SINTESIS *CARCOM BALLS*, KOMPOSIT KARBON AKTIF TKKS/TiO_2 PADA POLIMER POLIPROPILENA, SEBAGAI AGEN REMEDIASI *PALM OIL MILL EFFLUENT*

MUHAMMAD HAYKAL HAFIZ ASWAN
H1021201003

SKRIPSI

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

SINTESIS *CARCOM BALLS*, KOMPOSIT KARBON AKTIF TKKS/TiO_2 PADA POLIMER POLIPROPILENA, SEBAGAI AGEN REMEDIASI *PALM OIL MILL EFFLUENT*

MUHAMMAD HAYKAL HAFIZ ASWAN
H1021201003

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	:	Sintesis *Carcom Balls*, Komposit Karbon Aktif TKKS/TiO_2 pada Polimer Polipropilena, sebagai Agen Remediasi *Palm Oil Mill Effluent*
Nama Mahasiswa	:	Muhammad Haykal Hafiz Aswan
NIM	:	H1021201003
Jurusan/Program Studi	:	Fisika/Fisika
Tanggal Lulus	:	3 Juni 2025
SK Pembimbing	:	No. 266/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal: 29 Januari 2024
SK Penguji	:	No. 1501/UN22.8/TD.06/2025/Tanggal: 21 Mei 2025

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc.	Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc.
NIP 197805132003121002	NIP 198206082008122001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si	Asifa Asri, S.Si., M.Si.
NIP 198801192024212001	NIP 199006052022032010

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota pernguji)
Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc.	Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc.
NIP 197805132003121002	NIP 198206082008122001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP 19710802000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Muhammad Haykal Hafiz Aswan
NIM	: H1021201003
Program Studi/Jurusan	: Fisika/Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 3 Juni 2025



Muhammad Haykal Hafiz Aswan

NIM H1021201003

SINTESIS *CARCOM BALLS*, KOMPOSIT KARBON AKTIF TKKS/TiO_2 PADA POLIMER POLIPROPILENA, SEBAGAI AGEN REMEDIASI *PALM OIL MILL EFFLUENT*

Abstrak

Kegiatan industri kelapa sawit menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Selain itu, limbah cair kelapa sawit yang dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME) juga dihasilkan dari proses tersebut. Penelitian ini bertujuan menghasilkan komposit karbon aktif berbahan dasar TKKS/TiO_2 yang dideposisikan pada polipropilena (PP) serta menganalisis kemampuannya dalam meremediasi POME. Karbon TKKS diaktifkan menggunakan gelombang mikro. Karbon aktif ini kemudian dikompositkan dengan TiO_2 sebanyak 15%. Komposit yang diperoleh selanjutnya dideposisikan pada permukaan polipropilena (PP) melalui proses *thermal milling* dengan dua variasi suhu operasi, yaitu 200°C dan 220°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses tersebut menghasilkan produk berbentuk bola yang dinamakan *carcom balls*, yang mampu mereduksi nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) dalam POME. Efisiensi penurunan BOD oleh *carcom balls* pada suhu *thermal milling* 200°C dan 220°C masing-masing adalah 36,8% dan 41,4%. Nilai efisiensi penurunan COD tercatat sebesar 41,1% dan 45,1%, sedangkan efisiensi penurunan TSS masing-masing sebesar 41,0% dan 41,1%. Dengan demikian, *carcom balls* hasil pemrosesan pada suhu 220°C memberikan efisiensi remediasi tertinggi terhadap POME.

Kata kunci : Komposit, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), titanium dioksida (TiO_2), remediasi, *carcom balls*, *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

SYNTHESIS OF CARCOM BALLS, COMPOSITE OF EFB-BASED ACTIVATED CARBON/TiO_2 ON POLYPROPYLENE POLYMER, AS A REMEDIATION AGENT FOR PALM OIL MILL EFFLUENT

Abstract

The palm oil industry generates waste in the form of empty fruit bunches (EFB) and also produces liquid palm oil mill effluent (POME). This study aims to produce an activated carbon composite based on EFB and TiO_2 deposited on polypropylene (PP) and to analyze its capability to remediate POME. EFB-derived carbon was activated using microwave irradiation. The activated carbon was then composited with 15% TiO_2. The resulting composite was subsequently deposited onto the surface of polypropylene (PP) via a thermal milling process at two different operating temperatures, 200°C and 220°C. The results show that this process produced a spherical product termed "carcom balls," which can reduce the levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solids (TSS) in POME. The BOD reduction efficiencies of the carcom balls processed at thermal milling temperatures of 200°C and 220°C were 36.8% and 41.4%, respectively. The corresponding COD reduction efficiencies were 41.1% and 45.1%, while the TSS reduction efficiencies were 41.0% and 41.1% for 200°C and 220°C, respectively. Thus, the carcom balls processed at 220°C exhibited the highest remediation efficiency for POME.

