

**TUGAS SARJANA
BIDANG KONVERSI ENERGI**

**SIMULASI PEMBAKARAN KEROSIN – UDARA DAN LPG
– UDARA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***



**Diajukan Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**

Disusun oleh:

Handry Afrianto

L2E 307 021

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2010

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Handry Afrianto
NIM : L2E 307021
- Dosen Pembimbing : 1. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT
2. Ir. Bambang Yuniyanto, MSc
- Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan
- Judul : SIMULASI PEMBAKARAN KEROSIN - UDARA DAN *LPG*
– UDARA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*.
- Isi Tugas : - Mengetahui reaksi pembakaran kompor minyak tanah dan kompor *LPG*.
- Mengetahui perbandingan temperatur kompor minyak tanah dan kompor *LPG*.
- Mengetahui cara kerja *FLUENT 6.3.26*
- Mendapatkan hasil simulasi dari *FLUENT 6.3.26*

Menyetujui,
Pembimbing I

Menyetujui,
Pembimbing II

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT
NIP. 197 104 211 999 031 003

Ir. Bambang Yuniyanto, MSc
NIP. 195 906 201 987 031 00

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Sarjana dengan judul “Simulasi Pembakaran Kerosin - Udara dan LPG - Udara Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.” telah diperiksa dan disetujui pada :

Hari :

Tanggal :

Menyetujui,
Pembimbing I

Menyetujui,
Pembimbing II

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT
NIP. 197 104 211 999 031 003

Ir. Bambang Yuniyanto, MSc
NIP. 195 906 201 987 031 003

Mengetahui,
Koordinator Tugas Sarjana

Pembantu Dekan I

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT
NIP. 197 104 211 999 031 003

Ir. Bambang Pudjianto, MT
NIP. 195 212 051 985 031 001

ABSTRAKSI

Program pemerintah guna untuk mengkonversi bahan bakar minyak tanah ke *LPG* tidak serta merta langsung dapat diterima masyarakat pada umumnya, selain masih asing dalam penggunaannya, ada beberapa masyarakat yang takut menggunakan kompor *LPG* dikarenakan takut meledak. Selain digunakan dalam kebutuhan rumah tangga bahan bakar minyak tanah juga digunakan dalam industri, contohnya untuk pembuatan batik tulis, setelah program pemerintah di realisasikan untuk pengusaha batik kesulitan dalam penggunaan kompor *LPG* dalam proses produksi pembatikan dikarenakan temperatur kompor *LPG* lebih tinggi di banding kompor minyak tanah. Dalam Tugas Sarjana ini penulis mensimulasikan kompor minyak tanah dan kompor *LPG*, kemudian membandingkan temperatur kompor *LPG* dengan kompor minyak tanah serta memodifikasi ketinggian dudukan agar temperatur kompor *LPG* mendekati seperti kompor minyak tanah. Dalam simulasi ini, *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan untuk memprediksi distribusi temperatur pada masing-masing kompor dan memprediksi gas hasil pembakaran. Simulasi dilakukan dengan mevariasikan laju aliran massa dan udara yang dibutuhkan dalam pembakaran pada setiap kompor, yaitu pada kompor minyak tanah mevariasikan ketinggian kenaikan sumbu 25%, 50%, 75% dan 100%, untuk kompor *LPG* mevariasikan bukaan katup pada 25%, 50%, 75% dan 100% kemudian memodifikasi ketinggian dudukan pada kompor *LPG* untuk mendapatkan temperatur yang mendekati dengan temperatur kompor minyak tanah.

Kunci kata : kompor minyak tanah, kompor *LPG*

ABSTRACT

The governments planning to convert kerosene into LPG is not directly accepted by the society. Since it is still stronge to use and some of them are afraid of using the LPG stove. The reason is because they think that it will be easy to explode. Kerosene is not only used in house work, but also in industry, for example the production of batik. After the government brings about the program for batik entrepreneurs, they have difficoli is in using LPG stove for the process of making batik. Since the temperature of LPG stove is higher than kerosene stove.

