

EVALUASI KINERJA *BURNER BIOMASS* SEBAGAI SUMBER PANAS UNTUK PROSES PIROLISIS KONTINU SECARA EKSPERIMENTAL DAN PEMODELAN SIMULASI CFD

RIZKY AULIA YAHYA



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Evaluasi Kinerja *Burner Biomass* sebagai Sumber Panas untuk Proses Pirolisis Kontinu secara Eksperimental dan Pemodelan Simulasi CFD” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Rizky Aulia Yahya
F1401221108



ABSTRAK

RIZKY AULIA YAHYA. Evaluasi Kinerja *Burner Biomass* sebagai Sumber Panas untuk Proses Pirolisis Kontinu secara Eksperimental dan Pemodelan Simulasi CFD. Dibimbing oleh MUHAMAD YULIANTO.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa untuk menyediakan panas pada proses pirolisis kontinu, tetapi kestabilan suplai panas dan pemanfaatan energi masih menjadi tantangan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *burner* biomassa tipe *Top-Lit Updraft* (TLUD) berbahan bakar TKKS melalui pengujian eksperimental dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pengujian dilakukan pada laju pengumpanan 7, 8, dan 9 kg/jam dengan membandingkan pengumpanan serabut TKKS secara intermiten dan pelet TKKS secara kontinu menggunakan konveyor pada kecepatan udara 8,94 m/s. Evaluasi meliputi distribusi suhu, karakteristik termal, neraca energi, aliran *flue gas*, dan efisiensi sistem. Hasil menunjukkan bahwa pengumpanan pelet secara kontinu menghasilkan distribusi suhu yang lebih homogen dan fluktuasi yang lebih rendah dibandingkan serabut, meskipun suhu maksimum serabut lebih tinggi. Peningkatan laju pengumpanan meningkatkan energi hasil pembakaran dan energi panas berguna, tetapi juga meningkatkan kehilangan panas sehingga efisiensi termal menurun. Efisiensi termal berada pada kisaran 5,39–7,18%. Model CFD mampu merepresentasikan pola distribusi suhu eksperimen dengan rentang galat 2,37–13,81% pada serabut dan 0,82–9,11% pada pelet. Hasil ini menunjukkan bahwa pengumpanan kontinu pelet lebih mendukung kestabilan suplai panas pada proses pirolisis kontinu.

Kata kunci: *burner* biomassa, kinerja *burner*, pirolisis kontinu, simulasi CFD, TKKS



ABSTRACT

RIZKY AULIA YAHYA. Performance Evaluation of Biomass Burner as a Heat Source for Continuous Pyrolysis Processes through Experimental and CFD Simulation Modeling. Supervised by MUHAMAD YULIANTO.

Oil palm empty fruit bunches (EFB) have potential as biomass fuel for supplying heat to continuous pyrolysis processes; however, stable heat supply and effective energy utilization remain challenging. This study aimed to evaluate the performance of a Top-Lit Updraft (TLUD) biomass burner fueled by EFB through experimental testing and Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling. Experiments were conducted at fuel feeding rates of 7, 8, and 9 kg h⁻¹ by comparing intermittent feeding of shredded EFB with continuous feeding of EFB pellets using a conveyor at an air velocity of 8,94 m s⁻¹. The evaluation included temperature distribution, thermal characteristics, energy balance, flue gas flow, and system efficiency. The results showed that continuous pellet feeding produced a more homogeneous temperature distribution with lower fluctuations than intermittent shredded EFB feeding, although shredded EFB achieved higher peak temperatures. Increasing the feeding rate increased the combustion energy and useful heat, but also increased heat losses, resulting in lower thermal efficiency. Thermal efficiency ranged from 5,39 to 7,18%. The CFD model successfully reproduced the experimental temperature distribution, with error ranges of 2,37–13,81% for shredded EFB and 0,82–9,11% for pellets. These findings indicated that continuous pellet feeding provided a more stable heat supply for continuous pyrolysis processes.

