



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA RUGI TEKANAN FLUIDA *REFRIGERANT* DUA FASA
DI DALAM PIPA HORIZONTAL MENGGUNAKAN PROGRAM
KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA**

TUGAS AKHIR

**DADAN MUHAMMAD RAMDAN AMINULLAH
L2E 006 026**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Dadan Muhammad Ramdan Aminullah
NIM : L2E 006 026

Dosen Pembimbing : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT

Co. Pembimbing : Ir. Eflita Yohana, MT

Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan

Judul : ANALISA RUGI TEKANAN FLUIDA *REFRIGERANT* DUA FASA DI DALAM PIPA HORIZONTAL MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA

Isi Tugas :

1. Mengetahui rugi - rugi tekanan (*pressure drop*) yang kemudian dibandingkan dengan data eksperimen, hasil simulasi P. Bhramara *et al.* serta model aliran terpisah (korelasi - korelasi) yang terdapat pada literatur.
2. Membandingkan antara profil kecepatan masuk yang seragam dengan profil kecepatan yang terbentuk dari UDF (*User Defined Function*).

Semarang, 23 Desember 2010

Pembimbing II



Ir. Eflita Yohana, MT

NIP.196205281990012001

Pembimbing I



Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT


NIP.197104211999031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Dadan Muhammad

NIM : L2E 006 026

Tanda Tangan : 

Tanggal : 23 Desember 2010

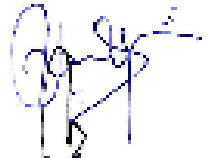



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Dadan Muhammad Ramdan Animullah
NIM : I.3E.006.026
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Rugi Tekanan Fluida Refrigerant Dua Fasa Di Dalam Pipa Horizontal Menggunakan Program Komputasi Dinamika Fluida

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT ()
Pembimbing II : Ir. Effita Yolana, MT ()
Penguji : Dr. Huanaldy, ST, MT ()
Penguji : Dr. Ing.Ir. Ismoyo Haryanto, MT ()

Semarang, 23 Desember 2010

Jurusan Teknik Mesin
Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Barkah Fajri TK
NIP. 1959072219870310003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DADAN MUHAMMAD RAMDAN AMINULLAH
NIM : L2E 006 026
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Simulasi Sistem Mekanis Kardiovaskuler Berdasarkan Model Tekanan–Aliran Kondisi Istirahat

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro 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 : Semarang
Pada Tanggal : 23 Desember 2010

Yang menyatakan



(DADAN MUHAMMAD RA)
NIM: L2E006026

Penerapan aliran dua fasa dalam tabung horizontal telah digunakan secara luas, khususnya kondensor dari sistem pendingin dan sistem pengkondisian udara. Prediksi rugi tekanan adalah hal yang sangat penting, terutama bagi kondensor, karena temperatur kondensasi lokal adalah fungsi tekanan lokalnya, kemudian mempengaruhi perbedaan temperatur rata – rata pada penukar kalor. Pada analisa kali ini, analisa dua fasa diperlakukan sebagai fluida fasa *pseudo* tunggal dengan sifat rata – rata cair dan uap menggunakan model homogen. Analisa CFD aliran *refrigerant* dua fasa dalam tabung halus horizontal dialirkan dalam kondisi adiabatik menggunakan perangkat lunak komersial CFD, FLUENT dengan fluks massa yang divariasikan $400 - 750 \text{ kg/m}^2\text{s}$ pada temperatur jenuh $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Profil kecepatan pada sisi masuk pipa diatur tidak seragam namun berbentuk profil parabola dengan bantuan alat yang terdapat pada perangkat lunak FLUENT disebut UDF (*User Defined Function*). Besar rugi tekanan diperoleh dari simulasi untuk *refrigerant* R134a, R236ea dan R22 dibandingkan dengan data eksperimen, hasil simulasi yang dilakukan sebelumnya (oleh P. Bhramara *et al.*) dan korelasi – korelasi yang terdapat pada literatur.

Kata kunci : Aliran dua fasa adiabatik, model homogen, aliran uap – cair, analisa CFD, UDF (*User Defined Function*).

