SINTESIS OKSIDA GRAFENA TEREDUKSI (rGO) DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENGGUNAKAN REDUKSI TERMAL UNTUK MENDEGRADASI METILEN BIRU

MAWAR SARON
NIM H1021201022

SKRIPSI

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

SINTESIS OKSIDA GRAFENA TEREDUKSI (rGO) DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENGGUNAKAN REDUKSI TERMAL UNTUK MENDEGRADASI METILEN BIRU

MAWAR SARON
NIM H1021201022

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 Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menggunakan Reduksi Termal untuk Mendegradasi Metilen Biru
Nama Mahasiswa	: Mawar Saron
NIM	: H1021201022
Jurusan/Program Studi	: Fisika/Fisika
Tanggal Lulus	: 31 Januari 2025
SK Pembimbing	: No. 274/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 30 Januari 2024
SK Penguji	: No. 11/UN22.8/TD.06/2025/Tanggal 20 Januari 2025

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc.	Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc.
NIP198206082008122001	NIP197805132003121002

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si.	Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP198801192024212001	NIP198412162008121003

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc.	Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc.
NIP198206082008122001	NIP197805132003121002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

ii

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mawar Saron

NIM : H1021201022

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 pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 31 Januari 2025



Mawar Saron

NIM H1021201022

iii

Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menggunakan Reduksi Termal untuk Mendegradasi Metilen Biru

Abstrak

Oksida grafena tereduksi (rGO) menjadi material yang menarik dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pengolahan limbah dan degradasi polutan. Dalam penelitian ini, rGO disintesis dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menggunakan proses reduksi termal untuk aplikasi degradasi metilen biru (MB). TKKS yang kaya akan serat digunakan sebagai prekursor untuk memproduksi grafena oksida (GO) melalui oksidasi dengan bahan kimia. GO kemudian direduksi secara termal menggunakan metode ultrasonikasi, gelombang mikro, dan hidrotermal untuk menghasilkan rGO. Karakterisasi material yang dihasilkan dilakukan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi struktur dan kristalinitas dari GO dan rGO. GO memiliki puncak di $2\theta = 6{,}168°$ sedangkan rGO memiliki puncak 2θ di antara 23-25° dan 43-45º. rGO yang dihasilkan memiliki derajat kristalinitas diantara 65-69% artinya struktur rGO teridentifikasi semi kristal. Uji degradasi menunjukkan bahwa rGO hidrotermal dapat mengurangi konsentrasi metilen biru hingga 79,9% dalam waktu 3 jam, dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan rGO ultrasonikasi dan gelombang mikro. Penelitian ini menunjukkan potensi besar TKKS sebagai sumber bahan baku alternatif untuk sintesis rGO, serta memberikan bukti bahwa rGO yang dihasilkan memiliki kemampuan katalitik yang baik untuk degradasi polutan organik seperti metilen biru.

Kata Kunci: oksida grafena tereduksi, tandan kosong kelapa sawit, reduksi termal, degradasi metilen biru, katalisis.

Synthesis of Reduced Graphene Oxide (rGO) from Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Using Thermal Reduction for Methylene Blue Degradation

Abstract

Reduced graphene oxide (rGO) has emerged as an attractive material for various applications, including wastewater treatment and pollutant degradation. In this study, rGO was synthesized from empty palm oil bunches (EPOB) using a thermal reduction process for the degradation of methylene blue (MB). EPOB, rich in fibers, was used as a precursor to produce graphene oxide (GO) through chemical oxidation. GO was then thermally reduced using ultrasonication, microwave, and hydrothermal methods to produce rGO. The resulting materials were characterized using X-ray diffraction (XRD) to identify the structure and crystallinity of GO and rGO. GO exhibited a peak at $2\theta = 6.168°$, while rGO showed peaks at 2θ ranging from 23-25° and 43-45°. The rGO produced had a degree of crystallinity between 65-69%, indicating a semi-crystalline structure. Degradation tests demonstrated that hydrothermally synthesized rGO could reduce methylene blue concentration by up to 79.9% within 3 hours, showing higher efficiency compared to sonication and microwave rGO. This study highlights the significant potential of EPOB as an alternative raw material for rGO synthesis and provides evidence that the resulting rGO possesses good catalytic capability for degrading organic pollutants like methylene blue.

Keywords: reduced graphene oxide, palm empty fruit bunch, thermal reduction, methylene blue degradation, catalysis.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menggunakan Reduksi Termal untuk Mendegradasi Metilen Biru". Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan selesainya S1 dalam Program Studi Fisika. Selama perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak bantuan secara moral maupun materiil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura, Bapak 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, Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti perkuliahan di Program Studi Fisika Universitas Tanjungpura.
3. Ibu Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc. selaku dosen Pembimbing 1 yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan dan motivasi kepada penulis.
4. Bapak Yudha Arman, S.Si., M.Si, D.Sc. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing, memberikan arahan serta masukan kepada penulis.
5. Ibu Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si. selaku dosen Penguji 1 yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
6. Bapak Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen Penguji 2 yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
7. Bapak Radhitya Perdhana, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan dorongan dan masukan selama perkuliahan.