Keywords: biomass burner, burner performance, CFD simulation, continuous pyrolysis, EFB

.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

EVALUASI KINERJA *BURNER BIOMASS* SEBAGAI SUMBER PANAS UNTUK PROSES PIROLISIS KONTINU SECARA EKSPERIMENTAL DAN PEMODELAN SIMULASI CFD

RIZKY AULIA YAHYA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.TP, M.Si
2. Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si



Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja *Burner Biomass* sebagai Sumber Panas untuk
Proses Pirolisis Kontinu secara Eksperimental dan Pemodelan Simulasi CFD

Nama : Rizky Aulia Yahya
NIM : F1401221108

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Muhamad Yulianto, S.T., M.T
NIP 198307102010121005

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr
NIP 196304251989031001

Tanggal Ujian:
30 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Juni 2026 ini ialah Konversi Energi Termal, dengan judul “Evaluasi Kinerja *Burner Biomass* sebagai Sumber Panas untuk Proses Pirolisis Kontinu secara Eksperimental dan Pemodelan Simulasi CFD”.

Pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian skripsi ini merupakan rangkaian proses yang terlaksana dengan dukungan, bimbingan, serta kontribusi dari berbagai pihak. Atas segala bentuk dukungan, bimbingan, dan kontribusi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian skripsi ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Muhamad Yulianto, S.T, M.T. yang telah membimbing, memfasilitasi penelitian, serta mendampingi sekaligus memberikan arahan, saran, dan solusi kepada penulis dari setiap kendala yang ada selama pelaksanaan penelitian berlangsung hingga penyusunan skripsi selesai.
2. Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.TP, M.Si dan Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si selaku dosen penguji sidang skripsi, serta Dr. Lenny Saulia, S.TP, M.Si selaku dosen moderator yang telah memberikan saran dan juga masukan dalam perbaikan skripsi ini.
3. Pak Angga Permana, yang telah kebersamai pelaksanaan penelitian di lapangan, terutama dalam memberikan bantuan, arahan, serta saran kepada penulis selama penelitian berlangsung.
4. Orang tua dan keluarga, Bapak Yahya, Ibu Umi, Bang Izet, Mbak Ika, Mbak Izzah, Lik Rita, Kak Nofi, Pak Haris, serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, dan motivasi selama proses pendidikan dan penyelesaian skripsi ini.
5. Teman-teman satu bimbingan, Dinda, Ziyan, dan Safira yang telah menjadi bagian dari perjalanan penelitian ini melalui kebersamaan, diskusi, serta kesediaan untuk saling membantu dalam berbagai tahapan penelitian.
6. Bang Gde selaku *partner* dalam penelitian ini, yang sudah bekerja sama dalam menyelesaikan penelitian ini serta memberikan banyak bantuan serta *insight* selama penelitian berlangsung.
7. Teman-teman CPP, SM *Dailylife*, *The Bachelors*, Tugas Mandiri, dan Vermilion 59 yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa perkuliahan.
8. Seluruh pihak yang turut mengambil bagian dalam perjalanan penelitian dan pendidikan penulis, baik melalui bantuan secara langsung maupun melalui dukungan yang tidak selalu dapat disebutkan satu per satu.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Rizky Aulia Yahya



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biomassa	5
2.2 Proses Pirolisis	6
2.3 Sistem Pirolisis Kontinu	7
2.4 <i>Burner</i> Biomassa	7
2.5 Proses dan Reaksi Pembakaran	9
2.6 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Kerja	12
3.4 Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pengujian Kinerja <i>Burner</i> Biomassa	21
4.2 Analisis Karakteristik Termal <i>Burner</i>	32
4.3 Analisis Hasil Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	44
V SIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Simpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	70
RIWAYAT HIDUP	84



