

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Pembakaran Biomassa Pada Fluidized Bed Boiler (FBB)	8
2.2 Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) pada Pembakaran Biomassa	9
2.3 Karakteristik Biomassa Serbuk Kayu (<i>Powder Wood</i>)	14
2.4 Karakteristik Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit	15
2.5 Karakteristik Biomassa Ampas Tebu (<i>Bagasse</i>)	17
2.6 Emisi Gas Buang Pembakaran Biomassa	18
2.7 Analisis Numerik Dengan Ansys Fluent	20
BAB III LANDASAN TEORI	29
3.1 Biomassa	29
3.1.1 Biomassa Serbuk Kayu (<i>Powder Wood</i>)	30
3.1.2 Biomassa Limbah Kelapa Sawit	31
3.1.3 Biomassa Ampas Tebu	33

3.1.4	Proses Pembakaran Biomassa	34
3.2	Sifat-Sifat Bahan Bakar Biomassa	38
3.3	<i>Fluidized Bed Boiler</i> (FBB)	45
3.4	<i>Air Fuel Ratio</i> (AFR)	47
3.5	Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Biomassa	49
3.6	Teori Dasar <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	51
3.7	Metode <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD) dalam Ansys Fluent	52
3.8	<i>Creating Model</i> pada Model <i>Fluidized Bed Boiler</i> (FBB)	53
3.9	<i>Meshing</i> pada Objek	53
3.9.1	<i>Skewness</i>	54
3.9.2	Rasio Aspek	55
3.9.3	Ortogonalitas	56
3.10	<i>Governing Equation</i>	57
3.10.1	Persamaan Kontinuitas dalam Ansys Fluent	57
3.10.2	Persamaan Momentum dalam Ansys Fluent	58
3.10.3	Persamaan Energi dalam Ansys Fluent	60
3.10.4	Persamaan Aliran Turbulensi dalam Ansys Fluent	61
3.10.5	Persamaan Species dan Massa dalam Ansys Fluent	61
3.10.6	Elemen Lain dalam Ansys Fluent	63
3.11	<i>Discretization</i>	65
3.12	<i>Boundary Condition</i>	66
3.13	Algoritma Komputasi	66
3.14	<i>Convergent</i>	66
3.15	<i>Post-Processing</i>	67
BAB IV	METODE PENELITIAN	69
4.1	Lokasi Penelitian	69
4.2	Objek Penelitian	69
4.3	Skema dan Model dalam Penelitian	72
4.4	Variabel Dalam Penelitian	74
4.5	Langkah-langkah dalam Penelitian	74
4.6	<i>Flow Chart</i>	78

