

**MODIFIKASI BIOCHAR DENGAN SENYAWA MANGAN OKSIDA DAN
APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA MALASIT HIJAU**

SKRIPSI

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



OLEH :

**DINA EMILIA
08031281924122**

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**MODIFIKASI BIOCHAR DENGAN SENYAWA MANGAN OKSIDA DAN
APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA MALASIT HIJAU**

SKRIPSI

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

Oleh :

DINA EMILIA

08031281924122

Indralaya, 26 Juli 2023

Pembimbing



Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M. Si.

NIP. 197711272005011003

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 Dina Emilia (080312819224122) dengan judul “Modifikasi Biochar dengan Senyawa Mangan Oksida dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Malasit Hijau” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Juli 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 27 Juli 2023

Ketua :

1. **Dra. Julinar, M. Si.**

NIP. 196507251993032002

()

Sekretaris :

1. **Dr. Muhammad Said, M. T.**

NIP. 197407212001121001

()

Pembimbing :

1. **Prof. Dr. rer.nat. Risfidian Mohadi, M. Si.**

NIP. 197711272005011003

()

Penguji :

1. **Dr. Nurlisa Hidayati, M. Si.**

NIP. 197211092000032001

()

2. **Dr. Suheryanto, M. Si.**

NIP. 196006251989031006

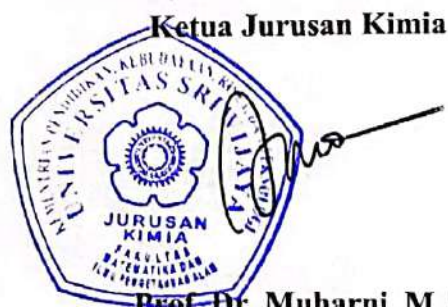
()

Mengetahui,



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

NIP. 197111191997021001



Prof. Dr. Muharni, M. Si

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Dina Emilia

NIM : 08031281924122

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/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 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.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 27 Juli 2023

Penulis,



Dina Emilia

NIM. 08031281924122

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama Mahasiswa : Dina Emilia
NIM : 08031281924122
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul “Modifikasi Biochar dengan Senyawa Mangan Oksida dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Malasit Hijau”. 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 27 Juli 2023

Penulis,



Dina Emilia

NIM. 08031281924122

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Tiada daya dan upaya kecuali dengan kekuatan Allah yang Maha Agung”

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, namun jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangatlah pedih”

- QS. Ibrahim: 7

“Tetap berbuat baik meski tidak diterima dengan baik. Tetap menjadi pembelajar meski banyak yang sudah dicapai. *Still growing, still learning!*”

- Dina Emilia

Dengan penuh rasa syukur, ku persembahkan skripsi dan gelar sarjana ini kepada :
Kedua orang tuaku tercinta, Mama dan Ayah,
Saudaraku tersayang, Kak Dila, Raka, dan Alm. Kak Riski,
Dosen Pembimbingku, Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M. Si. dan Prof. Aldes Lesbani, Ph. D.,

Terimakasih untuk semua dukungan yang telah diberikan dalam setiap proses yang telah dilalui, hanya Allah SWT yang mampu membalas dengan kebaikan lain yang tak ternilai harganya.

Gelar sarjana bukanlah akhir, namun adalah awal dari langkah-langkah menuju kehidupan selanjutnya. Semoga tetap diberikan sehat, kuat dan keberkahan dalam proses mengupayakan kehidupan yang lebih baik, serta tetap dikelilingi orang-orang baik dan keluarga tersayang.

“and the adventure begins!”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang tak henti-hentinya telah memberikan kekuatan, kemudahan, dan pertolongan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Modifikasi Biochar dengan Senyawa Mangan Oksida dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Malasit Hijau”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan dan proses yang tidak mudah. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang berlandaskan rasa tanggungjawab sebagai mahasiswa untuk dapat menyelesaikan studi dengan tepat waktu, serta bantuan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih dengan ketulusan hati yang sedalam-dalamnya kepada Bapak **Prof. Aldes Lesbani, Ph. D.** dan **Bapak Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M. Si.** untuk segala bantuan, bimbingan, ilmu, dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dari awal penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Hermansyah, Ph. D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu. Prof. Dr. Muharni, M. Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M. Si. selaku pembimbing tugas akhir, terimakasih telah meluangkan waktu dan tenaga, serta dukungan dan kemudahan. Terimakasih untuk Prof. Aldes Lesbani, Ph. D. telah berkenan menyediakan fasilitas dan mengizinkan melakukan penelitian di *basecamp*, juga untuk bimbingan, nasihat, dan motivasi yang telah Bapak berikan.
5. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M. Si. dan Bapak Dr. Suheryanto, M. Si. selaku dosen penguji, terimakasih telah membantu menyempurnakan hasil penelitian penulis dengan memberikan masukan, bimbingan, dan kemudahan sehingga skripsi ini