DAFTAR TABEL

1	Komposisi limbah kelapa sawit	5
2	Properti proksimat dan ultimat TKKS	5
3	Kandungan kimia dan karakteristik TKKS	5
4	Matriks penelitian evaluasi kinerja pembakaran <i>burner</i> TKKS	13
5	<i>Setup general</i> dan <i>models</i> CFD	17
6	Properti bahan bakar TKKS	17
7	<i>Setup boundary conditions</i> CFD	18
8	<i>Setup solution methods</i> CFD	19
9	Kalibrasi kecepatan putar pada konveyor	20
10	Karakteristik geometri bahan bakar berdasarkan pengolahan citra	32
11	Pemetaan hasil neraca energi pada perlakuan serabut TKKS	33
12	Pemetaan hasil neraca energi pada perlakuan pelet TKKS	34
13	Data AFR, λ , dan Q_c	35
14	Hubungan laju pengumpanan, <i>hold-up</i> biomassa, dan <i>residence time</i> pada	43
15	Perbandingan suhu hasil simulasi CFD dan pengujian eksperimental pada titik pengukuran T1, T2, dan T3	59
16	Hasil validasi model MAPE	61

DAFTAR GAMBAR

1	Penumpukan TKKS di pabrik kelapa sawit	1
2	<i>Burner</i> tipe <i>Top-Lit Updraft</i>	2
3	Ilustrasi dalam proses pirolisis biomassa	6
4	Ilustrasi mekanisme pirolisis kontinu	7
5	Ilustrasi mekanisme pembakaran <i>burner</i>	8
6	Profil zona pembakaran	9
7	Tiga pendekatan dalam mekanika fluida	10
8	Prosedur penelitian	12
9	Skema penelitian	13
10	Tahap geometri pada proses simulasi CFD	19
11	Tahap <i>mesh</i> pada proses simulasi CFD	20
12	Profil suhu (a) T1, (b) T2, (c) T3, (d) Dinding dalam pada laju bahan bakar 7 kg/jam	23
13	Profil suhu (a) T1, (b) T2, (c) T3, (d) Dinding dalam pada laju bahan bakar 8 kg/jam	26
14	Profil suhu (a) T1, (b) T2, (c) T3, (d) Dinding dalam pada laju bahan bakar 9 kg/jam	30
15	Tahapan pengolahan citra serabut TKKS: (a) Citra awal sampel, (b) Citra 8-bit, (c) Proses <i>thresholding</i> , dan (d) Hasil identifikasi	31
16	Tahapan pengolahan citra pelet TKKS: (a) Citra awal sampel, (b) Citra 8-bit, (c) Proses <i>thresholding</i> , dan (d) Hasil identifikasi	31
17	Neraca energi pembakaran pada proses pirolisis kontinu	33
18	Laju energi panas yang dibangkitkan pada <i>burner</i> pembakaran	36

19	Laju kehilangan panas melalui dinding dan ventilasi	36
20	Kondisi pengujian dengan corong terbuka	37
21	Laju energi panas berguna bahan pada ruang pirolisis kontinu	38
22	Laju aliran massa <i>flue gas</i> keluar <i>chamber</i>	40
23	Laju energi panas potensial berguna yang terbawa <i>flue gas</i> (kW)	41
24	Efisiensi sistem pada alat pirolisis kontinu	42
25	Kontur suhu hasil simulasi CFD 7 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	46
26	Kontur suhu hasil simulasi CFD 8 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	48
27	Kontur suhu hasil simulasi CFD 9 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	50
28	Distribusi suhu hasil CFD serabut TKKS terhadap posisi termokopel	51
29	Kontur suhu hasil simulasi CFD 7 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	53
30	Distribusi suhu hasil simulasi CFD 8 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	55
31	Distribusi suhu hasil simulasi CFD 9 kg/jam pada beberapa bidang potong (a)XZ <i>plane</i> (b)YZ <i>plane</i> (c)YZ <i>plane</i> -T1 (d)YZ <i>plane</i> -T2 (e)YZ <i>plane</i> -T3	57
32	Distribusi suhu CFD pelet TKKS terhadap posisi termokopel	58
33	Perbandingan nilai MAPE pada hasil simulasi CFD : (a) Serabut TKKS dan (b) Pelet TKKS	60

