

# DESAIN PROSES ADSORPSI DENGAN *BIOCHAR* DARI TKKS UNTUK PENGOLAHAN TINGKAT LANJUT LIMBAH SEKUNDER PABRIK KELAPA SAWIT (POMSE)

**MUHAMMAD ABDILLAH PRASETYO**



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

@Hak cipta milik IPB University

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 mengumunkan 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 tugas akhir dengan judul “Desain Proses Adsorpsi dengan *Biochar* dari TKKS untuk Pengolahan Tingkat Lanjut Limbah Sekunder Pabrik Kelapa Sawit (POMSE)” 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 tugas akhir ini.

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

Bogor, Agustus 2024

Muhammad Abdillah Prasetyo  
F3401201039



## ABSTRAK

MUHAMMAD ABDILLAH PRASETYO. Desain Proses Adsorpsi dengan *Biochar* dari TKKS untuk Pengolahan Tingkat Lanjut Limbah Sekunder Pabrik Kelapa Sawit (POMSE). Dibimbing oleh SUPRIHATIN.

Proses pengolahan tandan buah kelapa sawit menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah padat utama adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), potensial diubah menjadi *biochar* melalui pirolisis. Limbah cair hasil pengolahan anaerobik, atau *palm oil mill secondary effluent* (POMSE), belum memenuhi baku mutu air limbah sehingga memerlukan pengolahan lebih lanjut. Metode elektrokoagulasi diterapkan untuk mengolah POMSE, namun effluennya masih mengandung polutan. Adsorpsi dengan *biochar* dari TKKS dapat mengatasi penumpukan TKKS dan pengolahan tingkat lanjut POMSE. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi *biochar* dari TKKS, menentukan dosis dan waktu kontak optimum, mengurangi polutan dari POMSE, mendesain unit kolom adsorpsi, dan menganalisis biaya produksi. *Biochar* teraktivasi NaOH hampir memenuhi SNI arang aktif teknis 06-3730-1995, kecuali kadar abu. *Biochar* teraktivasi NaOH 8% menunjukkan lapisan permukaan yang lebih homogen dan pori-pori lebih terbuka. Luas permukaan *biochar* tanpa aktivasi adalah 748,513 m<sup>2</sup>/g dan meningkat menjadi 1003,806 m<sup>2</sup>/g setelah teraktivasi NaOH 8%. Peningkatan dosis *biochar* pada POMSE meningkatkan kekeruhan dan TSS, sementara menurunkan warna, COD, dan amonia. Persentase penurunan polutan terbaik pada dosis 25 g/L, yaitu pH (2,28%), warna (35,27%), COD (39,91%), dan amonia (29,06%). Desain kolom adsorpsi yang dirancang untuk menangani POMSE dengan laju alir sebesar 16,8119 m<sup>3</sup>/jam terdiri dari dua unit. Masing-masing unit memiliki volume 4,20 m<sup>3</sup>, diameter 1,5 m, dan tinggi 2,38 m. Kebutuhan *biochar* untuk mengolah POMSE adalah 10,796 ton/hari. Desain proses adsorpsi dengan *biochar* tanpa aktivasi memiliki harga pokok produksi sebesar Rp 7.322.647/hari dan biaya pengolahan sebesar Rp 18.148/m<sup>3</sup> POMSE. Desain proses adsorpsi dengan *biochar* teraktivasi NaOH 4% memiliki harga pokok produksi sebesar Rp 48.642.593/hari dan biaya pengolahan sebesar Rp 120.556/m<sup>3</sup> POMSE. Sementara itu, desain proses adsorpsi dengan *biochar* teraktivasi NaOH 8% memiliki harga pokok produksi sebesar Rp 85.371.434/hari dan biaya pengolahan sebesar Rp 211.585/m<sup>3</sup> POMSE.

Kata kunci: adsorpsi, biaya produksi, *biochar*, POMSE, TKKS



## ABSTRACT

MUHAMMAD ABDILLAH PRASETYO. Adsorption Process Design with *Biochar* from TKKS for Advanced Treatment of Palm Oil Mill Secondary Effluent (POMSE). Supervised by SUPRIHATIN.