- dapat selesai dengan baik. Ibu Dra. Julinar, M. Si. selaku Ketua Sidang dan Bapak Dr. Muhammad Said, M. T. selaku Sekretaris Sidang, terimakasih telah membantu dalam pelaksanaan sidang sehingga dapat berjalan dengan lancar.
6. Bapak Drs. H. Dasril Basir, M. Si. selaku dosen pembimbing akademik, terimakasih untuk bimbingan, saran, dan motivasi yang telah diberikan.
 7. Seluruh Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya atas ilmu, didikan, dan bimbingan selama kuliah.
 8. Kedua orang tuaku tercinta, Mama dan Ayah, terimakasih atas doa dan dukungan yang tiada henti, serta sudah selalu berusaha mengupayakan yang terbaik untuk Dina, juga saudaraku tersayang kak Dila dan Raka, serta keluarga besarku yang selalu mendoakan dan mendukung, yang menjadi motivasi terbesarku dalam menyelesaikan pendidikan ini.
 9. Kak Yusuf, Kak Amri, Kak Erni, Kak Tatak, terkhusus Kak Alfian dan Kak Ahmad, terimakasih telah banyak sekali membantu dalam proses penelitian dan penulisan skripsi, telah bersedia memberikan masukan dan dukungan ketika mengalami kesulitan. *See you on top*, kak!
 10. Teman seperjuangan penelitianku, Erwin, Restu, dan terkhusus Dedek, terimakasih telah memberi warna dalam perjalanan penelitian tugas akhirku, yang manis dan pahitnya pun akan menjadi cerita di masa depan kita nanti. *Best of luck* untuk perjuangan selanjutnya, ya!
 11. Mba Novi dan Kak Iin selaku admin jurusan kimia, terimakasih telah banyak membantu dalam setiap perjalanan kuliahku dan memberikan kemudahan khususnya dalam proses penyelesaian administrasi tugas akhir ini.
 12. Mayang, terimakasih telah menjadi sahabat dari mahasiswa baru hingga sekarang, telah melewati banyak hal sama-sama, satu kelas, satu organisasi, walaupun dipenghujung cerita jalannya harus berbeda padahal dulu kata orang dimana ada mayang disitu ada dina ya wkwkw, tapi apapun yang sudah terjadi, terimakasih telah banyak berperan dan memberi warna dalam setiap perjalanan kuliahku ya maycu, semoga kita sehat supaya bisa jadi orang sukses dunia dan akhirat hingga suatu hari nanti bisa ketemu lagi. *Keep in touch*, ya!
 13. Sahabat yang kudapatkan karena disatukan oleh IMMETA SUMSEL, terkhusus Kie, Monic, Aria, Fadly, Mifta, Stefanie, Jannah, dan Cecil yang

ternyata adik asuhku wkwk, terimakasih untuk cerita yang pernah kita ukir bersama, untuk setiap tawa, tangis, bahagia, bahkan naik darah wkwk, terimakasih karena adanya kalian bisa bikin hidup aku jadi lebih warna-warni dan menjadi hiburan dikala penat. Harus tetap saling *support*, ya!

14. *Support System* terbaikku, Andi, Widadia, dan Nabilah, terimakasih telah bersedia menerima keluh kesahku yang kadang ga bisa untuk aku ungkapkan ke orang lain. *I lack the words to describe how I feel*, intinya aku sayang kalian sekarang dan selamanya!
15. Teman-teman seperjuangan kimia angkatan 19, kakak kimia 16, 17, dan 18, serta angkatan 20, dan 21, yang telah banyak memberikan pengalaman yang akan menjadi cerita nantinya, dipertemukan dengan kalian akan menjadi pelajaran yang tidak akan pernah terlupakan, untuk setiap ujian kesabaran dan kebahagiaan yang pernah ku terima, terimakasih.
16. Wadahku bertumbuh, IMMETA SUMSEL, HIMAKI, BEM KM FMIPA, COIN, dan GERILYA KESDM, terimakasih telah menjadi faktor utama dalam proses pembentukan diri ini. Sadar bahwa apa-apa yang sudah lewat tidak dapat diulang kembali, karenanya aku bersyukur telah menjadikan aku sebagai Dina Emilia seperti saat ini.
17. Untuk diriku sendiri, terimakasih karena sudah berjuang sama-sama, atas kerja keras dan kegigihan yang tidak jarang menghasilkan tetesan air mata, aku bangga kita sudah berhasil melewati tahap ini. Semoga hal-hal baik selalu menyertai, kalo suatu saat kamu sedih, ingat bahwa kita sudah melalui banyak sekali peristiwa yang membentuk kita kuat dan siap menghadapi semuanya. Tetap rendah hati, bersyukur, dan semangat untuk masa depan yang lebih baik. Semangat untuk mewujudkan Umrah, Hajj, dan banyak impian lainnya!

Indralaya, 28 Juli 2023

Penulis,



Dina Emilia

NIM. 08031281924122

SUMMARY

MODIFICATION OF BIOCHAR WITH MANGAN OXIDE COMPOUNDS AND APPLIED AS AN ADSORBENT OF MALACHITE GREEN

Dina Emilia : Supervised by Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si.
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.
xvii and 74 Pages, 15 Figures, 5 Tables, 11 Appendices.

