

**OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU OLEH
KOMPOSIT CaO/PEG/Fe₃O₄ MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY***

SKRIPSI

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



OLEH:

ROBIATUL ADAWIYAH

08031281924032

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN
OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU OLEH
KOMPOSIT CaO/PEG/Fe₃O₄ MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY

SKRIPSI

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

Oleh:

ROBIATUL ADAWIYAH
08031281924032

Indralaya, 17 Juli 2023

Mengetahui:

Pembimbing I



Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

NIP. 196808271994022001

Pembimbing II



Dr. Suheryanto, M.Si.

NIP. 196006251989031006

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Robiatul Adawiyah (08031281924032) dengan Judul "Optimasi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru oleh Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ Menggunakan *Response Surface Methodology*" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juni 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 24 Juli 2023

Ketua :

1. **Widia Purwaningrum, M. Si**
NIP. 197304031999032001

()

Sekretaris:

1. **Fahma Riyanti, M.Si.**
NIP. 197204082000032001

()

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.**
NIP. 196808271994022001
2. **Dr. Suheryanto, M.Si.**
NIP. 196006251989031006

()
()

Penguji:

1. **Dra. Fatma, M.S.**
NIP. 196207131991022001
2. **Dr. Zainal Fanani, M.Si.**
NIP. 196708211995121001

()
()

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 Mahasiswa : Robiatul Adawiyah

NIM : 08031281924032

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, 24 Juli 2023

Penulis,



Robiatul Adawiyah

NIM. 08031281924032

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Robiatul Adawiyah

NIM: 08031281924032

Fakultas/Jurusan: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/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 : “Optimasi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru oleh Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ Menggunakan *Response Surface Methodology*”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, 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.

Indralaya, 24 Juli 2023

Penulis,



Robiatul Adawiyah

NIM. 08031281924032

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Metode RSM dengan Adsorben Komposit CaO(Cangkang Telur Ayam)/PEG/Fe₃O₄” ini tepat pada waktunya. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.** dan bapak **Dr. Suheryanto, M.Si.** yang telah banyak memberikan bimbingan, pengalaman, motivasi, saran, nasehat, dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya yang sangat luar biasa kepada penulis.
2. Kepada kedua orang tua tersayang bapak (Hermansyah), Ibu (Susanti), dan keluarga besar penulis, terimakasih selalu mendoakan, memberikan perhatian, kasih sayang yang tak terhingga, dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan ini sampai mendapat gelar sarjana tanpa kalian mungkin penulis tidak bisa menyelesaikan semua ini. Semoga Allah SWT selalu melindungi kita semua.
3. Bapak Prof. Hermansyah, S. Si., M. Si., Ph. D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Muharni, M. Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
6. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si. selaku dosen akademik dan dosen pembimbing, terimakasih ibu sudah meluangkan waktu untuk membimbing saya selama perkuliahan ini, memberikan ilmu, saran, masukan, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga ibu selalu diberikan kesehatan, dilancarkan segala urusannya, dan selalu dilindungi oleh Allah SWT.

7. Bapak Dr. Suheryanto, M. Si. selaku pembimbing, terimakasih bapak atas ilmu yang telah diberikan, dukungan, serta bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga bapak selalu diberikan kesehatan, dilancarkan segala urusannya, dan selalu dilindungi oleh Allah SWT.
8. Ibu Dra. Fatmawati, M. S dan Bapak Dr. Zainal Fanani, M. Si selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran dan masukannya yang sangat bermanfaat. Semoga semua kebaikan ibu di balas oleh Allah SWT dan dilancarkan segala urusannya.
9. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat.
10. Kak Chosiin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan yang sangat baik, ramah, sabar dan selalu membantu penulis selama perkuliahan hingga lulus. Terimakasih banyak atas bantuannya dalam perkuliahan ini, semoga selalu diberikan kesehatan.
11. Gede Dahlia yang pelukannya selalu aku rindukan, Datuk Sugeng yang selalu membanggakan cucunya sarjana ini, Nyai Supek yang selalu mendo'akan. Nek Yati yang mendukung keuangan, skincare, dan masih banyak lagi. Giffi, Fathah, Adel, Insan adek-adek tersayang yang selalu ingin aku buat bangga.
12. Andini berliani teman yang membantu saya ketika dunia terasa begitu sulit untuk dijalani, Leti angria yang selalu ada walaupun saya selalu membuat repot dan menangis, Iqfini haula hakiki dan Suci nuraini yang mendukung untuk terus meneruskan hidup yang biasa-biasa saja ini. Anggota *circle* yang menjadi saksi kehidupan perkuliahan Shorea suhyuni, Rafi perdana dan Rhyzfa andini.
13. Ismi amelia *roommate* yang baik, pengertian dan selalu nanyain perkembangan skripsi, Sandra saputra tetangga kosan yang saling membantu dalam penelitian dan pemberkasan, Risma maulida adik yang selalu ada disaat saya membutuhkan tempat kembali dan Rhodia putri yang menemani dan menjadi sobat galau.
14. Nauvan Dimas yang akan menjadi partner wisuda *and to all the boys I've loved before*.

