

PERANCANGAN PROSES PIROLISIS UNTUK PRODUKSI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) SEBAGAI PEMBENAH TANAH MULTIFUNGSI

MUHAMAD SHAUQIE DIVIA MALIK



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
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 TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan tugas akhir dengan judul “Perancangan Proses Pirolisis untuk Produksi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Pembenah Tanah Multifungsi” 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 laporan tugas akhir ini.

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

Bogor, Juli 2026

Muhamad Shauqie Divia Malik
F3401221095



ABSTRAK

MUHAMAD SHAUQIE DIVIA MALIK. Perancangan Proses Pirolisis untuk Produksi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Pembenh Tanah Multifungsi. Dibimbing oleh NASTITI SISWI INDRASTI dan ELISA ANGGRAENI.

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam jumlah besar yang berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dimanfaatkan secara optimal. Salah satu alternatif pemanfaatan TKKS adalah melalui proses pirolisis untuk menghasilkan *biochar* yang dapat digunakan sebagai bioamelioran multifungsi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang proses produksi *biochar* berbahan baku TKKS, melakukan simulasi proses pirolisis untuk menentukan kondisi operasi optimum, menghitung neraca massa dan neraca energi, serta menentukan spesifikasi alat dan mesin pada pabrik produksi *biochar* berkapasitas 164 ton/hari. Simulasi proses dilakukan menggunakan regresi polinomial orde dua berbasis Microsoft Excel dan divalidasi menggunakan perangkat lunak Design Expert. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi operasi optimum diperoleh pada suhu pirolisis 300 °C dengan residence time 60 menit, menghasilkan yield *biochar* sebesar 33,45%, bio-oil 35,33%, dan syngas 31,22%. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa *biochar* memiliki kadar air 5,01%, kadar abu 14,41%, kadar zat menguap 3,44%, kadar karbon terikat 80,16%, dan C-organik 55,76%, sehingga memenuhi persyaratan mutu SNI 06-3730-1995. Berdasarkan neraca massa, sebanyak 8.200 kg/jam TKKS menghasilkan *biochar* akhir sebesar 1.135,70 kg/jam setelah melalui proses sortasi, pencacahan, pengeringan, pirolisis, pendinginan, dan pengayakan. Hasil neraca energi menunjukkan total kebutuhan energi proses sebesar 13.369.725,77 kJ/jam, sedangkan energi yang tersedia dari syngas mencapai 14.526.945,00 kJ/jam, sehingga diperoleh rasio pemenuhan energi sebesar 108,66%. Hasil perancangan menunjukkan bahwa proses produksi *biochar* TKKS berpotensi diterapkan sebagai sistem pengelolaan limbah biomassa yang berkelanjutan sekaligus mampu menghasilkan produk bernilai tambah dengan potensi operasi yang bersifat self-sustaining secara energi.

Kata kunci: *biochar*, tandan kosong kelapa sawit, pirolisis, neraca energi, bioamelioran.



ABSTRACT

MUHAMAD SHAUQIE DIVIA MALIK. Design of a Pyrolysis Process for the Production of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Biochar as a Multifunctional Bioameliorant. Supervised by NASTITI SISWI INDRASTI and ELISA ANGGRAENI.

The palm oil industry generates large quantities of Empty Fruit Bunch (EFB) biomass waste, which may cause environmental problems if not properly utilized. One promising alternative is pyrolysis technology to convert EFB into biochar that can be used as a multifunctional bioameliorant. This study aimed to design a biochar production process using EFB as feedstock, simulate the pyrolysis process to determine the optimum operating conditions, perform mass and energy balance calculations, and determine the specifications of equipment required for a biochar production plant with a capacity of 164 tons/day. The pyrolysis process was simulated using a second-order polynomial regression model developed in Microsoft Excel and validated using Design Expert software. The simulation indicated that the optimum operating condition was achieved at a pyrolysis temperature of 300 °C and a residence time of 60 minutes, producing yields of 33.45% biochar, 35.33% bio-oil, and 31.22% syngas. The produced biochar contained 5.01% moisture content, 14.41% ash content, 3.44% volatile matter, 80.16% fixed carbon, and 55.76% organic carbon, meeting the quality requirements of SNI 06-3730-1995. Based on the mass balance, 8,200 kg/h of EFB produced 1,135.70 kg/h of final biochar after undergoing sorting, size reduction, drying, pyrolysis, cooling, and screening processes. The energy balance showed that the total process energy requirement was 13,369,725.77 kJ/h, while the energy available from syngas reached 14,526,945.00 kJ/h, resulting in an energy supply ratio of 108.66%. These results indicate that the proposed process has strong potential to operate under self-sustaining energy conditions, while providing a sustainable solution for EFB waste utilization and producing value-added biochar for agricultural applications.

Keywords: biochar, empty fruit bunches, pyrolysis, energy balance, bioameliorant.

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.