ABSTRACT

Two phase flow in a horizontal tube has widespread applications, particularly in the condensers of refrigeration and air conditioning systems. Pressure drop prediction is especially important for condensers because the local condensing temperature is a function of local pressure, affecting the mean temperature difference in the heat exchanger. In the present analysis, two phase flow is treated as a single phase pseudo fluid with average properties of liquid and vapor using homogeneous model. CFD analysis of two phase flow of refrigerants inside a smooth horizontal tube is carried out under adiabatic conditions using commercial CFD software, FLUENT for different mass fluxes are variety 400 – 750 kg/m²s at saturation temperatures of 40°C. Velocity profile at inlet pipe adjusts not uniform but parabolic profile shaped which is aimed by tool in software FLUENT called UDF (User Defined Function) The values of pressure drop obtained from the simulations for refrigerants, R134a, R236ea and R22 are compared with experimental data, simulation which has done before (by P. Bhramara et al.) and correlations and available in literature.

Keywords: Adiabatic two phase flow, homogeneous model, liquid–vapor flow, CFD analysis, UDF (User Defined Function).

MOTTO

“JADILAH KAMU LAKI – LAKI YANG KAKINYA MENGINJAK
BUMI, AKAN TETAPI CITA – CITAMU BERADA DILANGIT
SANA”

[SYAIKH MUQBIL HADI BIN WAD'I رحمه الله تعالى]

PERSEMBAHAN

“KUPERSEMBAHKAN PENELITIAN INI KEPADA KEDUA
ORANG TUA {EMPUNG SARIPUDIN HASAN رحمه الله تعالى
DAN TATI SETIAWATI}, KAKAK DAN ADIKKU YANG SAYA
CINTAI KARENA ALLOH تعالى DAN KEPADA SELURUH
UMAT MANUSIA SELURUHNYA”

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadirat Alloh *تعالى* atas rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Rugi Tekanan Fluida Refrigerant Dua Fasa Di Dalam Pipa Horizontal Menggunakan Program Komputasi Dinamika Fluida**” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penyusun selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT selaku Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun untuk menyusun Tugas Akhir ini.
2. Ir. Eflita Yohana, MT selaku Co. Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun untuk menyusun Tugas Akhir ini.
3. Kedua orang tua saya Ayahanda Saripudin Hasan *رحمه الله تعالى* dan Ibunda Tati Setiawati serta seluruh saudaraku tersayang yang telah mencurahkan cinta, kasih sayang, dorongan dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini

dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
NOMENKLATUR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Metodologi Penelitian	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Klasifikasi Aliran.....	7
2.1.1 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	8
2.1.2 Aliran Laminar dan Turbulen.....	9
2.1.3 Aliran Kompresibel dan Inkompresibel	10
2.1.4 Aliran Internal dan Eksternal.....	10
2.2. Persamaan Dasar Aliran Fluida.....	11

2.2.1	Persamaan Kekekalan Massa.....	11
2.2.2	Persamaan Kekekalan Momentum	15
2.2.3	Persamaan Navier-Stokes untuk Sebuah Fluida Newtonian	19
2.2.4	Bentuk Turunan dan Integral Persamaan-Persamaan Umum <i>Transport</i>	21
2.3.	Bilangan Reynolds.....	22
2.4.	Analisa Aliran Dua Fasa Dalam Tabung.....	23
2.4.1.	Model Homogen	24
2.4.2.	Penurunan Model dan Asumsi yang Digunakan	24
2.4.3.	Faktor Gesek Dua Fasa.....	26
2.4.4.	Penggunaan Model untuk Mengevaluasi Rugi Tekanan ..	27
2.5.	Model Terpisah.....	28
2.5.1.	Faktor Penurunan Rumus Model dan Asumsi – Asumsi yang Digunakan.....	28
2.5.2.	Penggunaan Model untuk Mengevaluasi Rugi Tekana	30
2.5.3.	Evaluasi Pengali Dua Fasa (ϕ_{fo}^2) dan Fraksi <i>Void</i> (α).....	31
2.5.3.1.	Korelasi Friedel	31
2.5.3.2.	Korelasi Lockhart dan Martinelli	32
2.5.3.3.	Korelasi Grönnerud	33
2.5.3.4.	Korelasi Korelasi Chisholm	34
2.5.3.5.	Korelasi Müller - Steinhagen dan Heck	35
2.5.4.	Perbandingan Metode – Metode Diatas Terhadap Data Terkini	36
2.6.	Pola Aliran dan Model Transisi.....	36
2.6.1.	Pola Aliran Dalam Tabung Horizontal	36
BAB III PEMODELAN CFD.....		39
3.1.	Model Benda	39
3.2.	Langkah Pengerjaan	40
3.3.	Simulasi Numerik pada Fluent 6.2.16	42
3.3.1.	Pembentukan Model dan Kondisi Batas.....	42

