

Acc judul Skripsi
17/2-25

**STUDI PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR DALAM
SINTESIS *GRAPHENE OXIDE* (GO) DARI LIMBAH
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SIFAT ADSORPSI
METILEN BIRU**

Acc judul & Dosen Pembimbing
~~Rahmat Hidayat, M.Si~~
Rahmat Hidayat, M.Si
26/5/2025

Acc utk diseminarkan
20/5-25

Pemb
Rahmat Hidayat, M.Si

Acc Sampel, pengujian.
U. Dra. Yenni Darwina, M. Si
U. Dr. Keni A. F. M. Si
Rahmat Hidayat, M.Si
12/6/2025



3/11-25
acc ujian Kompre
Pemb
Rahmat Hidayat, M.Si

Acc kompre
Rahmat Hidayat, M.Si
5/11/25

**NURFADHILAH MUHARANI MS
NIM. 21034106/2021**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

**STUDI PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR DALAM
SINTESIS *GRAPHENE OXIDE* (GO) DARI LIMBAH
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SIFAT ADSORPSI
METILEN BIRU**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
NURFADHILAH MUHARANI MS
NIM. 21034106/2021**

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

PERSETUJUAN SKRIPSI

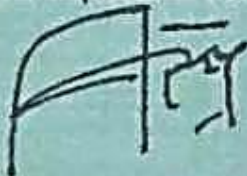
STUDI PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR DALAM SINTESIS *GRAPHENE OXIDE* (GO) DARI LIMBAH TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SIFAT ADSORPSI METILEN BIRU

Nama : Nurfadhilah Muharani Ms
NIM : 21034106/2021
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 7 November 2025

Mengetahui :

Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Asrizal, M.Si

NIP. 19660603 199203 1 001

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si

NIDN. 0003059202

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Nurfadhilah Muharani Ms
NIM : 21034106/2021
Program Studi : Fisika (S1)
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

STUDI PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR DALAM SINTESIS *GRAPHENE OXIDE (GO)* DARI LIMBAH TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SIFAT ADSORPSI METILEN BIRU

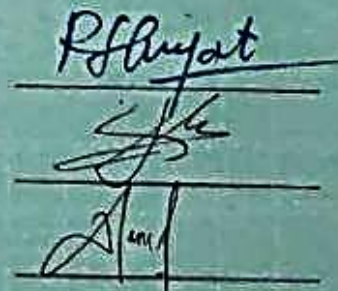
Dinyatakan Lulus setelah mempertahankan skripsi ini di depan Tim Penguji
Skripsi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 7 November 2025

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Rahmat Hidayat, S. Pd., M.Si
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si
Anggota	: Dr. Leni Aziyus Fitri, S.Pd., M.Si

Tanda tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurfadhilah Muharani Ms
NIM : 21034106/2021
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul “Studi Pengaruh Konsentrasi Aktivator dalam Sintesis *Graphene Oxide* (GO) dari Limbah Tempurung Kelapa dan Sifat Adsorbennya terhadap Larutan Metilen Biru” adalah benar merupakan karya sendiri, bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis dan diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 7 November 2025

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Asrizal, M.Si.
NIP. 196606031992031001

Saya yang menyatakan,



10000
METERAI
TEMPEL
DCDE4ANX154481639

NURTADNITA Muharani Ms
NIM. 21034106

Studi Pengaruh Konsentrasi Aktivator dalam Sintesis *Graphene oxide* (GO) dari Limbah Tempurung Kelapa terhadap Sifat Adsorpsi Metilen Biru

Nurfadhilah Muharani Ms

ABSTRAK

Pencemaran air oleh pewarna sintetik metilen biru dari industri tekstil menimbulkan ancaman serius terhadap ekosistem akuatik dan kesehatan manusia. *Graphene Oxide* (GO) yang disintesis dari limbah biomassa tempurung kelapa menawarkan solusi adsorben yang ekonomis dan ramah lingkungan, namun pengaruh konsentrasi aktivator terhadap karakteristik dan kemampuan adsorpsinya belum diketahui secara mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator dalam sintesis *Graphene Oxide* (GO) dari limbah tempurung kelapa terhadap sifat adsorpsi metilen biru. Tempurung kelapa sebanyak 147 gram dikarbonisasi pada suhu 350°C selama 120 menit menghasilkan 99 gram karbon dengan *yield* 67,61%, kemudian diaktivasi menggunakan NaOH dengan variasi konsentrasi 1M, 2M, 3M, dan 4M selama 24 jam pada suhu ruang. Sintesis GO dilakukan menggunakan metode Marcano dengan campuran H₂SO₄/H₃PO₄ (9:1) dan KMnO₄ sebagai agen pengoksidasi, menghasilkan *yield* 43.3-45.7%. Material dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (FESEM-EDS). Uji adsorpsi dilakukan terhadap larutan metilen biru konsentrasi 10-50 ppm pada pH 7 selama 60 menit, baik tanpa maupun dengan penyinaran UV dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 665$ nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator dari 1M ke 3M menyebabkan penurunan *d-spacing* karbon aktif dari 3.706 Å menjadi 3.414 Å, peningkatan jumlah pori sebesar 10.4%, penurunan rasio C/O dari 3.36 menjadi 2.06, dan peningkatan intensitas gugus hidroksil. GO yang disintesis dari prekursor aktivasi 1M (GO-TK1) menunjukkan *d-spacing* optimal 3.530 Å dengan ekspansi terkontrol 8.68% dan menghasilkan kapasitas adsorpsi tertinggi 240,16 mg/g dengan efisiensi 96.06% pada metilen biru 50 ppm dengan penyinaran UV, sedangkan GO dari prekursor aktivasi 3M dan 4M mengalami penurunan kapasitas hingga 53.6% dan 60.8% akibat *over*-oksidasi yang mengganggu domain aromatik dan mengurangi interaksi π - π *stacking*. Penelitian ini membuktikan bahwa konsentrasi aktivator NaOH 1M pada prekursor menghasilkan GO dengan stabilitas struktural optimal, keseimbangan densitas gugus fungsi oksigen, dan performa adsorpsi superior untuk aplikasi remediasi limbah pewarna tekstil.

