



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS  
PADA FLUIDA DI *HEAT EXCHANGER* TIPE  
*SHELL AND TUBE* YANG DIGUNAKAN  
DI PT. PUPUK KALTIM Tbk.**

**SKRIPSI**

Oleh

**QORIATUL FITRIYAH**

**NIM 070210101095**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2013**



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN  
PANAS PADA FLUIDA DI *HEAT EXCHANGER*  
TIPE *SHELL AND TUBE* YANG DIGUNAKAN  
DI PT. PUPUK KALTIM Tbk.**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Matematika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

**QORIATUL FITRIYAH**

**NIM 070210101095**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2013**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, serta sholawat atas Nabi Muhammad S.A.W, kupersembahkan sebuah kebahagiaan dalam perjalanan hidupku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. bapak Moch. Baharudin dan Ibu Dwi Ernawati, serta adikku Vilayati Al Fitri yang senantiasa mengalirkan rasa cinta dan kasih sayang serta cururan keringat dan doa yang tiada pernah putus yang selalu mengiringiku dalam meraih cita-cita;
2. kak Jumanil beserta keluarga (Bapak, Mamak, Mbak Pipit, Erna, dan Dessy) yang mengalirkan cinta, doa, dan dukungan yang tiada henti;
3. keluarga besarku yang ada di Bontang dan Banyuwangi yang selalu mendukung dan mendoakan sampai terselesaikannya skripsi ini;
4. bapak Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D dan Ibu Nurcholif D.S.L.,S.Pd.,M.Pd. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsiku;
5. bapak Arif Fatahillah, S.Pd.,M.Si. yang dengan sabar membantu selama menyelesaikan skripsiku;
6. almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
7. guru-guruku di Yayasan Pupuk Kaltim (Bu Dina, Bu Mei, Pak Ismuji, Pak Syaiful, Pak Ahmad, dan guru-guru yang lainnya);
8. teman-temanku yang jauh di luar kota (Fifi, Helsa, Oki, Ami, Agung, Discy), teman-teman aksel SMP YPK (Oni, Mitra, Sarly, Dhella, Rizka, Angel, dan yang lainnya) yang selalu memberikan dukungan walaupun jarak jauh;
9. kakak-kakakku di FKIP Matematika: (Randi Pratama dan Siti Rohmawati), sahabat FKIP Matematika angkatan 2007: (Yunita Lutfisari, Sunarsih, Dwi

Utari, Rini Asih, dan yang lainnya), adik-adik FKIP Matematika 2008: (Suhendra Andrianata, Rizkiyah Hidayati, Neni Restiana, dan yang lainnya), terima kasih atas dorong semangat, canda tawa semasa kuliah dan bantuannya selama masa proses penyelesaian skripsiku;

10. Forum ASI Kaltim (Mama Awen, Mama Wiena, Mama Chichi, Mama Maya, Mama Reswa, Mama Hastin, Mama Ira, dan anggota yang lain).
11. adik-adik yang ada di Bontang (Sandy, Syarif, Irwan, Rusmadi, dan yang lainnya), terima kasih atas doa dan dukungannya;
12. keluarga besar Jember Marching Band dan Paduan Suara Mahasiswa FKIP "Paranada" untuk semua pengalaman yang diberikan.

## HALAMAN MOTTO

”Ilmu tidak dapat diraih dengan mengistirahatkan badan (bermalas-malasan)”  
(HR Muslim)

”Belajar tanpa disertai tujuan tak akan pernah bisa merubahnya menjadi ilmu  
pengetahuan”  
(Andre Raditya, LifeSigns Mentor)

*”No Matter what sort of difficulties, how painful experience is, if we lose our  
hope, that’s our real disaster”* (Dalai Lama XIV)

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qoriatul Fitriyah

NIM : 070210101095

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Pada Fluida di *Heat Exchanger* Tipe *Shell And Tube* Yang Digunakan di PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk. adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Januari 2013

Yang menyatakan,

Qoriatul Fitriyah

NIM. 070210101095

**HALAMAN PENGAJUAN**

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS  
PADA FLUIDA DI *HEAT EXCHANGER* TIPE  
*SHELL AND TUBE* YANG DIGUNAKAN  
DI PT. PUPUK KALTIM Tbk.**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk dipertahankan di depan Tim Penguji sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Program Studi Pendidikan Matematika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Oleh:

Nama : Qoriatul Fitriyah  
NIM : 070210101095  
Tempat dan Tanggal Lahir : Bontang, 22 November 1989  
Jurusan / Program : Pendidikan MIPA / P. Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D  
NIP.19680802 199303 1 004

Nurcholif D.S.L.,S.Pd.,M.Pd  
NIP.19820827 200604 2 001

## SKRIPSI

ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS PANAS PADA  
FLUIDA DI *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE*  
YANG DIGUNAKAN DI PT. PUPUK KALTIM Tbk.

Oleh

QORIATUL FITRIYAH

NIM 070210101095

Pembimbing

Dosen Pembimbing I

: Drs. Dafik., M.Sc, P.Hd

Dosen Pembimbing II

: Nurcholif D.S.L.,S.Pd.,M.Pd



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Pada Fluida di *Heat Exchanger Tipe Shell And Tube* Yang Digunakan di PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk. telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 30 Januari 2013

Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Suharto, M.Kes  
NIP. 19540627 198303 1 002

Nurcholif D.S.L.,S.Pd.,M.Pd  
NIP. 19820827 200604 2 001

Anggota:

1. Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D (.....)

NIP.19680802 199303 1 004

2. Susi Setiawani, S.Si, M.Sc (.....)

NIP.19700307 199512 2 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd  
NIP. 19540501 198303 1 005

## RINGKASAN

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERTUKARAN PANAS PADA FLUIDA DI *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* YANG DIGUNAKAN DI PT. PUPUK KALTIM Tbk., Qoriatul Fitriyah, 070210101095, 2013, 82 Halaman.** Program studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membuat matematika menjadi sangat penting artinya. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak lepas dari peranan matematika. Perkembangan teknologi salah satunya dibuktikan dengan lahirnya alat penukar kalor atau yang dinamakan *heat exchanger*. Semua penukar kalor sebenarnya berfungsi sama yaitu menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya (Handy, 2011:13). Berdasarkan TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Association*) jenis penukar kalor dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan pemakaiannya di industri untuk pemakaian dengan kondisi kerja yang berat dan untuk pemakaian umum yang dasar produksinya lebih memperhatikan aspek ekonomi dengan ukuran dan kapasitas pemindahan panas yang kecil. PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk merupakan perusahaan industri pupuk urea memiliki pabrik urea POPKA (Proyek Optimalisasi Pupuk Kaltim) menggunakan *heat exchanger* dengan kondisi yang berat. Untuk membuat pupuk urea, dibutuhkan gas  $CO_2$  dan cairan  $NH_3$ . Pada pabrik urea POPKA salah satu *heat exchanger* yang digunakan adalah jenis *intercooler*. *Intercooler* yang digunakan tipenya adalah *shell and tube* untuk mendinginkan gas  $CO_2$  yang keluar dari kompresor untuk masuk ke kompresor berikutnya. Keterbatasan utama dari perhitungan perpindahan panas secara konvensional adalah adanya asumsi *heat exchanger* bersifat seragam, *steady*, dan menyeluruh. Hingga kemudian digunakan pemodelan matematika. Pemodelan perpindahan panas pada fluida di *heat exchanger* bertujuan untuk memprediksi perpindahan panas yang keadaannya bisa disesuaikan dengan keadaan sebenarnya. Dari latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk menge-

tahui model matematika pada perpindahan panas fluida di *heat exchanger* tipe *shell and tube* saat proses pendinginan gas  $CO_2$ , untuk mengetahui hasil diskritisasi model perpindahan panas pada proses pendinginan gas  $CO_2$  menggunakan diskritisasi *QUICK* berupa matriks  $n \times n$ , dan untuk mengetahui akurasi model matematika perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* saat proses pendinginan gas  $CO_2$ .