In this Final Project there fore simulation kerosene and LPG stove. Then compare the temperature of LPG and kerosene stove. I also modify the height of position so that the temperature of LPG stove is similar to kerosene stove. In this simulation CFD is used to predict the distribution of temperature in each stove and also predict gas result combustion. This simulation is carried on to vary the mass flow rate and of each stove, that is in kerosene stove varies the height of fuse 25%, 50%, 75% and 100%, for LPG stove varies open valve 25%, 50%, 75% and 100% then also modifies the height of position of LPG stove to gain temperature which is close to kerosene stove temperature.

Keyword: kerosene stove, LPG stove

MOTTO

Sesungguhnya, Aku mengingatkan kepadamu supaya kamu tidak termasuk orang-orang yang tidak berpengetahuan.
(QS Hud : 46)

Tak ada rahasia untuk menggapai sukses. Sukses itu dapat terjadi karena persiapan, kerja keras, dan mau belajar dari kegagalan.
(General Colin Powell)

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan Tugas Sarjana ini kepada Ibu, Bunda, Ayah, dan kakak-kakakku Tercinta...

Terima kasih atas berbagai dukungan dan doa yang telah diberikan...

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “SIMULASI PEMBAKARAN KEROSIN – UDARA & LPG – UDARA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*”. Tugas sarjana ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Koordinator Tugas Akhir.
2. Ir. Bambang yunianto, MSc selaku Dosen Pembimbing II.
3. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar T K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
4. Kedua orang tua dan kakak atas do’a, bantuan serta dorongannya selama ini.
5. Teman-teman mahasiswa teknik mesin ekstensi D3 angkatan 2007, yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.

Dalam penulisan tugas sarjana ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, Maret
2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAKSI.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
NOMENKLATUR	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Jenis Kompor	5
2.2 Bahan Bakar	7
2.2.1 Minyak Tanah.....	7
2.2.2 <i>Liquefied Petroleum Gas</i>	8
2.3 Kapilaritas	10
2.4 Proses Pembakaran.....	12
2.5 Konsep dan Hukum Dasar	13
2.5.1 Konsep Mol	13

2.5.2	Fraksi Massa dan Fraksi Mol	13
2.6	Perhitungan Pembakaran	14
2.6.1	Udara Pembakaran	14
2.6.2	Pembakaran Teoritis	15
2.6.3	Campuran Miskin dan Camouran Kaya	16
2.7	Pencemaran	16
2.8	Konsep Sistem dan Volume Kendali	18
2.9	Persamaan Pembangun	21
2.9.1	Persamaan Kontinuitas	21
2.9.2	Persamaan Momentum	22
2.9.3	Persamaan Energi	26
2.9.4	Persamaan Navier - Stokes untuk Sebuah Fluida Newtonian ...	30
2.9.5	Bentuk Turunan dan Integral Persamaan-Persamaan Umum <i>Transport</i>	33
2.10	Model dari Turbulensi – Interaksi Kimia	34
2.10.1	Penggambaran dari <i>Probability Density Function</i>	34
2.10.2	Penurunan Nilai rata-rata Skalar dari Fraksi Campuran	35
2.10.3	Asumsi Bentuk <i>PDF</i>	36
2.11	Model Aliran Turbulent	39
2.11.1	Model <i>K-epsilon</i> (<i>K-ε</i>)	39
2.11.1.1	Model <i>K-epsilon</i> (<i>K-ε</i>) <i>Standard</i>	40
2.11.1.2	Model <i>K-epsilon</i> (<i>K-ε</i>) <i>RNG</i>	41
2.12	Intensitas Turbulent	45
BAB III METODE VOLUME HINGGA <i>FLUENT</i> 6.3.26		46
3.1	<i>CFD</i>	46
3.2	<i>FLUENT</i>	46
3.2.1	<i>Pre-processor</i> dan identifikasi masalah	46
3.2.2	<i>Solver</i>	47
3.2.3	<i>Post-processor</i>	47
3.3	Skema Numerik	49
3.3.1	Metode Solusi <i>Pressure based</i>	49