Kata Kunci: *Graphene Oxide*, Tempurung Kelapa, Aktivasi, Adsorpsi, Metilen Biru

Study of the Effect of Activator Concentration in the Synthesis of *Graphene oxide* (GO) from Coconut Shell Waste on Its Methylene Blue Adsorption Properties

Nurfadhilah Muharani Ms

ABSTRACT

Water pollution by synthetic methylene blue dye from the textile industry poses a serious threat to aquatic ecosystems and human health. Graphene oxide (GO) synthesized from coconut shell biomass waste offers an economical and environmentally friendly adsorbent solution, but the effect of activator concentration on its characteristics and adsorption capacity is not yet fully understood. This study aims to determine the effect of activator concentration in the synthesis of graphene oxide (GO) from coconut shell waste on the adsorption properties of methylene blue. A total of 147 grams of coconut shells were carbonized at 350°C for 120 minutes, yielding 99 grams of carbon with a yield of 67.61%. They were then activated using NaOH with varying concentrations of 1M, 2M, 3M, and 4M for 24 hours at room temperature. GO synthesis was carried out using the Marcano method with a mixture of H₂SO₄/H₃PO₄ (9:1) and KMnO₄ as an oxidizing agent, yielding 43.3-45.7%. The materials were characterized using X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (FESEM-EDS). Adsorption tests were conducted on methylene blue solutions with concentrations of 10-50 ppm at pH 7 for 60 minutes, both with and without UV irradiation, and analyzed using a UV-Vis spectrophotometer at $\lambda = 665$ nm. The results showed that increasing the activator concentration from 1M to 3M caused a decrease in the d-spacing of activated carbon from 3.706 Å to 3.414 Å, an increase in the number of pores by 10.4%, a decrease in the C/O ratio from 3.36 to 2.06, and an increase in the intensity of the hydroxyl group. GO synthesized from the 1M activation precursor (GO-TK1) exhibited an optimal d-spacing of 3.530 Å with controlled expansion of 8.68% and produced the highest adsorption capacity of 240.16 mg/g with 96.06% efficiency for 50 ppm methylene blue under UV irradiation. while GO from 3M and 4M activation precursors experienced a decrease in capacity to 53.6% and 60.8% due to over-oxidation that disrupted the aromatic domains and reduced π - π stacking interactions. This study demonstrates that a 1M NaOH activator concentration in the precursor produces GO with optimal structural stability, balanced oxygen functional group density, and superior adsorption performance for textile dye waste remediation applications.

Keywords: Graphene oxide, Coconut Shell, Activation, Adsorption, Methylene Blue

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah rabbil alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta 'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi dengan judul "Studi Pengaruh Konsentrasi Aktivator dalam Sintesis *Graphene oxide* (GO) dari Limbah Tempurung Kelapa terhadap Sifat Adsorpsi Metilen Biru". Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, pemimpin seluruh umat manusia.

Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan demikian, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing yang telah mencurahkan waktu, tenaga, dan ilmunya dalam mengarahkan penulis sepanjang proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan telah memberikan kritik konstruktif serta saran perbaikan.
3. Ibu Dr. Leni Aziyus Fitri, S.Pd., M.Si., selaku Dosen penguji II yang telah memberikan evaluasi dan rekomendasi untuk penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Asrizal, M.Si., selaku Kepala Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Bapak Dr. Harman Amir, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak Dr. Nofi Yendri Sudiar, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penasihat Akademik yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
7. Segenap civitas akademik di lingkungan Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah berkontribusi dalam proses pembelajaran.
8. Kepada Kedua Orang Tua penulis yang telah memberikan cinta kasih, dukungan moril dan materiil, serta doa yang tak pernah putus untuk kesuksesan pendidikan penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap masukan dan saran konstruktif untuk perbaikan di masa mendatang. Harapan penulis, skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi para pembaca.

Padang, 7 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II KERANGKA TEORITIS	8
A. Pencemaran Air oleh Metilen Biru	8
B. Karbon Aktif	9
C. Aktivasi	11
D. <i>Graphene</i>	13
E. <i>Graphene oxide</i> (GO)	14
F. Tempurung Kelapa (<i>Cocos nucifera</i>)	17
G. Adsorpsi	19
H. Alat Karakterisasi Penelitian	21
I. Penelitian-penelitian Relevan	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
A. Tempat dan Waktu Penelitian	27
B. Jenis Penelitian	27
C. Variabel Penelitian	27
D. Instrumen dan Bahan Penelitian	28
E. Prosedur Penelitian	36
F. Teknik Pengumpulan Data	44
G. Teknik Pengujian dan Analisa Data	45
H. Diagram Alir Penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Hasil Penelitian	48
B. Pembahasan	66
BAB V PENUTUP	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	84

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
1. Struktur MB (Oladoye et al., 2022)	8
2. Pencemaran Air oleh MB (Ravi, 2021).....	9
3. Struktur pori karbon aktif (Wang et al., 2023).....	10
4. Karbon Aktif (AC) (PT Delta Puro Indonesia, 2020).....	11
5. Kisi lebah <i>graphene</i> (Ismail et al., 2019).....	14
6. Struktur GO Berdasarkan Model Lerf–Klinowski (Jiříčková et al., 2022).....	15
7. Tempurung Kelapa (Dokumen Pribadi).....	19
8. Ilustrasi Prinsip Kerja XRD (Fatimah et al., 2022).....	21
9. Ilustrasi prinsip kerja FTIR (Wong et al., 2023).....	22
10. Ilustrasi Prinsip Kerja UV-Vis (Toledo, 2025).....	23
11. Ilustrasi prinsip kerja FESEM (Prabhu et al., 2021).....	24
12. Alat Centrifuge.....	29
13. <i>Aluminium Foil</i>	29
14. Ayakan 200 <i>Mesh</i>	29
15. <i>Beaker</i>	29
16. Botol Semprot	30
17. Cawan Penguap.....	30
18. Corong Saring	30
19. Erlenmeyer	30
20. <i>Furnance</i>	30
21. Gelas Ukur	30
22. <i>Hot Plate Stirrer</i>	31
23. Kaca Arloji.....	31
24. Kertas pH	31
25. Kertas Filter.....	31
26. Labu Ukur	31
27. Lumpang dan Alu.....	31
28. Loyang.....	32
29. Masker Medis.....	32
30. Pemanas (<i>oven</i>)	32
31. Penjepit Wadah	32
32. Pipet Tetes.....	32
33. Plastik <i>Wrapping</i>	32
34. Sarung Tangan	33
35. Spatula.....	33
36. Tabung <i>Centrifuge</i>	33
37. Termometer	33
38. Timbangan Digital	33
39. <i>Ultrasonic Bath</i>	33
40. Wadah Es	33
41. Alat XRD	34
42. Alat FTIR	34
43. Alat UV-Vis	34
44. Alat FESEM-EDS	34