Biochar is a material that contains a high carbon content, good structural stability, large surface area, and high ion exchange capacity so that it can be utilized in the adsorption process. Biochar is obtained from burning at high temperatures from various organic wastes in limited oxygen conditions which causes an increase in pore volume. However, if the temperature is too high, the pore structure is destroyed and micropores are blocked, so that the increase in pore volume will be hampered and a decrease in surface area will occur. This research was carried out by modifying biochar using manganese oxide compounds into MnO₂/Biochar composites to obtain the characteristics of an adsorbent with a higher surface area and pore volume so as to increase adsorption capacity.

Biochar and MnO₂/Biochar composites were characterized by XRD, FTIR and BET analysis. Variables in this study were variations in pH, contact time, temperature and concentration, with adsorption parameters in the form of kinetics, isotherms, thermodynamics, and regeneration. The adsorption process was carried out in 20 mL of malachite green solution by adding 0.02 g each of biochar and MnO₂/Biochar composite with a predetermined variable, then the adsorbed concentration was measured using a Uv-Vis spectrophotometer. The results of the XRD analysis show that there is a diffraction angle of around 22.36° on pure biochar and a shift of around 24.12° on the MnO₂/Biochar composite. FT-IR analysis shows that there are functional groups -OH, C=C, C-O, and Mn-O. BET analysis shows an increase in surface area from 50.936 m²/g to 96.047 m²/g, and is classified as a type IV isotherm. Optimum adsorption occurs at pH 5 for biochar and pH 4 for the MnO₂/Biochar composite. Adsorption kinetics and isotherm data show that adsorption tends to follow the pseudo second order kinetic model and the Freundlich isotherm model. The highest maximum capacity (Q_m) value for biochar adsorbent 62.5 mg/g, while for MnO₂/Biochar-composite 79.365 mg/g. Regeneration data for each material shows that the MnO₂/Biochar composite material was more stable when used repeatedly than pure biochar.

Keywords : Biochar modification, manganese oxide, adsorption, regeneration
Citation : 56 (2008-2023)

RINGKASAN

MODIFIKASI BIOCHAR DENGAN SENYAWA MANGAN OKSIDA DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA MALASIT HIJAU

Dina Emilia : Dibimbing oleh Prof. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si.
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
xvii dan 74 Halaman, 15 Gambar, 5 Tabel, 11 Lampiran.

Biochar merupakan material yang mengandung kadar karbon yang tinggi, stabilitas struktur yang baik, luas permukaan yang besar, dan kapasitas tukar ion yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses adsorpsi. Biochar diperoleh dari pembakaran dengan suhu tinggi dari berbagai limbah organik dalam kondisi oksigen yang terbatas yang menyebabkan terjadinya peningkatan volume pori. Namun apabila suhu terlalu tinggi, struktur pori menjadi hancur dan terjadi penyumbatan mikropori, sehingga peningkatan volume pori akan terhambat dan terjadi penurunan luas permukaan. Penelitian ini dilakukan modifikasi biochar menggunakan senyawa mangan oksida menjadi komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$ untuk mendapatkan karakteristik adsorben dengan luas permukaan dan volume pori yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi.

Biochar dan komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$ dikarakterisasi dengan analisis XRD, FTIR, dan BET. Variabel pada penelitian ini berupa variasi pH, waktu kontak, temperatur dan konsentrasi, dengan parameter adsorpsi berupa kinetika, isoterm, termodinamika, dan regenerasi. Proses adsorpsi dilakukan pada 20 mL larutan malasit hijau dengan menambahkan masing-masing 0,02 g biochar dan komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$ dengan variabel yang telah ditentukan, kemudian diukur konsentrasi teradsorpsi menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya sudut difraksi sekitar $22,36^\circ$ pada biochar murni dan mengalami pergeseran sekitar $24,12^\circ$ pada komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$. Analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi -OH, C=C, C-O, dan Mn-O. Analisis BET menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan dari $50,936 \text{ m}^2/\text{g}$ menjadi $96,047 \text{ m}^2/\text{g}$, dan termasuk jenis isoterm tipe IV. Adsorpsi terjadi secara optimal pada pH 5 untuk biochar dan pH 4 untuk komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$. Data kinetika dan isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi cenderung mengikuti model kinetika *pseudo second order* dan model isoterm Freundlich. Nilai kapasitas maksimum (Q_m) terbesar dari biochar adalah $62,5 \text{ mg/g}$, sedangkan komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$ sebesar $79,365 \text{ mg/g}$. Data regenerasi pada masing-masing material menunjukkan bahwa material komposit $\text{MnO}_2/\text{Biochar}$ lebih stabil dalam penggunaan secara berulang dibandingkan dengan biochar murni.