3.3.2	Metode Solusi <i>Density based</i>	51
3.4	Diskretisasi.....	52
3.4.1	<i>First - Order Upwind</i>	53
3.4.2	<i>Second - Order Upwind</i>	54
3.4.3	<i>Power - Law</i>	54
3.4.4	Bentuk Linier Persamaan Diskret.....	56
3.4.5	<i>Under Relaxation Factor,</i>	57
3.5	Diskretisasi <i>Pressure Based Solver</i>	58
3.5.1	Diskretisasi Persamaan Momentum.....	58
3.5.2	Skema Interpolasi Tekanan	59
3.5.2.1	<i>Standard</i>	59
3.5.2.2	<i>Linier</i>	59
3.5.2.3	<i>Second - Order</i>	59
3.5.2.4	<i>Body-force-weighted</i>	59
3.5.3	Diskretisasi Persamaan Kontinuitas	59
3.5.4	<i>Pressure -Velocity Coupled</i>	60
3.5.4.1	<i>SIMPLE</i>	60
3.5.4.2	<i>SIMPLEC (SIMPLE-Consistent)</i>	63
3.5.4.3	<i>PISO</i>	63
3.6	Diskretisasi Waktu	66
3.6.1	Integral Waktu Implicit.....	67
3.6.2	Integrasi Waktu Eksplisit.....	67
3.7	Menentukan Model dan Persamaan Dasar.....	68
3.7.1	Model <i>Spesies Transport</i> dan Reaksi Kimia	68
3.8	Model Turbulen.....	69
3.8.1	<i>Model K-epsilon</i>	69
3.8.1.1	<i>Model RNG K-epsilon</i>	69
3.9	Model Turbulensi Dekat Dinding (<i>Near Wall Treatmeant</i>)	70
3.10	Jenis <i>Grid</i> dan Kualitas <i>Mesh</i>	72
3.11	Kerapatan <i>Nodal</i>	74

BAB IV EKSPERIMENTAL.....	75
4.1 Pengambilan Data Kompor Minyak Tanah	75
4.1.1 Alat Yang Digunakan Dalam Pengambilan Data Aktual.....	77
4.1.2 Data Aktual.....	79
4.1.3 Perhitungan Data Aktual	80
4.1.4 Pengukuran Temperatur Kompor Minyak Tanah.....	82
4.2 Pengambilan Data pada Kompor <i>LPG</i>	82
4.2.1 Alat Yang Digunakan Dalam Pengambilan Data Aktual.....	84
4.2.2 Data Aktual.....	86
4.2.3 Perhitungan Data Eksperimental	87
4.2.4 Pengukuran Temperatur Kompor <i>LPG</i>	88
BAB V SIMULASI	89
5.1 Langkah Pengerjaan	89
5.2 Diskripsi Masalah.....	92
5.3 Simulasi <i>Grid</i>	92
5.4 Opsi Pembakaran Kompor Minyak Tanah	95
5.5 Opsi Pembakaran Kompor <i>LPG</i>	100
BAB VI HASIL SIMULASI	105
6.1 Hasil Simulasi Kompor Minyak Tanah	105
6.1.1 Kontur Temperatur Pada Pembakaran Kompor Minyak Tanah	105
6.1.2 Hasil Gas Pembakaran Kompor Minyak Tanah.....	111
6.1.3 Prediksi Gas NO _x Pembakaran Kompor Minyak Tanah.....	115
6.1.4 Verifikasi Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Aktual ..	121
6.2 Hasil Simulasi Kompor <i>LPG</i>	123
6.2.1 Temperatur Reaksi Pembakaran kompor <i>LPG</i>	123
6.2.2 Hasil Gas Pembakaran Kompor	128
6.2.3 Prediksi Gas NO _x Pembakaran Kompor <i>LPG</i>	133
6.2.4 Verifikasi Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Aktual ..	138
6.3 Modifikasi Kompor <i>LPG</i>	140
6.3.1 Perhitungan modifikasi Kompor <i>LPG</i>	144