3.3.2.	Penggenerasian <i>Mesh</i>	42
3.3.3.	<i>Solver</i> dan Model Turbulensi.....	44
3.3.4.	Pendefinisian Material	44
3.3.5.	Pendefinisian Kondisi Batas	45
3.4.	Proses Simulasi.....	46
3.4.1.	Kontrol Solusi.....	46
3.4.2.	Hasil Y^+ dan Tegangan Geser	48
BAB IV HASIL SIMULASI		49
4.1	Perbandingan Hasil Simulasi pada <i>Journal</i> yang Dikeluarkan oleh P. Bhamara <i>et al.</i> dengan Data Eksperimen	49
4.2	Analisa Hasil Simulasi	52
4.2.1	Penentuan Model Viskositas Rata - Rata.....	52
4.2.2	Penentuan Model - Model Turbulensi.....	55
4.2.3	Perbandingan Rugi Tekanan Antara Simulasi Data Eksperimen dan Korelasi Model Terpisah	56
4.2.4	Perbandingan Rugi Tekanan antara Simulasi Data Eksperimen dan Korelasi Model Terpisah Muller – Steinhagen dan Heck	60
4.2.5	Visualisasi Hasil Simulasi.....	69
4.3	Perbandingan Hasil CFD dengan Prediksi	73
4.4	Deviasi Rata – Rata Rugi Tekanan Data CFD dengan Korelasi Aliran Terpisah	76
BAB V PENUTUP.....		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN.....		79
.....		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Data rugi tekanan gesek dua fasa yang bersumber dari Moreno Quibén dan Thome (2006) dibandingkan dengan metode Grönnerud dan Müller - Steinhagen serta Heck dengan fluida R22, R410A dan R134a dalam tabung horisontal 8 dan 13.8 mm.....	3
Gambar 2.1	Respon terhadap gaya	7
Gambar 2.2	Klasifikasi aliran	8
Gambar 2.3	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata.....	9
Gambar 2.4	Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu	10
Gambar 2.5	Aliran dalam pipa.....	11
Gambar 2.6	Massa mengalir kedalam dan keluar elemen fluida	13
Gambar 2.7	Komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida	16
Gambar 2.8	Komponen tegangan dalam arah x	17
Gambar 2.9	Macam – macam pola aliran: (i) Aliran bergelembung (ii) <i>plug</i> (iii) <i>stratified</i> (iv) bergelombang dan (v) anular	37
Gambar 2.12	Pola aliran pada tabung horizontal dua fasa: (a) Evaporasi; (b) kondensasi dengan kecepatan tinggi; (c) kondensasi dengan kecepatan rendah.....	38
Gambar 3.1	Aliran internal	39
Gambar 3.2	Diagram alir pemodelan CFD	40
Gambar 3.3	Daerah asal (<i>domain</i>) untuk airfoil dalam aliran dua dimensi	42
Gambar 3.4	<i>Grid</i> terstruktur pada domain	43
Gambar 3.5	Metode solusi <i>Segregated</i>	44
Gambar 3.6	Panel kecepatan	45
Gambar 3.7	Panel tekanan	46
Gambar 3.8	Residu iterasi.....	47
Gambar 3.9	Hasil y^+	48
Gambar 3.10	Tampilan tegangan geser pada konsol	48