4.7	Alat Penelitian	81
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		82
5.1	Pemodelan <i>Fluidized Bed Boiler</i> (FBB)	82
5.2	<i>Grid Independency Test</i>	83
5.3	<i>Mesh Quality Check</i>	84
5.4	Pengaruh AFR terhadap Distribusi Temperatur	85
5.4.1	Serbuk Kayu	85
5.4.2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	87
5.4.3	Ampas Tebu	89
5.5	Pengaruh AFR terhadap Distribusi Kecepatan	91
5.5.1	Serbuk Kayu	91
5.5.2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	93
5.5.3	Ampas Tebu	94
5.6	Pengaruh AFR terhadap Nilai Kalor	96
5.6.1	Serbuk Kayu	96
5.6.2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	97
5.6.3	Ampas Tebu	98
5.7	Pengaruh AFR terhadap Turbulensi Flue Gas	99
5.7.1	Serbuk Kayu	99
5.7.2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	100
5.7.3	Ampas Tebu	101
5.8	Pengaruh AFR terhadap Emisi Gas Buang	102
5.8.1	Serbuk Kayu	103
5.8.2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	105
5.8.3	Ampas Tebu	107
BAB VI PENUTUP		110
6.1	Kesimpulan	110
6.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN		119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi temperatur pembakaran serpihan kayu ketam di ruang bakar	8
Gambar 2.2 Grafik Distribusi Temperatur Terhadap Posisi <i>Thermocouple</i> dengan Variasi AFR pada Tekanan 0,8 bar	10
Gambar 2.3 Grafik perilaku suhu pada perlakuan mesh	11
Gambar 2.4 Pengaruh perlakuan mesh terhadap nilai AFR	12
Gambar 2.5 Grafik konsentrasi kandungan syn-gas AFR pada ukuran ampas tebu 1-7 mm	12
Gambar 2.6 Kondisi batas pada proses simulasi	21
Gambar 2.7 Distribusi CO ₂ , <i>fuel gas</i> , H ₂ O, N ₂ , O ₂ , distribusi tekanan, suhu, dan kecepatan aliran, MFR 0,00709 kg/s	22
Gambar 2.8 Distribusi <i>Velocity</i> , MFR 0.00709 kg/s	23
Gambar 3.1 Serbuk Kayu (<i>powder wood</i>)	31
Gambar 3.2 Tandan Kosong Sawit (TKS)	32
Gambar 3.3 Biomassa Ampas Tebu (<i>bagasse</i>)	33
Gambar 3.4 Proses pembakaran limbah biomassa	35
Gambar 3.5 Bubbling Fluidized Bed Boiler (BFBB)	36
Gambar 3.6 <i>Fluidized Bed Boiler</i>	46
Gambar 3.7 Hasil Proses <i>Meshing</i> dengan ANSYS CFD	54
Gambar 3.8 <i>Skewness</i> pada <i>mesh</i>	55
Gambar 3.9 Definisi vektor-vektor untuk penjabaran orthogonalitas	56
Gambar 3.10 Tahapan Algoritma Komputasi	68
Gambar 3.11 Proses pada konvergen atau <i>Solver</i>	68
Gambar 4.1 <i>Fluidized Bed Boiler</i> dan bagannya	69
Gambar 4.2 Tampilan awal Ansys 2020 R2	72
Gambar 4.3 Contoh pemodelan FBB dalam Ansys	72
Gambar 4.4 Tampilan awal program Fluent pada Ansys	73
Gamabr 4.5 (a) Geometri model tampak samping bidang symmetry (b)	

Geometri model kosong (transparan) (c) Definisi lokasi inlet biomassa	75
Gambar 4.6 (a) Hasil meshing secara umum (b) Setting mesh	76
Gambar 4.7 Gambaran distribusi velocity pada Ansys Fluent	77
Gambar 4.8 <i>Flow Chart</i> penelitian pembakaran biomassa serbuk kayu, tandan kosong kelapa sawit dan ampas tebu	78
Gambar 4.9 <i>Flow Chart</i> simulasi pembakaran biomassa serbuk kayu, tandan kosong kelapa sawit dan ampas tebu	80
Gambar 5.1 Jumlah elemen berdasarkan kualitas mesh (a) <i>skewness</i> (b) <i>orthogonal</i>	85
Gambar 5.2 Distribusi Temperatur pembakaran biomassa serbuk kayu pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	86
Gambar 5.3 Distribusi Temperatur pembakaran biomassa tandan kosong kelapa sawit pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	88
Gambar 5.4 Distribusi Temperatur pembakaran biomassa ampas tebu pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	89
Gambar 5.5 Grafik distribusi temperatur pembakaran limbah biomassa	90
Gambar 5.6 Distribusi Kecepatan pembakaran biomassa serbuk kayu pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	92
Gambar 5.7 Distribusi Kecepatan pembakaran biomassa tandan kosong kelapa sawit pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	93
Gambar 5.8 Distribusi Kecepatan pembakaran biomassa ampas tebu pada (a) AFR 3,3 (b) AFR 4,5 dan (c) AFR 5,7	95
Gambar 5.9 Grafik distribusi kecepatan pembakaran limbah biomassa	95
Gambar 5.10 Perbandingan (a) fraksi massa dan (b) NO _x serbuk kayu maksimum	104
Gambar 5.11 Perbandingan (a) fraksi massa dan (b) NO _x tandan kosong kelapa sawit maksimum	106
Gambar 5.12 Perbandingan (a) fraksi massa (b) NO _x dan (c) SO _x ampas tebu maksimum	108