Tahapan kegiatan penelitian meliputi, pertama, menentukan model matematika pendinginan gas  $CO_2$ . Tahapan ini meliputi studi pustaka dan wawancara tentang cara kerja dan proses pendinginan gas  $CO_2$  kemudian membuat model dengan peninjauan perubahan energi dan momentum dengan menggunakan Metode Volume Hingga. Kedua, menentukan diskritisasi model matematika proses pendinginan gas  $CO_2$ . Ketiga, membuat program matematika pendinginan gas  $CO_2$  dengan *Matlab* untuk mengetahui sebaran panas serta simulasi *Fluent* untuk mengetahui sebaran panas secara visual.

Hasil penelitian disimpulkan sebagai berikut, pertama, model matematika pendinginan  $CO_2$  gas dengan Metode Volume Hingga adalah:

$$T_e(-\rho^2 u + \rho u) + T_w(\rho^2 u - \rho u) = -p + \rho(g + Q) + 2\mu\Delta x(1 - \rho u) \quad (1)$$

Kedua, hasil Hasil diskritisasi model perpindahan panas pada proses pendinginan gas  $CO_2$  menggunakan diskritisasi *QUICK* berupa matriks  $n \times n$

$$\begin{bmatrix} C & D & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ B & C & D & 0 & 0 & \dots & 0 \\ A & B & C & D & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A & B & C & D & \dots & 0 \\ 0 & 0 & A & B & C & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & C \end{bmatrix}_{n \times n} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ \dots \\ \dots \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ \dots \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix}$$

Dengan keterangan sebagai berikut

A merupakan persamaan yang mengandung  $T(i-2)$  yaitu:  $(\rho^2 u - \rho u) \left(-\frac{1}{8}\right)$ ;

B merupakan persamaan yang mengandung  $T(i-1)$  yaitu:  $(-\rho^2 u + \rho u) \left(-\frac{1}{8}\right) + (\rho^2 u - \rho u) \left(\frac{3}{4}\right)$ ;

C merupakan persamaan yang mengandung  $T(i)$  yaitu:  $(-\rho^2 u + \rho u) \left(\frac{3}{4}\right) + (\rho^2 u - \rho u) \left(\frac{3}{8}\right)$ ;

D merupakan persamaan yang mengandung  $T(i+1)$  yaitu:  $(-\rho^2 u + \rho u) \left(\frac{3}{8}\right)$ ;

E merupakan konstanta matriks X yaitu:  $-p + \rho(g + Q) + 2\mu \frac{u}{\Delta x} (1 - \rho T_0)$

Ketiga, berdasarkan simulasi perpindahan panas pada proses pendinginan gas  $CO_2$  didapatkan bahwa temperatur awal 423 K kemudian masuk *heat exchanger* menjadi 419,8252 K dan keluar menjadi 312,2841 K. Persamaan matematika perpindahan panas pada proses pendinginan gas  $CO_2$  sangat baik karena *error* relatif nya kurang dari 0,01 yaitu sebesar 0,0087.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Model Matematika Pertukaran Panas Pada Fluida di *Heat Exchanger* Tipe *Shell And Tube* Yang Digunakan di PT. Pupuk Kaltim Tbk. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya atas bantuan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada yang terhormat:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
7. PT.Pupuk Kalimantan Timur yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Semoga bantuan, bimbingan, dan dorongan beliau dicatat sebagai amal baik oleh Allah SWT dan mendapat balasan yang sesuai dari-Nya. Selain itu, penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember,  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL . . . . .	i
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . .	ii
HALAMAN MOTTO . . . . .	iv
HALAMAN PERNYATAAN . . . . .	v
HALAMAN PENGAJUAN . . . . .	vi
HALAMAN BIMBINGAN . . . . .	vii
HALAMAN PENGESAHAN . . . . .	viii
RINGKASAN . . . . .	ix
KATA PENGANTAR . . . . .	xii
DAFTAR ISI . . . . .	xvi
DAFTAR GAMBAR . . . . .	xviii
DAFTAR TABEL . . . . .	xix
DAFTAR LAMPIRAN . . . . .	xx
DAFTAR LAMBANG . . . . .	xxi
<b>1 PENDAHULUAN . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	4
1.3 Batasan Masalah . . . . .	4
1.4 Tujuan Penelitian . . . . .	5
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	5
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA . . . . .</b>	<b>6</b>
2.1 <i>Heat Exchanger</i> Tipe <i>Shell And Tube</i> dan Cara Kerjanya . . . . .	6
2.1.1 Proses Pembuatan Pupuk Urea . . . . .	13
2.2 Perpindahan Panas . . . . .	15
2.3 Pemodelan Matematika dan Model Matematika . . . . .	18
2.4 Persamaan Diferensial . . . . .	21
2.5 Metode Volume Hingga . . . . .	22
2.5.1 Persamaan Momentum . . . . .	25
2.5.2 Persamaan Energi . . . . .	27

