

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
INTISARI	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI dan SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	6
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 Studi Numerik tentang Proses Pembakaran pada Boiler.....	7
BAB III DASAR TEORI.....	16
3.1 Pendahuluan.....	16
3.2 Boiler.....	16
3.3 <i>Burner</i> Bahan Bakar Cair.....	19
3.4 Bahan Bakar <i>Fuel Oil</i>	22
3.4.1 Analisis <i>Ultimate</i> dari <i>Fuel Oil</i>	24
3.4.2 Mekanisme Pembakaran <i>Fuel Oil</i>	25

3.5	Teori Pembakaran	27
3.5.1	Proses Pembakaran Teoritis dan Aktual	28
3.5.2	Termodinamika Pembakaran	30
3.6	Sistem Termodinamika, Neraca Massa dan Neraca Energi	34
3.6.1	Sistem Termodinamika	34
3.6.2	Neraca Massa dan Neraca Energi	35
3.7	Aliran dan Perpindahan Panas	36
3.7.1	Aliran di Dalam <i>Boiler</i>	36
3.7.2	Dasar-dasar Analisis Aliran	37
3.7.3	Persamaan-persamaan Kekekalan Atur Dasar	38
BAB IV METODE PENELITIAN		54
4.1	Pendahuluan.....	54
4.2	Alat dan Sumber Data Penelitian	56
4.2.1	Alat Penelitian	56
4.2.2	Sumber Data Penelitian.....	56
4.3	Alur Penelitian	57
4.4	Pembuatan <i>Computational Domain</i>	61
4.5	Tahapan Komputasi	68
4.5.1	Penyederhanaan di FLUENT	68
4.5.2	Pelaksanaan Simulasi Numerik di FLUENT	69
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		75
5.1	Pendahuluan.....	75
5.2	Penentuan Konvergensi.....	75
5.3	Kontur Parameter Pembakaran	77
5.4	<i>Pathlines</i> dan <i>Particle Tracks</i>	87
5.5	Perbandingan dengan Kondisi Operasional	89
5.6	Pembahasan Mengenai Perubahan Bahan Bakar Boiler	90
BAB VI PENUTUP		93
6.1	Pendahuluan.....	93
6.2	Kesimpulan	93
6.3	Saran	95
DAFTAR PUSTAKA.....		97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang samping, sketsa, serta geometri sederhana dari <i>oil-fired water-tube boiler</i> yang diamati (Carvalho dan Coelho, 1990).....	8
Gambar 2.2 Prediksi vektor kecepatan pada <i>burner</i> (Carvalho dan Coelho, 1990).....	9
Gambar 2.3 Distribusi kontur temperatur gas (K) (Carvalho dan Coelho, 1990).....	9
Gambar 2.4 Prediksi dari fraksi massa campuran dan fraksi massa bahan bakar (Carvalho dan Coelho, 1990).....	10
Gambar 2.5 Pandangan depan dari <i>boiler</i> (Mohammad, <i>et al.</i> , 2013).....	11
Gambar 2.6 Struktur <i>mesh</i> dari ruang bakar <i>boiler</i> serta skema <i>grid</i> pada <i>cross section</i> (Mohammad, <i>et al.</i> , 2013).....	12
Gambar 2.7 Kontur temperatur pada bidang diagonal (Mohammad, <i>et al.</i> , 2013).....	12
Gambar 2.8 Kontur temperatur pada (a) bidang F-1, (b) bidang SA, (c) bidang Slant_b, dan (d) bidang reheater (Mohammad, <i>et al.</i> , 2013).....	13
Gambar 2.9 Pola aliran di dalam ruang bakar (Mohammad, <i>et al.</i> , 2013).....	13
Gambar 2.10 Sketsa <i>boiler</i> tampak samping (Zhu, <i>et al.</i> , 2013).....	15
Gambar 2.11 Kontur temperatur pada $x = 0$ mm untuk tiga kondisi (<i>Base Case</i> , <i>Case 1</i> dan <i>Case 2</i>) (Zhu, <i>et al.</i> , 2013).....	15
Gambar 3.1 Berbagai jenis konfigurasi burner di dalam boiler (Kakac, 1991).....	20
Gambar 3.2 <i>Pressure jet burner</i> (http://www.spiraxsarco.com).....	21
Gambar 3.3 <i>Rotary cup burner</i> (http://www.spiraxsarco.com).....	22
Gambar 3.4 Diagram produk hidrokarbon hasil penyulingan minyak bumi berdasarkan jumlah karbon (Borgnakke dan Sonntag, 2009).....	23
Gambar 3.5 Pendekatan metode pembakaran bahan bakar <i>fuel oil</i> (Rahhal, <i>et al.</i> , 2009).....	26
Gambar 3.6 Neraca energi pada ruang bakar aliran tunak (<i>steady</i>) (Setiyanto, 2015).....	32
Gambar 3.7 Sistem termodinamika : (a) Sistem tertutup, (b) Sistem terbuka.....	34
Gambar 3.8 Transfer massa, panas, dan momentum antara fluida dan partikel <i>droplet</i>	48
Gambar 4.1 Garis besar alur penelitian.....	54
Gambar 4.2 Tahapan-tahapan detil dari pekerjaan di Gambit 2.3.16 (Sugiyono, 2011).....	59
Gambar 4.3 Tahapan-tahapan detil dari pekerjaan di FLUENT 6.3.16 (Sugiyono, 2011).....	60
Gambar 4.4 Desain boiler secara umum (Gambar Teknik <i>Boiler</i> PLTU PT. PLN UB Kendari).....	62

