

**TUGAS SARJANA  
BIDANG KONVERSI ENERGI**

**SIMULASI ALIRAN FLUIDA DALAM PROSES PEMBAKARAN  
NATURAL GAS PADA COMBUSTION CHAMBER**



Diajukan Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)

**Disusun oleh:**

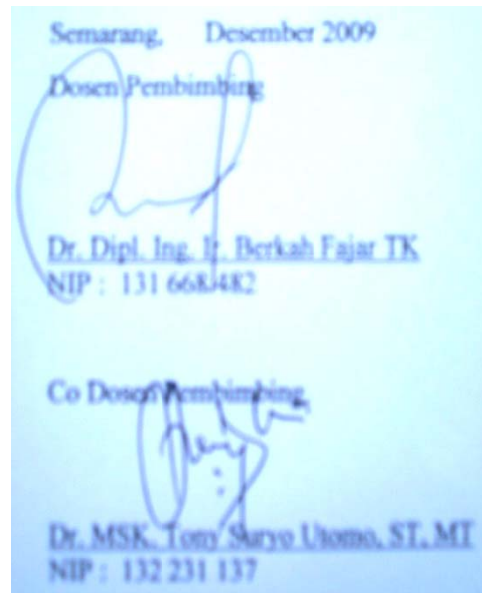
**NAMA : NUR CAHYO**

**NIM : L2E 004 424**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2009**

## TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Nur Cahyo  
NIM : L2E 004 424
- Dosen Pembimbing : 1. Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK  
2. Dr. MSK Tony Suryo U. ST, MT
- Jangka Waktu : 6 (enam) bulan
- Judul : SIMULASI ALIRAN FLUIDA DALAM PROSES  
PEMBAKARAN NATURAL GAS PADA COMBUSTION  
CHAMBER
- Isi Tugas : - Mengetahui sistem pembakaran pada *combustion chamber*.  
- Mengetahui fungsi dan karakteristik aliran dalam proses pembakaran dengan bahan bakar natural gas.  
- Mengetahui cara kerja FLUENT 6.3.26  
- Mendapatkan hasil simulasi dari FLUENT 6.3.26



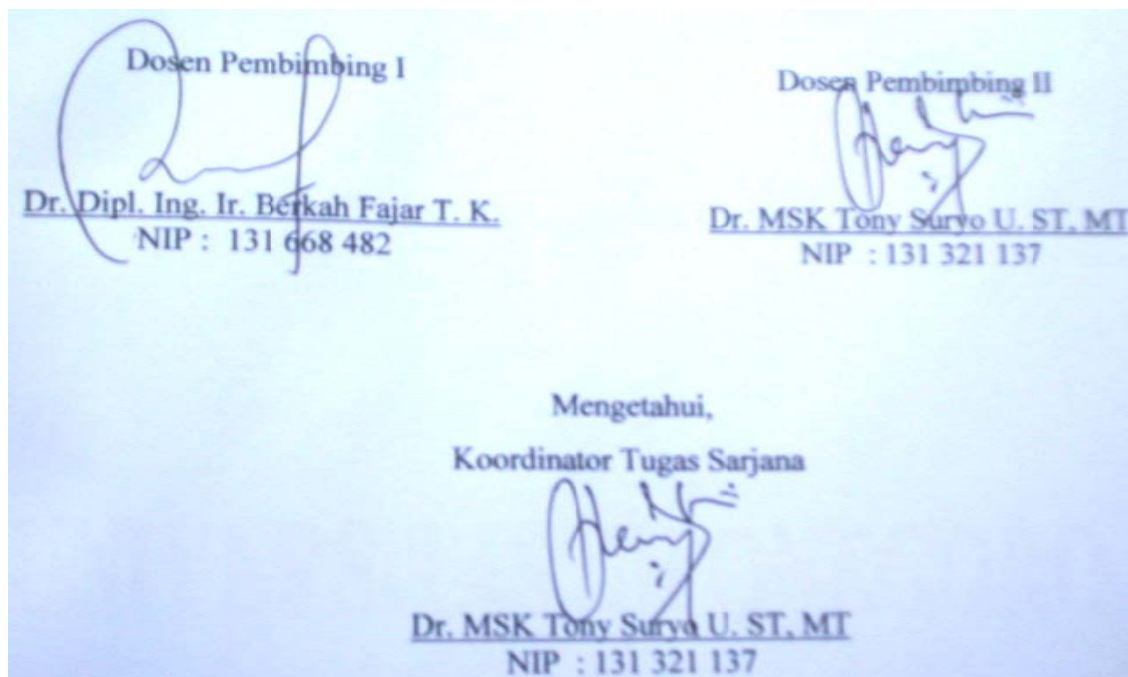
## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Sarjana dengan judul “*SIMULASI ALIRAN FLUIDA  
DALAM PROSES PEMBAKARAN NATURAL GAS PADA COMBUSTION  
CHAMBER*” telah diperiksa dan disetujui pada :