6.3.2	Simulasi Modifikasi Ketinggian Kompor <i>LPG</i>	145
6.3.3	Hasil Gas Pembakaran Modifikasi kompor <i>LPG</i>	149
6.3.4	Prediksi Gas NOx Pembakaran Modifikasi Kompor <i>LPG</i>	152
6.3.5	Verifikasi Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Aktual.....	156
6.3.6	Konsumsi Bahan Bakar dan Temperatur	158
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....		159
7.1	Kesimpulan	159
7.2	Saran	159
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia <i>LPG</i> Pertamina.....	10
Tabel 2.2	Sifat cairan pada 20 ⁰ C pada Tekanan 1 atmosfer 11	11
Tabel 2.3	Persamaan pembangun aliran fluida Newtonian kompresibel.....	32
Tabel 4.1	Volume pembakaran minyak tanah pada ketinggian 25%.	79
Tabel 4.2	Volume pembakaran minyak tanah pada ketinggian 50%	79
Tabel 4.3	Volume pembakaran minyak tanah pada ketinggian 75%	80
Tabel 4.4	Volume pembakaran minyak tanah pada ketinggian 100%	80
Tabel 4.5	Sifat-sifat gas terpilih	80
Tabel 4.6	Hasil perhitungan reaksi kimia untuk kebutuhan udara pembakaran kompor minyak tanah	81
Tabel 4.7	Temperatur aktual kompor minyak tanah.....	82
Tabel 4.8	Data hasil pengukuran laju aliran massa pembakaran kompor <i>LPG</i>	86
Tabel 4.9	Hasil perhitungan reaksi kimia untuk kebutuhan udara pembakaran kompor <i>LPG</i>	88
Tabel 4.10	Temperatur aktual kompor <i>LPG</i>	88
Tabel 5.1	Dimensi permodelan kompor minyak tanah.....	92
Tabel 5.2	Dimensi permodelan kompor <i>LPG</i>	93
Tabel 5.3	Model Penggenerasian <i>Mesh</i>	93
Tabel 5.4	Jumlah <i>Cell</i> , <i>Faces</i> dan <i>Nodes</i> kompor minyak tanah	94
Tabel 5.5	Jumlah <i>Cell</i> , <i>Faces</i> dan <i>Nodes</i> kompor <i>LPG</i>	84
Tabel 5.6	<i>Input</i> bahan bakar pembakaran kompor minyak tanah	97
Tabel 5.7	<i>Input</i> udara pembakaran kompor minyak tanah.....	97
Tabel 5.8	<i>Input</i> bahan bakar pembakaran kompor <i>LPG</i>	102
Tabel 5.9	<i>Input</i> udara pembakaran kompor <i>LPG</i>	102
Tabel 6.1	Validasi temperatur aktual dengan temperatur simulasi kompor minyak tanah.....	121
Tabel 6.2	Validasi temperatur aktual rata-rata dengan temperatur simulasi rata-rata.....	122

Tabel 6.3	Validasi temperatur aktual dengan temperatur simulasi	138
Tabel 6.4	Validasi temperatur aktual rata-rata dengan temperatur simulasi rata-rata.....	139
Tabel 6.5	Temperatur aktual modifikasi ketinggian dudukan Kompor <i>LPG</i>	141
Tabel 6.6	Hasil perbandingan modifikasi ketinggian kompor <i>LPG</i> dengan kompor minyak tanah	142
Tabel 6.7	Validasi temperatur aktual kompor minyak tanah dengan temperatur kompor <i>LPG</i>	143
Tabel 6.8	Hasil perhitungan reaksi kimia untuk kebutuhan udara pembakaran modifikasi kompor <i>LPG</i>	144
Tabel 6.9	Jumlah <i>Cell, Faces & Nodes</i> modifikasi kompor <i>LPG</i> ketinggian 43 mm.....	145
Tabel 6.10	Jumlah <i>Cell, Faces & Nodes</i> modifikasi kompor <i>LPG</i> ketinggian 40 mm.....	145
Tabel 6.11	Validasi temperatur aktual kompor <i>LPG</i> modifikasi dengan temperatur simulasi kompor <i>LPG</i>	157
Tabel 6.12	Konsumsi bahan bakar kompor minyak tanah.....	158
Tabel 6.13	Konsumsi bahan bakar kompor <i>LPG</i>	158
Tabel 6.14	Konsumsi bahan bakar modifikasi kompor <i>LPG</i>	158