Gambar 4.5 Geometri boiler yang mengacu pada gambar teknik <i>boiler</i> PLTU PT. PLN UB Kendari	65
Gambar 4.6 Tampilan isometrik dari gambar teknik boiler PLTU PT. PLN UB Kendari	66
Gambar 4.7 Tampilan <i>mesh/grid</i> dari Geometri boiler PLTU PT. PLN UB Kendari	67
Gambar 5.1 Kontur temperatur pada Bidang XZ.....	78
Gambar 5.2 Kontur temperatur (K) pada bidang XY	79
Gambar 5.3 Kontur temperatur (K) pada bidang <i>Burner</i>	79
Gambar 5.4 Kontur temperatur (K) pada bidang YZ.....	80
Gambar 5.5 Kontur tekanan (Pa) pada bidang XZ	81
Gambar 5.6 Kontur kecepatan (m/s) pada bidang XZ	82
Gambar 5.7 Kontur fraksi massa $C_{19}H_{30}$ pada bidang XZ	83
Gambar 5.8 Kontur fraksi massa CO_2 pada bidang XZ.....	84
Gambar 5.9 <i>Pathlines</i> dari udara primer	87
Gambar 5.10 <i>Pathlines</i> dari udara sekunder	88
Gambar 5.11 <i>Particle traces</i> dari <i>fuel oil</i> ($C_{19}H_{30}$)	88
Gambar 5.12 Tampilan temperatur dan tekanan pada kondisi operasional (PLTU PT. PLN UB Kendari).....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data listrik nasional (ESDM, 2012).....	1
Tabel 2.1 Kondisi <i>inlet</i> standar (Zhu, <i>et al.</i> , 2013)	15
Tabel 3.1 Analisis <i>ultimate fuel oil</i> (Kholid, 2007)	24
Tabel 3.2 Komposisi <i>fuel oil</i> yang digunakan dalam penelitian	25
Tabel 3.3 Ukuran partikel <i>fuel oil</i> serta pendekatan Rosin-Rammler (Chaudhry, <i>et al.</i> , 2010)	25
Tabel 4.1 Menu-menu yang digunakan dalam FLUENT.....	61
Tabel 4.2 Tipe kondisi batas (<i>boundary condition</i>) pada simulasi <i>boiler</i>	67
Tabel 4.3 Data-data <i>models</i>	70
Tabel 4.4 Data-data <i>boundary conditions inlet</i> udara	71
Tabel 4.5 Data-data <i>boundary conditions outlet</i>	71
Tabel 4.6 Data <i>boundary condition wall</i>	72
Tabel 4.7 Injeksi <i>fuel oil</i>	72
Tabel 4.8 <i>Mixture material</i>	73
Tabel 4.9 <i>Solid material</i>	73
Tabel 4.10 <i>Droplet-particle material</i>	74
Tabel 5.1 Kesetimbangan massa dan energi dari hasil simulasi	76