15. Anggota DPM KM FMIPA yang menemani kehidupan berorganisasi saya di kampus, memberikan pengalaman dan pembelajaran yang berharga.
16. Anggota Komunitas Ruang Kebaikan yang bersama-sama saling menebarkan kebaikan dan terus bermanfaat untuk sesama.
17. Teman-teman angkatan 2019 terimakasih untuk kerjasamanya, kebersamaan selama perkuliahan ini. Semangat dan sukses untuk kita semua.
18. *Last but not least, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, penulis memohon maaf dan bersedia menerima kritikan yang membangun. Semoiga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Indralaya, 24 Juli 2023

Penulis



Robiatul Adawiyah

SUMMARY
OPTIMIZATION OF METHYLENE BLUE DYE ADSORPTION USING
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY BY CaO/PEG/Fe₃O₄
COMPOSITE

Robiatul Adawiyah: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. and Dr. Suheryanto, M.Si.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.
ix + 65 pages, 11 figures, 11 tables, and 12 attachments.

Composites are widely used in various industries, one of which is as adsorbents for dye adsorption. CaO composite has the potential to be developed as a dye adsorbent. Composite of CaO with Fe₃O₄ magnetic nanoparticle compounds is carried out to facilitate the separation of adsorbent particles after absorbing the dye using a magnetic rod. Addition of polyethylene glycol (PEG) as a template between CaO and Fe₃O₄ is done to control the size and pore structure of the particles. CaO/PEG/Fe₃O₄ composite is used for the adsorption process of methylene blue dye. This research aims to optimize the adsorption process of methylene blue dye using CaO/PEG/Fe₃O₄ composite adsorbent using Response Surface Methodology (RSM).

CaO in the CaO/PEG/Fe₃O₄ composite is synthesized from cockle shell using thermal decomposition method through a calcination process at a temperature of 1000°C for 4 hours. Fe₃O₄ is synthesized using the co-precipitation method. CaO/PEG/Fe₃O₄ composite is synthesized with a weight ratio of 1:0.5:1. Optimization is performed using Response Surface Methodology (RSM) with a central composite design (CCD) experimental design, to obtain the optimum adsorption conditions and determine the efficiency produced from specific adsorption conditions.

The CaO/PEG/Fe₃O₄ composite is characterized by XRD, identifying diffraction pattern peaks corresponding to JCPDS at $2\theta = 35.68$ and 37.65 . BET characterization results show a surface area of $75.73 \text{ m}^2/\text{g}$. VSM characterization results indicate a magnetization value of 67.61 emu/g . The optimization of methylene blue dye adsorption by CaO/PEG/Fe₃O₄ composite using RSM obtained the optimum adsorption conditions at a concentration of 1 mg/L , contact time of 20.02 minutes, and pH of 9.99 with an efficiency of 95.17% .

Keywords: Blood clam shells, CaO/PEG/Fe₃O₄ composite, methylene blue, RSM.