DAFTAR LAMPIRAN

1	Contoh perhitungan energi spesifik dalam perlakuan bahan bakar	70
2	Contoh perhitungan rendemen abu pada <i>burner</i> biomassa	70
3	Contoh perhitungan karakterisasi termal sistem	70
4	Contoh perhitungan <i>hold-up</i> biomassa dan <i>residence time</i> pada	82



DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang dinding <i>burner</i> (m^2)
A_{bl}	= Luas penampang <i>blower</i> (m^2)
AE	= <i>Absolute error</i> (%)
AFR	= <i>Air fuel ratio</i> (kg/kg)
AFR_{aktual}	= <i>Air fuel ratio</i> aktual pada proses pembakaran (kg/kg)
AFR_{st}	= <i>Air fuel ratio</i> stoikiometri (kg/kg)
C_p	= Kapasitas panas spesifik (kJ/kg·K)
$C_{p,fg}$	= Kapasitas panas spesifik <i>flue gas</i> (kJ/kg·K)
$C_{p,TKKS}$	= Kapasitas panas spesifik TKKS (kJ/kg·K)
ϵ	= Emisivitas permukaan material
E_{total}	= Energi total selama proses perlakuan bahan bakar (kWh)
e_s	= Energi spesifik perlakuan bahan bakar (kWh/kg)
f	= <i>Filling factor chamber</i> pirolisis
h	= Entalpi spesifik (kJ/kg atau kJ/kmol)
$\bar{h}_f^\circ$	= Entalpi pembentukan standar (kJ/kmol)
$\bar{h}_{T_{out}}$	= Entalpi sensibel spesies pada suhu keluaran (kJ/kmol)
$\bar{h}_{T_{in}}$	= Entalpi sensibel spesies pada suhu masukan (kJ/kmol)
$\bar{h}_{f,CHONS}^\circ$	= Entalpi pembentukan standar biomassa CHONS (kJ/jam)
h_{ling}	= Koefisien perpindahan panas konveksi lingkungan ($W/m^2 \cdot K$)
h_{dalam}	= Koefisien perpindahan panas konveksi sisi dalam ($W/m^2 \cdot K$)
h_{fg}	= Entalpi penguapan air (kJ/kg)
HHV_{TKKS}	= <i>Higher Heating Value</i> atau nilai kalor atas TKKS (kJ/kg)
LHV_{TKKS}	= <i>Lower Heating Value</i> atau nilai kalor bawah TKKS (kJ/kg)
k	= Konduktivitas termal material/fluida ($W/m \cdot K$)
L	= Panjang <i>chamber</i> pirolisis (m)
m_{abu}	= Massa abu yang tersisa setelah pembakaran (kg)
$MAPE$	= <i>Mean absolute percentage error</i> (%)
$\dot{m}_{bahanbakar}$	= Laju massa bahan bakar (kg/s)
$\dot{m}_{cacahan}$	= Massa cacahan TKKS yang dihasilkan (kg)
$\dot{m}_{udara}$	= Laju massa udara pembakaran (kg/s)
$\dot{m}_{fg}$	= Laju massa <i>flue gas</i> (kg/s)



