

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
UNDERGRADUATE TESIS	2
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
PERYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
INTISARI	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Pembakaran Biomassa	10
2.2 Metode Excess air	12
2.3 Catalytic Converters	16
2.4 Unsur Kebaruan Penelitian	19
BAB III DASAR TEORI	21

3.1 Bahan Bakar	21
3.2 Konversi Biomassa	23
3.2.1 Metode Physical	24
3.2.2 Metode Biochemical	24
3.2.3 Metode Thermochemical	25
3.2.4 Tahapan Pembakaran Biomassa Padat	26
3.3 Tempurung Kelapa	27
3.4 Analisis Proximate dan Ultimate	28
3.5 Fixed <i>Grate</i> Furnace	30
3.6 Pembakaran	31
3.7 Konstanta Laju Reaksi	33
3.8 Debit dan Laju Aliran Massa	34
3.9 Mol, Massa Molekul Reaktif, dan Fraksi Mol	36
3.10 Air-fuel ratio (AFR) dan % Excess air	37
3.11 Emisi	38
3.11.1 Particulate Matter (PM)	39
3.11.2 Gas Emisi (CO ₂)	42
3.12 Biomass Emission Quality Standard	43
3.13 Emission factor	44
3.14 Koverter Katalik	44
3.15 Dilution Ratio	46
3.16 Residence Time	47
BAB IV METODE PENELITIAN	49

4.1 Pendekatan Penelitian	49
4.2 Waktu dan Tempat Penelitian	49
4.3 Diagram Alir Penelitian	49
4.4 Objek Penelitian	50
4.4.1 Skema Penelitian	50
4.4.2 Tungku Pembakaran Biomassa	53
4.4.3 Instrumen Pendukung	57
4.5 Sarana Penelitian	60
4.5.1 Alat Ukur	60
4.5.2 Bahan Penelitian	65
4.6 Metode Penelitian	67
4.6.1 Modifikasi dan Set-Up Alat Penelitian	68
4.6.2 Observasi dan Uji Coba	68
4.6.3 Variable Penelitian	70
4.6.4 Pelaksanaan penelitian	71
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	74
5.1 Rumus Kimia dan Reaksi Pembakaran	74
5.2 Air Fuel Ratio dan Persentase <i>Excess air</i>	75
5.2.1 Kondisi AFR Stoikiometri	75
5.2.2 Kondisi AFR dengan <i>Excess air</i> 50%	76
5.2.3 Kondisi AFR dengan <i>Excess air</i> 75%	77
5.2.4 Kondisi AFR dengan <i>Excess air</i> 100%	77
5.3 Laju Aliran Udara	78

5.4 Visualisasi Temperatur Pembakaran	79
5.4.1 Temperatur dalam Ruang Bakar	80
5.4.2 Temperatur dalam <i>Chimney</i>	82
5.5 Analisis Kadar Gas CO ₂	84
5.6 Analisis Kadar Gas O ₂	87
5.7 Analisis Particulate Matter (PM)	89
5.7.1 Konsentrasi PM _{2.5}	90
5.7.2 Konsentrasi PM ₁₀	93
5.8 Analisis Emission factor	97
BAB VI PENUTUP	102
6.1 Kesimpulan	102
6.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Bauran energi primer Indonesia 2023	1
Gambar 1. 2	Gap realisasi dan target energi terbarukan Indonesia 2015–2025	2
Gambar 1. 3	Tingkat polusi PM2.5 bulan Juli 2024	5
Gambar 2. 1	Proses pembakaran bahan bakar padat	10
Gambar 2. 2	Efek excess air yang berlebih terhadap efisiensi pembakaran	14
Gambar 2. 3	Rerata konsentrasi PM10 tiap variasi penelitian	14
Gambar 2. 4	Rerata konsentrasi CO ₂ tiap variasi penelitian	15
Gambar 2. 5	Rerata konsentrasi PM tiap variasi penelitian	16
Gambar 2. 6	Perbandingan konsentrasi polutan dari dua jenis katalis	17
Gambar 2. 7	Perbandingan <i>catalytic conversion rate</i> dari dua macam katalis	18
Gambar 2. 8	Katalis pengujian berbasis Pd (kiri) dan katalitik berbasis Pt (kanan)	18
Gambar 3. 1	Metode konversi biomassa	24
Gambar 3. 2	Konversi biomassa secara termokimia	25
Gambar 3. 3	(a) <i>As received coconut fibrous unclean</i> , (b) <i>cleaned</i> , and (c) <i>powdered coconut shell</i>	28
Gambar 3. 4	<i>Schematic drawing of fixed grate furnace</i>	30
Gambar 3. 5	Segitiga Api	32
Gambar 3. 6	Skema pembentukan <i>particulate matter</i> pada pembakaran biomassa	40
Gambar 3. 7	Mekanisme kerja konverter katalitik	45
Gambar 4. 1	Diagram alir penelitian <i>excess air</i>	50
Gambar 4. 2	Skema alat	51
Gambar 4. 3	<i>Assembly</i> alat penelitian	52
Gambar 4. 4	<i>Set Up</i> perangkat pengambilan data	52
Gambar 4. 5	Badan tungku pembakaran	53
Gambar 4. 6	<i>Chimney</i>	54
Gambar 4. 7	<i>Grate</i>	55