The processing of palm oil fruit bunches generates solid and liquid waste. The main solid waste, empty fruit bunches (EFB), can be converted into *biochar* via pyrolysis. The liquid waste from anaerobic treatment, or palm oil mill secondary effluent (POMSE), does not meet wastewater standards and needs further treatment. Electrocoagulation is used to treat POMSE, but the effluent still contains pollutants. Adsorption with *biochar* from EFB can handle EFB accumulation and treat POMSE. This study aims to characterize *biochar* from EFB, determine the optimal dosage and contact time, reduce POMSE pollutants, design an adsorption column, and analyze production costs. Except for ash content, the NaOH-activated *biochar* almost meets the SNI technical standard for activated charcoal 06-3730-1995. The 8% NaOH-activated *biochar* has a more uniform surface and open pores. The surface area of non-activated *biochar* is 748.513 m<sup>2</sup>/g, increasing to 1003.806 m<sup>2</sup>/g after NaOH activation. Increasing *biochar* dosage in POMSE boosts turbidity and TSS but reduces color, COD, and ammonia. The best pollutant reduction percentages at a dosage of 25 g/L are pH (2.28%), color (35.27%), COD (39.91%), and ammonia (29.06%). The adsorption column, designed for a flow rate of 16.8119 m<sup>3</sup>/h, has two units, each 4.20 m<sup>3</sup> in volume, 1.5 m in diameter, and 2.38 m in height. The *biochar* requirement for treating POMSE is 10.796 tons per day. The adsorption process design using non-activated *biochar* has a production cost of IDR 7,322,647/day and a treatment cost of IDR 18,148/m<sup>3</sup> of POMSE. The adsorption process design using *biochar* activated with 4% NaOH has a production cost of IDR 48,642,593/day and a treatment cost of IDR 120,556/m<sup>3</sup> of POMSE. Meanwhile, the adsorption process design using *biochar* activated with 8% NaOH has a production cost of IDR 85,371,434/day and a treatment cost of IDR 211,585/m<sup>3</sup> of POMSE.

Keywords: adsorption, *biochar*, EFB, POMSE, production cost



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 2024  
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.*

# **DESAIN PROSES ADSORPSI DENGAN *BIOCHAR* DARI TKKS UNTUK PENGOLAHAN TINGKAT LANJUT LIMBAH SEKUNDER PABRIK KELAPA SAWIT (POMSE)**

**MUHAMMAD ABDILLAH PRASETYO**

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

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

- 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 milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ika Amalia Kartika, S.T.P., M.Si.
2. Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti, IPU, ASEAN-Eng

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.



IPB University

Bogor Indonesia



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



Judul Tugas Akhir : Desain Proses Adsorpsi dengan *Biochar* dari TKKS untuk Pengolahan Tingkat Lanjut Limbah Sekunder Pabrik Kelapa Sawit (POMSE)

Nama : Muhammad Abdillah Prasetyo  
NIM : F3401201039

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing:  
Prof. Dr-Ing. Ir. Suprihatin, IPU

---

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP., M.T., IPM  
NIP. 197212031997021001

---

Tanggal Ujian: 18 Juli 2024

Tanggal Lulus:

## PRAKATA

Puji dan syukur atas kehadiran ALLAH SUBHĀNAHU WATA‘ĀLĀ atas limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek desain utama agroindustri ini yang dilaksanakan sejak bulan Februari sampai bulan Juli 2024. Proyek desain utama agroindustri berjudul “Desain Proses Adsorpsi dengan *Biochar* dari TKKS untuk Pengolahan Tingkat Lanjut Limbah Sekunder Pabrik Kelapa Sawit (POMSE)” merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian.

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

1. Prof. Dr-Ing. Ir. Suprihatin, IPU selaku PIC proyek sekaligus 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, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
3. Seluruh Dosen, Laboran, Tendik, staf TU dan UPT di Departemen Teknologi Industri Pertanian.
4. Tim Produta, Gina Listiyani, Aaron Syach Adiguna Junio, Jessica Rahmalia, Muhammad Raihan Alif Nirwan, atas kerja samanya dalam menyelesaikan proyek ini.
5. Teman-teman mahasiswa di Departemen Teknologi Industri Pertanian angkatan 57 (2020), terutama teman-teman YCCA, yang selalu memberikan dukungan selama pengerjaan karya ilmiah ini.