Gambar 4.1	Data eksperimen grafik gradien tekanan terhadap kualitas fluida <i>refrigerant</i> R22	49
Gambar 4.1	Data eksperimen grafik gradien tekanan terhadap kualitas fluida <i>refrigerant</i> R236ea	49
Gambar 4.3	Data eksperimen grafik gradien tekanan terhadap kualitas fluida <i>refrigerant</i> R134a	50
Gambar 4.4	Perbandingan grafik gradien tekanan terhadap kualitas fluida antara hasil simulasi P. Bhramara dan data eksperimen <i>refrigerant</i> : (i) R134a, (ii) R22 pada $T_s = 40^{\circ}\text{C}$ dan $G = 400 \text{ kg/m}^2$	51
Gambar 4.5	Gradien rugi tekanan R134a, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 400 \text{ kg/m}^2$ s dengan tiga model $\bar{\mu}$ yang berbeda.	53
Gambar 4.6	Gradien rugi tekanan R134a, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 750 \text{ kg/m}^2$ s dengan tiga model $\bar{\mu}$ yang berbeda	54
Gambar 4.7	Perbandingan model tubulensi antara <i>standard wall function</i> , <i>non – equilibrium wall function</i> , <i>enhanced wall treatment</i> beserta data eksperimen Cavallini dan korelasi Steinhagen.....	55
Gambar 4.8	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 400 \text{ kg/m}^2$ s.....	56
Gambar 4.9	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R236ea, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 400 \text{ kg/m}^2$ s.....	56
Gambar 4.10	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R22a, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 400 \text{ kg/m}^2$ s.....	57
Gambar 4.11	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 750 \text{ kg/m}^2$ s.....	57
Gambar 4.12	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R236ea, $T_s = 40^{\circ}\text{C}$, $G = 750 \text{ kg/m}^2$ s.....	58

Gambar 4.13 Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{s}$	58
Gambar 4.14 Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	60
Gambar 4.15 Profil kecepatan non – UDF (seragam) <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	61
Gambar 4.16 Profil kecepatan UDF2 <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	61
Gambar 4.17 Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	64
Gambar 4.18 Profil kecepatan non – UDF (seragam) <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	64
Gambar 4.19 Profil kecepatan UDF2 <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	65
Gambar 4.20 Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R236ea , $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	65
Gambar 4.21 Profil kecepatan non – UDF (seragam) <i>refrigerant</i> R236ea , $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	66
.....	85
Gambar 4.22 Profil kecepatan UDF2 <i>refrigerant</i> R236ea , $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$.	66
Gambar 4.23 Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{ s}$	67

Gambar 4.24	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{ s}$	67
Gambar 4.25	Perbandingan rugi tekanan antara hasil simulasi, data eksperimen dan korelasi model terpisah Muller – Steinhagen dan Heck untuk <i>refrigerant</i> R236ea, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{ s}$	68
Gambar 4.26	Grid pipa horizontal.	69
Gambar 4.27	Grafik kecepatan sumbu pipa terhadap panjang pipa menggunakan profil kecepatan UDF2 untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	69
Gambar 4.28	Grafik tekanan statis pipa terhadap panjang pipa menggunakan profil kecepatan UDF2 untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	70
Gambar 4.29	Grafik tegangan geser terhadap panjang pipa menggunakan profil kecepatan UDF2 untuk <i>refrigerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	71
Gambar 4.30	Kontur fraksi volume gas (dari posisi $\pm 0.4\text{ m}$ hingga $\pm 0.8\text{ m}$ pipa) pada kualitas 0.9 untuk <i>refrigerant</i> R134a , $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	71
Gambar 4.31	Kontur fraksi volume gas (dari posisi $\pm 0.4\text{ m}$ hingga $\pm 0.8\text{ m}$ pipa) pada kualitas 0.6 untuk <i>refrigerant</i> R134a , $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	72
Gambar 4.32	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	73
Gambar 4.33	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R134a, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{ s}$	73
Gambar 4.34	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 400\text{ kg/m}^2\text{ s}$	74
Gambar 4.35	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R22, $T_s = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 750\text{ kg/m}^2\text{ s}$	74

Gambar 4.36	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R236ea, Ts = 40 °C, G = 400 kg/m ² s.....	75
Gambar 4.37	Perbandingan hasil CFD dengan prediksi untuk <i>refregerant</i> R134a, Ts = 40 °C, G = 600 kg/m ² s.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan Pembangun Aliran Fluida Newtonian Kompresibel	21
Tabel 2.2 Konstanta C dan Batasannya	33
Tabel 3.1 Jenis Lapisan Batas.....	42
Tabel 3.2 Jenis Volume <i>Meshing</i>	43
Tabel 3.3 Kontrol Solusi.....	46
Tabel 4.1 Deviasi Rata – Rata Rugi Tekanan Data CFD Dengan Korelasi Aliran Terpisah.....	76