Hari : .....

Tanggal : .....

Menyetujui,



## ABSTRACT

High Temperature Air Combustion is a recent development in the combustion of hydrocarbon fuels which promises high efficiencies. The principal feature of HiTAC is combustion at extremely low oxygen concentration levels with air preheating to high temperatures to maintain stable combustion. Experiments show that, under these conditions, the flame volume expands and the peak temperature decreases.

In the present paper, these features of High Temperature Air Combustion are simulated in a 300 kW natural gas burner. Simulation was done by varying the operation condition such as oxidant temperature and the inlet oxygen concentration. The oxidant temperature was varied at 300K, 600K, 900K, 1200K and 1500K. The oxygen concentration was varied at 5%, 15% and 21% by wight. The results of the simulation is validated by comparing the predictions with the measured values under normal combustion conditions.

**Keywords:** Hydrocarbon combustion, CFD, high temperature air combustion.

## ABSTRAK

Pembakaran dengan temperatur udara tinggi adalah pengembangan pada pembakaran dengan bahan bakar hidrokarbon karena menjanjikan efisiensi yang tinggi. Prinsip dari HiTAC ini adalah pembakaran dilakukan pada konsentrasi oksigen yang rendah dengan temperatur pemanasan awal udara pembakaran yang cukup tinggi untuk menjaga kestabilan pembakaran. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pada kondisi ini volume flame mengembang dan *peak temperatur* menurun.

Dalam tugas akhir ini, pembakaran udara dengan temperatur tinggi disimulasikan pada burner gas alam 300kW. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan kondisi operasi seperti temperatur oksidan dan konsentrasi oksigen yang masuk. Temperatur oksidan divariasikan pada 300K, 600K, 900K, 1200K dan 1500K. Selanjutnya konsentrasi oksigen divariasikan pada 5%, 15% dan 21% . Hasil dari simulasi divalidasikan dengan cara membandingkan prediksi yang didapat dari pengukuran di bawah kondisi pembakaran normal.

Kata kunci : Hydrocarbon combustion, CFD, high temperature air combustion

## PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan Tugas Sarjana ini untuk:*

*Kedua orangtuaku  
yang telah memberikan segalanya buatku, sungguh tidak ternilai pengorbanan mereka.  
Adikku Aan, yang telah menemaniku serta mengisi hari-hariku saat di rumah...  
Rika Andriyani Sukma, SE yang tidak henti-hentinya memberikan support padaku, selalu  
ada dan menemani hari-hariku yang melelahkan. Sedih dan senang dalam penyelesaian  
laporan ini telah kita jalani bersama. Makasih ya han...  
Kresnanto "Krespo", Didit dan Yuda "YP", dan Irsyad makasih atas kerjasamanya  
selama di laboratorium...  
Alvin dan Mamet makasih atas bantuan komputernya serta saran-sarannya,  
cepat wisuda ya vin...  
Smua temen2 mesin angkatan '04, thanks for all...*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “SIMULASI ALIRAN FLUIDA DALAM PROSES PEMBAKARAN NATURAL GAS PADA COMBUSTION CHAMBER”. Tugas akhir 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. Bapak Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar, selaku dosen pembimbing I.
2. Bapak Dr. MSK Tony Suryo U. ST, MT, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro dan dosen pembimbing II.
3. Kedua orang tua dan adik atas doa, bantuan serta dorongannya selama ini.
4. Teman-teman Irsyad, Alvin, R.A. Sukma, atas bantuannya dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin angkatan '04 yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.
6. Serta seluruh pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penulisan tugas akhir 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, 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
ABSTRAKSI .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMBANG.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	1
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Metode Penyelesaian Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II DASAR TEORI .....	4
2.1 Klasifikasi Aliran Fluida.....	4
2.1.1 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i> .....	5
2.1.2 Aliran <i>Laminar</i> dan <i>Turbulen</i> .....	5
2.1.3 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> .....	6
2.1.4 Aliran <i>Internal</i> dan <i>Eksternal</i> .....	7
2.2 Persamaan Dasar Aliran Fluida .....	7
2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa.....	7
2.2.2 Persamaan Kekekalan Momentum .....	8