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kompor Minyak Tanah.....	6
Gambar 2.2	Kompor <i>LPG</i>	7
Gambar 2.3	Skema Pembakaran.	15
Gambar 2.4	Sistem dengan Volume kendali.....	19
Gambar 2.5	Keseimbangan massa pada elemen fluida	21
Gambar 2.6	Komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida.....	23
Gambar 2.7	Komponen tegangan dalam arah x	24
Gambar 2.8	Komponen vektor <i>flux</i> panas.....	28
Gambar 2.9	Grafik penggambaran dari <i>Probability Density Function, P(f)</i>	35
Gambar 2.10	Contoh fungsi ganda delta bentuk <i>PDF</i>	37
Gambar 2.11	Bantuan logika dari scalar rata-rata $\bar{\phi}_i$ didalam \bar{f} , \bar{f}^2 dan model kimia (adiabatic, sistem satu fraksi campuran).....	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Prosedur Simulasi <i>FLUENT</i>	48
Gambar 3.2	Skema metode solusi <i>pressure based</i>	50
Gambar 3.3	Skema metode solusi <i>density based</i>	51
Gambar 3.4	Volume kendali yang digunakan untuk mengilustrasikan diskretisasi persamaan transpor skala.....	53
Gambar 3.5	Variasi variable ϕ antara $x = 0$ and $x = L$	56
Gambar 3.6	Pembagian lapisan pada daerah dekat dinding	71
Gambar 3.3	Jenis <i>grid</i>	72
Gambar 3.4	Jenis <i>mesh</i> dan penggunaannya.....	73
Gambar 3.5	Bagian-bagian <i>Cell</i>	74
Gambar 4.1	Pengukuran temperatur kompor minyak tanah	75
Gambar 4.2	Skema pengukuran temperatur kompor minyak tanah	76
Gambar 4.3	Skema pengukuran temperatur kompor minyak tanah berdasarkan variasi ketinggian sumbu	76
Gambar 4.4	Kompor minyak tanah sepuluh sumbu	77
Gambar 4.5	Gelas ukur bahan bakar minyak tanah.....	77

Gambar 4.6	<i>Thermokopel</i> tipe K(CA).	78
Gambar 4.7	<i>Display</i> tipe T4WM.....	78
Gambar 4.8	Pengukuran temperatur kompor <i>LPG</i>	82
Gambar 4.9	Skema pengukuran temperatur kompor <i>LPG</i>	83
Gambar 4.10	Skema pengukuran temperatur kompor <i>LPG</i> berdasarkan variasi bukaan katup	83
Gambar 4.11	Kompor <i>LPG</i>	84
Gambar 4.12	Tabung <i>LPG</i> 3 kg	84
Gambar 4.13	Timbangan	85
Gambar 4.14	<i>Stop Watch</i>	85
Gambar 4.15	<i>Thermokopel</i> tipe K(CA).	85
Gambar 4.16	<i>Display</i> tipe T4WM.....	86
Gambar 5.1	Diagram alir langkah pengerjaan I	89
Gambar 5.2	Diagram alir langkah pengerjaan II (lanjutan I).....	90
Gambar 5.3	Kompor minyak tanah sepuluh sumbu	92
Gambar 5.4	Kompor <i>LPG</i>	93
Gambar 5.5	Permodelan <i>Mesh Hex/Wedge</i>	94
Gambar 5.6	Viskous model untuk kompor minyak tanah	95
Gambar 5.7	Spesies model <i>PDF</i> untuk bahan bakar minyak tanah	96
Gambar 5.8	<i>Window Material</i>	96
Gambar 5.9	<i>Mass Flow Inlet</i> bahan bakar untuk input kompor minyak tanah.....	97
Gambar 5.10	<i>Mass Flow Inlet</i> udara untuk input kompor minyak tanah	98
Gambar 5.11	<i>Outflow</i> reaksi pembakaran minyak tanah.....	98
Gambar 5.12	Menu inisiasi simulasi kompor minyak tanah.....	98
Gambar 5.13	Menu iterasi simulasi kompor minyak tanah	99
Gambar 5.14	Menu <i>plot residual</i> simulasi kompor minyak tanah.....	99
Gambar 5.15	Viskous model untuk kompor <i>LPG</i>	100
Gambar 5.16	Spesies model <i>PDF</i> untuk bahan bakar <i>LPG</i>	101
Gambar 5.17	Menu material	101
Gambar 5.18	<i>Mass Flow Inlet</i> bahan bakar untuk input kompor <i>LPG</i>	102
Gambar 5.19	<i>Mass Flow Inlet</i> udara untuk input kompor <i>LPG</i>	103