45. Tempurung Kelapa.....	35
46. Natrium Hidroksida.....	35
47. Aquades.....	35
48. Alkohol.....	35
49. Hidrogen Peroksida.....	35
50. Asam Fosfat	35
51. Asam Sulfat.....	36
52. Asam Klorida	36
53. Kalium Permanganat.....	36
54. <i>Methylene Blue</i>	36
55. Skema Diagram Pelaksanaan Penelitian Sintesis GO Metode Marcano dari Limbah Tempurung Kelapa (Dokumen Pribadi)	40
56. Skema Diagram Uji Adsorben terhadap Metilen Biru (a) Tanpa Penyinaran dan (b) Dengan Penyinaran (Dokumen Pribadi).....	43
57. Diagram alir penelitian.....	47
58. (a) Tempurung kelapa sebelum karbonisasi; (b) Potongan tempurung kelapa siap karbonisasi; (c) Karbon TK hasil karbonisasi; (d) Serbuk karbon TK 200 mesh (Dokumentasi Pribadi).....	49
59. Perbandingan visual (a) karbon TK sebelum dan (b) sesudah aktivasi NaOH (Dokumen Pribadi).....	50
60. Difraktogram XRD karbon TK sebelum aktivasi menunjukkan puncak (002) dan (100) dibandingkan dengan grafit standar (COD ID: 9012234) (Dokumentasi Pribadi)	51
61. Difraktogram XRD karbon TK sebelum aktivasi dan karbon TK setelah aktivasi dengan variasi NaOH (1M-4M) (Dokumen Pribadi).....	52
62. Spektrum FTIR karbon TK sebelum aktivasi dengan identifikasi gugus fungsi utama (Dokumen Pribadi).....	53
63. Spektrum FTIR karbon TK setelah aktivasi dengan identifikasi gugus fungsi utama (Dokumen Pribadi).....	54
64. Morfologi permukaan Karbon TK dan spektrum EDS: sebelum aktivasi (a) 1.000×, (b) 10.000×, (c) EDS; setelah aktivasi (d) 1.000×, (e) 10.000×, (f) EDS (Dokumen Pribadi).	55
65. Distribusi ukuran partikel dan pori-pori dari (a,b) karbon sebelum aktivasi dan (c,d) karbon setelah aktivasi (Dokumen Pribadi).....	57
66. Difraktogram sampel GO (1M-4M) yang disintesis dari karbon aktif dengan konsentrasi prekursor NaOH yang bervariasi (Dokumen Pribadi).	59
67. Spektrum FTIR GO dari Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi NaOH 1M, 2M, 3M, dan 4M (Dokumen Pribadi)	60
68. Kurva kalibrasi larutan standar metilen biru (Dokumen Pribadi).....	62
69. Grafik konsentrasi versus absorbansi (a) tanpa iradiasi UV dan (b) dengan iradiasi UV (Dokumen Pribadi)	63
70. Perubahan visual larutan metilen biru: (a) tanpa iradiasi UV dan (b) dengan iradiasi UV (Dokumen Pribadi)	65
71. Hubungan antara konsentrasi NaOH terhadap efisiensi adsorpsi MB: (a) tanpa penyinaran dan (b) dengan penyinaran (Dokumen Pribadi).....	66

DAFTAR TABEL

TABEL	Halaman
1. Sifat fisika-kimia MB (Oladoye et al., 2022).....	8
2. Komposisi kimia utama TK (Batdjedelik & Sumardiyono, 2024; Saleem et al., 2025; Wardhani et al., 2023).....	18
3. Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Kemampuan Adsorpsi GO pada Metilen Biru	44
4. Yield Massa Karbon TK Aktif Hasil Aktivasi NaOH dengan Variasi Konsentrasi 1 – 4M	50
5. Perbandingan parameter hasil analisis XRD antara Karbon TK sebelum aktivasi dan grafit standar (COD ID: 9012234).....	51
6. Parameter Struktural XRD Karbon Aktif dengan Variasi Konsentrasi NaOH	52
7. Identifikasi Gugus Fungsi Karbon Tempurung Kelapa (TK) Sebelum Aktivasi dari Spektrum FTIR.....	53
8. Identifikasi Gugus Fungsi Karbon Tempurung Kelapa (TK) Setelah Aktivasi dari Spektrum FTIR.....	54
9. Komposisi Unsur Karbon TK Sebelum dan Sesudah Aktivasi.....	56
10. Statistik Distribusi Ukuran Partikel dan Pori Karbon TK Sebelum dan Setelah Aktivasi	57
11. Parameter Struktur Kristal Material GO-TK.....	58
12. Posisi Puncak FTIR Utama GO dengan Variasi Prekursor.....	60
13. Ekspansi <i>d-spacing</i> dan tingkat oksidasi relatif GO	61
14. Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Kemampuan Adsorpsi GO pada Metilen Biru	64

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
1. Perhitungan Pembuatan Larutan	84
2. Data Absorbansi MB dengan dan tanpa Penyinaran UV	85
3. Reaksi Kimia Selama Proses Sintesis <i>Graphene oxide</i> (GO) dengan Metode Marcano (Husnah et al., 2017)	86
4. Dokumentasi Penelitian.....	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Akses terhadap air bersih merupakan kebutuhan mendasar untuk mempertahankan kehidupan manusia, dan mempertahankan kestabilan ekosistem (Shafique, 2021; Wu et al., 2025). Namun pertumbuhan industri yang pesat, urbanisasi yang tidak terkendali, dan peningkatan populasi telah menyebabkan peningkatan dalam pencemaran air, terutama di negara berkembang yang menghadapi 70–80% permasalahan lingkungan terkait limbah cair (Vardhan et al., 2019). Penyakit yang ditularkan melalui air menyebabkan sekitar 4 miliar kasus penyakit setiap tahun dan lebih dari 7 juta kematian dini (*World Health Organization*, 2024).

Kondisi pencemaran air di Indonesia semakin mengkhawatirkan, dengan sungai-sungai yang tercemar akibat limbah industri tekstil yang mengandung pewarna sintesis sebagai salah satu kontributor utama (Rezagama et al., 2020). Indonesia termasuk dalam sepuluh besar negara produsen tekstil di dunia dan merupakan eksportir tekstil terbesar ke-12 (Suciati et al., 2023). Namun, sekitar 82% produsen tekstil di Indonesia masih menghasilkan limbah cair yang belum melalui pengolahan yang memadai sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan lingkungan (Ghufroni et al., 2025). Industri ini mampu memproduksi sekitar 700.000 ton pewarna sintesis per tahun dengan lebih dari 100.000 jenis pewarna di pasaran, yang sebagian pewarna tersebut bersifat beracun bagi kehidupan air, stabil terhadap cahaya, dan sulit terurai. Lebih dari 20% limbah pewarna dibuang ke

badan air tanpa pengolahan yang memadai, menyebabkan masalah kesehatan serius dan gangguan ekosistem (Mahich et al., 2024; Zein et al., 2023).

Metilen biru (MB) merupakan pewarna kationik yang paling umum digunakan dalam industri tekstil untuk mencetak kapas, wol, dan sutra (Ali et al., 2024). Penelitian oleh Li (2023) menunjukkan bahwa paparan kronis MB dapat terjadi pada konsentrasi di atas 4.7 $\mu\text{g/L}$ atau 0.0047 ppm yang dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan seperti iritasi kulit, mual, muntah, gangguan mental, kerusakan mata, peningkatan denyut jantung, hingga berbagai jenis kanker (Li et al., 2023; Tubon-Usca et al., 2025). Oleh karena itu, penanganan kontaminasi air akibat pewarna tekstil sangat diperlukan.

Berbagai metode teknologi telah dikembangkan untuk menangani kontaminasi air akibat pewarna tekstil, salah satunya adalah adsorpsi. Metode ini dikenal efektif dan ekonomis karena prosesnya yang sederhana, berbiaya rendah, dan menghasilkan limbah yang minimal (Hikmah et al., 2022). Namun, efektivitas adsorpsi sangat bergantung pada karakteristik adsorben yang digunakan. Zeolit alami yang umum digunakan memiliki keterbatasan karena struktur porinya yang sempit sehingga kurang mampu menyerap molekul berukuran besar seperti MB (Othman et al., 2018). Penelitian Amelia dan Maryudi (2019) menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan MB oleh zeolit hanya mencapai 32.11%, jauh lebih rendah dibandingkan *Graphene oxide* (GO) yang mencapai lebih dari 80%. Selain itu, kapasitas adsorpsi zeolit berkisar antara 3.5 – 21.189 mg/g, dengan efisiensi rendah untuk kontaminan kationik akibat kapasitas pertukaran ion yang terbatas (Asefa & Feyisa, 2022; Gago & Ngapa, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa zeolit alami

kurang optimal untuk pengolahan limbah cair yang mengandung pewarna sintetis berukuran besar seperti MB.