RINGKASAN
OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU OLEH
KOMPOSIT CaO/PEG/Fe₃O₄ MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY

Robiatul Adawiyah: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan Dr. Suheryanto, M.Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
ix + 65 halaman, 11 gambar, 11 tabel dan 12 lampiran

Komposit banyak digunakan dalam berbagai industri salah satunya sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna. Komposit CaO berpotensi dikembangkan sebagai adsorben zat warna. Pengkompositan CaO dengan nanopartikel senyawa magnetik Fe₃O₄ dilakukan untuk memudahkan pemisahan partikel adsorben setelah menyerap zat warna dengan menggunakan batangan magnet. Penambahan polietilen glikol (PEG) sebagai *template* antara CaO dan Fe₃O₄ dilakukan untuk mengontrol ukuran dan struktur pori dari partikel. Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ digunakan untuk proses adsorpsi zat warna metilen biru. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses adsorpsi zat warna metilen biru menggunakan adsorben komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM).

CaO dalam komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ disintesis dari cangkang kerang darah dengan menggunakan metode dekomposisi termal melalui proses kalsinasi pada suhu 1000°C selama 4 jam. Fe₃O₄ disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ disintesis dengan perbandingan berat 1:0,5:1. Optimasi dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan penelitian *central composite design* (CCD), hal ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi adsorpsi yang optimum dan mengetahui efisiensi yang dihasilkan dari keadaan adsorpsi tertentu.

Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ dikarakterisasi XRD diidentifikasi bahwa puncak pola difraksi yang sesuai dengan JCPDS pada $2\theta = 35,68$ dan $37,65$. Hasil karakterisasi BET didapat luas permukaan sebesar $75,73 \text{ m}^2/\text{g}$. Dari hasil karakterisasi VSM didapat nilai magnetisasi sebesar $67,61 \text{ emu/g}$. Hasil optimasi adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ menggunakan RSM didapatkan kondisi optimum adsorpsi pada konsentrasi 1 mg/L , waktu kontak $20,02$ menit dan pH $9,99$ dengan efisiensi sebesar $95,17\%$.

Kata kunci: Cangkang kerang darah, komposit CaO/PEG/Fe₃O₄, metilen biru, RSM.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1. Zat Warna Metilen Biru	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.2. Cangkang Kerang Darah	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.3. Kalsium Oksida (CaO)	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.4. Magnetit (Fe ₃ O ₄)	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.5. Polietilen glikol (PEG)	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.6. Komposit	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- 2.7. *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 2.8. Difraksi Sinar-X (XRD)
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 2.10. Adsorpsi
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 2.11. Spektrofotometer UV-Vis
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 2.12. *pH Point Zero Charge (pH pzc)*
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 2.13. *Response surface methodology (RSM)*
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN Kesal

 ahan! Bookmark tidak ditentukan.

- 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.2. Alat dan Bahan
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.2.1. Alat
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.2.2. Bahan
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3. Prosedur Penelitian
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.1 Sintesis CaO dari Cangkang Kerang Darah
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.2 Sintesis Fe_3O_4
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.3 Sintesis Komposit CaO/PEG/ Fe_3O_4
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.4 Pembuatan Larutan Induk dan Larutan Standar Metilen Biru
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.5 Penentuan Panjang Gelombang pada Adsorbansi Maksimum
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.3.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- 3.4. Karakterisasi CaO, Fe₃O₄, CaO/PEG/Fe₃O₄.....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.4.1. Karakterisasi Menggunakan VSM.....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.4.2. Karakterisasi Menggunakan XRD
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.4.3. Karakterisasi BET
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.4.4. Penentuan pH *Point of Zero Charge* (pH pzc)
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.4.5. Preparasi untuk Optimasi *Respon Surface Methodology*.....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.5. Analisis Data
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.5.1 Karakterisasi CaO, Fe₃O₄ dan komposit CaO/PEG/ Fe₃O₄.
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.5.2 CaO, Fe₃O₄ dan CaO/PEG/ Fe₃O₄ Hasil Sintesis
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 3.5.3 *Response surface methodology* (RSM).....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN Kesal

 ahan! Bookmark tidak ditentukan.