Gambar 4. 8 <i>Opening gate</i>	55
Gambar 4. 9 <i>Hopper</i>	56
Gambar 4. 10 Konverter katalitik	56
Gambar 4. 11 Kompresor udara	57
Gambar 4. 12 Pipa venturi	57
Gambar 4. 13 Gasket kertas	58
Gambar 4. 14 Selang polyurethane	58
Gambar 4. 15 <i>Blower</i>	59
Gambar 4. 16 <i>Dimmer</i> satu fasa	59
Gambar 4. 17 <i>Stainles steel flexible hose</i>	60
Gambar 4. 18 Termokopel tipe K	61
Gambar 4. 19 Omron ZR-RX45	61
Gambar 4. 20 <i>Flue gas analyzer</i>	62
Gambar 4. 21 Gravity O ₂ Sensor (DFRobot)	62
Gambar 4. 22 Sensirion SPS30	63
Gambar 4. 23 Anemometer	64
Gambar 4. 24 Flowmeter	64
Gambar 4. 25 Timbangan digital	65
Gambar 4. 26 Tempurung kelapa	66
Gambar 4. 27 Kompor Gas	66
Gambar 4. 28 Gas LPG 50 kg	66
Gambar 4. 29 <i>Gas torch</i>	67
Gambar 5. 1 Visualisai temperatur pembakaran biomassa	79
Gambar 5. 2 Perbandingan profil perubahan <i>temperature</i> pembakaran di <i>furnace</i>	81
Gambar 5. 3 <i>Average temperature</i> dalam <i>furnace</i>	81
Gambar 5. 4 Perbandingan profil perubahan <i>temperature</i> pembakaran di <i>chimney</i>	83
Gambar 5. 5 <i>Average temperature</i> dalam <i>chimney</i>	83
Gambar 5. 6 Profil konsentrasi CO ₂ terhadap waktu pada variasi <i>excess air</i>	85

Gambar 5. 7 Rata-rata konsentrasi CO ₂ pada variasi <i>excess air</i>	85
Gambar 5. 8 Profil konsentrasi O ₂ terhadap waktu pada variasi <i>excess air</i>	87
Gambar 5. 9 Rata-rata konsentrasi O ₂ pada variasi <i>excess air</i>	88
Gambar 5. 10 Konsentrasi PM 2,5 di <i>chimney</i>	90
Gambar 5. 11 Konsentrasi PM 2,5 di <i>catalytic converter</i>	91
Gambar 5. 12 Konsentrasi PM 2,5	92
Gambar 5. 13 Konsentrasi PM 10 di <i>chimney</i>	93
Gambar 5. 14 Konsentrasi PM 10 di <i>catalytic converter</i>	94
Gambar 5. 15 Konsentrasi PM 10	95
Gambar 5. 16 <i>Emission factor at Chimney</i>	98
Gambar 5. 17 <i>Emission factor after Catalitic Converter</i>	98
Gambar 5. 18 <i>Emission factor</i>	99

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Karakteristik termal biomassa serabut kelapa	3
Tabel 1. 2 Karakteristik termal biomassa tempurung kelapa	3
Tabel 3. 1 Proximate and calorific value of biomass samples	22
Tabel 3. 2 <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> Tempurung Kelapa	29
Tabel 3. 3 Ambang batas konsentrasi paparan <i>particulate matter</i>	40
Tabel 3. 4 Tabel Baku Mutu Udara Ambien Nasional	41
Tabel 3. 5 Efek Kesehatan akibat CO ₂ pada konsentrasi tertentu	42
Tabel 3. 6 Baku mutu emisi pembangkit Listrik tenaga biomassa berbahan bakar serabut dan/atau cangkang	43
Tabel 3. 7 Kondisi konverter katalitik pada temperatur kerja tertentu	46
Tabel 4. 1 Variasi Penelitian	70
Tabel 5. 1 Data hasil <i>proximate analysis</i>	74
Tabel 5. 2 Nilai laju aliran udara untuk tiap variasi <i>excess air</i>	78
Tabel 5. 3 Perbandingan konsentrasi PM	95
Tabel 5. 4 Debit gas buang	97
Tabel 5. 5 Perbandingan nilai <i>emission factor</i> setiap variasi dengan studi	100