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 2026
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.

PERANCANGAN PROSES PIROLISIS UNTUK PRODUKSI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) SEBAGAI PEMBENAH TANAH MULTIFUNGSI

MUHAMAD SHAUQIE DIVIA MALIK

Laporan Tugas Akhir
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

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



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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 Tugas Akhir:

1. Dr. Andes Ismayana, S.T.P., M.T.
2. Dr. Ir. Sugiarto, M.Si.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



Judul Tugas Akhir : Perancangan Proses Pirolisis untuk Produksi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Pembenah Tanah Multifungsi

Nama : Muhamad Shauqie Divia Malik

NIM : F3401221095

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti

Pembimbing 2:

Dr. Elisa Anggraeni S.TP., M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Teknik Industri

Pertanian:

Prof. Dr. Ir. Ono Suparno, S.T.P., M.T
197212031997021001

Tanggal Ujian:
(10 Agustus 2026)

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek desain utama agroindustri ini yang dilaksanakan sejak bulan Februari sampai bulan Juli 2026. Proyek desain utama agroindustri berjudul “Perancangan Proses Pirolisis untuk Produksi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Pembenah Tanah Multifungsi” merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknik dan Teknologi.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan proyek desain utama agroindustri ini, yaitu:

1. Dr. Elisa Anggraeni S.TP., M.Sc., Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti, dan Dr. Ir. Sugiarto M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan saran selama proses proyek desain utama agroindustri ini.
2. Prof. Dr. Ono Suparno, MT selaku Ketua Departemen Teknologi Industri Pertanian.
3. Seluruh Dosen, Tendik, staf TU dan UPT di Departemen Teknologi Industri Pertanian.
4. Adzkia, Kemal, dan Qashmal yang selalu memberi semangat dan dukungan selama pengerjaan penelitian ini.
5. Seluruh keluarga, terutama kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, motivasi, dan kasih sayang kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
6. Rekan-rekan mahasiswa di Departemen Teknologi Industri Pertanian Angkatan 59.

Bogor, 23 Juni 2026

Muhamad Shauqie Divia Malik

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Kelapa Sawit	4
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit	4
2.3 Pirolisis	5
2.4 <i>Biochar</i> (Arang)	6
2.5 Bioameliioran	6
METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Tahapan Desain Keteknikan	7
3.4 Pengumpulan Data	9
HASIL DAN PEMBAHASAN	11
4.1 Karakteristik Sampel TKKS	11
4.2 <i>Biochar</i> sebagai Bioameliioran Multifungsi	13
4.3 Perancangan Proses Produksi	13
4.4 Spesifikasi Alat dan Mesin	35
4.5 Prototipe Gambar 3D Proses Produksi <i>Biochar</i>	37
4.6 Estimasi Biaya Produksi	37
PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	47

DAFTAR TABEL

1 Kebutuhan data	10
2 Komponen TKKS	11
3 Metode pirolisis yang berkembang dengan berbagai kelebihan dan kekurangannya	15
4 Hasil simulasi Proses Pirolisis	15
5 Hasil karakterisasi TKKS dan produk <i>biochar</i> (arang)	18
6 Perbandingan Karakteristik <i>Biochar</i> TKKS dengan Persyaratan Pembenah Tanah Organik Berdasarkan Permentan No. 70 Tahun 2011	21
7 Neraca massa unit sortasi	27
8 Neraca massa unit <i>size reductor</i>	27
9 Neraca massa unit pengeringan	28
10 Neraca massa unit pirolisis	29
11 Distribusi produk dan yield hasil pirolisis TKKS	30
12 Neraca massa unit pendinginan	30
13 Neraca massa unit pengayakan	31
14 Kebutuhan energi panas (termal) unit proses	32
15 Konsumsi energi listrik alat dan mesin	33
16 Potensi energi gas pirolisis	33
17 Potensi energi bio-oil	34
18 Rekapitulasi neraca energi	35
19 Spesifikasi alat dan mesin	36
20 Rincian biaya investasi	37
21 Rincian biaya operasional	38

DAFTAR GAMBAR

1 Diagram desain keteknikan	8
2 Diagram alir proses pirolisis	23
3 <i>Process flow diagram</i>	24
4 Neraca massa unit sortasi	25
5 Neraca massa unit <i>size reductor</i>	26
6 Neraca massa unit pengeringan	27
7 Neraca massa unit pirolisis	29
8 Neraca massa unit pendinginan	30
9 Neraca massa unit pengayakan	31
10 Hasil desain prototipe 3D proses produksi <i>biochar</i>	37

DAFTAR LAMPIRAN

1 Hasil optimasi proses pirolisis menggunakan design expert	44
---	----

2 Peta proses operasi produksi <i>biochar</i>	45
3 Perhitungan kebutuhan energi kalor PKS	46
4 Perbandingan bio-oil dengan kebutuhan energi PKS	46

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

