

**APLIKASI BIOCHAR KULIT BUAH PINANG SEBAGAI ADSORBEN
ZAT WARNA KATIONIK *MALACHITE GREEN* DAN ZAT WARNA
ANIONIK *REACTIVE BLUE***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia**



Oleh:

M. BAGUS KURNIA PUTRA

08031282126052

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**APLIKASI BIOCHAR KULIT BUAH PINANG SEBAGAI ADSORBEN
ZAT WARNA KATIONIK *MALACHITE GREEN* DAN ZAT WARNA
ANIONIK *REACTIVE BLUE***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

M. BAGUS KURNIA PUTRA

08031282126052

Indralaya, 14 Maret 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Dr. Nova Yuliasari, M.Si.

NIP. 197307261999032001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi Hasil M. Bagus Kurnia Putra (08031282126052) dengan judul “Aplikasi Biochar Kulit Buah Pinang sebagai Adsorben Zat Warna Kationik *Malachite Green* dan Zat Warna Anionik *Reactive Blue*” telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 14 Maret 2025

Ketua :

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.**
NIP. 196808271994022001

()

Anggota :

1. **Dr. Nova Yuliasari, M.Si.**
NIP. 197307261999032001
2. **Prof. Hermansyah, M.Si., Ph. D.**
NIP. 197111191997021001

()

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph. D.
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Bagus Kurnia Putra

NIM : 08031282126052

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 17 Maret 2025

Yang menyatakan,



M. Bagus Kurnia Putra

NIM. 08031282126052

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Bagus Kurnia Putra
NIM : 08031282126052
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Aplikasi Biochar Kulit Buah Pinang sebagai Adsorben Zat Warna Kationik *Malachite Green* dan Zat Warna Anionik *Reactive Blue*" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/ memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 17 Maret 2025

Yang menyatakan,



M. Bagus Kurnia Putra

NIM. 08031282126052

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain.”

“Et ipsa scientia potestas est.”

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

- 1. Ibunda Komariah dan Ayahanda Riduan Hadi yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi**
- 2. Dosen pembimbing Ibu Dr. Nova Yuliasari, M. Si.**
- 3. Keluarga besar, sahabat dan semua orang yang membantu hingga terselesaikannya skripsi ini**
- 4. Kampusku (Universitas Sriwijaya)**

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang senantiasa menjadi penopang dan teman terbaik penulis sepanjang hidupnya. Hanya karena Berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi yang berjudul “Aplikasi Biochar Kulit Buah Pinang sebagai Adsorben Zat Warna Kationik *Malachite Green* dan Zat Warna Anionik *Reactive Blue*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan kemampuan yang Allah SWT. berikan, usaha yang maksimal, bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun materil akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya serta dosen pembahas penulis dalam seminar hasil hingga sidang skripsi. Terima kasih bapak sudah memberikan masukan dan saran yang bermanfaat bagi penulis dalam penulisan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si. selaku pembimbing, terima kasih ibu sudah selalu meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, serta motivasi dan dukungan kepada penulis. Semoga ibu panjang umur, selalu diberikan kesehatan, dilancarkan segala urusannya. Tetap menjadi dosen terbaik yang rasa tulusnya tersampaikan ke hati kami. Semoga banyak generasi emas yang diciptakan dari kebaikan ibu.
4. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si. selaku dosen pembahas dalam seminar kemajuan hingga sidang skripsi. Terima kasih ibu sudah memberikan perhatian lebih kepada penulis. Terima kasih untuk ilmu yang sangat bermanfaat, terima kasih untuk kesabaran ibu.

5. Keluarga penulis, Ayahanda Riduan Hadi dan Ibunda Komariah. Terima kasih untuk motivasi, penyemangat, serta bantuan berupa moril maupun materil dari awal studi sampai penyelesaian skripsi ini.
6. Keluarga besar penulis Yuk Meida, Yuk Reski, Wahyu, Kak Iday, Kak Wandy, Rian, Nisa, serta Nasya yang memberikan semangat kepada penulis hingga penelitian dan skripsi ini dapat selesai.
7. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa studi penulis.
8. Seseorang yang menjadi penyemangat bagi penulis saudari Diyan Priyani, terima kasih telah sabar menemani penulis dari masa perkuliahan, penelitian tugas akhir, seminar hingga sidang. Terima kasih telah menjadi bagian penting bagi hidup penulis.
9. Yuk Yuniar, Yuk Nur, Yuk Yanti selaku analis jurusan kimia dan LKAIP yang telah banyak membimbing serta memberikan ilmu kepada penulis serta kesempatan belajar dan magang di LKAIP.
10. Kak iin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu baik, ramah, sabar dan mau membantu penulis dalam proses administrasi selama perkuliahan hingga lulus.
11. Teman-teman penulis “Mukhlis Geng” (Aditya Anandhika, Raihan Naufal Mukhlisin, Niko, M. Auzan Hafiz, M. Nazar Al-Fikri, Tristan Anoegrah dan Angga Ludiansyah) sebuah grup yang dibuat tanpa sengaja untuk tugas kuliah dan akhirnya menjadi grup diskusi mengenai hal-hal random yang *Out of The Box*. Terima kasih sudah banyak membantu dan menjadi teman yang baik selama perkuliahan.
12. Annisah Falihah, Andini Gusti Ayu, Puan Maha Fira, Devi Multiani, Sodifa Risky Satila, dan Cingka Kurnia Riski selaku teman seperjuangan penulis di Lab Analis untuk menyelesaikan penelitian. Terima kasih untuk kekompakan, semangat, dan segala hal yang menyenangkan selama penelitian sampai akhir. Sukses selalu di manapun kalian berada.
13. Rekan diskusi serta debat penulis “dulu” Bang Agung Pratama yang sekarang sibuk melanjutkan S2 di UGM. Terima kasih saran yang telah diberikan kepada penulis.