Kata kunci : Modifikasi biochar, mangan oksida, adsorpsi, malasit hijau, regenerasi

Sitasi : 56 (2008-2023)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Biochar.....	4
2.2. Aplikasi Biochar	5
2.3. Mangan Oksida	5
2.4. Malasit Hijau.....	6
2.5. PZC (<i>Point of Zero Charge</i>).....	7
2.6. Adsorpsi	7
2.7. Desorpsi	10
2.8. Regenerasi.....	10
2.9. Karakterisasi Material.....	11
2.9.1. Analisis Spektrofotometri <i>Uv-Vis (Ultraviolet-Visible)</i>	11
2.9.2. Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	13

2.9.3. Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR)	15
2.9.4. Analisis <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET)	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan	17
3.2.1. Alat	17
3.2.2. Bahan	17
3.3. Prosedur Penelitian	17
3.3.1. Preparasi Komposit MnO ₂ /Biochar	17
3.3.2. Pembuatan Larutan Stok Malasit Hijau 1000 mg/L	18
3.3.3. Penentuan Panjang Gelombang pada Absorbansi Maksimum Malasit Hijau	18
3.3.4. Pembuatan Larutan Standar dan Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Malasit Hijau	18
3.3.5. Penentuan pH PZC (<i>Point of Zero Charge</i>)	18
3.3.6. Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau oleh Material Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar	19
3.3.7. Regenerasi Adsorben terhadap Adsorpsi Malasit Hijau	20
3.3.8. Analisis Data	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Hasil Sintesis Komposit MnO ₂ /Biochar	22
4.2. Hasil Karakterisasi Material	23
4.2.1. Hasil Karakterisasi XRD	23
4.2.2. Hasil Karakterisasi FTIR	24
4.2.3. Hasil Karakterisasi BET	25
4.3. Panjang Gelombang Absorbansi Maksimum Malasit Hijau	27
4.4. Penentuan pH PZC (<i>Point of Zero Charge</i>)	28
4.5. Pengaruh pH Optimum Malasit Hijau	29
4.6. Pengaruh Waktu Adsorpsi	31
4.7. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi	32
4.8. Regenerasi Adsorben Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar	37
BAB V KESIMPULAN	40

5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Morfologi Permukaan Biochar	4
Gambar 2. Struktur Malasit Hijau	6
Gambar 3. Pola difaktogram XRD (a) Biochar dan (b) Biochar-modifikasi ..	15
Gambar 4. FTIR (a) Biochar dan (b) Biochar-modifikasi.....	16
Gambar 5. Hasil Modifikasi Material (a) Biochar menjadi (b) Komposit MnO ₂ /Biochar	22
Gambar 6. Pola Difraktogram XRD Material (a) Biochar, (b) Mn (II) Asetat, dan (c) Komposit MnO ₂ /Biochar	23
Gambar 7. Spektrum FTIR (a)Biochar, (b)Mn(II)Asetat, dan (c)Komposit...	24
Gambar 8. Profil Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen pada Adsorben (a) Biochar dan (b) Komposit MnO ₂ /Biochar	26
Gambar 9. Panjang Gelombang pada Absorbansi Maksimum Zat Warna Malasit Hijau	28
Gambar 10. Grafik Penentuan pH PZC (<i>Point Zero Charge</i>).....	29
Gambar 11. Pengaruh pH Adsorpsi Material Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar	30
Gambar 12. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau terhadap Adsorben Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar.....	31
Gambar 13. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau pada Adsorben Biochar	33
Gambar 14. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau pada Adsorben komposit MnO ₂ /Biochar	33
Gambar 15. Hasil Regenerasi Adsorben Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar	38

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Data Hasil Pengukuran BET	26
Tabel 2. Model Kinetika Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau terhadap Adsorben Biochar dan Komposit MnO ₂ /Biochar	32
Tabel 3. Data Isoterm Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau pada Adsorben Biochar	34
Tabel 4. Data Parameter Termodinamika Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau pada Adsorben Biochar	35
Tabel 5. Data Parameter Termodinamika Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau pada Adsorben Komposit MnO ₂ /Biochar	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Digital XRD	48
Lampiran 2. Data Digital FTIR.....	49
Lampiran 3. Data Digital BET	52
Lampiran 4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna Malasit Hijau	54
Lampiran 5. Data Pengaruh Waktu Adsorpsi	58
Lampiran 6. Data Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur	62
Lampiran 7. Data Perhitungan Parameter Isoterm Adsorpsi	65
Lampiran 8. Data Perhitungan Parameter Termodinamika.....	69
Lampiran 9. Data Regenerasi Adsorben terhadap Zat Warna Malasit Hijau...	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Biochar merupakan material yang diperoleh dari pembakaran termal berbagai limbah organik dalam kondisi oksigen yang terbatas. Biochar mengandung kadar karbon yang tinggi, stabilitas struktur yang baik, luas permukaan yang besar, dan kapasitas tukar ion yang tinggi (Wang, J and Wang, S., 2019). Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa biochar dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dalam proses pengolahan limbah, perbaikan tanah, pengolahan air, dan penyerapan karbon. Biochar yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan suhu tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan volume pori secara mikro sebagai akibat dari terjadinya penguapan senyawa organik (Chen *et al.*, 2008). Namun apabila suhu terlalu tinggi, struktur pori menjadi hancur dan terjadi penyumbatan mikropori, sehingga peningkatan volume pori akan terhambat dan terjadi penurunan luas permukaan (Xu *et al.*, 2015).