Graphene oxide (GO) adalah material karbon dua dimensi dengan struktur lembaran 2D yang memiliki luas permukaan spesifik sangat tinggi dan kaya gugus fungsi oksigen seperti hidroksil (-OH), epoksi (C-O-C), dan karboksil (-COOH) (Shakoor et al., 2024). Gugus-gugus ini mampu berinteraksi dengan molekul pewarna melalui ikatan hidrogen, gaya elektrostatik, dan π - π *stacking* (Mahich et al., 2024). Kapasitas adsorpsi GO dapat mencapai lebih dari 100 mg/g, hampir lima kali lipat lebih tinggi dibandingkan zeolit teraktivasi (Tubon-Usca et al., 2025). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa GO merupakan adsorben efektif untuk menghilangkan MB dari air limbah dengan efisiensi penghilangan mencapai 95 – 98,7% (Jahan et al., 2022; Molla et al., 2018; Tubon-Usca et al., 2025), dan kapasitas adsorpsi maksimum berkisar antara 119 – 3333 mg/g (Arabpour et al., 2021; Jahan et al., 2022; Luong et al., 2024; Tubon-Usca et al., 2025). Temuan ini menegaskan kemampuan GO sebagai adsorben unggul dari segi efisiensi maupun kapasitas adsorpsi, menjadikannya relevan untuk aplikasi pengolahan limbah pewarna industri.

Meskipun GO menunjukkan performa adsorpsi sangat baik, grafit komersial kemurnian 80 – 99.95% dijual per ton dengan harga tinggi, sehingga penggunaannya untuk sintesis GO relatif mahal (Fastmarkets, 2025). Kondisi ini mendorong pengembangan sumber karbon alternatif dari limbah biomassa, termasuk tempurung kelapa yang ketersediaannya melimpah di Indonesia. Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa terbesar di dunia dengan produksi mencapai 2.81 – 2.85 juta ton per tahun, dan kontribusi sekitar 33.94% dari total produksi

global (Wardhani et al., 2023). Tempurung kelapa memiliki kandungan karbon tinggi (85 – 95%) (Najati et al., 2023; Paradise et al., 2020), dan komposisi kimia yang ideal untuk sintesis GO, meliputi selulosa (26 – 45%), lignin (28 – 33%), hemiselulosa (25 – 27%), abu (0.62%), dan nitrogen (0.11%), dan kadar air (8.01%) (Batdjedelik & Sumardiyono, 2024; Saleem et al., 2025; Wardhani et al., 2023).

Karbon yang diperoleh dari tempurung kelapa memiliki struktur yang sebagian menyerupai grafit, tetapi berbeda dari grafit murni karena bersifat lebih berpori dan memiliki area permukaan yang besar. Oleh karena itu, pendekatan oksidasi langsung tidak memadai sehingga diperlukan proses karbonisasi dan aktivasi terlebih dahulu untuk memperbaiki struktur sebelum disintesis menjadi GO (Sujiono et al., 2020). Proses pembuatan karbon dari biomassa tempurung kelapa melibatkan tahap penting meliputi karbonisasi, dan aktivasi. Karbonisasi bertujuan membentuk kerangka dasar karbon dengan menghilangkan bahan volatil, sedangkan aktivasi bertujuan memperluas luas permukaan dan mengembangkan pori-pori (Hafizuddin et al., 2021). Peran aktivator dalam pembentukan karbon biomassa dan sintesis GO dari biomassa berfungsi membentuk struktur berpori, tetapi juga memfasilitasi transformasi struktur amorf biomassa menjadi struktur berlapis yang mendekati grafit (Hamid et al., 2022).

Di antara berbagai aktivator kimia, NaOH dipilih karena biaya lebih murah, korosi minimal, tidak menghasilkan gas berbahaya, menghasilkan struktur pori lebih teratur dan distribusi ukuran pori homogen, serta menghasilkan daya serap lebih tinggi (Hafizuddin et al., 2021; Hamid et al., 2022; Sari et al., 2023). Konsentrasi aktivator NaOH memegang peranan penting dalam menentukan

struktur kristal, distribusi pori, luas permukaan, derajat oksidasi, densitas gugus fungsional, serta kristalinitas dan stabilitas struktural GO yang dihasilkan. Pemilihan rentang konsentrasi NaOH 1M – 4M dipilih karena merupakan zona optimal aktivasi biomassa lignoselulosa. Aktivasi 1M – 3M dilaporkan dapat meningkatkan luas permukaan dan pengembangan pori karbon (Cazetta et al., 2011), sedangkan aktivasi 4M menghasilkan struktur karbon optimal dengan morfologi pori baik dan kestabilan tinggi (Arman et al., 2024; Sari et al., 2023). Konsentrasi di atas 4M dapat menyebabkan *over-etching*, degradasi struktur pori dan degradasi kerangka karbon (Lee et al., 2019). Variasi 1M – 4M digunakan untuk mengevaluasi performa optimal tanpa merusak struktur karbon.

Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan sintesis GO dari tempurung kelapa (Molla et al., 2018; Nanda & Ramli, 2022; Ramli & Hidayat, 2022), namun sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada sintesis GO dengan kondisi aktivasi yang sudah ditetapkan tanpa melakukan eksplorasi mendalam terhadap pengaruh variasi konsentrasi aktivator. Hafizuddin et al. (2021) mengevaluasi penggunaan NaOH sebagai aktivator kimia pada biomassa lignoselulosa, namun penelitian tersebut tidak melakukan variasi konsentrasi aktivator sehingga pengaruh konsentrasi terhadap karakteristik material dan kapasitas adsorpsi belum diketahui. Sementara itu, Khuluk et al. (2019) serta Affandi et al. (2023; 2024) menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa untuk adsorpsi MB dengan efisiensi tinggi, namun belum mengembangkan material berbasis GO yang memiliki gugus fungsi oksigen lebih banyak dan kapasitas adsorpsi potensial lebih tinggi.

Berdasarkan hal yang telah dibahas, maka penelitian ini mengangkat judul “Studi Pengaruh Konsentrasi Aktivator dalam Sintesis *Graphene oxide* (GO) dari

Limbah Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Adsorpsi Metilen Biru”. Studi ini diharapkan dapat mengungkap bagaimana variasi konsentrasi aktivator memengaruhi karakteristik fisikokimia GO terhadap kemampuan adsorpsi metilen biru, sehingga menghasilkan adsorben berbasis biomassa yang efektif dan ramah lingkungan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Bagaimana pengaruh konsentrasi aktivator dalam sintesis *Graphene Oxide* (GO) dari limbah tempurung kelapa terhadap sifat adsorpsi metilen biru?

C. Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan untuk: Mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator dalam sintesis *Graphene Oxide* (GO) dari limbah tempurung kelapa terhadap sifat adsorpsi metilen biru.

D. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan ruang lingkup penelitian, diperlukannya pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan baku karbon yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Tempurung Kelapa yang berasal dari daerah Sawahlunto, Kota Padang, Sumatera Barat.
2. Proses sintesis *Graphene oxide* (GO) dilakukan menggunakan metode Marciano, dengan NaOH sebagai agen aktivasi kimia.

3. Variasi konsentrasi aktivator NaOH yang digunakan adalah 1M, 2M, 3M dan 4M.
4. Pengujian adsorpsi GO difokuskan pada larutan metilen biru (MB) sebagai model zat warna tunggal.
5. Pengujian adsorpsi dilakukan pada dua kondisi, yaitu tanpa penyinaran (gelap) dan dengan penyinaran menggunakan lampu UV.
6. Karakterisasi material meliputi analisis struktur kristal (XRD), gugus fungsi (FTIR), morfologi dan komposisi unsur (FESEM-EDS) untuk karbon sebelum dan sesudah aktivasi, serta struktur kristal dan gugus fungsi untuk GO hasil sintesis.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini menjadi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan program studi S1 Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang.
2. Bagi pembaca, menambah wawasan ilmiah mengenai pengaruh konsentrasi aktivator terhadap struktur dan sifat adsorpsi GO berbasis tempurung kelapa.
3. Bagi industri, memberikan alternatif solusi dalam pengolahan air limbah industri yang mengandung zat pewarna melalui pendekatan teknologi berbasis material lokal dan berkelanjutan.
4. Bagi peneliti selanjutnya, menjadi referensi bagi penelitian lanjutan terkait optimasi sintesis GO dari biomassa, eksplorasi aktivator alternatif, serta aplikasi GO untuk jenis kontaminan lain dalam pengolahan air limbah.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian. Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi aktivator NaOH berpengaruh signifikan terhadap sifat adsorpsi metilen biru pada *Graphene Oxide* yang disintesis dari limbah tempurung kelapa. Konsentrasi aktivator 1M menghasilkan GO dengan kemampuan adsorpsi paling superior dan konsisten, mencapai kapasitas adsorpsi tertinggi 234 mg/g tanpa penyinaran UV dan 240.16 mg/g dengan penyinaran UV pada konsentrasi metilen biru 50 ppm, dengan efisiensi adsorpsi 93.59%. Peningkatan konsentrasi aktivator dari 1M ke 3M menyebabkan penurunan *d-spacing* karbon aktif dari 3.706 Å menjadi 3.414 Å dan peningkatan derajat oksidasi GO hingga ekspansi *d-spacing* 13.39%, namun justru menurunkan kinerja adsorpsi karena over-oksidasi mengganggu kontinuitas domain aromatik dan mengurangi interaksi π - π stacking dengan metilen biru. Konsentrasi aktivator di atas 4M menyebabkan over-etching yang berakibat pada deteriorasi struktur dan penurunan drastis efisiensi adsorpsi hingga 37.62% pada metilen biru 50 ppm. Dengan demikian, konsentrasi aktivator 1M memberikan keseimbangan optimal antara situs aktif elektrostatis dari gugus oksigen dan area interaksi π - π dari domain aromatik, menghasilkan GO dengan sifat adsorpsi metilen biru terbaik.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan guna mengoptimalkan kinerja material GO dari tempurung kelapa.

Investigasi terhadap variasi waktu aktivasi dan suhu aktivasi perlu dilakukan untuk memperoleh kondisi optimal yang dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan distribusi pori karbon aktif. Karakterisasi tambahan dengan spektroskopi Raman untuk mengidentifikasi rasio ID/IG sebagai indikator tingkat defek struktural, dan XPS untuk memverifikasi distribusi dan komposisi kuantitatif gugus fungsional oksigen (C-O, C=O, O-C=O) pada permukaan GO. Studi kinetika dan isoterm adsorpsi perlu dilakukan secara komprehensif untuk memahami mekanisme adsorpsi secara mendalam dan memprediksi kinerja material pada berbagai kondisi operasional. Uji regenerasi dan reusabilitas GO perlu dilakukan untuk mengevaluasi keberlanjutan material sebagai adsorben dalam aplikasi pengolahan limbah cair industri, serta memperluas adsorpsi polutan lain seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik persisten, dan eksplorasi potensi material dalam aplikasi elektrokimia seperti elektroda superkapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, S. R., Faisal, M., & Muhammad, S. (2025). Characterization of Young Coconut Shell Charcoal Activated By Naoh for Potential Use As a Natural Adsorbent. *Rasayan Journal of Chemistry*, 18(3), 1394–1400. <https://doi.org/10.31788/RJC.2025.1839173>
- Affandi, D. A., Najati, B. L., Syakir, N., Joni, I. M., & Fitrilawati, F. (2024). Kinetic Studies on MB Adsorption by Graphene like Material from Coconut Shell Charcoal. *Advanced Materials Research*, 1181, 61–76. <https://doi.org/10.4028/p-m2ypw9>
- Affandi, D. A., Syakir, N., & Fitrilawati. (2023). Characteristics of Graphene Like Material Synthesized from Commercial Activated Carbon of Coconut Shell Using a Modified Hummers Methods. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.24198/jiif.v7i1.43488>
- Ahmad, R. K., & Sulaiman, S. A. (2021). Carbonization of Coconut Shell Biomass in a Downdraft Reactor: Effect of Temperature on the Charcoal Properties. *Sains Malaysiana*, 50(12), 3705–3717. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5012-20>
- Ali, M. A., Maafa, I. M., & Qudsieh, I. Y. (2024). Photodegradation of Methylene Blue Using a UV/H₂O₂ Irradiation System. *Water (Switzerland)*, 16(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w16030453>
- Aliyev, E., Filiz, V., Khan, M. M., Lee, Y. J., Abetz, C., & Abetz, V. (2019). Structural characterization of *graphene oxide*: Surface functional groups and fractionated oxidative debris. *Nanomaterials*, 9(1180), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nano9081180>
- Amelia, S., & Maryudi, M. (2019). Application of Natural Zeolite in Methylene Blue Wastewater Treatment Process by Adsorption Method. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 8(2), 144–147. <https://doi.org/10.15294/jbat.v8i2.22480>
- Arabpour, A., Dan, S., & Hashemipour, H. (2021). Preparation and optimization of novel *graphene oxide* and adsorption isotherm study of methylene blue. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103003>
- Arias, F. A., Guevara, M., Tene, T., Angamarca, P., Molina, R., Valarezo, A., Salguero, O., Gomez, C. V., Arias, M., & Caputi, L. S. (2020). The adsorption of methylene blue on eco-friendly reduced *graphene oxide*. *Nanomaterials*, 10(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/nano10040681>
- Arman, M., Sabara, Z., & Arief, T. (2024). The Effect of Pyrolysis Temperature on Sawdust-Biomass Activated Carbon Using NaOH and NaCl Activators. *Engineering Journal*, 28(8), 1–11. <https://doi.org/10.4186/ej.2024.28.8.1>
- Asefa, M. T., & Feyisa, G. B. (2022). Comparative Investigation on Two Synthesizing Methods of Zeolites for Removal of Methylene Blue from