14. Nurhasanah Balqis dan Tri Anjani selaku adik asuh penulis di jurusan kimia. Terima kasih sudah memberikan semangat dan dukungan kalian kepada penulis. Semangat untuk kalian menjalani kehidupan di kimia dan seterusnya semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.
15. Rekan-rekan kimia angkatan 2021 yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang sama-sama berjuang dari PKKMB hingga sekarang.
16. Kakak maupun Adik tingkat Jurusan Kimia yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
17. Laboratorium Kimia Umum (LKU) Universitas Sriwijaya, terima kasih pengalaman 2 tahun menjadi asisten laboratorium dengan semua kerandoman asisten serta praktikan dari berbagai jurusan dan fakultas.
18. Dan terakhir kepada penulis sendiri, M. Bagus Kurnia Putra, terima kasih untuk tidak menyerah dan telah sampai sejauh ini. Namun, ini merupakan awal yang baru, sebuah Bab baru akan ditulis, tetaplah menjadi pribadi yang jujur, cerdas, dan pantang menyerah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu kimia di masa depan.

Indralaya, 17 Maret 2025

M. Bagus Kurnia Putra

NIM. 08031282126052

SUMMARY

APLIKASI BIOCHAR KULIT BUAH PINANG (*Areca catechu* L.) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA *MALACHITE GREEN* DAN *REACTIVE BLUE*

M. Bagus Kurnia Putra: Supervised by Dr. Nova Yuliasari, M.Si
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University
xii + 82 pages, 18 figures, 6 tables, 16 attachments.

The textile industry is one of the contributors to environmental pollution, particularly through the liquid waste from small-scale industries that contain synthetic dyes released into water bodies without proper treatment. These synthetic dyes can affect aquatic ecosystems and pose dangers to humans due to their toxic, carcinogenic, mutagenic properties, and their complex structure which makes them difficult to degrade. Cationic dyes with positive charges and anionic dyes with negative charges, such as Malachite Green and Reactive Blue, are often used in the textile industry and have the potential to disrupt aquatic ecosystems and impact human health, thus needing to be removed from the water.

This study uses the adsorption method to remove dyes with biochar made from areca catechu peels as the adsorbent. Areca catechu peels is a biomass with high lignocellulosic content. The biochar production was done through pyrolysis at a temperature of 500°C for 2 hours. The adsorption capacity of the adsorbent from areca catechu peels powder and biochar was determined against contact time with constant adsorbate concentration and adsorbent weight. The adsorption kinetics were determined using pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models. The adsorption isotherms of areca nut husk biochar for anionic Reactive Blue dye were determined with varying concentrations using Langmuir and Freundlich isotherm models.

Characterization of areca nut husk biochar with XRD showed an amorphous structure at an angle of $2\theta = 23^\circ$ with crystal planes (002) indicating cellulose content. The functional groups of areca catechu peels biochar were analyzed with FTIR, revealing hydroxyl, aromatic, and ether groups. SEM-EDX analysis showed the porous surface of the areca nut husk biochar with a mass composition of carbon at 33.14%, oxygen at 46.07%, and silica at 20.35%. BET characterization showed a surface area of areca nut husk biochar at 29.52 m²/g, a pore volume of 0.13 cc/g, and a pore size of 15.46 Å, indicating micropores.

The adsorption capacity of areca catechu peels biochar for Malachite Green and Reactive Blue at equilibrium was found to be 13.447 mg/g and 15.366 mg/g, respectively, while the adsorption capacity of areca nut husk powder for Malachite Green and Reactive Blue at equilibrium was 15.183 mg/g and 10.000 mg/g, respectively. The adsorption kinetics model of areca catechu peels biochar for Malachite Green followed a pseudo-second-order kinetic model, indicating that adsorption predominantly occurs through chemical interactions, while the adsorption kinetics of areca nut husk biochar for Reactive Blue followed a pseudo-first-order kinetic model, indicating that adsorption predominantly occurs through

physical interactions. The adsorption isotherm model of areca catechu peels biochar for Reactive Blue was based on the Freundlich equation with a correlation coefficient of 0.9715, indicating physical adsorption on a heterogeneous surface.

Keywords : Biochar, Areca catechu peels, Adsorption, Malachite Green, Reactive Blue

Citations : 75 (2014-2024)

RINGKASAN

APLIKASI BIOCHAR KULIT BUAH PINANG (*Areca catechu* L.) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA *MALACHITE GREEN* DAN *REACTIVE BLUE*

M. Bagus Kurnia Putra: Dibimbing oleh Dr. Nova Yuliasari, M.Si
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xii + 82 halaman, 18 gambar, 6 tabel, 16 lampiran.

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang pencemaran lingkungan, terutama melalui limbah cair hasil industri kecil yang mengandung zat warna sintetik yang dilepaskan ke badan air tanpa pengolahan yang tepat. Zat warna sintetik ini dapat mempengaruhi ekosistem perairan dan berbahaya bagi manusia karena sifatnya yang beracun, karsinogenik, mutagenik, serta sulit diuraikan karena strukturnya yang kompleks. Zat warna kationik bermuatan positif dan anionik bermuatan negatif seperti zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue* sering digunakan dalam industri tekstil dan berpotensi mengganggu ekosistem perairan serta dapat berdampak pada kesehatan manusia sehingga keberadaannya sebagai polutan perlu dihilangkan dari perairan.

Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi untuk menghilangkan zat warna dengan biochar kulit buah pinang sebagai adsorben. Kulit buah pinang merupakan biomassa dengan kandungan lignoselulosa tinggi. Pembuatan biochar menggunakan temperatur dan waktu pirolisis 500°C selama 2 jam. Penentuan daya serap adsorben antara serbuk kulit buah pinang dan biochar kulit buah pinang dilakukan terhadap waktu kontak dalam konsentrasi adsorbat dan berat adsorben dibuat konstan. Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan dengan model kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu. Penentuan isoterm adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap zat warna anionik *Reactive Blue* dilakukan dengan variasi konsentrasi dengan dengan model isoterm adsorpsi langmuir dan freundlich.

Karakterisasi biochar kulit buah pinang dengan XRD menunjukkan struktur amorf pada sudut $2\theta = 23^\circ$ dengan bidang kristal (002) menunjukkan kandungan senyawa selulosa. Gugus fungsi biochar kulit buah pinang dianalisis dengan FTIR sehingga didapatkan gugus hidroksil, aromatik, serta eter. Analisis SEM-EDX menunjukkan permukaan biochar kulit buah pinang yang berpori dengan komposisi massa karbon sebesar 33,14%, oksigen 46,07%, dan silika 20,35%. Karakterisasi BET menunjukkan luas permukaan biochar kulit buah pinang sebesar 29,52 m²/g, volume pori 0,13 cc/g dengan ukuran pori 15,46 Å menunjukkan mikropori.

Daya serap biochar kulit buah pinang terhadap zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue* pada kesetimbangan didapatkan masing-masing adalah 13,447 mg/g dan 15,366 mg/g, sedangkan serbuk kulit buah pinang terhadap *Malachite Green* dan *Reactive Blue* pada kesetimbangan sebesar 15,183 mg/g dan 10,000 mg/g. Model kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap *Malachite Green* mengikuti model kinetika orde dua semu menunjukkan adsorpsi terjadi dominan secara kimia dan kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap *Reactive Blue* mengikuti model kinetika orde satu semu menunjukkan adsorpsi terjadi dominan secara fisika. Model isoterm adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap *Reactive*

Blue didasarkan pada persamaan Freundlich dengan koefisien korelasi 0,9715 menunjukkan adsorpsi secara fisika.

Kata Kunci : Biochar, Kulit Buah Pinang, Adsorpsi, Malachite Green, Reactive Blue

Kutipan : 75 (2014-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kulit Buah Pinang.....	4
2.2 Biochar	4
2.3 <i>Malachite Green</i>	5
2.4 <i>Reactive Blue</i>	6
2.5 Adsorpsi	7
2.6 Kinetika Adsorpsi	7
2.7 Isoterm Adsorpsi	8
2.8 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	9
2.9 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	10
2.10 <i>Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	11
2.11 <i>Brunauer Emmett Teller (BET)</i>	12

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.2. Alat dan Bahan	13
3.2.1. Alat.....	13
3.2.2. Bahan	13
3.3. Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1. Preparasi Kulit Buah Pinang	13
3.3.2. Penentuan pH <i>Point of Zero Charge</i> (PZC).....	14
3.3.3. Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> 1000 ppm.	14
3.3.4. Pembuatan Larutan Standar <i>Malachite Green</i>	14
3.3.5. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan <i>Malachite Green</i>	14
3.3.6. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar.....	15
3.3.7. Pembuatan Larutan Induk <i>Reactive Blue</i> 1000 ppm	15
3.3.8. Pembuatan Larutan Standar <i>Reactive Blue</i>	15
3.3.9. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan <i>Reactive Blue</i>	15
3.3.10. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar	15
3.3.11. Adsorpsi Zat Warna <i>Malachite Green</i>	16
3.3.11.1 Pengaruh Waktu Kontak.....	16
3.3.12. Adsorpsi Zat Warna <i>Reactive Blue</i>	16
3.3.12.1 Pengaruh Waktu Kontak.....	16
3.3.12.2 Pengaruh Konsentrasi Adsorbat	16
3.3.13. Analisis Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Hasil Pirolisis.....	18
4.2 Hasil Karakterisasi.....	18
4.2.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	18
4.2.2 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	19
4.2.3. <i>Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	22
4.2.4 <i>Brunauer Emmet Teller</i> (BET)	23
4.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna	24
4.4 Penentuan pH _{PZC} (<i>Point of Zero Charge</i>)	24

