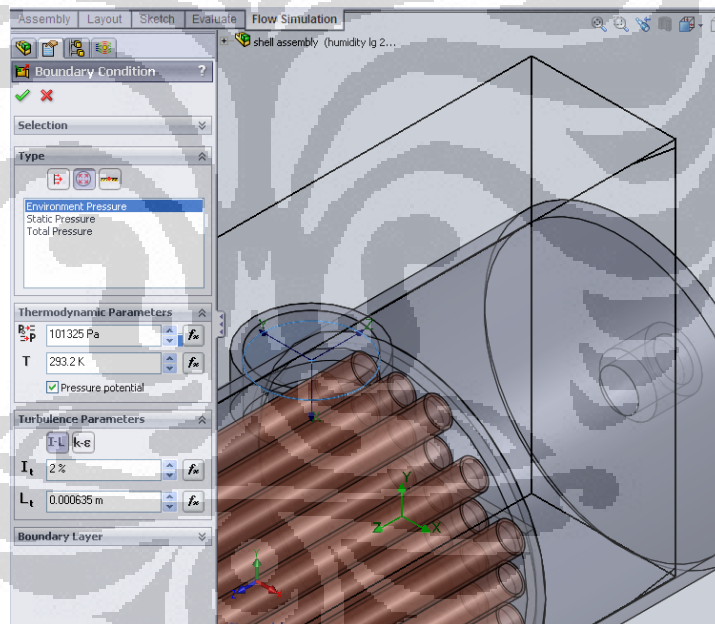
b. Tentukan outlet hot fluid beserta parameter yang diperlukan



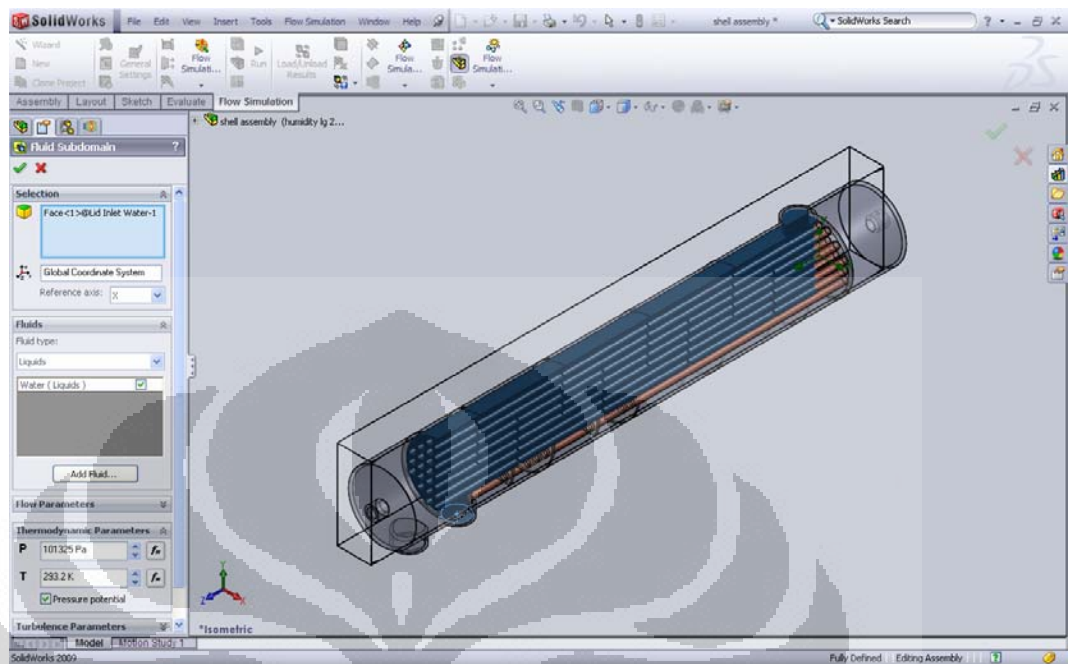
c. Tentukan inlet cold fluid beserta parameter yang diperlukan