- 4.1. CaO Hasil Sintesis
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.2. Fe₃O₄ Hasil Sintesis
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.3. Komposit CaO/PEG/ Fe₃O₄ Hasil Sintesis
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.4. Hasil Karakterisasi VSM dan Komposit CaO/PEG/ Fe₃O₄.....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.5. Hasil Karakterisasi XRD Komposit CaO/PEG/ Fe₃O₄.....
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.6. Hasil Karakterisasi BET dari Komposit CaO/PEG/ Fe₃O₄
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.7. Penentuan pH *Point Zero of Charge* (pH pzc)
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- 4.8. Optimasi Adsorpsi dengan *Response surface methodology* (RSM)
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
.....	Kesal
ahan! Bookmark tidak ditentukan.	
5.1. Kesimpulan.....	
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
5.2. Saran	
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
DAFTAR PUSTAKA	33

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.** Struktur zat warna metilen biru
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.** Cangkang kerang darah
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.** Prinsip kerja XRD.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 4.** pH pzc Cao/Fe₃O₄ (Safira dan Purwaningrum, 2022)
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 5.** (a) Cangkang kerang darah (b) CaO
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 6** (a) Fe₃O₄ dan (b) CaO/PEG/Fe₃O₄ hasil sintesis
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 7.** Kurva histerisis VSM Komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ dan Fe₃O₄.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 8.** Pola difraksi CaO (cangkang kerang darah).....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 9.** Pola difraksi Fe₃O₄ dan CaO/PEG/Fe₃O₄.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 10.** Kurva pH pzc CaO/PEG/Fe₃O₄
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 11.** Grafik nilai residual (a) plot b) prediksi vs. aktual.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 12.** Grafik hasil optimasi (a) permukaan 3D (b) kontur
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

DAFTAR TABEL

- Tabel 1.** Literatur adsorpsi zat warna metilen biru
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 2.** Tingkat parameter faktor untuk percobaan CCD
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 3.** Proses adsorpsi berdasarkan metode CCD.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 4.** Sudut difraksi hasil penelitian dibandingkan dengan JCPDS
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 5.** Ukuran kristal.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 6.** Data hasil percobaan desain RSM dengan rancangan CCD.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 7.** Analisa rangkaian yang sesuai
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 8.** Analisa Model Jumlah Kuadrat Berurutan.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 9.** Analisa ANOVA untuk model linier.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 10.** Batas optimasi adsorpsi zat warna metilen biru
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 11.** Solusi optimal adsorpsi zat warna metilen biru.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Diagram Alir Prosedur Penelitian.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 2.** Perhitungan Perbandingan Massa Sintesis Fe_3O_4
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 3.** Perhitungan Rendemen CaO
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 4.** Perhitungan Rendemen Fe_3O_4
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 5.** Perhitungan Rendemen $\text{CaO/PEG/Fe}_3\text{O}_4$
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 6.** Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 7.** Hasil Karakterisasi XRD dari CaO (Cangkang Kerang Darah).
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 8.** Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 dengan Menggunakan XRD.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 9.** Hasil Karakterisasi XRD komposit $\text{CaO/PEG/Fe}_3\text{O}_4$
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 10.** Karakterisasi BET.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 11.** Pengukuran pH Point Zero Charge (pHpzc).....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 12.** Optimasi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.....
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit dimanfaatkan dan dikembangkan dalam berbagai industri seperti produk otomotif (Sulaiman dan Rahmat, 2018), sebagai material pengganti *fiber glass* (Nurudin, 2011) dan sebagai adsorben untuk adsorpsi zat warna (Kakame dkk, 2018). Komposit memiliki beberapa keunggulan yaitu kekuatan materialnya yang bisa disesuaikan, bobot yang lebih ringan, tahan terhadap korosi dan ketahanan material komposit yang lebih tinggi. Komposit yang dimanfaatkan sebagai adsorben umumnya disintesis dari zeolit, karbon aktif, silika gel, alumina, kalsium klorida, polimer alami, polimer buatan dan serat kaca. Komposit digunakan sebagai adsorben zat warna berasal dari sumber material yang memiliki beberapa kriteria yaitu kemampuan adsorpsi yang tinggi, mudah didapat dengan murah, dan ketersediaannya berlimpah. Kriteria pemilihan material komposit tersebut dipenuhi oleh cangkang kerang darah (Lu dkk, 2016).