2.6	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics (QUICK)</i> . . . . .	29
2.7	Algoritma dan Pemrograman <i>Matlab</i> . . . . .	32
2.7.1	Algoritma . . . . .	32
2.7.2	<i>Matlab</i> . . . . .	33
2.7.3	Metode Eliminasi Gauss-Jordan . . . . .	34
2.7.4	<i>Graphical User Interface (GUI)</i> . . . . .	35
2.7.5	Galat Atau <i>Error</i> . . . . .	35
2.8	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> . . . . .	35
2.8.1	<i>Pre-Processor</i> . . . . .	36
2.8.2	<i>Solver</i> . . . . .	37
2.8.3	<i>Post-Processor</i> . . . . .	37
2.9	Perangkat Lunak Pada ( <i>CFD</i> ) . . . . .	37
2.9.1	<i>GAMBIT</i> . . . . .	37
2.9.2	<i>FLUENT</i> . . . . .	38
2.10	Penelitian Yang Relevan . . . . .	39
<b>3</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> . . . . .	41
3.1	Jenis Penelitian . . . . .	41
3.2	Prosedur Penelitian . . . . .	41
3.3	Definisi Operasional . . . . .	42
3.4	Tempat Penelitian . . . . .	44
3.5	Metode Pengumpulan Data . . . . .	44
3.6	Instrumen Penelitian . . . . .	45
3.7	Data dan Analisis Data . . . . .	46
<b>4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> . . . . .	48
4.1	Persamaan Matematika Fluida Pada <i>Heat Exchanger</i> . . . . .	48
4.2	Diskritisasi QUICK Model Pendinginan Gas $CO_2$ dengan Metode Volume Hingga . . . . .	55
4.3	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan <i>Error</i> Relatif Dalam Proses Pendinginan Gas $CO_2$ . . . . .	60
4.3.1	Format <i>Programming</i> . . . . .	60



4.3.2	Penggunaan <i>Error Relatif</i> Pada Metode Volume Hingga .	61
4.3.3	Simulasi Pemodelan . . . . .	62
4.4	Analisis dan Pembahasan . . . . .	62
4.4.1	Komputasi <i>MATLAB</i> . . . . .	63
4.4.2	Visualiasi Simulasi <i>FLUENT</i> . . . . .	74
4.4.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga Pada Proses Pendinginan Gas $CO_2$ . . . . .	75
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> . . . . .	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	77
5.2	Saran . . . . .	78
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> . . . . .	<b>79</b>
	<b>LAMPIRAN</b> . . . . .	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> . . . . .	7
2.2	Jenis-jenis <i>heat exchanger</i> tipe <i>shell and tube</i> . . . . .	8
2.3	<i>Intercooler</i> Yang Digunakan Di POPKA Tampak Dari Depan . . .	9
2.4	<i>Intercooler</i> Yang Digunakan Di POPKA Tampak Dari Samping .	9
2.5	Rangkaian <i>Intercooler Yang Digunakan Di POPKA</i> . . . . .	9
2.6	Penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> . . . . .	10
2.7	Profil Temperatur Aliran <i>Co Current</i> . . . . .	12
2.8	Profil Temperatur Aliran <i>Counter Current</i> . . . . .	13
2.9	Bagan Proses Pembuatan Pupuk . . . . .	14
2.10	Bagan Proses Pendinginan Gas $CO_2$ . . . . .	15
2.11	Gradien Temperatur Normal . . . . .	17
2.12	Sel pusat dan sel <i>vertex</i> . . . . .	23
2.13	Bentuk volume kendali tiga dimensi . . . . .	24
2.14	Bagan volume kendali . . . . .	25
2.15	Aliran momentum pada volume kendali tiga dimensi . . . . .	26
2.16	Volume kendali tiga dimensi arah kalor dan kekentalan . . . . .	28
2.17	Pembagunan volume kendali 1 dimensi . . . . .	29
2.18	Diskritisasi QUICK . . . . .	30
2.19	Lembar kerja <i>GAMBIT</i> . . . . .	38
2.20	Tampilan halaman <i>software fluent</i> . . . . .	40
3.1	Bagan alur penelitian . . . . .	43
4.1	Aliran momentum satu dimensi pada volume kendali tiga dimensi di <i>heat exchanger</i> . . . . .	49
4.2	Aliran energi satu dimensi pada volume kendali tiga dimensi di <i>heat exchanger</i> . . . . .	51
4.3	Diskritisasi Komponen Input . . . . .	56
4.4	Diskritisasi Komponen Output . . . . .	56
4.5	Diskritisasi pertama aliran $CO_2$ gas . . . . .	59