8. Seluruh dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mengajar dan memberikan wawasan kepada penulis tentang ilmu fisika.
9. Seluruh staf pengajar dan civitas Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendukung dan memberikan bantuan berupa fasilitas kegiatan penelitian dan skripsi.
10. Kepada orang tua penulis yang senantiasa mendoakan, memotivasi, mendukung secara emosi maupun materiil kepada penulis selama perkuliahan.
11. Seluruh staf, komponen Perkantas yang telah membantu, mendukung, dan memberikan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
12. Kakak dan abang Lab Fisika Lanjut yang telah menemani, membantu, serta memberikan masukan kepada penulis selama penelitian yaitu, Ya' Muhammad Arsyad, Mayoza Utana, Sunni Ibaddurahman, Nur Winda Rahmadhani dan Viyona Melisa.
13. Tim penelitian Dipa Fisika 2024 yang telah membantu dan memberikan fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian.
14. Tim peminatan fisika material yaitu Mia Audina, Wahyu Nur Aqni, Niswatul Jannah, Muhammad Haykal Hafiz Aswan atas bantuan dan dukungan.
15. Teman-teman Sirius 2020 yang telah membersamai penulis dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.

Pontianak, 30 Juli 2024

Mawar Saron

DAFTAR ISI

Abstrak iv
Abstract v
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 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II DASAR TEORI 4
2.1 Metilen Biru 4
2.2 Oksida Grafena Tereduksi (rGO) 4
2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit 5
2.4 Metode Hummers 6
2.5 Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 7
2.6 Asam Sulfat (H_2SO_4) 7
2.7 Ultrasonikasi/Sonikasi 8
2.8 Gelombang mikro 9
2.9 Hidrotermal 9
2.10 XRD *(X-ray Diffraction)* 10
2.11 Spektrofotometer UV-Vis 11
2.12 Daya Adsorpsi 12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 13
3.2 Alat dan Bahan 13
3.3 Prosedur Kerja 13
3.3.1 Persiapan TKKS 13
3.3.2 Karbonisasi TKSS 13
3.3.3 Sintesis Oksida Grafena 14
3.3.4 Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) 14
3.3.5 Karakterisasi dan Aplikasi Oksida Grafena Tereduksi (rGO) 15
3.4 Diagram Alir Penelitian 16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 17
4.1 Karbonisasi TKKS 17
4.2 Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) 18
4.3 Hasil Karakterisasi XRD 21

4.4 Aplikasi rGO untuk Mendegradasi Metilen Biru 24
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 28
5.1 Kesimpulan 28
5.2 Saran 28
DAFTAR PUSTAKA 29
LAMPIRAN 32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metilen Biru 4
Gambar 2.2 Oksida grafena tereduksi (rGO) 5
Gambar 2.3 Tandan kosong kelapa sawit 6
Gambar 2.4 Kalium permanganat 7
Gambar 2.5 Asam sulfat..... 8
Gambar 2.6 Sonikator 9
Gambar 2.7 Hydtotermal Autoclave 10
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... 16
Gambar 4.1 Perubahan warna pada TKKS (a) sebelum karbonisasi dan (b) setelah karbonisasi 18
Gambar 4.2 Perubahan pada warna larutan (a) hijau tua dan (b) coklat tua 19
Gambar 4.3 Perbedaan visual antara (a) GO, rGO dengan metode (b) ultrasonikasi, (c) gelombang mikro dan (d) hidrotermal. 21
Gambar 4.4 Difraktogram rGO ultrasonikasi, gelombang mikro dan hidrotermal22
Gambar 4.5 Tampilan visual perubahan warna metilen biru oleh rGO (a) ultrasonikasi, (b) gelombang mikro dan (c) hidrotermal. 24
Gambar 4.6 Spektrum serapan UV-Vis dari larutan MB setelah degradasi selama 180 menit dengan rGO (a) ultrasonikasi, (b) gelombang mikro dan (c) hidrotermal yang diukur pada selang waktu 0, 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. 26

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perubahan massa TKKS sebelum dan sesudah proses karbonisasi 17
Tabel 4.2 Derajat Kristalinitas rGO 23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi penelitian 32
Lampiran 2 Perhitungan penyususstan karbonisasi TKKS 33
Lampiran 3 Perhitungan jarak interlayer..... 34
Lampiran 4 Perhitungan derajat kristalinitas 35
Lampiran 5 Perhitungan degradasi rGO terhadap metilen biru 36

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki berbagai macam industri, salah satunya adalah industri tekstil yang dikenal sebagai penyumbang limbah yang signifikan karena penggunaan zat warna yang besar dan salah satu penyebab polusi air. Salah satu limbah berbentuk zat warna cair yang umumnya dihasilkan oleh industri tekstil adalah metilen biru (MB). Limbah MB dapat menjadi salah satu penyebab masalah lingkungan jika dibuang ke lingkungan tanpa proses pengolahan secara khusus (Teow *et al.*, 2021). Metode adsorpsi adalah yang paling sering digunakan untuk menghilangkan MB dari air. Dalam metode adsorpsi, oksida grafena tereduksi (rGO) dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap pigmen yang berasal dari pewarna organik MB.