4.5	Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Zat Warna.....	25
4.5.1	Pengaruh Adsorpsi <i>Malachite Green</i> terhadap Waktu Kontak.....	25
4.5.2	Pengaruh Adsorpsi <i>Reactive Blue</i> terhadap Waktu Kontak.....	26
4.6	Kinetika Adsorpsi	27
4.6.1	Kinetika Adsorpsi Biochar Kulit Buah Pinang dan Serbuk Kulit Buah Pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	27
4.6.2	Kinetika Adsorpsi Biochar Kulit Buah Pinang dan Serbuk Kulit Buah Pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	30
4.7	Isoterm Adsorpsi Biochar Kulit Buah Pinang Terhadap <i>Reactive Blue</i>	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		34
5.1	Kesimpulan	34
5.2	Saran	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN.....		40
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Limbah kulit buah pinang	4
Gambar 2. Struktur senyawa <i>Malachite Green</i>	5
Gambar 3. Struktur senyawa <i>Reactive Blue</i>	6
Gambar 4. Difraktogram biochar kulit buah pinang.	10
Gambar 5. Spektrum FTIR biochar kulit buah pinang	11
Gambar 6. Sampel serbuk kulit buah pinang dan biochar kulit buah pinang .	18
Gambar 7. Difraktogram XRD.....	19
Gambar 8. Spektrum FTIR biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang	20
Gambar 9. Morfologi (a). Serbuk kulit buah pinang, (b). Biochar kulit buah pinang	22
Gambar 10. pH _{pzc} biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang ...	25
Gambar 11. Daya serap biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	26
Gambar 12. Daya serap biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	27
Gambar 13. Grafik orde satu semu biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	28
Gambar 14. Grafik orde dua semu biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	29
Gambar 15. Grafik orde satu semu biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	31
Gambar 16. Grafik orde dua semu biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	31
Gambar 17. Grafik isoterm Langmuir.....	32
Gambar 18. Grafik isoterm Freundlich	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perbandingan spektrum FTIR serbuk kulit buah pinang dan biochar kulit buah pinang	21
Tabel 2. Data unsur-unsur penyusun serbuk kulit buah pinang dan biochar kulit buah pinang	22
Tabel 3. Perbandingan analisa BET biochar	24
Tabel 4. Data perhitungan kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap zat warna <i>Malachite Green</i>	28
Tabel 5. Data perhitungan kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap zat warna <i>Reactive Blue</i>	30
Tabel 6. Data perhitungan isoterm adsorpsi	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema Prosedur Penelitian.....	44
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi menggunakan XRD biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang	49
Lampiran 3. Spektrum FTIR biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang.....	53
Lampiran 4. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang	54
Lampiran 5. Analisa BET	58
Lampiran 6. Penentuan pH _{pzc} biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang	59
Lampiran 7. Spektrum panjang gelombang maksimum <i>Malachite Green</i> pada konsentrasi 20 mg/L	60
Lampiran 8. Data kurva kalibrasi <i>Malachite Green</i>	61
Lampiran 9. Spektrum panjang gelombang maksimum <i>Reactive Blue</i> pada konsentrasi 200 mg/L	63
Lampiran 10. Data kurva kalibrasi <i>Reactive Blue</i>	64
Lampiran 11. Data pengaruh waktu kontak dan kinetika reaksi biochar kulit buah pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	66
Lampiran 12. Data pengaruh waktu kontak dan kinetika serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Malachite Green</i>	69
Lampiran 13. Data pengaruh waktu kontak dan kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	72
Lampiran 14. Data pengaruh waktu kontak dan adsorpsi serbuk kulit buah pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	75
Lampiran 15. Isoterm adsorpsi biochar pinang terhadap <i>Reactive Blue</i>	78
Lampiran 16. Dokumentasi Penelitian	81

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu penyebab pencemaran lingkungan (Ali dkk, 2024). Limbah cair hasil industri ini jika tidak diolah dengan baik akan berdampak buruk terhadap ekosistem, khususnya perairan (Salih *et al.*, 2022). Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna, terutama zat warna sintetik. Limbah zat warna dari industri kecil yang belum mempunyai tempat pengolahan yang tepat di akhir proses industri dapat menimbulkan ancaman serius karena sifatnya yang beracun, karsinogenik, serta mutagenik (Kosale *et al.*, 2024; Meskel *et al.*, 2024). Pengolahan limbah zat warna sulit dilakukan karena strukturnya yang berbeda-beda setiap jenis zat warnanya, selain itu zat warna sintetik tersebut umumnya tidak dapat terurai dengan sendirinya (Litefti *et al.*, 2019).

Zat warna golongan kationik dan anionik adalah yang paling sering digunakan pada industri tekstil, percetakan, dan industri lainnya (Benkhaya *et al.*, 2020). Zat warna kationik dikenal sebagai zat warna dasar yang ditandai dengan muatan positif dalam molekul senyawanya (Thamer *et al.*, 2019). Atom pembawa muatan positif dalam molekul zat warna umumnya adalah atom nitrogen. Muatan positif dapat dilokalisasi pada atom tertentu atau dapat terdelokalisasi di seluruh molekul zat warna karena strukturnya yang stabil dan kompleks (Akdemir *et al.*, 2022). Zat warna anionik adalah sejenis zat warna yang membawa muatan negatif dalam struktur molekulnya, sehingga sangat mudah larut dalam air. Zat warna kationik dan anionik yang digunakan dalam industri tekstil masing-masing *Malachite Green* dan *Reactive Blue*.

Metode umum yang sudah dilakukan untuk mengolah air limbah yang tercemar zat warna meliputi koagulasi, oksidasi ozon, oksidasi fotokatalitik, elektrokoagulasi, filtrasi membran, fotodegradasi, dan adsorpsi. Metode adsorpsi sering dipakai dalam pengolahan zat warna karena efisien, proses adsorpsi yang cepat, dan pengoperasian yang mudah (Wang *et al.*, 2022). Adsorpsi merupakan suatu metode pemindahan molekul polutan dalam suatu larutan ke material padat yang dapat menghilangkan polutan dari limbah cair dengan cara menarik molekul polutan ke permukaan adsorben (Alver *et al.*, 2020).