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Total Potensi Biomassa di Indonesia	3
Tabel 2.1 Komposisi syn-gas pada pembakaran biomassa serbuk kayu	10
Tabel 2.2 Kandungan syn-gas pada pembakaran biomassa ampas tebu	12
Tabel 2.3 Jumlah kesetimbangan massa (masuk dan keluar) berdasarkan AFR dan ukuran ampas tebu	13
Tabel 2.4 Jumlah kesetimbangan energi (masuk dan keluar) berdasarkan AFR dan ukuran ampas tebu	14
Tabel 2.5 Analisis Proximate biomassa serbuk kayu	14
Tabel 2.6 Analisis Ultimate biomassa serbuk kayu	15
Tabel 2.7 Nilai kalor biomassa serbuk kayu	15
Tabel 2.8 Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit	16
Tabel 2.9 Karakteristik Ampas Tebu	17
Tabel 2.10 Emisi Gas Buang Pembakaran Biomassa Serbuk kayu	18
Tabel 2.11 Emisi gas buang pembakaran tandan kosong sawit	18
Tabel 2.12 Emisi gas buang pembakaran biomassa ampas tebu	19
Tabel 2.13 Daftar penelitian karakterisasi pembakaran limbah biomassa serbuk kayu, kelapa sawit dan ampas tebu serta simulasinya	24
Tabel 3.1 Komponen kimia dari biomassa serbuk kayu	31
Tabel 3.2 Komposisi kandungan serat ampas tebu	34
Tabel 3.3 Jenis-jenis unggun dan sifat hidrodinamikanya	47
Tabel 3.4 <i>Skewness</i> pada kualitas <i>mesh</i>	55
Tabel 4.1 Analisis <i>proximate</i> dan <i>ultimate</i> biomassa serbuk kayu.....	70
Tabel 4.2 Analisis <i>proximate</i> dan <i>ultimate</i> biomassa TKKS	71
Tabel 4.3 Analisis <i>proximate</i> dan <i>ultimate</i> biomassa ampas tebu	71
Tabel 4.4 Spesifikasi alat penelitian	81
Tabel 5.1 Pengaturan pada Mesh	83

Tabel 5.2 Pengaturan Mesh Control	83
Tabel 5.3 Pengaturan pada <i>named selection</i>	83
Tabel 5.4 Kualitas <i>mesh</i> pada model FBB	85
Tabel 5.5 Temperatur outlet dan maksimum biomassa serbuk kayu	86
Tabel 5.6 Temperatur outlet dan maksimum biomassa tandan kosong kelapa sawit	87
Tabel 5.7 Temperatur outlet dan maksimum biomassa ampas tebu	89
Tabel 5.8 Kecepatan outlet dan maksimum biomassa serbuk kayu	92
Tabel 5.9 Kecepatan outlet dan maksimum biomassa tandan kosong sawit	93
Tabel 5.10 Kecepatan outlet dan maksimum biomassa ampas tebu	94
Tabel 5.11 Daftar Nilai Kalor pada simulasi pembakaran limbah biomassa	98
Tabel 5.12 Turbulensi flue gas biomassa serbuk kayu	100
Tabel 5.13 Turbulensi flue gas biomassa tandan kosong kelapa sawit	101
Tabel 5.14 Turbulensi flue gas biomassa ampas tebu	102
Tabel 5.15 Nilai emisi gas buang maksimum pada biomassa serbuk kayu	103
Tabel 5.16 Nilai emisi gas buang maksimum pada biomassa tandan kosong kelapa sawit	105
Tabel 5.17 Nilai emisi gas buang maksimum pada biomassa ampas tebu	107

DAFTAR LAMPIRAN

TABEL

Tabel 1. Karakteristik biomassa serbuk kayu jati.....	119
Tabel 2. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	119
Tabel 3. Karakteristik Ampas Tebu.....	119
Tabel 4. Emisi Gas Buang Pembakaran Limbah Biomassa Serbuk Kayu Jati.....	120
Tabel 5. Emisi gas buang pembakaran tandan kosong sawit.....	120
Tabel 6. Emisi gas buang ampas tebu.....	120
Tabel 7. Nilai Pengujian Limbah Biomassa secara outlet.....	121
Tabel 8. Nilai Pengujian Limbah Biomassa secara maksimum.....	125
Tabel 9. Nilai Kalor pada Pengujian Pembakaran Limbah Biomassa	129
Tabel 10. Nilai Turbulensi Flue Gas.....	129
Tabel 11. Pengaturan <i>skewness</i> pada Mesh	130
Tabel 12. Pengaturan <i>orthogonal</i> pada Mesh	131
Tabel 13. Pengaturan Mesh Control	133
Tabel 14. Pengaturan <i>named selections</i>	133