Luas permukaan dan volume pori yang kecil dapat berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi biochar. Semakin kecil luas permukaan dan volume pori biochar, maka kapasitas adsorpsi menjadi semakin terbatas dan tingkat efisiensi adsorpsi yang dihasilkan rendah (Liang *et al.*, 2017). Menurut Miyar *et al* (2021), adanya pori-pori dalam suatu material dapat memungkinkan terjadi peningkatan luas permukaan sehingga proses adsorpsi menjadi lebih maksimal. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan modifikasi biochar menjadi komposit untuk mendapatkan karakteristik adsorben yang lebih baik dengan luas permukaan dan volume pori yang lebih tinggi sehingga dapat menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih efisien.

Salah satu material yang dapat digunakan untuk memodifikasi biochar yaitu senyawa mangan oksida. Menurut Cuong *et al* (2021), pemanfaatan senyawa mangan oksida dalam bidang lingkungan telah menunjukkan hasil yang efektif, karena termasuk zat pengoksidasi yang ramah lingkungan dengan potensi redoks yang tinggi. Mangan oksida juga dapat berperan sebagai adsorben dalam penyisihan logam berdasarkan kompleksasi pada permukaannya. Selain itu, dengan jangkauan potensial kerja yang luas dan biaya yang relatif rendah memungkinkan mangan

oksida dapat menjadi material yang baik untuk dimanfaatkan dalam proses modifikasi biochar (Sannasi and Subbian, 2020).

Modifikasi biochar menjadi komposit telah dilakukan oleh Liang *et al* (2017) untuk aplikasi pada adsorpsi Pb(II) dan Cd(II) dengan adsorben berupa komposit MnO₂/Biochar melalui MnO₂ modifikasi biochar yang berasal dari kotoran babi yang dikomposkan secara aerobik. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kemampuan adsorpsi material komposit MnO₂/Biochar mengalami peningkatan yang dibuktikan dengan bertambahnya kapasitas adsorpsi material komposit MnO₂/Biochar dibandingkan dengan adsorpsi oleh material biochar. Material komposit MnO₂/Biochar memiliki kapasitas adsorpsi maksimum untuk Pb(II) sebesar 268,0 mg/g dan untuk Cd(II) sebesar 45,8 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum oleh material biochar untuk Pb(II) hanya sebesar 127,75 mg/g dan Cd(II) sebesar 14,41 mg/g.

Salah satu aplikasi material komposit MnO₂/Biochar yaitu dapat digunakan dalam proses penyisihan zat warna. Zat warna merupakan salah satu bahan pewarna yang mengandung bahan kimia yang berbahaya terhadap lingkungan. Salah satu zat warna yang banyak digunakan adalah malasit hijau, seperti dalam pewarnaan nilon, wol, sutra dan kapas, serta sebagai pewarna dalam industri kertas dan kulit. Keberadaan zat warna malasit hijau sangat berbahaya terhadap lingkungan karena memiliki struktur kimia yang kompleks dan stabil secara termal, optik, serta fisikokimia, sehingga sangat sulit terurai untuk dihilangkan dari air dengan metode pengolahan konvensional (Altun and Ecevit., 2022).

Berbagai metode untuk menghilangkan zat warna telah banyak dikembangkan. Salah satu metode yang paling efektif adalah adsorpsi, karena termasuk teknik yang sederhana untuk dilakukan, ramah lingkungan, dan memiliki efisiensi penyisihan yang tinggi bahkan dalam konsentrasi yang pekat (Altintig *et al.*, 2021). Apabila proses ini dikombinasikan dengan proses desorpsi dan regenerasi, maka material adsorben dan zat yang teradsorpsi dapat diperoleh kembali tanpa mempengaruhi struktur dan karakteristiknya (Mariyam *et al.*, 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukan proses regenerasi untuk menghancurkan adsorbat yang tersumbat di pori mikro adsorben, sehingga area mikro dari adsorben secara bertahap meningkat dan jumlah situs adsorpsi terus meningkat (Sun *et al.*, 2022).