Oksida grafena (GO) adalah material turunan dari grafena yang merupakan bentuk allotrop dari karbon. GO disusun oleh lapisan tunggal berisi oksigen yang lebih banyak dari pada grafena. Ada beberapa pengembangan yang dilakukan untuk memperoleh GO, salah satunya adalah oleh William S. Hummers pada tahun 1957 yang mempublikasikan metode oksidasi untuk mengubah grafit menjadi GO, yang disebut sebagai metode Hummers. Metode sintesis GO ini dilakukan dengan mengoksidasikan grafena dengan mencampurkan grafit dengan kalium permanganat ($KMnO_4$) dan natrium nitrat ($NaNO_3$) dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) (Hummers, 1957). Metode Hummers dikembangkan menjadi metode Hummers termodifikasi yaitu tanpa penambahan $NaNO_3$. Keuntungan metode Hummers termodifikasi yaitu sederhana, biaya produksi lebih rendah, bahan yang digunakan ramah lingkungan, produk yang dihasilkan lebih teratur, dan membutuhkan waktu sedikit lebih cepat pada saat melakukan percobaan (Marcano *et al.*, 2010). Oleh karenanya, penelitian ini menggunakan metode Hummers termodifikasi.

GO dapat direduksi menjadi bentuk rGO melalui reduksi kimia ataupun reduksi termal. rGO memiliki luas permukaan dan hidrofobisitas relatif tinggi serta

kandungan oksigen relatif rendah dibandingkan dengan GO (Chen and Chen, 2015), serta sifat konduktivitas listrik yang lebih tinggi. Melalui proses reduksi, gugus yang mengandung oksigen pada GO dihilangkan untuk membentuk rGO dengan karbon oksigen (C/O) rasio 8:1. Dalam bidang adsorpsi grafena, GO dan rGO dapat digunakan sebagai prekursor untuk pengembangan adsorben untuk pemanfaatan logam berat dekontaminasi (Ikram *et al.*, 2020). Proses reduksi termal menarik untuk dilakukan karena memberikan rGO dengan konduktivitas listrik yang lebih baik, lebih bersih dan murni serta ramah lingkungan (Hidayat *et al.*, 2020). Beberapa metode reduksi termal yang sering digunakan untuk mensintesis rGO adalah metode ultrasonikasi (Aprilia and Kusumawati, 2019), metode gelombang mikro (Aryani and Mu'awanah, 2023) dan metode hidrotermal (Honorisal *et al.*, 2020).

rGO dengan daya serap yang baik berasal dari bahan baku dengan kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa yang tinggi (Thebora *et al.*, 2020) seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang mengandung bahan lignoselulosa yang terdiri atas 30–55% selulosa, 15–35% hemiselulosa dan 20–30% lignin (Hidayah and Wusko, 2020). Di Kalimantan Barat, kelapa sawit adalah komoditas utama yang menempati sekitar 20% dari luas total perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Meskipun biomassa yang ada cukup melimpah, namun hingga saat ini masih kurang dimanfaatkan (Safitri, 2022). Oleh karenanya, penelitian yang memanfaatkan TKKS sebagai bahan rGO.

Dari pemaparan latar belakang, pada penelitian ini dilakukan sintesis rGO dari TKKS yang disintesis dengan metode reduksi termal yaitu ultrasonikasi, gelombang mikro, dan hidrotermal. Sintesis rGO dari TKKS dengan memanfaatkan metode fisika belum banyak dilakukan. Karakterisasi GO dan rGO dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Kemampuan rGO dalam mendegradasi MB dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik GO yang diperoleh menggunakan metode Hummers termodifikasi?
2. Bagaimana karakteristik rGO yang diperoleh menggunakan metode ultrasonikasi, gelombang mikro, dan hidrotermal?
3. Bagaimana efisiensi rGO yang diperoleh dalam menyerap MB?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Sintesis GO menggunakan metode Hummers termodifikasi.
2. Oksidator yang digunakan kalium permanganat ($KmnO_4$), asam sulfat (H_2SO_4), dan H_2O_2.
3. Metode yang digunakan untuk memperoleh rGO adalah metode ultrasonikasi, gelombang mikro, dan hidrotermal.
4. Aplikasi rGO untuk mendegradasi MB adalah pada kondisi gelap.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis karakteristik GO yang diperoleh dari metode Hummers termodifikasi.
2. Menganalisis karakteristik rGO yang diperoleh menggunakan metode ultrasonikasi, gelombang mikro, dan hidrotermal.
3. Mengetahui efisiensi rGO yang diperoleh dalam menyerap MB.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan lebih dalam tentang mekanisme dan parameter yang mempengaruhi rGO, yang dapat diterapkan dalam penelitian dan pengembangan material serupa di masa depan serta dapat membuka pintu untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknologi GO dan rGO.