Sebuah material dianggap memiliki potensi sebagai adsorben, ketika material mempunyai situs aktif di permukaannya dan sifatnya yang stabil (Xia *et al.*, 2019). Kebutuhan yang semakin meningkat untuk mengidentifikasi adsorben baru yang ekonomis, mudah didapat, dan efisien untuk aplikasi praktis terus menjadi perhatian utama (Gholami *et al.*, 2020). Biosorben yang berasal dari biomassa alami menawarkan solusi yang hemat biaya dalam penggunaan sebagai adsorben (Lee *et al.*, 2018). Adsorben yang berpotensi digunakan untuk proses adsorpsi salah satunya adalah biochar. Biochar merupakan material yang kaya karbon yang diperoleh dari dekomposisi limbah biologis pada suhu tinggi tanpa oksigen. Material ini memiliki aplikasi luas dalam perbaikan tanah, pertumbuhan mikroba, dan penghilangan kontaminasi zat warna (Aziz *et al.*, 2023).

Penelitian yang telah dilakukan dalam pembuatan biochar diantaranya biochar dari sekam padi (Ahmad *et al.*, 2020), kulit duku (Awogbemi & Kallon, 2023), kulit durian (Chua *et al.*, 2023) dan kulit jagung (Wijitkosum, 2022). Material biomassa lain yang berpotensi untuk dijadikan biochar berupa kulit buah pinang. Kulit buah pinang adalah biomassa yang mengandung lignoselulosa sekitar 65–80% dari total berat buah pinang (Vikraman *et al.*, 2022). Kadar lignoselulosa yang tinggi ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biochar. Sejauh ini, kulit buah pinang belum dimanfaatkan secara optimal karena hanya dianggap sebagai limbah. Oleh karena itu, pemanfaatan kulit buah pinang sebagai biochar dapat mengurangi limbah kulit buah pinang di lingkungan (Manjunath *et al.*, 2024).

Pemanfaatan kulit buah pinang sebagai biochar telah dilakukan oleh Subramani *et al.*, (2019) untuk menghilangkan logam berat Fe^{2+} dengan temperatur pirolisis 400°C selama 1,5 jam, menunjukkan daya serap yang baik terhadap ion Fe^{2+} sebesar 0,38 mg/g. Menurut Shaaban *et al.*, (2018) peningkatan temperatur pirolisis berbanding lurus dengan luas permukaan yang dihasilkan. Temperatur tinggi juga mengakibatkan kerusakan ikatan antar struktur dalam biochar yang meningkatkan volume porinya sehingga pada penelitian ini dilakukan peningkatan temperatur pirolisis menjadi 500°C selama 2 jam. Modifikasi temperatur dan waktu pirolisis ini diharapkan biochar kulit buah pinang memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga daya serap biochar kulit buah pinang terhadap zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue* juga meningkat.

Penelitian ini dilakukan karakterisasi terhadap biochar kulit buah pinang dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk penentuan struktur kristal, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi material, *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi dan komposisi serta menentukan luas permukaan, volume, serta ukuran pori dengan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Penentuan daya serap biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue* dilakukan dengan variasi waktu kontak. Studi adsorpsi dilakukan dengan mempelajari kinetika adsorpsi orde satu semu dan orde dua semu serta isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil karakterisasi biochar kulit buah pinang dengan menggunakan XRD, FTIR, SEM-EDX dan BET?
2. Bagaimana daya serap biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue*?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap *Malachite Green* dan *Reactive Blue* serta isoterm adsorpsinya terhadap *Reactive Blue*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan hasil karakterisasi biochar kulit buah pinang dengan menggunakan XRD, FTIR, SEM-EDX dan BET.
2. Menentukan daya serap biochar kulit buah pinang dan serbuk kulit buah pinang terhadap zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue*.
3. Menentukan kinetika adsorpsi biochar kulit buah pinang terhadap *Malachite Green* dan *Reactive Blue* serta isoterm adsorpsinya terhadap *Reactive Blue*.

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi mengenai proses adsorpsi menggunakan biochar dari kulit buah pinang untuk adsorbat zat warna *Malachite Green* dan *Reactive Blue* serta diharapkan dapat mengurangi limbah kulit buah pinang di lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Khan, N., Giri, B.S., Chowdhary, P., Chaturvedi, P. (2020). Bioresource technology removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge biochar: Characterization, application, and kinetic studies. *Bioresource Technology*, 123202.
- Akdemir, M., Isik, B., Cakar, F., Cankurtaran, O. (2022). Comparison of the adsorption efficiency of cationic (Crystal Violet) and anionic (Congo Red) dyes on *Valeriana officinalis* roots: Isotherms, kinetics, thermodynamic studies, and error functions. *Mater. Chem. Phys.* 291, 126763. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126763>.
- Al-Ghouti, M. A., & Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. In *Journal of Hazardous Materials*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
- Al-Maliky, E. A., Gzar, H. A., & Al-Azawy, M. G. (2021). Determination of point of zero charge (pzc) of concrete particles adsorbents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1184(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1184/1/012004>
- Ali, E. H. Y. A., Hejji, L., Seddik, N. Ben, Azzouz, A., Pérez-Villarejo, L., Stitou, M., & Sonne, C. (2024). Remediation of malachite-green dye from textile wastewater using biosorbent almond shell-based cellulose. *Journal of Molecular Liquids*, 399. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124435>
- Ali, J., Wang, H., Ifthikar, J., Khan, A., Wang, T., Zhan, K., Shahzad, A., Chen, Z., & Chen, Z. (2018). Efficient, stable and selective adsorption of heavy metals by thio-functionalized layered double hydroxide in diverse types of water. *Chemical Engineering Journal*, 332, 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.080>
- Alver, E., Metin, A. Ü., & Brouers, F. (2020). Methylene blue adsorption on magnetic alginate/rice husk bio-composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.330>
- Awogbemi, O., & Kallon, D. V. Von. (2023). Progress in agricultural waste derived biochar as adsorbents for wastewater treatment. *Applied Surface Science Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100518>
- Aziz, S., Uzair, B., Ali, M. I., Anbreen, S., Umber, F., Khalid, M., Aljabali, A. A., Mishra, Y., Mishra, V., Serrano-Aroca, Á., Naikoo, G. A., El-Tanani, M., Haque, S., Almutary, A. G., & Tambuwala, M. M. (2023). Synthesis and characterization of nanobiochar from rice husk biochar for the removal of safranin and malachite green from water. *Environmental Research*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116909>