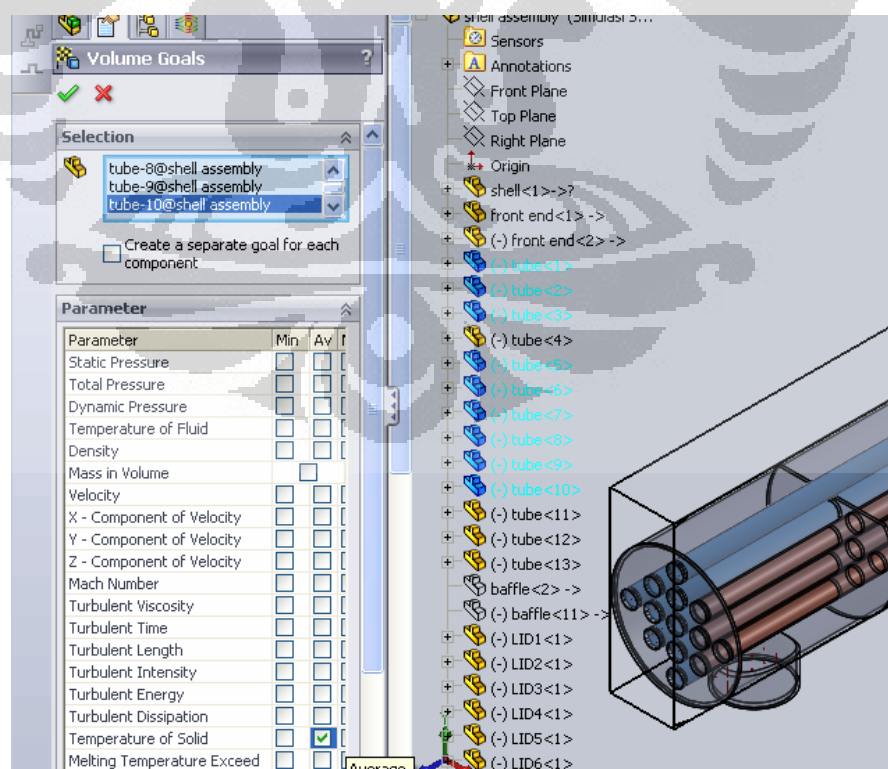
d. Tentukan outlet cold fluid beserta parameter yang diperlukan



15. Karena disini ada 2 fluida maka tentukan *Fluid Subdomain* untuk fluida dingin, karena fluida panas sudah ditentukan sebagai default fluid