Gambar 5.20	<i>Outflow</i> reaksi pembakaran <i>LPG</i>	103
Gambar 5.21	Menu inisiasi simulasi kompor <i>LPG</i>	103
Gambar 5.22	Menu iterasi simulasi kompor <i>LPG</i>	104
Gambar 5.23	Menu <i>plot residual</i> simulasi kompor <i>LPG</i>	104
Gambar 6.1	Kontur temperatur pada ketinggian sumbu 25%.....	106
Gambar 6.2	Kontur temperatur pada potongan vertikal pada ketinggian sumbu 25%.....	106
Gambar 6.3	Kontur temperatur pada ketinggian sumbu 50%.....	107
Gambar 6.4	Kontur temperatur pada potongan vertikal pada ketinggian sumbu 50%	107
Gambar 6.5	Kontur temperatur pada ketinggian sumbu 75%.....	108
Gambar 6.6	Kontur temperatur potongan vertikal pada ketinggian sumbu 75%	108
Gambar 6.7	Kontur temperatur pada ketinggian sumbu 100%	109
Gambar 6.8	Kontur temperatur potongan vertikal pada ketinggian sumbu 100%...	109
Gambar 6.9	Grafik temperatur terhadap ketinggian kompor minyak tanah	110
Gambar 6.10	Grafik fraksi mol hasil pembakaran pada ketinggian sumbu 25%.....	112
Gambar 6.11	Grafik fraksi mol hasil pembakaran pada ketinggian sumbu 50%.....	113
Gambar 6.12	Grafik fraksi mol hasil pembakaran pada ketinggian sumbu 75%.....	114
Gambar 6.13	Grafik fraksi mol hasil pembakaran pada ketinggian sumbu 100%.....	115
Gambar 6.14	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal ketinggian sumbu 25%	116
Gambar 6.15	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal ketinggian sumbu 50%.....	116
Gambar 6.16	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal ketinggian sumbu 75%	117
Gambar 6.17	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal ketinggian sumbu 100%....	117
Gambar 6.18	Grafik fraksi mol NO _x terhadap ketinggian kompor minyak tanah.....	118
Gambar 6.19	<i>Pathline</i> temperatur pada ketinggian sumbu 25%.....	119
Gambar 6.20	<i>Pathline</i> temperatur pada ketinggian sumbu 50%.....	119
Gambar 6.21	<i>Pathline</i> temperatur pada ketinggian sumbu 75%.....	120
Gambar 6.22	<i>Pathline</i> temperatur pada ketinggian sumbu 100%.....	120
Gambar 6.23	Grafik verifikasi temperatur pada setiap titik pengukuran temperatur kompor minyak tanah	121