Fokus penelitian ini adalah memodifikasi biochar menjadi komposit MnO₂/Biochar dan aplikasinya terhadap adsorpsi zat warna malasit hijau. Material hasil modifikasi dikarakterisasi menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR), dan analisis *Brunauer Emmet Teller* (BET). Material komposit MnO₂/Biochar diaplikasikan sebagai adsorben pada proses adsorpsi zat warna malasit hijau dengan mengamati beberapa variabel seperti pengaruh pH, pengaruh waktu kontak, pengaruh konsentrasi dan temperatur, serta regenerasinya.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik material komposit MnO₂/Biochar hasil modifikasi biochar berdasarkan analisis XRD, FT-IR, dan BET?
2. Bagaimana adsorpsi zat warna malasit hijau oleh material biochar dan komposit MnO₂/Biochar ditinjau dari pengaruh pH, waktu kontak, konsentrasi dan temperatur?
3. Bagaimana kemampuan regenerasi material biochar dan material komposit MnO₂/Biochar terhadap zat warna malasit hijau?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Memperoleh dan mempelajari material komposit MnO₂/Biochar berdasarkan karakterisasinya dengan analisis XRD, FT-IR, dan BET.
2. Mempelajari adsorpsi zat warna malasit hijau oleh material biochar dan komposit MnO₂/Biochar ditinjau dari pengaruh pH, waktu kontak, konsentrasi dan temperatur.
3. Mempelajari kemampuan regenerasi material biochar dan komposit komposit MnO₂/Biochar terhadap zat warna malasit hijau.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan mempelajari proses modifikasi biochar menjadi komposit MnO₂/Biochar dan karakterisasinya berdasarkan analisis XRD, FT-IR, dan BET, serta aplikasinya sebagai adsorben pada adsorpsi zat warna malasit hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A dan Batagarawa, S. M. 2018. Kinetic and Isotherm Studies of Malachite Green and Congo Red Adsorption from Aqueous Solution By Corn Stalk Bio-Waste Material. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. 10 (1) : 350.
- Akter, B., Shammi, M., Akbor, M. A., Yasmin, S., Nahar, A., Akhter, S., Jolly, Y. N., And Uddin, M. K. 2022. Preparation and Characterization of Biochar: A Case Study on Textile and Food Industry Sludge Management. *Journal Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 7 (2023) : 6.
- Altintig, E., Alsancak, A., Karaca, H., Angin, D., and Altundag, H. 2021. The Comparison of Natural and Magnetically Modified Zeolites as an Adsorbent in Methyl Violet Removal from Aqueous Solutions. *Journal Chemical Engineering Communications*. 1 (2021) : 1.
- Altun, T and Ecevit, H. 2022. Adsorption of Malachite Green and Methyl Violet 2B by Halloysite Nanotube: Batch Adsorption Experiments and Box-Behnken Experimental Design. *Journal Materials Chemistry and Physics*. 291 (2022) : 2.
- Apriliyani, A. A., Martono, Y., Riyanto, C. A., Mutmainah, dan Kusmita, L. 2018. Validasi Metode UV-Vis Spektrofotometri untuk Determinasi Level Inulin dari Lesser Yam (*Dioscorea esculante*). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 21 (4) : 163.
- Asip, F., Mardhiah, R., dan Husna. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*. 15 (2) : 22-23.
- Badri, A. P., Patimah, M. S. B. N. S., Neza, R. P., Risfidian, M., Mardiyanto, M., and Aldes, L. 2021. Mg-Al/Biochar Composite with Stable Structure for Malachite Green Adsorption from Aqueous Solutions. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 16(1): 149-160.
- Behera, S., Ghanty, S., Ahmad, F., Santra, S., and Banerjee, S., 2012. Uv-Visible Spectrophotometric Method Development and Validatiob of Assay of Oaracetamol Tablet Formulation. *International Journal Pharmaceutical Sciences and Research*. 3 (12) : 4945-4946.
- Buttersack, C. 2021. General Cluster Sorption Isotherm. *Journal of Microporous and Mesoporous*. 316 (2021) : 2-9.
- Chen, R., Zhou, D., and Zhu, L. 2008. Transitional Adsorption and Partition of Nonpolar and Polar Aromatic Contaminants by Biochars of Pine Needles with Different Pyrolytic Temperatures. *Journal Environmental, Science, and Technology*. 42 (14) : 5237.

- Chen, Y., Zou, C., Mastalerz, M., Hu, S., Gasaway, C., & Tao, X. 2015. Applications of Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) in The Geological Sciences. *International Journal of Molecular Sciences*. 16 (2015) 30223-30225.
- Chung, H. K., Kim, W. H., Park, J., Cho, J., Jeong, T. Y., and Park, P. K. 2015. Application of Langmuir and Freundlich Isotherms to Predict Adsorbate Removal Efficiency or Required Amount of Adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 1 (2015) : 1.
- Cuong, D. V., WU, P. C., Chen, L. I., and Huo, C. H. 2021. Active MnO₂/biochar Composite for Efficient As (III) Removal : Insight into the Mechanism of Redox Transformation and Adsorption. *Journal Water Research*. 188 (2021) : 2.
- Das, K. C and Dhar, S. S. 2020. Rapid Catalytic Degradation of Malachite Green by MgFe₂O₄ Nanoparticles in Presence of H₂O₂. *Journal of Alloys and Compounds*. 828 (2020) : 1.
- Debnath, S and Das, R. 2023. Strong Adsorption of CV Dye by Ni Ferrite Nanoparticles for Waste Water Purification: Fits Well The Pseudo Second Order Kinetic and Freundlich Isotherm Model. *Journal of Ceramics International*. 49 (2023) : 16199 – 16215.
- Fatimah, N. F dan Utami, B. 2017. Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difaktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/Zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi. *Jurnal Cis-Trans*. 1 (1) : 37.
- Faudah, S. R dan Rahmayanti, M. 2019. Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Naftol Blue Black Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analytical and Environmental Chemistry*. 4(2) : 60-61, 64.
- Hamid, Y., *et al.* 2022. Functionalized Biochars: Synthesis, Characterization, and Applications for Removing Trace Elements from Water. *Journal of Hazardous Materials*. 437 (2022) : 14-15.
- Hasyim, U. H dan Fitriyano, G. 2017. Pengaruh Konsentrasi HCl dan Massa Adsorbent dalam Pengolahan Limbah Pelumas Bekas dengan Kajian Keseimbangan Adsorpsi Bentonit terhadap Logam Fe. 6 (4) : 192.
- Indah, S dan Rohaniah. 2014. Studi Regenerasi Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays L.*) dalam Menyisihkan Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dari Air Tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 11 (1) : 49.
- Iqbal, A., Cevik, E., Bozkurt, A., Asiri, S. M. M., Alagha, O., Qahtan, T. F., Jalees, M. I., and Farooq, M. U. 2022. Ultrahigh Adsorption by Regenerable Iron-Cobalt Core-Shell Nanospheres and Their Synergetic Effect on Nanohybrid Membranes for Removal of Malachite Green Dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10 (2022) : 2.

