



RANCANG BANGUN ALAT PIROLISIS TIPE KILN UNTUK PEMBUATAN BIOCHAR DAN PEMANFAATAN THERMALNYA UNTUK PROSES EVAPORASI AIR

AHFAS AINUN DITYA



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Rancang Bangun Alat Pirolisis Tipe *Kiln* untuk Pembuatan *Biochar* dan Pemanfaatan Thermalnya untuk Proses Evaporasi Air” 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 IPB University.

Bogor, 07 Juli 2025

Ahfas Ainun Ditya
NIM F1401211103

- 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 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.



ABSTRAK

AHFAS AINUN DITYA. Rancang Bangun Alat Pirolisis Tipe *Kiln* untuk Pembuatan *Biochar* dan Pemanfaatan Thermalnya untuk Proses Evaporasi Air, Dibimbing oleh Muhamad Yulianto

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat pirolisis tipe *kiln* berbasis *self*-pirolisis yang mampu mengonversi limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi *biochar*, serta mengevaluasi potensi pemanfaatan energi termal dari proses tersebut. Sistem dilengkapi dengan variasi *coil heat exchanger* (HE) yang digunakan untuk menangkap energi panas dari ruang pirolisis dan mentransfernya ke fluida air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa reaktor mampu menghasilkan *biochar* dengan rendemen tertinggi sebesar 28% pada variasi dengan *coil* HE, serta 25% pada variasi tanpa *coil*. Analisis termal mengungkapkan bahwa sistem menghasilkan laju energi panas berguna (Q_g) sebesar 2,04–3,49 kW dan potensi panas buang yang dimanfaatkan sebesar 1,63–4,31 kW. Efisiensi reaktor tertinggi tercapai pada variasi dengan *coil* HE berdebit rendah (0,4–0,6 LPM) yang mampu menghasilkan uap air secara langsung. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *kiln* yang dikembangkan memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai teknologi pemanfaatan panas sisa melalui konsep regenerasi termal.

Kata kunci: *biochar*, pirolisis, TKKS, *kiln*, termal

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.



ABSTRACT

AHFAS AINUN DITYA. Design and Development of a *Kiln*-Type Pyrolysis System for *Biochar* Production and Its Thermal Utilization for Water Evaporation Processes, Supervised by Muhamad Yulianto

This research aimed to design and evaluate a self-pyrolysis-based *kiln*-type pyrolysis system capable of converting empty fruit bunch (EFB) waste from oil palm into *biochar*, while also assessing the potential for reusing residual thermal energy generated during the process. The system was equipped with a variation of coil-type *heat exchangers* (HE) designed to capture heat from the pyrolysis chamber and transfer it to water as the working fluid. Experimental results showed that the system was able to produce *biochar* with a maximum yield of 28% when using the HE, compared to 25% without the HE. Thermal analysis revealed that the useful thermal energy rate (Q_g) ranged from 2.04 to 3.49 kW, while the recoverable thermal energy through the regeneration process reached 1.63–4.31 kW. The highest reactor efficiency was observed under low HE flowrates (0.4–0.6 LPM), which also demonstrated direct water evaporation. These findings suggested that the developed *kiln* system had significant potential for residual heat utilization through the thermal regeneration concept.

Keywords: *biochar, pyrolysis, EFB, kiln, thermal*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- 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 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 2025
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.



@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.



RANCANG BANGUN ALAT PIROLISIS TIPE KILN UNTUK PEMBUATAN BIOCHAR DAN PEMANFAATAN THERMALNYA UNTUK PROSES EVAPORASI AIR

AHFAS AINUN DITYA

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.
2. Dr. Lenny Saulia, S.T.P., M.Si.



Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Pirolisis Tipe *Kiln* untuk Pembuatan *Biochar* dan Pemanfaatan Thermalnya untuk Proses Evaporasi Air

Nama : Ahfas Ainun Ditya

NIM : F140211103

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr, Muhamad Yulianto, S. T., M. T.

198307102010121005

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr, Ir, Edy Hartulistiyoso, M. Sc Agr.

196304251989031001

Tanggal Ujian:

15 Juli 2025

Tanggal Lulus:

(tanggal penandatanganan oleh Dekan
Fakultas/Sekolah ...)



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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2025 sampai bulan Juni 2025 ini berjudul "Rancang Bangun Alat Pirolisis Tipe *Kiln* untuk Pembuatan *Biochar* dan Pemanfaatan Thermalnya untuk Proses Evaporasi Air" ditujukan sebagai syarat meraih gelar sarjana pada Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem IPB University.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini melibatkan banyak pihak yang dengan kuat memberikan dukungan serta bimbingan. Ucapan terima kasih penulis berikan setulusnya kepada:

1. Dr. Muhamad Yulianto S.T., M.T. yang telah membimbing dan sabar memberikan saran dan solusi dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis, serta telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian hingga selesai
2. Pak Angga selaku laboran dan pendamping lapang di Laboratorium Teknologi Energi Terbarukan atas dukungan dan motivasinya.
3. Bapak Ahmad Kholil dan Ibu Suyati, saudara saya Ahfina Kayla Rizka dan Ahkam Mastway Nayihan, serta seluruh keluarga atas doa dan kasih sayangnya.
4. Mayang Ananta Putri Setiawan yang senantiasa memotivasi, mencintai dan menemani saya untuk menyelesaikan tugas akhir.
5. Teman-teman ketigabelasan Babeh, Rapli, Adhen, Wahab, Dera, Ardra, Bagus, Adit, Coki, Alfon, Oka, dan Sidiq.
6. Ame dan Wawa yang menemani sejak masa PKU.
7. Teman-teman PPKO, Shutter, Pensiunan Midbrin, LIDM, MPKMB 59, Kos Cumlaude dan yang lainnya