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	= koefisien penyerapan untuk radiasi
a_p	= koefisien absorpsi ekivalen dari partikel padat
c_p	= <i>specific Heat</i> (J/kg. K)
$C_{1\epsilon}$	= konstanta 1 untuk ϵ
$C_{2\epsilon}$	= konstanta 2 untuk ϵ
$C_{3\epsilon}$	= konstanta 3 untuk ϵ
C_D	= koefisien dari tahanan aliran
C_{sw}	= koefisien <i>swelling</i>
C_μ	= konstanta untuk viskositas
D	= diameter (m)
E	= energi (J)
E_p	= besaran emisi ekivalen dari partikel padat
E_{pyr}	= energi aktivasi (J/kmol)
FA	= <i>Fuel-Air Ratio</i> / Rasio Bahan Bakar-Udara
F_i	= gaya luar terhadap i (N)
F_D	= gaya gesek (N)
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
G_b	= timbulnya energi kinetik turbulen karena adanya gaya apung
G_k	= timbulnya energi kinetik turbulen karena adanya gradien kecepatan rata-rata
h	= entalpi (J)
h_{fg}	= entalpi penguapan pada temperatur tertentu (kJ/kmol)
h°	= entalpi pada kondisi standar (J/mol)
\hat{h}°	= entalpi pembakaran persatuan mol pada kondisi standar (J/mol)

- \hat{H}_P = Enthalpi Pembentukan dari Produk (J/kg)
- \hat{H}_R = Enthalpi Pembentukan dari Reaktan (J/kg)
- HHV = *Higher Heating Value* (J/kg)
- $J'_{i,i}$ = fluks difusi dari spesies i' karena gradien konsentrasi
- k = energi kinetik turbulen (m^2/s^2)
- k_{eff} = konduktivitas termal efektif
- $k_{f,k}$ = konstanta laju reaksi maju pada reaksi ke- k
- $k_{o,pyr}$ = *Arrhenius rate constant*
- $k_{o,pyr}$ = *pre-exponential factor*
- k_t = konduktivitas termal turbulen
- \dot{m} = massa per satuan waktu (kg/s)
- $m_{i'}$ = fraksi massa dari spesies i'
- N = jumlah mol air (kmol)
- N_i = koefisien stoikhiometri
- p = tekanan statik (N/m^2)
- Pr_t = bilangan Prandtl turbulen
- \dot{Q} = kalor per satuan waktu (W)
- \hat{Q} = kalor per satuan mol (J/mol)
- R = konstanta gas ideal (J/mol.K)
- Re = bilangan Reynolds
- R'_i = laju massa species i karena reaksi kimia
- $\hat{R}'_{i',k}$ = laju dari molar penciptaan atau pemusnahan spesies i' pada reaksi ke- k .
- S = modulus dari *mean rate of strain tensor*
- S_h = *source of heat*
- $S_{i'}$ = laju penciptaan spesies i' dari fase yang terdispersi
- S_{ij} = *mean rate of strain tensor*
- S_k = *source of turbulent kinetic energy*

S_m	= <i>source of mass</i>
S_ϵ	= <i>source of turbulent dissipation rate</i>
Sc_t	= bilangan Schmidt turbulen
T	= temperatur (K)
t	= waktu (s)
u	= kecepatan (m/s)
V	= volume (m ³)
\vec{V}	= vektor arah untuk kecepatan
\dot{W}	= kerja per satuan waktu (W)
x_i	= koordinat arah i
x_j	= koordinat arah j
β	= koefisien ekspansi termal
δ	= delta Kronecker
ϵ	= laju disipasi turbulensi (m ² /s ³)
η_{comb}	= efisiensi pembakaran
θ	= total energi spesifik (J)
μ	= viskositas (kg/m.s)
μ_{eff}	= viskositas efektif ()
μ_t	= viskositas turbulen ()
ρ	= massa jenis (kg/m ³)
σ	= konstanta Stefan-Boltzman untuk radiasi
σ_ϵ	= bilangan Prandtl turbulen untuk epsilon
σ_k	= bilangan Prandtl turbulen untuk k
σ_s	= koefisien penyebaran untuk radiasi
τ	= tegangan viskos (N/m ²)
τ_{ij}	= tensor tegangan viskos