Keywords: *composite; empty fruit bunch (EFB); titanium dioxide (TiO_2); remediation; carcom balls; Palm Oil Mill Effluent (POME).*

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat, petunjuk, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Sintesis *Carcom Balls*, Komposit Karbon Aktif TKKS/TiO_2 pada Polimer Polipropilena, sebagai Agen Remediasi *Palm Oil Mill Effluent*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat penyelesaian pendidikan S1 pada Program Studi Fisika. Selama perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak bantuan, baik secara moral maupun materil. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti perkuliahan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura dengan lancar.
2. Ketua Program Studi Fisika Universitas Tanjungpura, Bapak Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si., yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti perkuliahan di Program Studi Fisika Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc., selaku Dosen Pembimbing 1 yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan, motivasi, dan saran kepada penulis.
4. Ibu Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan, motivasi, dan saran kepada penulis.
5. Ibu Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
6. Ibu Asifa Asri, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
7. Seluruh staf pengajar dan civitas akademik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendukung dan memberikan bantuan berupa fasilitas penelitian dan skripsi.

8. Ibunda yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan, baik berupa moral maupun meteril, kepada penulis.
9. Kakak penulis, Dian Puspitasari, dan keluarga yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, dan nasihat kepada penulis.
10. Kakak dan adik penulis, Dima Wirdhati Aswan, Ditya Rahmadanti Aswan, dan Muhammad Nisyam Aswan, yang telah memberi dukungan dan semangat kepada penulis selama penelitian.
11. Senior penulis, Ya' Muhammad Arsyad, yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan memberikan bantuan kepada penulis selama penelitian.
12. Sahabat penulis, Apri Yendi, Arik Ramadhan, Gaudensius Rizky, Gibran Boy Gito Situmorang, Hafizuddin, Muhammad Ghaza Eka Putra, Rifki Rionda A., Rizq Farhan Dzaki, Robin Mahendra, Teofilipus Dawar, Tomi Madianto, dan Wahyu Nur Aqni, yang telah menemani dan mendukung penulis selama penelitian.
13. Rekan-rekan mahasiswa peminatan fisika material, yaitu Mawar Saron, Mia Audina, dan Niswatul Jannah, atas bantuan dan dukungan kepada penulis selama penelitian.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis demi kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini.
15. Diri sendiri yang telah berusaha keras dan berjuang sejauh ini, mampu bertahan dari berbagai tekanan keadaan, dan tidak menyerah selama proses penyusunan skripsi.

Pontianak, 1 Februari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II DASAR TEORI 5
2.1 *Palm Oil Mill Effluent* 5
2.2 Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit 6
2.3 Titanium Dioksida 8
2.4 Polipropilena 10
2.5 Metode *Thermal Milling* 11
BAB III METODOLOGI 12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 12
3.2 Alat dan Bahan 12
3.3 Prosedur Kerja 12
3.4 Analisis Data 19
3.5 Diagram Alir Penelitian 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Hasil Uji KATKKS 21
4.2 Hasil Deposisi Komposit KATKKS/TiO_2 ke PP 22
4.3 Aplikasi *Carcom Balls* pada POME 24

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 29
5.1 Kesimpulan 29
5.2 Saran 29
DAFTAR PUSTAKA 30
LAMPIRAN 36