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

Bogor, Juli 2025

Ahfas Ainun Ditya



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.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Biochar</i>	4
2.2 <i>Pirolisis</i>	4
2.3 <i>Proses Regenerasi Termal</i>	6
2.4 <i>Heat exchanger</i>	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.1 Alat dan Bahan	9
3.2 Prosedur Kerja	9
3.3 Analisis Data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Rancangan	22
4.2 Pengujian Kinerja Alat <i>Pirolisis Tipe Kiln</i>	25
4.3 Analisis Energi Proses Keseluruhan <i>Pirolisis Tipe Kiln</i>	34
4.4 Analisis Rambatan Panas	43
4.5 Analisis Rendemen <i>Biochar</i>	46
4.6 Evaluasi Kinerja <i>Kiln</i> dan Analisis Energi Spesifik	48
V SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	56
RIWAYAT HIDUP	80



DAFTAR TABEL

1	Alat dan Bahan Manufaktur	9
2	Properti bahan baku	16
3	Posisi pemasangan termokopel tipe-k pada sistem	17
4	Matriks Penelitian 1 Evaluasi Panas Buang berdasar variasi waktu pirolisis tanpa aliran air	17
5	Matriks Penelitian 2 Evaluasi Panas Buang berdasar variasi laju aliran massa air	18
6	Kriteria desain alat pirolisis tipe <i>kiln</i>	22
7	Rincian bagian alat pirolisis <i>biochar</i> tandan kelapa sawit beserta fungsinya	24
8	Keterangan penamaan parameter percobaan	25
9	Data laju energi panas eksotermis (<i>Qeksotermis</i>), laju energi panas endotermis (<i>Qendotermis</i>), laju energi panas <i>sensibel</i> bahan (<i>Qsensibel</i>) serta laju panas (ϕ_{pir}) yang dihasilkan	35
10	Properti <i>biochar</i> hasil pirolisis tipe <i>kiln</i>	48
11	Evaluasi energi spesifik pembuatan <i>biochar</i>	49
12	Evaluasi kinerja alat pirolisis tipe <i>kiln</i>	50
13	Penentuan konstanta <i>C</i> dan <i>n</i> untuk menghitung bilangan Nusselt (Holman 2010)	61
14	Neraca energi alat pirolisis tipe <i>kiln</i>	65

DAFTAR GAMBAR

11	Penumpukan TKKS di Industri kelapa sawit	1
12	Pengaruh suhu terhadap hasil produk pirolisis	5
13	Reaktor pirolisis tipe retort	5
14	Reaktor pirolisis tipe <i>kiln</i>	5
15	<i>Heat exchanger</i> tipe <i>helical coil</i>	8
16	Diagram alir penelitian	10
17	Skema alat penelitian	17
18	(a) Bentuk alat dan (b) lubang pemisah abu	23
19	(a) <i>coil heatexchanger</i> di dalam tabung, (b) sistem pompa dan penempatan termokopel	23
20	Profil suhu <i>perforated</i> bagian bawah pada setiap percobaan percobaan	26
21	Profil suhu <i>perforated</i> bagian tengah bawah pada setiap percobaan percobaan	26
22	Profil suhu <i>perforated</i> bagian tengah atas pada setiap percobaan percobaan	27
23	Profil suhu <i>perforated</i> bagian atas pada setiap percobaan percobaan	28
24	Profil suhu <i>chamber</i> bagian pada bagian bawah pada setiap percobaan percobaan	29
25	Profil suhu <i>chamber</i> bagian pada bagian tengah bawah pada setiap percobaan percobaan	30



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.

26	Profil suhu <i>chamber</i> bagian pada bagian tengah atas pada setiap percobaan percobaan	31
27	Profil suhu <i>chamber</i> bagian pada bagian atas pada setiap percobaan percobaan	32
28	Profil Suhu <i>Flue gas</i> keluaran	32
29	Visual asap pirolisis	33
30	Profil suhu (a) input air (b) output air	34
31	Laju Energi Berguna	36
32	Laju energi <i>coil heat exchanger</i>	37
33	Laju Energi Fluegas	38
34	Laju Energi Hilang	39
35	Perbedaan suhu dinding dalam dan luar	40
36	Laju Energi Total dan Input	41
37	Neraca sebaran energi	42
38	Efisiensi Alat Pirolisis Tipe <i>Kiln</i>	42
39	Gambar skematik arah rambat panas	44
40	Rambatan Panas Verikal	44
41	<i>Coil Heat exchanger</i>	45
42	Rambatan Panas Horizontal	46
43	Hasil Rendemen Tiap Percobaan	47
44	Profil suhu dinding <i>chamber</i> pada semua percobaan	63
45	Profil suhu dinding insulasi pada semua percobaan	63
46	Profil suhu tutup pada semua percobaan	64
47	Profil suhu <i>chamber mid</i> pada semua percobaan	64
48	Profil daya pompa pipa HE	75

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Gambar Teknik alat pirolisis tipe <i>kiln</i>	57
2	Lampiran 2 Perhitungan rancangan geometri dan dimensi alat	58
3	Lampiran 3 Profil suhu sistem hasil pengujian	63
4	Lampiran 4 Neraca Energi sistem	65
5	Lampiran 5 Contoh Perhitungan karakterisasi termal sistem	66
6	Lampiran 6 Contoh Perhitungan energi spesifik sistem	75
7	Lampiran 7 Pembanding karakteristik bahan	76
8	Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian	77