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Spesifikasi kompresor Shark LWPM-1215	113
Lampiran 2 Spesifikasi blower SUM-4	114
Lampiran 3 Spesifikasi termokopel	115
Lampiran 4 Spesifikasi data logger OMRON ZR-RX45	116
Lampiran 5 Spesifikasi KANE 457 gas analyzer	117
Lampiran 6 Spesifikasi sensor PM Sensirion SPS30	118
Lampiran 7 Spesifikasi anemometer Lutron LM9000	119
Lampiran 8 Spesifikasi timbangan digital	120
Lampiran 9 Contoh data dari Omron zx 45r	121
Lampiran 10 Data Temperatur hasil olah	122
Lampiran 11 Contoh data CO 2	122
Lampiran 12 Contoh data O2	123
Lampiran 13 Contoh data PM	123
Lampiran 14 Data PM hasil olah	123
Lampiran 15 Tabel Perhitungan Mol	124
Lampiran 16 Tabel Perhitungan AFR	124
Lampiran 17 Tabel Perhitungan Kecepatan Udara	124
Lampiran 18 Spesifikasi Catalitic Converter (Toyota Agya)	124

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

NOTASI

AFR	: Air-Fuel Ratio
Ar	: Massa atom relatif
C	: Karbon (%mass)
C _x H _y	: Hidrokarbon
CH ₄	: Metana
CO _x	: Karbon oksida
CO	: Karbon monoksida
CO ₂	: Karbon dioksida
EA	: Excess Air (%)
EF _{pm}	: Faktor emisi partikulat
H	: Hidrogen (%mass)
H ₂ O	: Senyawa air (uap air)
HHV	: High Heating Value (MJ/kg)
K	: Kalium
N	: Nitrogen (%mass)
NO _x	: Nitrogen oksida
O	: Oksigen (%mass)
PM	: Particulate matter (μg/m ³)
ρ	: Massa jenis (kg/m ³)
SO _x	: Sulfur oksida
SO ₂	: Sulfur dioksida
SO ₄	: Ion sulfat
X _p	: Fraksi mol zat pelarut
X _t	: Fraksi mol zat terlarut
λ _{prim}	: Koefisien kelebihan udara primer
λ _{sec}	: Koefisien kelebihan udara sekunder

SINGKATAN

AFR _{st}	: Nilai AFR stoikiometri
AFR _{ea} 50%	: Nilai AFR dengan Excess Air 50%
AFR _{ea} 75%	: Nilai AFR dengan Excess Air 75%
AFR _{ea} 100%	: Nilai AFR dengan Excess Air 100%
adb	: Berdasarkan berat kering (as dry basis)
BSI	: British Standard Institution
BS EN	: British Standard European Norm
DKI	: Daerah Khusus Ibukota
EA50%	: Variasi penelitian dengan persentase Excess Air 50%
EA75%	: Variasi penelitian dengan persentase Excess Air 75%
EA100%	: Variasi penelitian dengan persentase Excess Air 100%
EBT	: Energi Baru Terbarukan
EF	: Emission Factor
EPA	: Environmental Protection Agency
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
Kementan	: Kementerian Pertanian
KESDM	: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
LPM	: Liter per menit
MrAT	: Nilai massa molekul relatif ampas tebu
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PM ₁	: Particulate matter < 1 mikron
PM _{2.5}	: Particulate matter < 2,5 mikron
PM ₄	: Particulate matter < 4 mikron
PM ₁₀	: Particulate matter < 10 mikron
PPOK	: Penyakit paru obstruktif kronis

PT	: Perseroan Terbatas
RUPTL	: Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik
SI	: Satuan Internasional
SOP	: Standard Operating Procedure
T30	: Termokopel yang terletak sejauh 30 cm dari dasar tungku
T150	: Termokopel yang terletak sejauh 150 cm dari dasar tungku
WHO	: World Health Organization