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Tandan kosong kelapa sawit 7
Gambar 2.2 TiO_2 berbentuk serbuk 10
Gambar 2.3 Bulir polipropilena..... 10
Gambar 3.1 TKKS setelah dikeringkan.....13
Gambar 3.2 Hasil karbonisasi TKKS 14
Gambar 3.3 Serbuk KATKKS 15
Gambar 3.4 Komposit KATKKS/TiO_2 17
Gambar 3.5 Rangkaian alat yang digunakan untuk proses deposisi..... 18
Gambar 3.6 *Carcom balls* diaplikasikan ke POME..... 19
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian 20
Gambar 4.1 Hasil deposisi komposit KATKKS/TiO_2. 23
Gambar 4.2 Proses adsorpsi-fotokatalitik pada *carcom balls*..... 25
Gambar 4.3 Skema diagram mekanisme fotokatalitik..... 25
Gambar 4.4 Hasil pengaplikasian *carcom balls* pada POME selama 5 jam..... 27
Gambar 4.5 Grafik pengaruh suhu saat deposisi *carcom balls*..... 28

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Karakteristik POME (Amraini *et al.*, 2024). 5
Tabel 2.2 SNI 06-3730-1995 tentang karbon aktif 8
Tabel 2.3 Sifat fisik dan mekanik TiO_2 (Basuki, 2007). 9
Tabel 4.1 Hasil uji karbon aktif TKKS 21
Tabel 4.2 Massa komposit yang menempel pada PP 23
Tabel 4.3 Hasil pengujian POME 27

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil Karbonisasi 36
Lampiran 2. Lembar Perhitungan 37
Lampiran 3. Dokumentasi 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara terbesar dalam produksi kelapa sawit dan menjadi produsen utama *crude palm oil* (CPO) di seluruh dunia (Firdausi, 2020). Berdasarkan data dari BPS Indonesia (2023), luas total lahan perkebunan kelapa sawit mencapai 16.833.985 hektar, dan menghasilkan total produksi CPO sebesar 46,82 juta ton. Selain itu, jumlah perusahaan kelapa sawit yang memproduksi CPO di Indonesia sebanyak 2.389 perusahaan (Perkebunan, 2023). Dalam proses pengolahan 1 ton kelapa sawit menjadi CPO, terdapat limbah padatan seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 23%, serat 13%, cangkang 6,5%, lumpur sawit 4%, dan *palm oil mill effluent* (POME) mencapai 50% (Taufik *et al.*, 2021). Berdasarkan data tersebut, POME dan TKKS menjadi limbah dengan kuantitas terbanyak.

POME mengandung bahan organik terlarut yang masih melebihi ambang baku mutu menimbulkan risiko pencemaran lingkungan serius jika tidak ditangani dengan tepat (Farma *et al.*, 2017). Alternatif pengolahan POME dapat dilakukan menggunakan karbon aktif sebagai teknologi adsorpsi yang dapat disintesis dari biomassa perkebunan. Karbon aktif mampu mengurangi senyawa organik sehingga menurunkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada POME (Ugra and Nur, 2021). Biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif adalah TKKS. Selain karena ketersediaannya yang melimpah, TKKS mengandung senyawa lignoselulosa dengan kandungan selulosa sebesar 56,05%, hemiselulosa 17,63%, dan lignin 5,97% (Ginting *et al.*, 2015).

Aktivasi karbon dilakukan untuk meningkatkan daya serap terhadap polutan yang terkandung dalam POME (Wafti *et al.*, 2017). Aktivasi ini dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu metode fisika dan metode kimia (Maslahat *et al.*, 2022). Namun, metode kimia memiliki beberapa kelemahan, seperti waktu proses yang lebih lama, penggunaan bahan kimia yang mahal, serta potensi menghasilkan limbah kimia yang mencemari lingkungan (Oktaviani *et al.*, 2024). Aktivasi karbon

menggunakan gelombang mikro merupakan metode aktivasi secara fisika. Aktivasi ini telah diterapkan oleh Purwaningsih et al. (2019) yang menunjukkan peningkatan kualitas karbon aktif yang dihasilkan melalui metode tersebut. Aktivasi karbon dengan gelombang mikro memiliki beberapa keunggulan, antara lain laju pemanasan yang tinggi, efisiensi energi yang tinggi, pemanasan volumetrik dari dalam ke luar, pola pemanasan yang beragam, serta waktu pemanasan yang relatif singkat sehingga konsumsi energi dalam proses sintesis karbon aktif juga dapat diminimalkan (Nurhanisa *et al.*, 2025).