- Bakar, F. A., Ruzicka, J. Y., Nuramdhani, I., Williamson, B. E., Holzenkaempfer, M., & Golovko, V. B. (2015). Investigation of the photodegradation of reactive blue 19 on P-25 titanium dioxide: effect of experimental parameters. *Australian Journal of Chemistry*, 68(3), 471–480. <https://doi.org/10.1071/CH14024>
- Bardalai, M. and D. Mahanta (2018). Characterisation of biochar produced by pyrolysis from areca catechu dust. *Materials Today: Proceedings*, 5(1); 2089–2097. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.205>
- Badri, A. F., Mega, P., Bahar, S., Siregar, N., Palapa, N. R., Mohadi, R., Mardiyanto, M., & Lesbani, A. (2021). *Mg-Al/Biochar Composite with Stable Structure for Malachite Green Adsorption from Aqueous Solutions*. <https://doi.org/10.9767/bcrec.16.1.10270.149-260>
- Batu, S. M., Naes, E., & Magdalena Kolo, M. (2022). Pembuatan karbon aktif dari limbah sabut pinang asal pulau timor sebagai biosorben logam ca dan mg dalam air tanah. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Benkhaya, S., M'rabet, S., & El Harfi, A. (2020). A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, (115). <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107891>
- Bernal, V., Erto, A., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2017). Effect of solution pH on the adsorption of paracetamol on chemically modified activated carbons. *Molecules*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/molecules22071032>
- Bolbol, H., Fekri, M., & Hejazi-Mehriz, M. (2019). Layered double hydroxide-loaded biochar as a sorbent for the removal of aquatic phosphorus: behavior and mechanism insights. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 503, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4694-4>
- Bouzikri, S., Ouasfi, N., Benzidia, N., Salhi, A., Bakkas, S., & Khamliche, L. (2020). Marine alga “bifurcaria bifurcata”: biosorption of reactive blue 19 and methylene blue from aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27), 33636–33648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07846-w>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Chausali, N., Saxena, J., & Prasad, R. (2021). Nanobiochar and biochar-based nanocomposites: Advances and applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100191>

- Chao, F. L., Yang, T. H., & Wu, J. Y. (2020). New uses for Areca catechu tree. *International Wood Products Journal*, 11(2), 94–100. <https://doi.org/10.1080/20426445.2020.1732525>
- Chen, Y., Lin, Y.-C., Ho, S.-H., Zhou, Y., & Ren, N. (2018). Highly efficient adsorption of dyes by biochar derived from pigments-extracted macroalgae pyrolyzed at different temperature. *Bioresource Technology*, 259, 104–110. doi:10.1016/j.biortech.2018.02.094
- Cheng, F., & Li, X. (2018). Preparation and application of biochar-based catalysts for biofuel production. *Catalysts*, 8(9), 346. <https://doi.org/10.3390/catal8090346>
- Chua, J. Y., Pen, K. M., Poi, J. V., Ooi, K. M., & Yee, K. F. (2023). Upcycling of biomass waste from durian industry for green and sustainable applications: An analysis review in the Malaysia context. *Energy Nexus*, (10). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100203>
- Eltaweil, A. S., Ali Mohamed, H., Abd El-Monaem, E. M., & El-Subruiti, G. M. (2020). Mesoporous magnetic biochar composite for enhanced adsorption of malachite green dye: Characterization, adsorption kinetics, thermodynamics and isotherms. *Advanced Powder Technology*, 31(3), 1253–1263. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.01.005>
- Fu, B., Ge, C., Yue, L., Luo, J., Feng, D., Deng, H., and Yu, H. (2016). Characterization of biochar derived from pineapple peel waste and its application for sorption of oxytetracycline from aqueous solution, *BioRes.* 11(4), 9017-9035.
- Gholami, P., Dinpazhoh, L., Khataee, A., Hassani, A., & Bhatnagar, A. (2020). Facile hydrothermal synthesis of novel Fe-Cu layered double hydroxide/biochar nanocomposite with enhanced sonocatalytic activity for degradation of cefazolin sodium. *Journal of Hazardous Materials*, 381. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120742>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100122>
- Gong, J., Li, J., Xu, J., Xiang, Z., & Mo, L. (2017). Research on cellulose nanocrystals produced from cellulose sources with various polymorphs. *RSC Advances*, 7, 33486-33493. <https://doi.org/10.1039/c7ra06222b>
- Guo, Z., Wang, Z., Luo, Y., Ma, L., Hu, X., Chen, F., Li, D., & Jia, M. (2024). Extraction and identification of bioactive compounds from areca nut (*Areca catechu* L.) and potential for future applications. *Food Frontiers*, 5, 1909–1932. <https://doi.org/10.1002/fft2.443>