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

Bogor, Agustus 2024

*Muhammad Abdillah Prasetyo*



## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
<b>PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
<b>METODE</b>	5
2.1 Waktu dan Tempat	5
2.2 Alat dan Bahan	5
2.3 Prosedur Kerja	5
2.3.1 Aktivasi <i>Biochar</i>	7
2.3.2 Karakterisasi <i>Biochar</i>	7
2.3.3 Percobaan Adsorpsi	8
2.3.4 Analisis Parameter Kualitas POMSE	8
2.4 Analisis Data	8
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	9
3.1 Keadaan Pengolahan Limbah Konvensional	9
3.2 Karakteristik <i>Biochar</i> Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	9
3.2.1 Kadar Air	10
3.2.2 Kadar Abu	10
3.2.3 Kadar Volatil	11
3.2.4 Kadar Karbon	12
3.2.5 Daya Serap terhadap Biru Metilen	12
3.2.6 <i>Scanning Elektron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	13
3.2.7 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET)	15
3.3 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	15
3.4 Karakterisasi Limbah Cair Hasil Proses Elektrokoagulasi	16
3.5 Pengolahan Lanjut POMSE Hasil Elektrokoagulasi dengan <i>Biochar</i>	17
3.5.1 Proses Adsorpsi dengan Berbagai Waktu Kontak	17
3.5.2 Proses Adsorpsi dengan Berbagai Dosis <i>Biochar</i>	19
3.6 Isoterm Adsorpsi menggunakan Adsorben <i>Biochar</i>	26
3.7 Desain Kolom Adsorpsi Skala Industri	27
3.8 Neraca Massa Proses Adsorpsi Skala Industri	29
3.9 Rancangan Biaya Penggunaan <i>Biochar</i> Skala Industri	29
3.9.1 Biaya Variabel	29
3.9.2 Biaya Tetap	30
3.9.3 Harga Pokok Produksi (HPP) dan Biaya Pengolahan	31
<b>SIMPULAN DAN SARAN</b>	32



4.1	Simpulan	32
4.2	Saran	32
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>37</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>		<b>47</b>

- 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.



## DAFTAR TABEL

1	Data impor karbon aktif di Indonesia tahun 2017-2021	1
2	Hasil karakterisasi <i>biochar</i> dari TKKS	10
3	Hasil analisis unsur-unsur <i>biochar</i>	14
4	Luas permukaan pori berdasarkan uji BET	15
5	Karakteristik POMSE	16
6	Karakteristik POMSE hasil elektrokoagulasi	17
7	Kualitas POMSE setelah kontak dengan <i>biochar</i> pada berbagai waktu	18
8	Kualitas POMSE setelah kontak dengan <i>biochar</i> pada dosis 0-25 g/L	20
9	Spesifikasi unit kolom adsorpsi	28
10	Biaya bahan habis pakai	30
11	Biaya operasional	30
12	Biaya tenaga kerja	30
13	Biaya investasi	31
14	Harga pokok produksi dan biaya pengolahan	31

## DAFTAR GAMBAR

1	Tahapan desain keteknikan	6
2	Skema proses pelaksanaan penelitian eksperimen	7
3	Perendaman <i>biochar</i> dari TKKS dengan larutan NaOH	9
4	Nilai kadar air <i>biochar</i> dari TKKS	10
5	Nilai kadar abu <i>biochar</i> dari TKKS	11
6	Nilai kadar volatil <i>biochar</i> dari TKKS	12
7	Nilai kadar karbon <i>biochar</i> dari TKKS	12
8	Nilai daya serap metilen biru <i>biochar</i> dari TKKS	13
9	Hasil uji SEM <i>biochar</i> tanpa aktivasi (a) dan <i>biochar</i> teraktivasi NaOH 8% (b)	14
10	Limbah cair pabrik kelapa sawit	15
11	POMSE hasil elektrokoagulasi	16
12	Grafik pengaruh waktu kontak terhadap penurunan nilai warna (a) dan nilai COD (b)	19
13	Nilai kekeruhan (a), TSS (b), warna (c), dan COD (d) pada POMSE setelah kontak dengan <i>biochar</i> dari TKSS pada dosis 0-180 g/L	19
14	POMSE hasil adsorpsi dengan <i>biochar</i> pada dosis 0-25 g/L	20
15	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai pH	21
16	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai kekeruhan	21
17	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai TSS	22
18	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai warna (a) dan persentase penurunan warna (b)	23
19	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai COD (a) dan persentase penurunan COD (b)	24
20	Pengaruh variasi dosis terhadap nilai amonia (a) dan persentase penurunan amonia (b)	26
21	Isoterm Freundlich adsorpsi COD <i>biochar</i> dosis 0-25 g/L	27
22	Prototipe 2D (a) dan 3D (b) kolom adsorpsi	28



23	Neraca massa proses adsorpsi	29
----	------------------------------	----

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Metode analisis limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan	38
2	Hasil analisis POMSE hasil adsorpsi	40
3	Perhitungan <i>independent samples t-Test</i> pada proses adsorpsi dengan berbagai waktu kontak	43
4	Perhitungan desain kolom adsorpsi	45
5	Asumsi pada analisis biaya proses adsorpsi	46