Alternatif lain dari pengolahan POME dapat dilakukan menggunakan material fotokatalis. Salah satu material yang sering digunakan dalam proses fotokatalisis adalah titanium dioksida (TiO_2), yang dikenal sebagai agen *self-cleaning*. Penelitian yang telah dilakukan oleh Tan et al. (2014) menunjukkan TiO_2 mampu mereduksi warna, senyawa organik, menurunkan nilai COD, dan *Total Organic Carbon* (TOC) pada POME.

Penggabungan teknik adsorpsi dengan fotokatalisis telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengolahan limbah. Penggabungan karbon aktif dan TiO_2 menjadi komposit karbon aktif/TiO_2 mampu menguraikan metilen biru (Audina, 2024) dan senyawa hidrokarbon (Aqni *et al.*, 2025). Meskipun demikian, penggunaan komposit tersebut yang berbentuk serbuk dapat menyebabkan proses pengolahan limbah menjadi kurang efektif karena komposit akan terdispersi dan menjadi polutan baru pada POME. Oleh karena itu, matriks diperlukan oleh komposit tersebut agar tidak terdispersi dan proses pengolahan limbah menjadi efektif.

Polimer polipropilena (PP) dipilih sebagai matriks karena polimer tersebut bersifat termoplastik, memiliki densitas rendah, tembus cahaya, tidak korosif, dapat didaur ulang, dan memiliki harga yang relatif murah (Aliah *et al.*, 2014). Melalui proses *thermal milling* (penggilingan termal), komposit karbon aktif TKKS/TiO_2 dapat dideposisikan pada PP, sehingga meningkatkan stabilitas selama proses pengolahan limbah. Produk akhir diberi label *carcom balls* dan digunakan untuk meremediasi POME.

Pemilihan variasi suhu dalam proses *thermal milling* sangat penting untuk menentukan suhu optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Rokayah et al. (2019) menunjukkan bahwa suhu 175°C dan 200°C menghasilkan distribusi TiO_2 yang baik serta efisiensi fotokatalitik yang optimal, yang dilihat dari penambahan massa PP setelah proses deposisi dan penurunan nilai absorbansi air akibat fotokatalisis. Namun, penelitian yang dilakukan oleh Audina (2024) tidak menggunakan suhu 175°C dalam proses deposisi komposit karbon aktif dan TiO_2 karena suhu tersebut tidak cukup tinggi untuk melelehkan permukaan PP. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada pembuatan *carcom balls* dengan memvariasikan suhu *thermal milling* untuk memperoleh suhu optimal, sehingga menghasilkan *carcom balls* dengan efisiensi terbaik dalam meremediasi POME.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini mengemukakan beberapa rumusan masalah yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Bagaimana pengaruh suhu sintesis saat *thermal milling* terhadap karakteristik fisik *carcom balls*?
b. Berapa besar efisiensi penurunan nilai BOD, COD, dan TSS pada POME setelah diremediasi menggunakan *carcom balls*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah yang telah diajukan, penelitian ini bertujuan untuk:

a. Menganalisis kinerja *carcom balls* dalam meremediasi POME.
b. Menganalisis pengaruh suhu *thermal milling* terhadap nilai efisiensi remediasi *carcom balls.*
c. Menentukan suhu optimal untuk proses deposisi *carcom balls.*

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diajukan, berikut adalah batasan-batasan masalah yang dapat dijelaskan:

a. Proses pembuatan *carcom balls* dilakukan dalam skala laboratorium.
b. Variasi suhu saat *thermal milling* adalah 200℃ dan 220℃.
c. Parameter efisiensi *carcom balls* adalah nilai BOD, COD, dan TSS.

d. Karbon TKKS berbentuk serbuk dengan ukuran lolos 150 mesh dan tertahan 200 mesh.
e. Aktivasi karbon TKKS menggunakan oven *microwave* dengan daya 600W.
f. Waktu kontak antara *carcom balls* dan POME adalah 5 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat akademis dan aplikatif.

a. Manfaat Akademis: Memberikan data ilmiah mengenai sintesis, karakteristik, dan kemampuan *carcom balls* dalam meremediasi POME.
b. Manfaat Aplikatif: Menawarkan prototipe agen remediasi yang potensial, mudah diaplikasikan, dan dapat didaur ulang bagi industri kelapa sawit untuk mengelola POME secara lebih efektif dan ramah lingkungan.