4.6	Diskritisai kedua aliran $CO_2$ gas . . . . .	59
4.7	Grafik temperatur dengan temperatur uji 421 K, 419 K, 417 K . .	65
4.8	Perbesaran Gambar 4.7 Pada Titik ke 20 . . . . .	65
4.9	Grafik temperatur dengan temperatur uji 423 K, 421 K, 419 K . .	67
4.10	Perbesaran Gambar 4.9 Pada Titik Ke 20 . . . . .	68
4.11	Grafik temperatur dengan temperatur uji 425 K, 423 K, 421 K . .	69
4.12	Perbesaran Gambar 4.11 Pada Titik Ke 20 . . . . .	70
4.13	Grafik temperatur dengan temperatur uji 427 K, 425 K, 423 K . .	71
4.14	Perbesaran Gambar 4.13 Pada Titik Ke 20 . . . . .	72
4.15	Grafik temperatur dengan temperatur uji 429 K, 427 K, 425 K . .	72
4.16	Perbesaran Gambar 4.15 Pada Titik Ke 20 . . . . .	73
4.17	Hasil Simulasi Pendinginan gas $CO_2$ . . . . .	74
4.18	Grafik <i>Error</i> Relatif Simulasi Penyebaran Panas Pada Proses Pendinginan $CO_2$ Gas . . . . .	76
4.19	Grafik Konvergensi Simulasi Fluida $CO_2$ Gas yang Didinginkan .	76
5.1	Kinerja <i>Heat Exchanger</i> . . . . .	88
5.2	Tampilan GUI . . . . .	96

## DAFTAR TABEL

2.1	Momentum masuk dan keluar . . . . .	26
2.2	Energi masuk dan keluar . . . . .	29
2.3	Daftar Penelitian Yang Relevan . . . . .	40
5.1	Tabel Hasil Simulasi Temperatur Pada Titik 417 K, 419 K, 421 K	97
5.2	Tabel Hasil Simulasi Temperatur Pada Titik 419 K, 421 K, 423 K	98
5.3	Tabel Hasil Simulasi Temperatur Pada Titik 421 K, 423 K, 425 K	99
5.4	Tabel Hasil Simulasi Temperatur Pada Titik 423 K, 425 K, 427 K	100
5.5	Tabel Hasil Simulasi Temperatur Pada Titik 425 K, 427 K, 429 K	101
5.6	Tabel Hasil Penghitungan <i>Error</i> Relatif Proses Pendinginan $CO_2$ gas . . . . .	102