GAMBAR

Gambar 1. Distribusi Temperatur Outlet.....	122
Gambar 2. Distribusi Kecepatan Outlet.....	122
Gambar 3. Fraksi Massa Serbuk Kayu pada Outlet.....	122
Gambar 4. Fraksi Massa Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Outlet.....	123
Gambar 5. Fraksi Massa Ampas Tebu pada Outlet.....	123
Gambar 6. Fraksi Massa NO _x Serbuk Kayu pada Outlet.....	123
Gambar 7. Fraksi Massa NO _x Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Outlet.....	124
Gambar 8. Fraksi Massa NO _x Ampas Tebu pada Outlet.....	124

Gambar 9. Fraksi Massa SO_x Ampas Tebu pada Outlet.....	124
Gambar 10. Distribusi Temperatur Maksimum.....	126
Gambar 11. Distribusi Kecepatan Maksimum.....	126
Gambar 12. Fraksi Massa Serbuk Kayu Maksimum.....	126
Gambar 13. Fraksi Massa Tandan Kosong Kelapa Sawit Maksimum.....	127
Gambar 14. Fraksi Massa Ampas Tebu Maksimum.....	127
Gambar 15. Fraksi Massa NO_x Serbuk Kayu Maksimum.....	127
Gambar 16. Fraksi Massa NO_x Tandan Kosong Kelapa Sawit Maksimum.....	128
Gambar 17. Fraksi Massa NO_x Ampas Tebu Maksimum.....	128
Gambar 18. Fraksi Massa SO_x Ampas Tebu Maksimum.....	128
Gambar 19. Nilai Turbulensi Flue Gas rata-rata pada Output.....	130
Gambar 20. Nilai Turbulensi Flue Gas Maksimum.....	130

DAFTAR NOTASI

Huruf alfabetik

A	: Faktor Pre-exponential (s^{-1})
C_D	: koefisien drag
D	: Koefisien difusi Molecular dari fasa (-)
d	: diameter (m)
E	: Energi aktivasi ($J\ kg^{-1}\ mol^{-1}$)
e_{ss}	: koefisien restitusi
F	: Koefisien gaya Interphase drag (-)
g	: akselerasi disebabkan gravitasi (m/s^2)
<i>g_{o,ss}</i>	: koefisien distribusi radial
I_{2D}	: varian kedua dari deviator <i>stress</i> tensor
K_{gs}	: koefisien perubahan fluid–solid dan solid–solid
J atau T	: stress tensor (-)
n	: nilai index dari spesies (-)
p	: tekanan (Pa)
Re	: Reynolds number
T	: Temperatur (K atau C)
t	: waktu (s)
u	: kecepatan intrinsik (ms^{-1})
q	: heat flux ($W\ m^{-2}$)
R	: reaction rate (-)
Y	: fraksi massa (-)
RM	: perpindahan massa dari fase (-)
S_g	: source term gas
H_g	: gas entalpi (J)
T_g	: Temperatur gas rata-rata (K)

S_H	: source term
k	: energi turbulensi flue gas (m^2s^{-2})
G_k	: turbulence production term
Y_i	: fraksi massa pada spesies i
D	: differensial
S_Y	: source term
R_f	: reaction rate term

Huruf Greek

∇	: gradient
ε	: fraksi volume (-)
λ	: viskositas bulk (Pa S)
μ	: viskositas (Pa S)
$\mu_{s,fr}$: viskositas gesekan (Pa S)
$\mu_{s,kin}$: viskositas kinematik (Pa S)
$\mu_{s,col}$: viskositas tumbukan (Pa S)
ξ	: koefisien interaksi fasa (-)
ρ	: massa jenis/densitas (Kg/m^3)
τ	: stress/strain tensor (Pa)
v	: kecepatan (m/s)
$v_{r,s}$: korelasi kecepatan terminal
\vec{v}	: kecepatan vektor (-)
Θ_s	: temperature fase padat granular (m^2/s^2)
	: sudut dari friksi internal ($^\circ$)
ρ_g	: densitas gas (kg/m^3)
\vec{v}_g	: kecepatan vektor gas (m/s-1)
λ_g	: viskositas gas (Pa S)

μ_t : viskositas turbulent ($\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

σ_k : turbulence Prandtl numbers

g : gas

s : solid/padat

D : Drag

m_f : fluidisasi minimum