- Gupta, S., Kua, H. W., & Koh, H. J. (2018). Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar. *Science of the Total Environment*, 61, 419–435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.044>
- Hassanzadeh-Tabrizi, S. A. (2023). Precise calculation of crystallite size of nanomaterials: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 968, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171914>
- Ho, Y. S. (2014). The real pseudo-second-order rate equation. *Industrial Crops & Products*, (52), 17.
- Hou, X., Lv, S., Chen, Z., Xiao, F. (2018). Applications of Fourier transform infrared spectroscopy technologies on asphalt materials, *Measurement* 121 (1), 304–316, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.001>.
- Ihsanullah, Abbas, A., Al-Amer, A.M., Laoui, T., Al-Marri, M. J., Nasser, M. S. (2016). Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: critical review of adsorption applications. *Sep Purif Technol*, 157, 14161.
- Ikram, R., Jan, B. M., & Ahmad, W. (2020). An overview of industrial scalable production of graphene oxide and analytical approaches for synthesis and characterization. In *Journal of Materials Research and Technology* 9(5), 11587–11610. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.050>
- Imtihani, H. N., Wahyuono, P. A., dan Permatasari, S. N. (2020). *Biopolimer Kitosan dan Penggunaannya dalam Formulasi Obat*. Gresik: Graniti.
- Jedynak, K., and Charmas, B. (2021). Preparation and characterization of physicochemical properties of spruce cone biochars activated by CO₂. *Materials*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/ma14143859>
- Kono, M. C., Kedang, Y. I., Seran, R., & Batu, M. S. (2021). XRF and XRD investigation for the results of the extraction of mud volcano from Napan Village into silica. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 6(3), 317–325. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v6i3.55022>
- Kosale, D., Singh, V. K., & Thakur, C. (2024). Comparative adsorption of cationic and anionic dye by using non-activated Black Plum seed biochar for aquatic phase: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Industrial Crops and Products*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118609>
- Kumar, B., & Kumar, U. (2015). Adsorption of malachite green in aqueous solution onto sodium carbonate treated rice husk. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(8), 1655–1666. <https://doi.org/10.1007/s11814-014-0351-5>
- Li, M., Liu, J., Xu, Y., Qian, G. (2016). Phosphate adsorption on metal oxides and metal hydroxides: A comparative review. *Environment Review*, 24, 319–332. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0080>.

- Litefti, K., Freire, M. S., Stitou, M., & González-Álvarez, J. (2019). Adsorption of an anionic dye (Congo red) from aqueous solutions by pine bark. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53046-z>
- Manjunath, B., Ouellet-Plamondon, C. M., Das, B. B., Rao, S., Bhojaraju, C., & Rao, M. (2024). Areca nut husk biochar as a sustainable carbonaceous filler for cement: Pyrolysis temperature and its effect on characterization, strength, and hydration. *Industrial Crops and Products*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119883>
- Mekuria, G. (2022). Dairy wastewater treatment through synergies of the biological and hybrid membrane: a systematic review. *Journal of Environmental Informatics Letters*, 8(1), 31–50. <https://doi.org/10.3808/jeil.202200087>
- Meskel, G. A., Kwikima, M. M., Meshesha, B. T., Habtu, N. G., Naik, S. V. C. S., & Vellanki, B. P. (2024). Malachite green and methylene blue dye removal using modified bagasse fly ash: Adsorption optimization studies. *Environmental Challenges*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100829>
- Miswarti, Putra, W. E., Rosmanah, S., Rahman, T., Ishak, A., Wahyuni, T., Hidayat T., Afrizon. 2022. *Pinang (Areca catechu)*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Bengkulu: Bengkulu.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., Ragadhita, R. 2019. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(1) :97-118.
- Naseeruteen, F., Hamid, N. S. A., Suah, F. B. M., Ngah, W. S. W., & Mehamod, F. S. (2018). Adsorption of malachite green from aqueous solution by using novel chitosan ionic liquid beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(1), 1270–1277.
- Palapa, N. R., Taher, T., Badri, A. F., Suheryanto, Mohadi, R., Rachmat, A., & Lesbani, A. (2021). Preparation of copper aluminum-biochar composite as adsorbent of malachite green in aqueous solution. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(1), 259-274.
- Pariyar, P., Kumari, K., Jain, M.K., Jadhao, P.S. (2020). Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. *Sci. Total Environ.* 713, 136433
- Pawley, J., Schatten, H. (Eds.), 2014. *Biological low-voltage scanning electron microscopy*. Springer. ISBN: 13: 978-1489995841.
- Pehlivan, M., Simsek, S., Ozbek, S., Ozbek, B. (2020). An optimization study on adsorption of Reactive Blue 19 dye from aqueous solutions by extremely effective and reusable novel magnetic nano-adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 191, 438-451. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25753>.

- Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zhang, Q., & Su, H. (2019). Effect of properties of activated carbon on malachite green adsorption. *Fuel*, 249, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.058>
- Radoor, S., Kassahun, S. K., & Kim, H. (2024). Selective adsorption of cationic dye by κ -carrageenan-potato starch bio-hydrogel: kinetics, isotherm, and thermodynamic studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136377>
- Radović, M. D., Mitrović, J. Z., Bojić, D. V., Antonijević, M. D., Kostić, M. M., Baošić, R. M., & Bojić, A. L. (2014). Effects of system parameters and inorganic salts on the photodecolourisation of textile dye Reactive Blue 19 by UV/H₂O₂ process. *Water SA*, 40(3), 571–578. <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i3.21>
- Renita, A. A., Vardhan, K. H., Kumar, P. S., Ngueagni, P. T., Abilarasu, A., Nath, S., Kumari, P., & Saravanan, R. (2021). Effective removal of malachite green dye from aqueous solution in hybrid system utilizing agricultural waste as particle electrodes. *Chemosphere*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129634>
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi tegangan akselerasi pada scanning electron microscope–energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX) untuk pengamatan morfologi sampel biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>
- Salih, S. J., Abdul Kareem, A. S., & Anwer, S. S. (2022). Adsorption of anionic dyes from textile wastewater utilizing raw corncob. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10092>
- Shaaban, M., Van Zwieten, L., Bashir, S., Younas, A., Núñez-Delgado, A., Chhajro, M. A., Kubar, K. A., Ali, U., Rana, M. S., Mehmood, M. A., & Hu, R. (2018). A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. *Journal of Environmental Management*, 228, 429-440.
- Shi, B., Xie, L., Ma, B., Zhou, Z., Xu, B., & Qu, L. (2022). Preparation and Properties of Highly Transparent SiO₂ Aerogels for Thermal Insulation. *Gels*, 8(11), 744. <https://doi.org/10.3390/gels8110744>
- Solfianti, M., Herviyanti, H., Prasetyo, T. B., dan Maulana, A. (2021). Pengaruh aplikasi biochar limbah kulit pinang dosis rendah terhadap sifat kimia inceptisol. *Agrikultura*, 32(1), 77. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i1.32602>
- Subramani, B. S., Shrihari, S., Manu, B., & Babunarayan, K. S. (2019). Evaluation of pyrolyzed areca husk as a potential adsorbent for the removal of Fe²⁺ ions from aqueous solutions. *Journal of Environmental Management*, 246, 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.122>

- Sulistiyawati, E., Nandari, W. W., Nurchasanah, A. R., & Dewi, K. K. (2020). Kinetika adsorpsi mikrokapsul kitosan taut silang kalium persulfat terhadap zat warna methyl orange. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(1), <https://doi.org/10.22146/jrekpros.50634>
- Suprabawati, A. 2023. *Kinerja Baterai Litium Ion dengan Katode LiFe1-XGdXPO4 yang Disintesis dengan Metode Fasa Padat (Solid State)*. Makasar: Ikapi.
- Thamer, B.M., Aldalbahi, A., Moydeen A, M., Al-Enizi, A.M., El-Hamshary, H., Singh, M., Bansal, V., El-Newehy, M.H. (2019). Alkali-activated electrospun carbon nanofibers as an efficient bifunctional adsorbent for cationic and anionic dyes. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 582, 123835 <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123835>
- Vikraman, V. K., Subramanian, P., Kumar, D. P., Sriramajayam, S., Mahendiran, R., & Ganapathy, S. (2022). Air flowrate and particle size effect on gasification of arecanut husk with preheated air through waste heat recovery from syngas. *Bioresource Technology Reports*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100977>
- Wang, X., Zhang, P., Xu, F., Sun, B., Hong, G., & Bao, L. (2022). Adsorption of Methylene Blue on Azo Dye Wastewater by Molybdenum Disulfide Nanomaterials. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14137585>
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia Jurnal Kimia Dan Pendidikan*. 4(2), 175.
- Wijitkosum, S. (2022). Biochar derived from agricultural wastes and wood residues for sustainable agricultural and environmental applications. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.09.006>.
- Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. In *Advances in Colloid and Interface Science* 209(1), 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>
- Xia, Y., Yang, T., Zhu, N., Li, D., Chen, Z., Lang, Q., Liu, Z., & Jiao, W. (2019). Enhanced adsorption of Pb(II) onto modified hydrochar: Modeling and mechanism analysis. *Bioresource Technology*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121593>
- Zaaboul, F., Kaichouh, G., Haoufazane, C., Abuelizz, H. A., Karrouchi, K., Zarrouk, A., & El Hourch, A. (2024). Adsorption of reactive blue day 49 from aqueous solution on commercial activated carbon and polyaniline electrochemically deposited on carbon felt: Kinetic modeling and equilibrium isotherm analysis. *International Journal of Electrochemical Science*, 19(9). <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2024.100713>.

- Zhang, Q., Zhang, D., Xu, H., Lu, W., Ren, X., Cai, H., Lei, H., Huo, E., Zhao, Y., Qian, M., (2020). Biochar filled high-density polyethylene composites with excellent properties: towards maximizing the utilization of agricultural wastes. *Ind. Crops Prod.* 146, 112185.
- Zhang, L., Ren, Y., Xue, Y., Cui, Z., Wei, Q., Han, C., & He, J. (2020). Preparation of biochar by mango peel and its adsorption characteristics of Cd(ii) in solution. *RSC Advances*, 10(59), 35878-35888. <https://doi.org/10.1039/d0ra06586b>
- Zhang, Y., Huang, M., Su, J., Hu, H., Yang, M., Huang, Z., Chen, C., Wu, J., and Feng, Z. (2019). Overcoming biomass recalcitrance by synergistic pretreatment of mechanical activation and metal salt for enhancing enzymatic conversion of lignocellulose. *Biotechnol Biofuels*, 12(12), <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1354-6>