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pedoman Wawancara . . . . .	83
Lampiran 2. Instrumen Penelitian Metode Dokumentasi. . . . .	84
Lampiran 3. Hasil Wawancara . . . . .	85
Lampiran 4. Data Kinerja <i>Heat Exchanger</i> Pabrik Urea Unit IV (POPKA) . . . . .	86
Lampiran 5. Format <i>Programming</i> Simulasi Sebaran Panas Pada Proses Pendinginan <i>CO<sub>2</sub> GAS</i> . . . . .	88
Lampiran 6. Tabel Hasil Simulasi Pertama . . . . .	96
Lampiran 7. Tabel Hasil Simulasi Kedua . . . . .	97
Lampiran 8. Tabel Hasil Simulasi Ketiga. . . . .	98
Lampiran 9. Tabel Hasil Simulasi Keempat. . . . .	99
Lampiran 10. Tabel Hasil Simulasi Kelima. . . . .	100
Lampiran 11. Tabel Hasil Penghitungan <i>Error</i> Relatif. . . . .	101
Lampiran 12. Lain-lain. . . . .	102

## DAFTAR LAMBANG

$q$	=	Perpindahan panas konveksi
$h$	=	Koefisien perpindahan kalor konveksi
$A$	=	Luas permukaan yang mengalami perpindahan panas
$T_s$	=	Temperatur permukaan benda solid
$T_\infty$	=	Temperatur fluida yang mengalir berdekatan dengan permukaan benda solid
$q_{konduksi}$	=	Perpindahan panas konduksi
$k$	=	Konduktivitas Termal
$\frac{dT}{dx}$	=	Gradien temperatur
$\Sigma F$	=	Resultan Gaya
$\frac{\partial}{\partial t}$	=	derivatif fungsi waktu
$VK$	=	Kontrol Volume
$\forall$	=	Volume
$(m_t V)_{kel}$	=	Persamaan momentum keluar
$(m_t V)_{mas}$	=	Persamaan momentum masuk
$\rho$	=	Massa jenis
$m$	=	Massa
$\frac{\partial}{\partial x}$	=	Fungsi turunan terhadap sumbu $x$
$\frac{\partial}{\partial y}$	=	Fungsi turunan terhadap sumbu $y$
$\frac{\partial}{\partial z}$	=	Fungsi turunan terhadap sumbu $z$
$u$	=	Komponen kecepatan pada sumbu $x$
$v$	=	Komponen kecepatan pada sumbu $y$
$w$	=	Komponen kecepatan pada sumbu $z$
$\frac{\partial V}{\partial x}$	=	Fungsi turunan kecepatan terhadap sumbu $x$
$\frac{\partial V}{\partial y}$	=	Fungsi turunan kecepatan terhadap sumbu $y$
$\frac{\partial V}{\partial z}$	=	Fungsi turunan kecepatan terhadap sumbu $z$
$Q$	=	Energi kalor
$W$	=	Usaha
$CV$	=	<i>Control volume</i> atau volume kontrol
$CS$	=	<i>Control surface</i> atau kontrol sisi
$\xi$	=	Entalpi Total

$e$	=	Energi per satuan massa
$p$	=	<i>Pressure</i> atau tekanan
$n$	=	Gaya normal
$q_x$	=	Laju perpindahan energi kalor pada sumbu $x$
$q_y$	=	Laju perpindahan energi kalor pada sumbu $y$
$q_z$	=	Laju perpindahan energi kalor pada sumbu $z$
$g_1$	=	Gaya permukaan 1
$g_2$	=	Gaya permukaan 2
$i$	=	Diskritisasi pada sumbu $x$
$j$	=	Diskritisasi pada sumbu $y$
$k$	=	Diskritisasi pada sumbu $z$
$\phi_e$	=	Kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
$\phi_w$	=	Kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
$\phi_n$	=	Kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
$\phi_s$	=	Kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
$\phi_t$	=	Kontrol permukaan <i>top</i> atau atas
$\phi_b$	=	Kontrol permukaan <i>bottom</i> atau bawah
$T_{n-1}$	=	Temperatur sebenarnya
$T_n$	=	Temperatur Simulasi
$T_w$	=	Temperatur permukaan <i>west</i>
$T_s$	=	Temperatur permukaan <i>east</i>
$p$	=	Gaya <i>pressure</i> atau tekanan
$\tau_{i,j}$	=	Gaya kekentalan
$\rho g$	=	Gaya gravitasi
$W_v$	=	Laju usaha geseran viskositas
$Q$	=	Laju usaha kalor
$U$	=	Koefisien perpindahan panas secara keseluruhan
$A$	=	Luas Perpindahan Panas