- Kadarsiman dan Nurhasanah, I. 2020. Analisis Permukaan Nanopartikel Ferit Seng Berdasarkan Adsorpsi Isoterm Gas Nitrogen. *Jurnal Berkala Fisika*. 23 (3) : 80-81.
- Kamali, M., Jahaninfard, D., Mostafaie, A., Davarazar, M., Gomes, A. P. D., Tarelho, L. A. C., Dewil, R., and Aminabhavi, T. M. 2020. Scientometric Analysis and Scientific Trends on Biochar Application as Soil Amandement. *Chemical Engineering Journal*. 395 (2020) : 1-2.
- Kambo, H. S and Dutta, A. 2015. A Comparative Riview of Biochar and Hydrochar in Terms of Production, Physico-Chemical Properties and Applications. *Journal Renewable and Sustainable Energy*. 45 (2015) : 361-362.
- Kim, M., Sharma, N., Chung, J., and Yun, K. 2021. Activated Graphene with Fractal Structure for the Adsorption of Malachite Green with High Removal Rate. *Journal Microporous and Mesoporous Materials*. 322 (2021) : 1.
- Kumar, B and Kumar, U. 2015. Adsorption of Malchite Green in Aqueous Solution onto Sodium Carbonate Treated rice husk. *Korean Journal Chemistry*. 32 (8) : 1655 – 1656.
- Lequin, S., Chassagne, D., Karbowski, T., Geugon, R., Brachais, L., and Bellat, J. 2010. Adsorption Equilibria of Water Vapor on Cork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(6) : 3438-3445.
- Liang *et al.* 2017. Amorphous MnO₂ Modified Biochar Derived from Aerobically Composted Swine Manure for Adsorption of Pb(II) and Cd(II). *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 5 (2017) : 5050 – 5055.
- Liang, Q., Pan, D., and Zhang, X. 2022. Construction and Application of Biochar-Based Composite Phase Change Materials. *Chemical Engineering Journal*. 453 (2023) : 2.
- Lilo, T., Morais, C. L.M., Shenton, A., Ray, A., and Gurusinghe, N. 2022. Revising Fourier-Transform Infrared (FT-IR) and Raman Spectroscopy Towards Brain Cancer Detection. *Journal of Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 38 (2022) : 1.
- Mariyam, A., Mittal, J., Sakina, F., Baker, R. T., Sharma, A. K., and Mittal, A. 2021. Efficient Batch and Fixed-Bed Sequestration of a Basic Dye Using a Novel Variant of Ordered Mesoporous Carbon as Adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry*. 14 (2021) : 2.
- Miyar, H. K., Pai, A., and Goveas, L. C. 2021. Adsorption of Malachite Green by Extracellular Polymeric Substance of *Lysinibacillus* sp. SS1 : Kinetics and Isotherms. *Journal of Biotechnology Engineering*. 7 (2021) : 3.
- Mofavvaz, S., Sohrabi, M. R., And Heydari, A. 2020. Application Of UV/Vis Spectrophotometry Based On Using Least Squares Support Vector Machine And Continuous Wavelet Transform Methods For The

- Simultaneous Analysis Of Antibiotics Drugs In Tablet Formulation: Comparison With HPLC Method. *International Journal for Light and Electron Optics*. 220 (2020) : 2-7.
- Mohadi, R., Hidayati, N., Saputra, A., dan Lesbani, A. 2013. Kajian Interaksi Ion Co^{2+} dengan Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu. *Cakra Kimia Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*. 2 (1) : 13.
- Momina, Mohammad, S., and Suzylawati, I. 2020. Study of The Adsorption/Desorption of MB Dye Solution Using Bentonite Adsorbent Coating. *Journal of Water Process Engineering*. 34 (1) : 1.
- Moirana, R. L., Mkunda, J., Machunda, R., Paradelo, M., and Mtei, K. 2022. Hydroxyapatite-Activated Seaweed Biochar for Enhanced Remediation of Fluoride Contaminated Soil at Various pH Ranges. *Journal of Environmental Advances*. 11 (2023) : 8.
- Muhdarina., Nurhayati., Pahlepi, M. R., Pujiana, Z., dan Bahri, S. 2020. Penyiapan Arang Aktif Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Asam Lemak Bebas dari CPO (Crude Palm Oil). *Jurnal al-Kimiya*. 7 (1) : 10.
- Psaltou, S., Kaprara, E., Triantafyllidis, K., Mitrakas, M., and Zouboulis, A. 2021. Heterogeneous Catalytic Ozonation: The Significant Contribution of PZC Value and Wettability of the Catalysts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9 (5) : 2-5.
- Rahman, S dan Toifur, M. 2016. Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*. 1 (3) : 5-6.
- Rani, N., Goswami, B., Vats, R., Jangra, N., Bhukkal, C., and Ahlawat, R. 2023. Multiphase Manganese Oxide Nanoparticles Suitable for Optical and Catalytic Applications. *Jorunal Materials Today : Proceedings*. 1 (2023) : 1-3.
- Razzak, M.T., Hermanto, S., dan Priyambodo. 2008. Karakteristik Beberapa Jenis Antibiotik Berdasarkan Pola Difraksi Sinar-X (XRD) dan Spektrum FTIR. *Jurnal Kimia Valensi*. 1 (3) : 119.
- Sannasi, V and Subblan, K. 2020. Influence of Moringa Oliefera Gum on Two Polymorphs Synthesis of MnO_2 and Evaluation of The Pseudo Capacitance Activity. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 31(19) : 17120-17132.
- Sari, R. K. 2016. Potensi Mineral Batuan Tambang Bukit 12 dengan Metode XRD, XRF, dan AAS. *Jurnal Eksakta*. 2 (2016) : 18.
- Shah, R. K and Alreshaidan, S. 2022. Facile Synthesis and Characterization of Copper Oxalate/Cobalt Oxalate/Manganese Oxalate and Copper Oxide/Cobalt Manganese Oxide/Manganese Oxide as New