- Aqueous Solution. *International Journal of Chemical Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9378712>
- Batdjedelik, A. N., & Sumardiyono. (2024). Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 04(02), 65–70.
- Bhuyan, M. S. A., Uddin, M. N., Islam, M. M., Bipasha, F. A., & Hossain, S. S. (2016). Synthesis of graphene. *International Nano Letters*, 6(2), 65–83. <https://doi.org/10.1007/s40089-015-0176-1>
- Cazetta, A. L., Vargas, A. M. M., Nogami, E. M., Kunita, M. H., Guilherme, M. R., Martins, A. C., Silva, T. L., Moraes, J. C. G., & Almeida, V. C. (2011). NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.058>
- Chen, X., Qu, Z., Liu, Z., & Ren, G. (2022). Mechanism of Oxidization of Graphite to Graphene oxide by the Hummers Method. *ACS Omega*, 7, 23503–23510. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01963>
- Fadhila, D. A. N., Nugroho, S. A., Perwitasari, D. S., Nugraha, R. E., Aziz, A., Jovita, S., Utami, D. I., & Damayanti, N. (2024). Studi Kinetika Adsorpsi Limbah Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Grafen Oksida dari Karbon Limbah Baterai. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 11(2), 83–92. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2024.012.02.4>
- Farouk, S., Mostafa, N., Abdelhamid, S., & Monazie, A. (2021). Evaluation of Utilizing Sulfonated Barely Straw and Coconut Shell Bio-Adsorbents in Removal of Methylene Blue Dye From Aqueous Solutions. *Port-Said Engineering Research Journal*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/pserj.2021.67521.1100>
- Fastmarkets. (2025). *Graphite: Methodology and price specifications – April 2025* (Issue April).
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37647>
- Gago, J., & Ngapa, Y. D. (2021). Optimizing of Competitive Adsorption Methylene Blue and Methyl Orange using Natural Zeolite from Ende-Flores. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 6(1), 39–48. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v6i1.46132>
- Gaston, B., & Protter, C. (2019). Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) - Chemistry LibreTexts. In *LibreTexts Chemistry*. https://chem.libretexts.org/Courses/Franklin_and_Marshall_College/Introduction_to_Materials_Characterization__CHM_412_Collaborative_Text/Spectr

oscopy/Energy-Dispersive_X-ray_Spectroscopy_(EDS)

- Ghufroni, A., Silaswaty, F., & Yudanto, D. (2025). *Legal Gaps in Waste Management Regulation of Indonesia ' s Fashion Industry this impressive economic growth lies a vast and complex ecological footprint . According to the United Nations Environment Programme (UNEP), the fashion industry accounts for ap.* 7(1), 325–340. <https://doi.org/10.46924/jihk.v7i1.299>
- Giri, D. C. K. (2024). Variables in Educational Research. *The International Journal of Indian Psychology*, 12(3), 1086–1095. <https://doi.org/10.25215/1203.104>
- Gobel, A. P. (2021). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral Energi Dan Lingkungan*, 5(1), 48–54.
- Gong, Y., Chen, X., & Wu, W. (2024). Application of fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in sample preparation: Material characterization and mechanism investigation. *Advances in Sample Preparation*, 11(April), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100122>
- Guerrero-Fajardo, C. A., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2020). Preparation and characterization of *graphene oxide* for Pb(II) and Zn(II) ions adsorption from aqueous solution: Experimental, thermodynamic and kinetic study. *Nanomaterials*, 10, 1–27. <https://doi.org/10.3390/nano10061022>
- Hafizuddin, M. S., Lee, C. L., Chin, K. L., H'ng, P. S., Khoo, P. S., & Rashid, U. (2021). Fabrication of highly microporous structure activated carbon via surface modification with sodium hydroxide. *Polymers*, 13(3954), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym13223954>
- Hamid, A., Rahmawati, Z., Abdullah, M., Purbaningtyas, T. E., Rohmah, F., & Febriana, I. D. (2022). The Influence of NaOH Activator Concentration on the Synthesis of Activated Carbon from Banana Peel for Pb(II) Adsorption. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 23(03), 158–166. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol23-iss03/323>
- Hassan, M. M., & Carr, C. M. (2018). A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents. *Chemosphere*, 209, 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.043>
- Hidayati, U. F., Aritonang, A. B., & Destiarti, L. (2021). TiO₂-rGO Composite for Photocatalytic Decolorization of Methylene Blue Under the Visible Light Illumination. *Berkala Sainstek*, 9(4), 167. <https://doi.org/10.19184/bst.v9i4.27602>
- Hikmah, I. N., Hutapea, J. M. A., Bahtiar, A., Syakir, N., & Fitrilawati. (2022). Studi Adsorpsi Methylene Blue oleh *Graphene oxide* Dengan dan Tanpa Penyinaran Menggunakan Sinar UV-A. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 6(2), 174–181. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.39945>

- Husnah, M., Fakhri, H. A., Rohman, F., Aimon, A. H., & Iskandar, F. (2017). A modified Marciano method for improving electrical properties of reduced *graphene oxide* (rGO). *Materials Research Express*, 4, 1–5. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa707f>
- Ismail, M. S., Yusof, N., Yusop, M. Z. M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Aziz, F., & Karim, Z. A. (2019). Synthesis and characterization of graphene from rice husks. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 516–521. <https://doi.org/10.7209/tanso.2016.182>
- Jahan, N., Roy, H., Reaz, A. H., Arshi, S., Rahman, E., Firoz, S. H., & Islam, M. S. (2022). A comparative study on sorption behavior of *graphene oxide* and reduced *graphene oxide* towards methylene blue. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6(July), 100239. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2022.100239>
- Jiříčková, A., Jankovský, O., Sofer, Z., & Sedmidubský, D. (2022). Synthesis and Applications of *Graphene oxide*. *Materials*, 15(920), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ma15030920>
- Kabir Ahmad, R., Anwar Sulaiman, S., Yusup, S., Sham Dol, S., Inayat, M., & Aminu Umar, H. (2022). Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(101499), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.013>
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Baoliang Zhang, Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. *Water (Switzerland)*, 14(242), 1–30. <https://doi.org/10.5040/9781501365072.12105>
- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani, & Suharso. (2019). Removal of Methylene blue by adsorption onto activated carbon from coconut shell (*Cocous Nucifera* L.). *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(2), 229–240. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i2.18179>
- Kim, K. W. (2022). Biological applications of the NanoSuit for electron imaging and X-microanalysis of insulating specimens. *Applied Microscopy*, 52(4), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s42649-022-00073-2>
- Kiswanto, H., Prima Yuniarto, A. H., Istiqomah, N. I., & Suharyadi, E. (2021). Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Nanopartikel Mn-Ferrite yang Disintesis dari Bahan Alam Pasir Besi. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 413–420. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.413-420.2021>
- Krishna, R. H., Chandrababha, M. N., Samrat, K., Krishna Murthy, T. P., Manjunatha, C., & Kumar, S. G. (2023). Carbon nanotubes and graphene-based materials for adsorptive removal of metal ions – A review on surface functionalization and related adsorption mechanism. *Applied Surface Science Advances*, 16, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100431>
- Lee, H. K., Talib, Z. A., Nazira, M. S. M. @ M., Wang, E., Lim, H. N., Mahdi, M.