2.2.3	Persamaan Energi.....	11
2.3	Bilangan Reynolds.....	12
2.4	Bahan bakar dan Pembakaran.....	12
2.4.1	Pengertian Umum.....	12
2.4.1.1	Bahan Bakar.....	12
2.4.1.2	Pembakaran.....	13
2.4.2	Komposisi dan Spesifikasi Bahan Bakar.....	13
2.4.2.1	Komposisi Bahan Bakar.....	13
2.4.2.2	Spesifikasi Dasar Bahan Bakar.....	15
2.4.3	Macam-macam Bahan Bakar.....	19
2.4.3.1	Bahan Bakar Padat.....	19
2.4.3.2	Bahan Bakar Cair.....	19
2.4.3.3	Bahan Bakar Gas.....	19
2.4.4	Proses Pembakaran.....	20
2.4.5	Pencemaran.....	21
BAB III PIRANTI PEMROGRAMAN.....		23
3.1	Sekilas tentang GAMBIT.....	23
3.2	Sekilas tentang FLUENT.....	23
3.3	Skema Numerik.....	23
3.3.1	Metode Solusi <i>Segregated</i> .....	24
3.3.2	Metode Solusi <i>Coupled</i> .....	25
3.4	Diskretisasi.....	26
3.4.1	<i>First-order Upwind</i> .....	28
3.4.2	<i>Second-order Upwind</i> .....	28
3.4.3	<i>Power-law</i> .....	29
3.4.4	Bentuk Linear Persamaan Diskret.....	31
3.4.5	<i>Under-relaxation Factor</i> .....	31
3.5	Diskretisasi <i>Segregated Solver</i> .....	32
3.5.1	Diskretisasi Persamaan Momentum.....	32
3.5.2	Skema Interpolasi Tekanan.....	32

3.5.2.1	Standar .....	32
3.5.2.2	Linear .....	33
3.5.2.3	<i>Second-order</i> .....	33
3.5.2.4	<i>Body-force weighted</i> .....	33
3.5.3	Diskretisasi Persamaan Kontinuitas.....	33
3.5.4	<i>Pressure-Velocity Coupling</i> .....	34
3.5.4.1	SIMPLE .....	34
3.5.4.2	SIMPLEC.....	36
3.5.4.3	PISO .....	37
3.6	Diskretisasi Waktu ( <i>Temporal Discretization</i> ) .....	39
3.6.1	Integrasi Waktu Implicit .....	40
3.6.2	Integrasi Waktu Explicit .....	40
3.7	Jenis Grid .....	40
3.8	Kualitas Mesh .....	41
3.8.1	Kerapatan Nodal .....	41
3.8.2	Kehalusan ( <i>smoothness</i> ).....	42
3.8.3	Bentuk sel.....	42
3.9	Persamaan Energi.....	42
3.10	Model Viskos <i>k-epsilon</i> .....	42
3.11	Model <i>Species Transport</i> dan Reaksi Kimia.....	43
BAB IV SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI PADA FLUENT.....		44
4.1	Model Benda.....	44
4.2	Langkah pengerjaan.....	45
4.3	Simulasi Numerik pada Fluent 6.3.26.....	54
4.3.1	Diskripsi Masalah dan Kondisi Batas .....	54
4.3.2	Sifat Fluida ( <i>Fluid Property</i> ) .....	55
4.3.3	Bilangan Reynold Arus Bebas .....	55
4.3.4	Pembuatan Grid .....	56
4.3.5	Simulasi Untuk Mendapatkan <i>Independent Grid</i> .....	57
4.3.6	Proses Simulasi .....	60