NOMENKLATUR

A	Luasan aliran	m^2
A_f	Luasan aliran yang ditempati fasa cair	m^2
A_g	Luasan aliran yang ditempati fasa gas	m^2
C	Parameter yang digunakan pada korelasi Chisholm	—
C_2	Parameter yang digunakan pada korelasi Chisholm	—
D	Diameter pipa	m
D_e	Diameter ekuivalen	m
D_f	Diameter hidrolis untuk aliran cair	m
D_g	Diameter hidrolis untuk aliran gas	m
D_i	Diameter dalam tabung atau anulus	m
D_o	Diameter luar tabung atau anulus	m
E	Energi dalam per satuan massa	Nm/kg
E	Persamaan yang didefinisikan pada persamaan 2.57	—
E	Persamaan yang didefinisikan pada persamaan 2.58	—
\bar{F}	Total gaya yang diberikan oleh fluida homogen untuk melawan gesekan	N
Fr_H	Persamaan yang didefinisikan pada persamaan 2.56	—

F_f	Gaya yang diberikan oleh fluida cair untuk melawan gesekan	N
F_g	Gaya yang diberikan oleh fluida gas untuk melawan gesekan	N
f_{TP}	Faktor gesek dua fasa	—
f_f	Faktor gesek berdasarkan fasa cair saja	—
f_{fo}	Faktor gesek berdasarkan total aliran diasumsikan cair	—
f_g	Faktor gesek berdasarkan fasa gas saja	—
f_{go}	Faktor gesek berdasarkan total aliran diasumsikan gas	—
G	Fluks massa	kg/m^2s
g	Percepatan yang disebabkan gravitasi	m/s^2
H	Persamaan yang didefinisikan pada persamaan 2.59	—
j	Fluks volumetrik	m/s
K_f	Konstanta Blassius	—
L	Panjang kanal	m
n	Indeks Blassius	—
P	Perimeter basah	m
p	Tekanan statis	N/m^2
p_f	Tekanan statis fasa cair	N/m^2
Q	Laju volumetrik aliran	m^3/s

r	Jarak radial dari sumbu pipa	m
T	Parameter yang digunakan pada korelasi Chisholm	—
T_{SAT}	Temperatur jenuh	$^{\circ}C$
u	Kecepatan	m/s
\bar{u}	Kecepatan rata – rata untuk aliran homogen	m/s
v	Volume spesifik	m^3/kg
\bar{v}	Volume spesifik rata – rata untuk fluida homogen	m^3/kg
v_f	Volume spesifik cair	m^3/kg
v_{fg}	Perbedaan volume spesifik cair dan uap jenuh	m^3/kg
v_g	Volume spesifik gas	m^3/kg
W	Laju aliran aliran massa	kg/s
We_L		—
W_f	Laju aliran aliran cair	kg/s
W_g	Laju aliran aliran gas	kg/s
X	Parameter Martinelli	—
x	Kualitas massa uap	—
z	Koordinat aksial	—
α	Fraksi <i>void</i>	—

β	Kualitas volumetrik	–
ε	Energi dalam	J/kg
λ	Parameter yang digunakan pada korelasi Chisholm	–
μ	viskositas	Ns/m^2
$\bar{\mu}$	viskositas rata – rata fluida homogen	Ns/m^2
μ_f	viskositas cair	Ns/m^2
μ_{fg}	Perbedaan viskositas antara fasa gas dan cair	Ns/m^2
μ_g	Viskositas uap	Ns/m^2
ν	Viskositas kinematis	m^2/s
ρ	Densitas	kg/m^3
$\bar{\rho}$	Densitas rata – rata fluida homogen	kg/m^3
ρ_g	Densitas gas	kg/m^3
ρ_H	Densitas homogen	kg/m^3
ρ_f	Densitas cair	kg/m^3
τ_w	Tegangan geser dinding	N/m^2
Φ	Fungsi disipasi	J/kg
ϕ_{gd}	Pengali gesek dua fasa Grönnerud	–
$-\phi_{fo}^2$	Pengali gesek dua fasa berdasarkan pada gradien tekanan untuk total aliran diasumsikan cair	–

ϕ_f^2	Pengali gesek dua fasa berdasarkan pada gradien tekanan untuk aliran cair saja	—
ϕ_g^2	Pengali gesek dua fasa berdasarkan pada gradien tekanan untuk aliran gas saja	—
ϕ_{go}^2	Pengali gesek dua fasa berdasarkan pada gradien tekanan untuk total aliran diasumsikan gas	—