M_{holdup}	= Massa <i>hold-up</i> di dalam <i>chamber</i> pirolisis (kg)
m_{pelet}	= Massa pelet yang dihasilkan (kg)
MR_{udara}	= Massa molekul relatif udara (kg/kmol)
N_p	= Jumlah mol/koeffisien mol spesies produk reaksi (kmol)
N_r	= Jumlah mol/koeffisien mol spesies reaktan reaksi (kmol)
N_{CO}	= Jumlah mol CO pada produk pembakaran (kmol)
N_{CO_2}	= Jumlah mol CO ₂ pada produk pembakaran (kmol)
N_{H_2O}	= Jumlah mol H ₂ O pada produk pembakaran (kmol)
N_{SO_2}	= Jumlah mol SO ₂ pada produk pembakaran (kmol)
N_{N_2}	= Jumlah mol N ₂ pada produk pembakaran (kmol)
N_{O_2}	= Jumlah mol O ₂ pada produk pembakaran (kmol)
Pr	= Bilangan Prandtl
Q_c	= Laju energi panas hasil pembakaran (kW)
Q_g	= Laju energi panas berguna yang dimanfaatkan sistem (kW)
$Q_{endotermis}$	= Laju panas untuk reaksi endotermis pirolisis (kW)
$Q_{sensibel}$	= Laju panas sensibel untuk menaikkan suhu biomassa (kW)
$Q_{pirolisis}$	= Laju kebutuhan panas proses pirolisis (kW)
Q_{burner}	= Laju kebutuhan panas <i>burner</i> (kW)
Q_{in}	= Laju energi panas potensial yang masuk dari bahan bakar (kW)
Q_{flue}	= Laju energi panas potensial yang terbawa <i>flue gas</i> (kW)
$Q_{total-losses}$	= Laju total kehilangan panas sistem (kW)
$Q_{losses-conv}$	= Laju kehilangan panas melalui konveksi (kW)
$Q_{loss-rad}$	= Laju kehilangan panas melalui radiasi (kW)
$Q_{loss-vent}$	= Laju kehilangan panas melalui ventilasi/kebocoran <i>burner</i> (kW)
$Q_{loss-dinding}$	= Laju kehilangan panas total melalui dinding <i>burner</i> (kW)
Q_{loss-c}	= Laju kehilangan panas pembakaran (kW)
$Q_{loss-burner}$	= Laju kehilangan panas pada <i>burner</i> (kW)
r	= Rasio ruang kosong akibat keberadaan pisau <i>auger</i>
R_o	= Jari-jari luar <i>auger</i> (m)
R_i	= Jari-jari poros dalam <i>auger</i> (m)
R_{abu}	= Rendemen abu hasil pembakaran (%)
R_{bl}	= Jari-jari <i>blower</i> (m)
T	= Suhu fluida (K atau °C)



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

$\bar{T}_s$

= Suhu rata-rata permukaan/dinding *burner* (K atau °C)

T_∞

= Suhu lingkungan (K)

T_{in}

= Suhu masukan/reaktan (K)

T_{out}

= Suhu keluaran/produk (K)

t

= Waktu (s)

t_r

= *Residence time*/waktu tinggal biomassa dalam *chamber* (menit)

ν

= viskositas kinematik udara lingkungan (m²/s)

ν_{udara}

= Kecepatan udara *blower* (m/s)

ν_{fg}

= Kecepatan aliran *flue gas* (m/s)

V_{awal}

= Volume geometri awal *chamber* (m³)

V_{kosong}

= Volume efektif ruang kosong setelah koreksi *auger* (m³)

$V_{efektif}$

= Volume efektif biomassa dalam *chamber* (m³)

x

= Koefisien/jumlah mol unsur karbon

y

= Koefisien/jumlah mol unsur hidrogen

z

= Koefisien/jumlah mol unsur oksigen

λ

= Rasio udara aktual terhadap udara stoikiometri/*excess-air ratio*

σ

= Konstanta Stefan-Boltzmann (W/m²·K⁴)

$\vec{v}$

= Vektor kecepatan fluida pada persamaan CFD (m/s)

∇

= Operator diferensial pada persamaan CFD

ρ_{udara}

= Massa jenis udara (kg/m³)

ρ_{fg}

= Massa jenis *flue gas* (kg/m³)

ρ_{TKKS}

= Massa jenis TKKS (kg/m³)

η_c

= Efisiensi pembakaran (%)

η_b

= Efisiensi *burner* (%)

η_t

= Efisiensi termal sistem (%)