Gambar 6.24	Grafik temperatur aktual rata-rata dan temperatur simulasi rata-rata kompor minyak tanah.	122
Gambar 6.25	Kontur temperatur pada bukaan katup 25%.....	123
Gambar 6.26	Kontur temperatur potongan vertikal pada bukaan katup 25%.....	124
Gambar 6.27	Kontur temperatur pada bukaan katup 50%.....	124
Gambar 6.28	Kontur temperatur potongan vertikal pada bukaan katup 50%.....	125
Gambar 6.29	Kontur temperatur pada bukaan katup 75%.....	125
Gambar 6.30	Kontur temperatur potongan vertikal pada bukaan katup 75%.....	126
Gambar 6.31	Kontur temperatur pada bukaan katup 100%.....	126
Gambar 6.32	Kontur temperatur potongan vertikal pada bukaan katup 100%.....	127
Gambar 6.33	Grafik temperatur terhadap jarak dan ketinggian pada reaksi pembakaran kompor <i>LPG</i>	127
Gambar 6.34	Grafik fraksi mol terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25%.....	130
Gambar 6.35	Grafik fraksi mol terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 50%.....	130
Gambar 6.36	Grafik fraksi mol terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 75%.....	132
Gambar 6.37	Grafik fraksi mol terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 100%.....	132
Gambar 6.38	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal pada bukaan katup 25%	133
Gambar 6.39	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal pada bukaan katup 50% ...	134
Gambar 6.40	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal pada bukaan katup 75%	134
Gambar 6.41	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal pada bukaan katup 100% ..	135
Gambar 6.42	Grafik fraksi mol NO _x terhadap jarak dan ketinggian	135
Gambar 6.43	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 25%	135
Gambar 6.44	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 50%	136
Gambar 6.45	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 75%	136
Gambar 6.46	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 100%.....	137
Gambar 6.47	Grafik verifikasi temperatur pada setiap titik pengukuran kompor <i>LPG</i>	138

Gambar 6.48	Grafik verifikasi temperatur aktual rata-rata dan temperatur simulasi rata-rata	139
Gambar 6.49	Pengukuran aktual modifikasi ketinggian pada kompor <i>LPG</i>	140
Gambar 6.50	Skema pengukuran aktual modifikasi ketinggian pada kompor <i>LPG</i> ..	140
Gambar 6.51	Grafik perbandingan temperatur aktual kompor minyak tanah dengan temperatur aktual modifikasi kompor <i>LPG</i>	141
Gambar 6.52	Kontur temperatur pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	146
Gambar 6.53	Kontur temperatur potongan vertikal pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	146
Gambar 6.54	Kontur Temperatur pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm	147
Gambar 6.55	Kontur temperatur pada potongan vertikal pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm.....	147
Gambar 6.56	Grafik temperatur terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	148
Gambar 6.57	Grafik temperatur terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	148
Gambar 6.58	Grafik fraksi mol reaksi pembakaran terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	151
Gambar 6.59	Grafik fraksi mol reaksi pembakaran terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm.....	151
Gambar 6.60	Kontur fraksi mol NO _x potongan vertikal pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm.....	152
Gambar 6.61	Kontur fraksi mol NO _x pada potongan vertikal pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm.....	153
Gambar 6.62	Grafik fraksi mol NO _x terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm	153
Gambar 6.63	Grafik fraksi mol NO _x terhadap jarak dan ketinggian pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm	154
Gambar 6.64	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 25% ketinggian 43 mm	155
Gambar 6.65	<i>Pathline</i> temperatur pada bukaan katup 25% ketinggian 40 mm	155

Gambar 6.66 Grafik verifikasi temperatur aktual modifikasi kompor *LPG*
dengan temperatur simulasi modifikasi kompor *LPG*..... 156

Nomenklatur

A	area, m^2
AFR	perbandingan udaran dan bahan bakar, kg udara/kg bahan bakar
D	diameter, m turbulent dissipasi, m^2/s^3
g	percepatan gravitasi, $kg\ m/s$
I	intensitas turbulen, %
k	energi kinetik turbulen, m^2/s^2
M	berat melekul, $kg/kmol$
m	massa, kg
\dot{m}	laju aliran massa, kg/s
P	tekanan, Kpa
$P(f)$	<i>Probability Density Function</i>
Q	laju aliran volume, m^3/s
Re	<i>reynold number</i>
T	temperatur, K
V	volume, m^3
v	kecepatan, m/s tegangan permukaan, N/m massa jenis, kg/m^3
μ	viskositas, $kg/m-s$ tegangan viscous, N/m
Φ	fungsi dissipasi fluks
\cdot	diveregens gradien