- Nanocomposites for Efficient Photocatalytic Degradation of Malachite Green Dye. *Arabian Journal of Chemistry*. 15 (2022) : 5-6.
- Song, Z., Lian, F., Yu, Z., Zhu, L., Xing, B., and Qiu, W. 2014. Synthesis and Characterization of A Novel MnO_x-Loaded Biochar and its Adsorption Properties for Cu²⁺ in Aqueous Solution. *Chemical Engineering Journal*. 242 (2014) : 37-19.
- Sun, H., Feng, D., Zhang, Y., Sun, S., Zhao, Y., and Zhang, F. 2022. Regeneration of Deactivated Biochar for Catalytic Tar Reforming by Partial Oxidation : Effect of Oxygen Concentration and Regeneration Time. *Fuel Journal*. 330 (2021) : 5.
- Tyas, A. H., Zaharah, T. A., and Shofiyani, A. 2018. Penentuan Kemampuan Penggunaan Ulang Komposit Kitosan-Karbon pada Proses Adsorpsi Ce(VI). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 7 (2) : 61-68.
- Wang, H., Yang, Y., Liu, J., Wu, H., Wu, K., Lyu, C., Wu, J., Lau, W, Wu, Q., and Zheng, J. 2023. The Role of Manganese-based Catalyst in Electrocatalytic Water Splitting : Recent Research and Progress. *Journal of Material Today Physics*. 36 (2023) : 2, 4, 9.
- Wang, J and Wang, S. 2019. Preparation, Modification and Environmental Application of Biochar. *Journal of Cleaner Production*. 227 (2019) : 1.
- Wang, X., Huang, K., Chen, Y., Liu, J., Chen, S., Cao, J., Mei, S., Zhou, Y., and Jing, T. 2018. Preparation of Dumbbell Manganese Dioxide/Gelatin Composites and Their Application in The Removal of Lead and Cadmium Ions. *Journal of Hazardous Materials*. 350 (2018) : 46-47.
- Wu, Z., Chen, X., Yuan, B., and Fu, M. 2020. A Facile Foaming-Polymerization Strategy to Prepare 3D MnO₂ Modified Biochar-Based Porous Hydrogels for Efficient Removal of Cd(II) and Pb(II). *Journal of Environmental Chemistry*. 239 (2020) : 2.
- Xu, G., Yang, X., and Spinosa, L. 2015. Development of Sludge-Based Adsorbents : Preparation, Characterization, Utilization and its Feasibility Assessment. *Journal of Environmental Management*. 151 (2015) : 223.
- Yadav, P and Bhaduri, A. 2023. Photocatalytic Performances of Manganese Oxide Nanorods Decorated Graphene Oxide Nanocomposites. *Journal of Diamond and Related Materials*. 135 (2023) : 7.
- You, X., Zhou, R., Zhu, Y., Bu, D., and Cheng, D. 2022. Adsorption of Dyes Methyl Violet and Malachite Green from Aqueous Solution on Multi-step Modified Rice Husk Powder in Single and Binary Systems : Characterization, Adsorption, Behavior and Physical Interpretations. *Journal of Hazardous Materials*. 430 (2022) : 2.
- Zhao, M., Hou, A., Lian, Z., Qin, D., and Ge., C. 2020. Direct Extraction And Detection Of Malachite Green From Marine Sediments By Magnetic

Nano-Sized Imprinted Polymer Coupled With Spectrophotometric Analysis. *Journal Marine Pollution Bulletin*. 158 (2020) : 2.

Zhou, H., Zhu, X., dan Chen, B. 2020. Magnetic Biochar Supported α -MnO₂ Nanorod for Adsorption Enhanced Degradation of 4-Chlorophenol Via Activation of Peroxydisulfate. *Journal Science of the Total Environment*. 724 (2020) : 2.