4.3.6.1	Control Solusi .....	60
4.3.6.2	Input Data.....	61
4.3.6.3	Proses Iterasi .....	63
4.4	Profil Kecepatan.....	65
BAB V ANALISA HASIL SIMULASI .....		67
5.1	Peak Gas Temperatur.....	67
5.1.1	Data Literatur .....	67
5.1.2	Hasil Simulasi .....	68
5.2	Temperatur Udara Keluar .....	72
5.2.1	Data Hasil Simulasi.....	72
5.2.2	Grafik Hasil Simulasi.....	74
5.2.3	Validasi.....	74
5.3	<i>Mass Flow Rate</i> .....	75
5.4	Temperatur Statik.....	76
5.5	Vektor Kecepatan.....	82
5.6	Plot Post Processing.....	83
5.6.1	Mass Fraction of Pollutan NO.....	83
5.6.2	Static Temperature.....	85
5.6.3	Fraksi Massa CH <sub>4</sub> .....	86
5.6.4	Fraksi Massa C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> .....	87
5.6.5	Fraksi Massa C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> .....	88
5.6.6	Fraksi Massa C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> .....	89
5.6.7	Fraksi Massa CO <sub>2</sub> .....	90
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		91
6.1	Kesimpulan .....	91
6.2	Saran .....	92

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Tabel <i>peak gas temperature</i> .....	69
Tabel 5.2 Tabel temperatur udara keluar .....	72
Tabel 5.3 Tabel validasi temperatur udara keluar.....	74
Tabel 5.4 Tabel <i>net mass flow rate</i> .....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi aliran fluida.....	4
Gambar 2.2	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata .....	5
Gambar 2.3	Variasi kecepatan terhadap waktu .....	6
Gambar 2.4	Keseimbangan massa pada elemen fluida.....	8
Gambar 2.5	Komponen tegangan menurut arah sumbu-x.....	9
Gambar 3.1	Skema metode solusi <i>Segregated</i> .....	25
Gambar 3.2	Skema metode solusi <i>Coupled</i> .....	26
Gambar 3.3	Volum kendali yang digunakan untuk mengilustrasikan diskretisasi persamaan transpor skalar.....	28
Gambar 3.4	Variasi variable $\phi$ antara $x = 0$ and $x = L$ .....	30
Gambar 4.1	(a) Geometri combustor keseluruhan.....	44
	(b) detail burner dari 300kW BERL combustor.....	44
Gambar 4.2	Geometri 300kW BERL combustor dalam fluent .....	44
Gambar 4.3	(a) Diagram alir langkah pengerjaan preprocessor.....	45
	(b) Diagram alir langkah pengerjaan tahap solving.....	47
Gambar 4.4	Panel solver.....	48
Gambar 4.5	Panel pemodelan aliran.....	49
Gambar 4.6	Panel model radiasi.....	49
Gambar 4.7	Panel model spesies .....	50
Gambar 4.8	Panel model spesies dalam membuat PDF tabel.....	50
Gambar 4.9	Panel material.....	51
Gambar 4.10	(a) Panel boundary condition.....	52
	(b) Panel menentukan kondisi batas pada air inlet.....	52
Gambar 4.11	Panel solusi kendali sebagai variabel simulasi. ....	52
Gambar 4.12	Panel solusi inisiasi.....	53
Gambar 4.13	Panel adaptasi Yplus/Ystar .....	53
Gambar 4.14	(a) Geometri combustor keseluruhan.....	54
	(b) detail burner dari 300kW BERL combustor.....	54