- A., Ng, E. K., YusoffLiew, N. M., AL-Jumaili, B. E., & Chyi, J. Y. (2019). Effect of Sodium Hydroxide Concentration in Composite via Microwave-Assisted Hydrothermal Method. *Materials*, 12(2295).
- Li, S., Cui, Y., Wen, M., & Ji, G. (2023). Toxic Effects of Methylene Blue on the Growth, Reproduction and Physiology of *Daphnia magna*. *Toxics*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/toxics11070594>
- Luong, H. V. T., Le, T. P., Le, T. L. T., Dang, H. G., & Tran, T. B. Q. (2024). A *graphene oxide* based composite granule for methylene blue separation from aqueous solution: Adsorption, kinetics and thermodynamic studies. *Heliyon*, 10(7), e28648. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28648>
- Mahich, S., Saini, Y. K., Devra, V., Aggarwal, K., Kumar, A., Kumar, D., Singh, A., & Arya, Y. (2024). Metal-free adsorption and photodegradation methods for methylene blue dye removal using different reduction grades of *graphene oxide*. *Heliyon*, 10(11), e31702. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31702>
- Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W., & Tour, J. M. (2010). Improved Synthesis of *Graphene oxide*. *AcsNANO*, 4(8), 4806–4814. <https://doi.org/10.18632/aging.103179>
- Masthura, EtyJumiati, & Dauly, A. H. (2018). Effects of Activation Temperature on Characteristics and Microstructure of Coconut Shell-Based Activated Carbon. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 4, 384–390.
- Méndez-Lozano, N., Pérez-Reynoso, F., & González-Gutiérrez, C. (2022). Eco-Friendly Approach for *Graphene oxide* Synthesis by Modified Hummers Method. *Materials*, 15, 1–9. <https://doi.org/10.3390/ma15207228>
- Mohamed, E. N., Abd-Elhamid, A. I., El-Bardan, A. A., Soliman, H. M. A., & Mohy-Eldin, M. S. (2023). Development of carboxymethyl cellulose-*graphene oxide* biobased composite for the removal of methylene blue cationic dye model contaminate from wastewater. *Scientific Reports*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41431-8>
- Molla, A., Li, Y., Mandal, B., Kang, S. G., Hur, S. H., & Chung, J. S. (2018). Selective adsorption of organic dyes on *graphene oxide*: Theoretical and experimental analysis. *Applied Surface Science*, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.09.056>
- Najati, B. ., Junita, T. ., Syakir, N., & Fitrilawati. (2023). Characteristics of Graphene Like Material Synthesized from Coconut Shell Charcoal Powder using Solid State Method. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 7(1), 30–40. <https://doi.org/10.24198/jiif.v7i1.40655>
- Nanda, R., & Ramli, -. (2022). Structure Analysis Of Graphene Micro Oxide From Old Coconut Shell Waste. *Pillar of Physics*, 15(1), 69–76. <https://doi.org/10.24036/12600171074>

- Oktavian, D. A., & Kartika, R. (2025). G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan Optimizing Temperature and Time for Producing Coconut Shell Activated. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 9(1), 364–372.
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*, 16(100678), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Othman, N. H., Alias, N. H., Shahrudin, M. Z., Abu Bakar, N. F., Nik Him, N. R., & Lau, W. J. (2018). Adsorption kinetics of methylene blue dyes onto magnetic *graphene oxide*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.024>
- Paradise, M., Nursanto, E., & Nurkhamim. (2020). Limbah tempurung kelapa sebagai alternatif penyerap logam berat yang ramah lingkungan dan ekonomis. *Prosiding Seminar Nasional ReTII Ke-15*, 235–238. <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/2045>
- Prabhu, R. S., Priyanka, R., Vijay, M., & Vikashini, G. R. K. (2021). Field Emission Scanning Electron Microscopy (Fesem) with A Very Big Future in Pharmaceutical Research. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences-IJPBS*, 11(2), 183–187. www.ijpbs.com or www.ijpbsonline.com
- Prauchner, M. J., Sapag, K., & Rodríguez-Reinoso, F. (2016). Tailoring biomass-based activated carbon for CH₄ storage by combining chemical activation with H₃PO₄ or ZnCl₂ and physical activation with CO₂. *Carbon*. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.08.092>
- PT Delta Puro Indonesia. (2020). Pembuatan Karbon Aktif. 2020. <https://www.deltapuro.com/2020/01/pembuatan-karbon-aktif.html>
- Puspitasari, M., Nandari, W. W., & Santi R., S. W. (2021). Effect of Sodium Hydroxide Concentration on Production of Activated Carbon from Cassava Peel. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, 1(1), 527–534. <https://doi.org/10.31098/cset.v1i1.426>
- Putri, N. A., & Supardi, Z. A. I. (2023). Sintesis Dan Karakterisasi *Graphene oxide* (Go) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 47–55. <https://doi.org/10.26740/ifi.v12n2.p47-55>
- Ravi, A. (2021). Bleeding blue: Fast fashion is now poisoning African rivers. *DownToEarth*. <https://www.downtoearth.org.in/news/environment/bleeding-blue-fast-fashion-is-now-poisoning-african-rivers-78531>
- Rezagama, A., Sutrisno, E., & Handayani, D. S. (2020). Pollution Model of Batik and Domestic Wastewater on River Water Quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012074>
- Sahara, E., Dahliani, N. K., & Manuaba, I. B. P. (2017). Pembuatan Dan

- Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Limbah Tanaman Gunitir Dengan Aktivator $ZnCl_2$. *Jurnal Kimia*, 11(2), 174–180. <https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p15>
- Saleem, J., Moghal, Z. K. B., Tahir, F., Al-Ansari, T., & McKay, G. (2025). Environmental Impacts and Adsorption Isotherms of Coconut Shell Activated Carbon: Effect of Acid Activation, Water, and Fuel. *C-Journal of Carbon Research*, 11(22), 1–18. <https://doi.org/10.3390/c11010022>
- Sang, M., Shin, J., Kim, K., & Yu, K. J. (2019). *Electronic and Thermal Properties of Graphene and Recent Advances in Graphene Based Electronics Applications*. 9(374), 1–33. <https://doi.org/10.3390/nano9030374>
- Saputro, E. A., Wulan, V. D. R., Winata, B. Y., Yogaswara, R. R., & Erliyanti, N. K. (2020). Process of Activated Carbon form Coconut Shells Through Chemical Activation. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.22487/25411969.2020.v9.i1.15042>
- Saragih, A., Dwidiani, N. M., & Santhiarsa, I. N. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 9(3), 993–997.
- Sari, S. P., Husnah, M., & Sirait, R. (2023). Preparasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia Dan Fisika. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 7(2), 142–148. <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i2.8046>
- Setiapraja, L. A., Sururi, M. R., & Rachmawati, V. (2023). Potensi Limbah Biomassa Menjadi Karbon Aktif Sebagai Upaya Resources Recovery : Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7795–7800. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.741>
- Shafique, A. (2021). Removal of toxic pollutants from aqueous medium through adsorption: A review. *Desalination and Water Treatment*, 234, 38–57. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27550>
- Shakoor, M. H., Shakoor, M. B., Jilani, A., Ahmed, T., Rizwan, M., Dustgeer, M. R., Iqbal, J., Zahid, M., & Yong, J. W. H. (2024). Enhancing the Photocatalytic Degradation of Methylene Blue with Graphene oxide-Encapsulated g-C₃N₄/ZnO Ternary Composites. *ACS Omega*, 9(14), 16187–16195. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10172>
- Sharma, V., Jain, Y., Kumari, M., Gupta, R., Sharma, S. K., & Sachdev, K. (2017). Synthesis and Characterization of Graphene oxide (GO) and Reduced Graphene oxide (rGO) for Gas Sensing Application. *Macromolecular Symposia*, 376(1), 1–5. <https://doi.org/10.1002/masy.201700006>
- Shin, D. S., Kim, H. G., Ahn, H. S., Jeong, H. Y., Kim, Y. J., Odkhuu, D., Tsogbadrakh, N., Lee, H. B. R., & Kim, B. H. (2017). Distribution of oxygen functional groups of graphene oxide obtained from low-temperature atomic layer deposition of titanium oxide. *The Royal Society of Chemistry*, 7, 13979–

13984. <https://doi.org/10.1039/c7ra00114b>

- Shubha, B. S., Praveen, B. M., & Bhat, V. (2023). Graphene - Calculation of Specific Surface Area. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters*, 7(1), 91–97. <https://doi.org/10.47992/ijaeml.2581.7000.0168>
- Silva, J. G. C. da. (2022). Experimental Research. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(3), 239–256. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92130-9_4
- Sriatun, S., Herawati, S., & Aisyah, I. (2020). Effect of Activator Type on Activated Carbon Characters from Teak Wood and The Bleaching Test for Waste Cooking Oil. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 15(2), 79–89. <https://doi.org/10.23955/rkl.v15i2.14788>
- Stobinski, L., Lesiak, B., Malolepszy, A., Mazurkiewicz, M., Mierzwa, B., Zemek, J., Jiricek, P., & Bieloshapka, I. (2014). Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 195, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2014.07.003>
- Suciati, F., Aviantara, D. B., Suherman, Purnomo, A., & Krauss, M. (2023). Chemical of concern for raising awareness to Indonesian textile sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1), 1–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012006>
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, & Agus, J. (2020). Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization. *Heliyon*, 6(8), e04568. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04568>
- Supeno, M., Pratama, A., & Haulian Purba, R. (2020). Adsorption of N-Graphene from Coconut Shell. *Oriental Journal of Chemistry*, 36(02), 280–285. <https://doi.org/10.13005/ojc/360210>
- Toledo, M. (2025). UV / VIS Spectrophotometry. In *Mettler-Toledo International*. <https://www.mt.com/es/es/home/library/guides/laboratory-division/1/uvvis-spectrophotometry-guide-applications-fundamentals.html>
- Tubon-USca, G., Centeno, C., Pomasqui, S., Beneduci, A., & Arias, F. A. (2025). Enhanced Adsorption of Methylene Blue in Wastewater Using Natural Zeolite Impregnated with Graphene oxide. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15, 1–25. <https://doi.org/10.3390/app15052824>
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., & Panda, R. C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>
- Wang, B., Lan, J., Bo, C., Gong, B., & Ou, J. (2023). Adsorption of heavy metal

- onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC Advances*, 13(7), 4275–4302. <https://doi.org/10.1039/d2ra07911a>
- Wardhani, D. S. R., Salshabila, K. A., Nurmawati, A., Saputro, W., & Saputro, E. A. (2023). Carbon Conversion and Energy Consumption Analysis Carbonization of Coconut Shell at High Temperature. *4th International Conference Eco-Innovation in Science, Engineering, and Technology*, 12–18. <https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3602>
- Wiguna, A. A. G. S., Mardana, I. B. P., & Artawan, P. (2024). Synthesis and Characterization of Activated Carbon Prepared From Rice Husk By Physics-Chemical Activation. *Indonesian Physical Review*, 7(2), 281–290. <https://doi.org/10.29303/ipr.v7i2.311>
- Wijaya, R., Andersan, G., Permatasari Santoso, S., & Irawaty, W. (2020). Green Reduction of *Graphene oxide* using Kaffir Lime Peel Extract (*Citrus hystrix*) and Its Application as Adsorbent for Methylene Blue. *Scientific Reports*, 10(667), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57433-9>
- Wong, L. W., Mak, S. H., Goh, B. H., & Lee, W. L. (2023). The Convergence of FTIR and EVs: Emergence Strategy for Non-Invasive Cancer Markers Discovery. *Diagnostics*, 13(22), 1–29. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13010022>
- World Health Organization. (2024). *Chapter 2. Air pollution. In: Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, 2024 update.*
- Wu, M., Liu, Y., Wu, L., Hasell, T., & Luan, F. (2025). Adsorption/photodegradation of methylene blue using a sulfur-1,3-diisopropenylbenzene copolymer. *RSC Advances*, 15(17), 13225–13234. <https://doi.org/10.1039/d5ra01297j>
- Yahya, M. A., C. W. Ngah, C. W. Z., Hashim, M. A., & Al-Qodah, Z. (2016). Preparation of Activated Carbon from Desiccated Coconut Residue by Chemical Activation with NaOH. *Journal of Materials Science Research*, 5(1), 24. <https://doi.org/10.5539/jmsr.v5n1p24>
- Yamin, M. A., Aritonang, S., & Murniati, R. (2024). *Grafen untuk Aplikasi Penyerapan Gelombang Radar Mikro: Dari Sintesis Graphene oxide (GO) Berbasis Tempurung Kelapa*. 7(2), 281–288.
- Yang, G., Li, L., Lee, W. B., & Ng, M. C. (2018). Structure of graphene and its disorders: a review. *Science and Technology of Advanced Materials*, 19(1), 613–648. <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1494493>
- Yang, Y., Han, C., Jiang, B., Iocozzia, J., He, C., Shi, D., Jiang, T., & Lin, Z. (2016). Graphene-based materials with tailored nanostructures for energy conversion and storage. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 102, 1–72. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2015.12.003>
- Yang, Z., Ning, H. L., Jia, H., Li, Y., Meng, Z., & Chen, Z. (2020). Preparation of

porous composite materials with semi-coke based activated carbon doped with *graphene oxide*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 729(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/729/1/012084>

Zein, R., Satrio Purnomo, J., Ramadhani, P., Safni, Alif, M. F., & Putri, C. N. (2023). Enhancing sorption capacity of methylene blue dye using solid waste of lemongrass biosorbent by modification method. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(2), 104480. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104480>