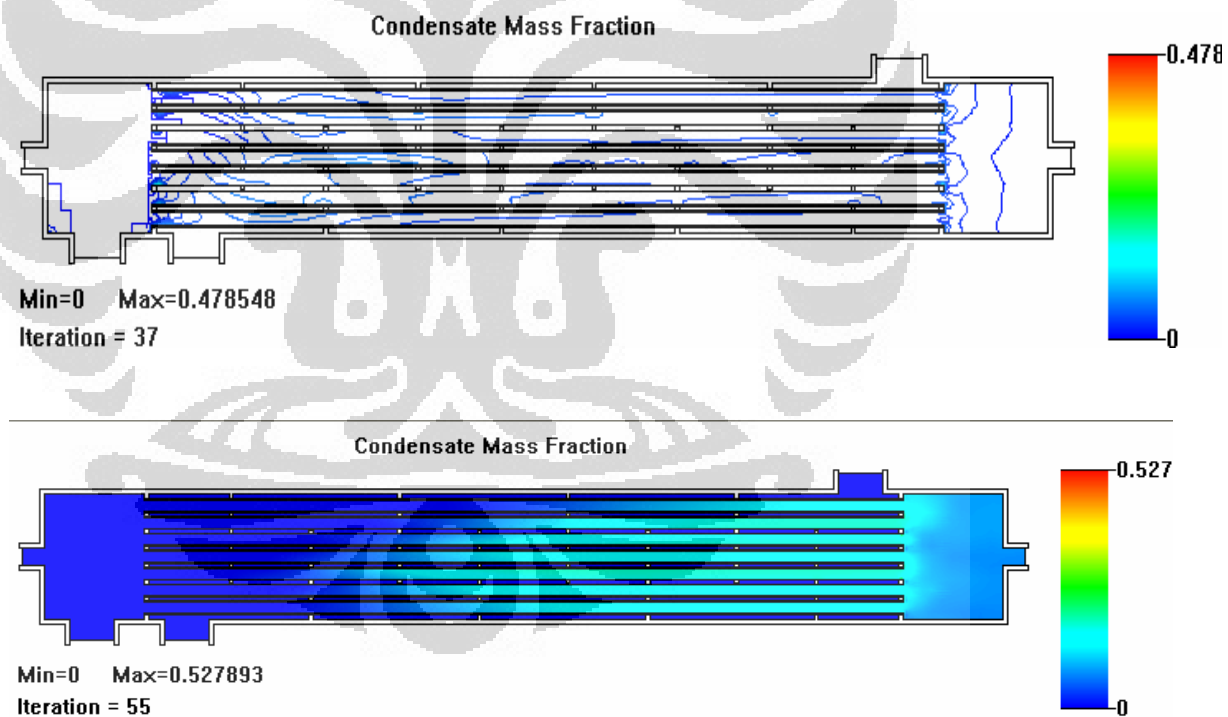
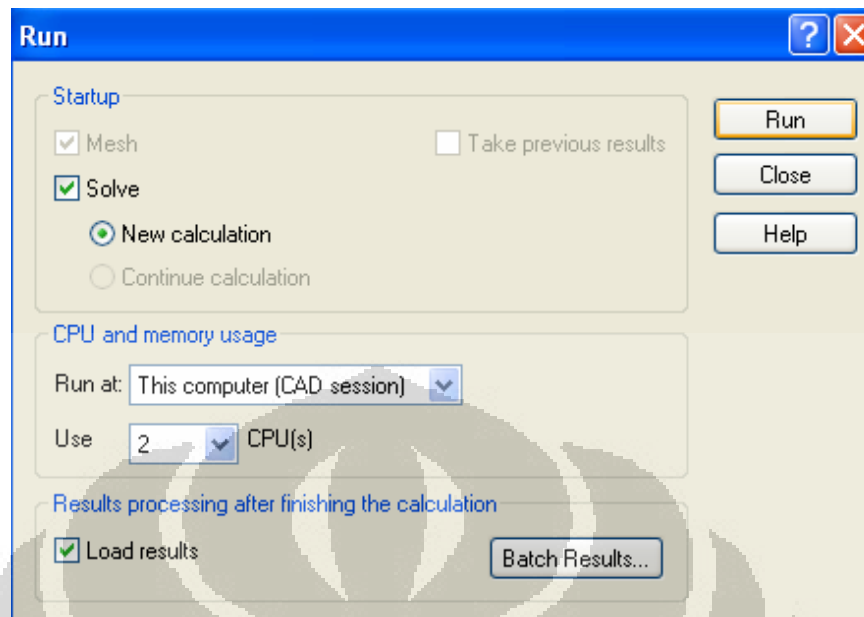


16. Setelah selesai saatnya menentukan *Goal* dan selesailah tahap *preprocessor*.





17. Untuk memulai simulasi Klik *Run* dan disinilah tahap processor berperan.



Proses simulasi dari iterasi ke iterasi bisa kita amati, baik dalam bentuk gradasi warna (contour) maupun isoline.

18. Setelah *Run* selesai, maka proses simulasi masuk ke tahap postprocessor, yaitu berupa tampilan gambar hasil simulasi.