Gambar 4.15	Grid persegi terstruktur untuk <i>meshing</i> domain.....	56
Gambar 4.16	Grid sebelum proses adaptasi .....	57
Gambar 4.17	Grid setelah proses adaptasi.....	58
Gambar 4.18	Kriteria konvergensi untuk kondisi aliran <i>steady</i> .....	61
Gambar 4.19	Tabel komposisi bahan bakar.....	62
Gambar 4.20	Input komposisi bahan bakar untuk PDF Tabel.....	62
Gambar 4.21	Input kondisi batas pada pressure outlet.....	63
Gambar 4.22	Input kondisi batas pada wall.....	63
Gambar 4.23	Inisiasi temperature pada air inlet.....	64
Gambar 4.24	Panel iterasi.....	64
Gambar 4.25	Iterasi telah mencapai kriteria konvergensi. ....	65
Gambar 5.1	Grafik <i>preheat air temperature</i> dengan <i>peak gas temperature</i> dari literatur .....	67
Gambar 5.2	Grafik <i>preheat air temperature</i> dengan NOx dari literatur .....	68
Gambar 5.3	Grafik <i>oxygen mass fraction</i> dengan NOx dari literatur .....	68
Gambar 5.4	Grafik <i>preheat air temperature</i> dengan <i>peak gas temperature</i> .....	70
Gambar 5.5	Grafik <i>preheat air temperature</i> dengan <i>outlet temperature</i> .....	74
Gambar 5.6	Panel perhitungan mass flow rate dalam fluent.....	76
Gambar 5.7	Kontur statik temperatur pada temperatur <i>preheat</i> udara 300K .....	77
Gambar 5.8	Kontur statik temperatur pada temperatur <i>preheat</i> udara 600K .....	78
Gambar 5.9	Kontur statik temperatur pada temperatur <i>preheat</i> udara 900K .....	79
Gambar 5.10	Kontur statik temperatur pada temperatur <i>preheat</i> udara 1200K .....	80
Gambar 5.11	Kontur statik temperatur pada temperatur <i>preheat</i> udara 1500K .....	81
Gambar 5.12	Vektor kecepatan pada daerah inlet udara .....	82
Gambar 5.13	Vektor kecepatan pada daerah inlet bahan bakar.....	82
Gambar 5.14	Vektor kecepatan pada daerah pressure outlet.....	83
Gambar 5.15	Mass fraction of pollutant NOx pada temperature <i>air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21 %.....	84
Gambar 5.16	Mass fraction of pollutant NOx pada temperature <i>air preheat</i> 900 K konsentrasi oksigen 21 %.....	84

Gambar 5.17	Mass fraction of pollutant NO <sub>x</sub> pada temperature <i>air preheat</i> 1200 K konsentrasi oksigen 21 %.....	84
Gambar 5.18	Temperatur static pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21 %.....	85
Gambar 5.19	Temperatur static pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21 %.....	85
Gambar 5.20	Fraksi massa CH <sub>4</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21%.....	86
Gambar 5.21	Fraksi massa CH <sub>4</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21%.....	86
Gambar 5.22	Fraksi massa C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21%.....	87
Gambar 5.23	Fraksi massa C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21%.....	87
Gambar 5.24	Fraksi massa C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21%.....	88
Gambar 5.25	Fraksi massa C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21%.....	88
Gambar 5.26	Fraksi massa C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21%.....	89
Gambar 5.27	Fraksi massa C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21%.....	89
Gambar 5.28	Fraksi massa CO <sub>2</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 300 K konsentrasi oksigen 21%.....	90
Gambar 5.29	Fraksi massa CO <sub>2</sub> pada <i>temperature air preheat</i> 1500 K konsentrasi oksigen 21%.....	90

## DAFTAR LAMBANG

Lambang	Nama	Satuan
A	= area permukaan	[ m <sup>2</sup> ]
h	= entalpi	[ kJ/kg ]
m	= massa	[ kg ]
$k_{eff}$	= konduktifitas efektif	[ W/m. K ]
$k_t$	= konduktifitas turbulen	[ W/m. K ]
c	= kecepatan suara	[ m/s ]
$N_{sisi}$	= jumlah sisi sel	[ - ]
L	= panjang karakteristik dari geometri daerah aliran	[ m ]
T	= temperatur	[ K ]
M	= bilangan Mach	[ - ]
$\mu$	= <i>viskositas fluida</i>	[ kg/ m.s ]
$\hat{n}$	= vektor kecepatan arah normal	[ - ]
p	= tekanan	[ Pa ]
$\rho$	= massa jenis	[ kg/m <sup>3</sup> ]
Re	= bilangan Reynold	[ - ]
S	= luasan acuan	[ m <sup>2</sup> ]
$\hat{t}$	= vektor kecepatan arah tangensial	[ - ]
$\tau$	= tegangan geser	[
u	= kecepatan aliran	[ m/s ]
$V_\infty$	= kecepatan fluida relatif	[ m/s ]
v	= kecepatan relatif	[ m/s ]



## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran A

Gambar A-1 Kondisi Batas Model Keseluruhan

Gambar A-2 Kondisi Batas Bagian Model

### Lampiran B

Tabel B-1 Experimental furnace geometry data

Tabel B-2 Stage NG and central NG velocities, Fr and Re numbers  
for the stage NG jet

Tabel B-3 Properties of Materials