Cangkang kerang darah berpotensi digunakan sebagai sumber adsorben karena memiliki kandungan 98% kalsium karbonat (Munawaroh dan Widyastuti, 2019). Kalsium karbonat (CaCO_3) dapat dikonversi menjadi kalsium oksida (CaO) melalui proses dekomposisi termal pada suhu tinggi (Thakur *et al.*, 2021). CaO secara fisik memiliki pori yang mampu mengadsorpsi atau menyerap zat lain kedalam permukaan pori-porinya (Safira dan Purwaningrum, 2022). CaO dapat dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna (Thakur *et al.*, 2021).

Adsorben CaO memiliki kekurangan dalam sulitnya proses pemisahan dari zat warna yang telah diadsorpsi. Hal ini dapat diatasi dengan pengkompositan CaO dan nanopartikel senyawa magnetik. Nanopartikel berpotensi digunakan sebagai adsorben karena ukuran partikelnya yang kecil menyebabkan luas permukaannya lebih besar sehingga kemampuan adsorpsi dimilikinya akan lebih tinggi. Magnetit (Fe_3O_4) adalah salah satu nanopartikel oksida logam yang mempunyai sifat magnet yang kuat. Pengkompositan CaO dengan Fe_3O_4 dilakukan untuk memudahkan pemisahan komposit yang digunakan dalam proses adsorpsi setelah menyerap zat warna dengan menggunakan magnet eksternal sehingga tidak membutuhkan proses penyaringan (Wahyuni dkk, 2020). Penambahan polietilen glikol (PEG) dilakukan

untuk meminimalisir terjadinya aglomerasi dari Fe_3O_4 . Pelapisan atau *coating* dengan polietilen glikol (PEG) menyebabkan perubahan struktur permukaan komposit, mengontrol ukuran dan struktur pori dari partikel (Thong *et al.*, 2022).

Optimasi adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang ideal atau nilai yang efektif. Optimasi adsorpsi zat warna metilen biru dengan adsorben komposit $\text{CaO}/\text{PEG}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ untuk mendapatkan kondisi adsorpsi yang optimum dan mengetahui efisiensi yang dihasilkan dari keadaan adsorpsi tertentu. Metode adsorpsi merupakan metode alternatif yang efektif dan menggunakan biaya yang relatif rendah dengan desain yang sederhana, mudah diaplikasikan dibandingkan metode konvensional lainnya (Syafaat, 2016). Optimasi dilakukan dengan teknik *Response Surface Methodology* (RSM). Metode RSM memuat desain dari percobaan optimal, memberi pengaruh signifikan pada efek interaksi dan optimasi dari beberapa langkah percobaan, mengurangi biaya operasi dan meminimalisasi penggunaan tenaga manusia (Cheraghipour dan Pakshir, 2021).

RSM mencakup serangkaian teknik matematika/statistik untuk membangun model empiris dan eksploitasi model yang digunakan untuk proses optimasi dari beberapa variabel *input independent* yang berefek pada *output dependent* (Assagaf dkk, 2012). Variabel *input independent* berupa kondisi dari proses adsorpsi berupa konsentrasi zat warna, pH dan waktu kontak. *Output dependent* adalah hasil optimasi berupa respon dalam bentuk formula atau persamaan optimasi proses adsorpsi metilen biru dengan efisiensi tertinggi,

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi proses adsorpsi zat warna metilen biru dengan komposit $\text{CaO}/\text{PEG}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ menggunakan *response surface methodology* dengan variasi waktu kontak, pH dan konsentrasi. Komposit $\text{CaO}/\text{PEG}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dikarakterisasi dengan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Brunaur, Emmett and Teller* (BET).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit $\text{CaO}/\text{PEG}/\text{Fe}_3\text{O}_4$?
2. Bagaimana kondisi optimum adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit $\text{CaO}/\text{PEG}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ menggunakan *response surface methodology* dengan variasi konsentrasi, waktu kontak dan pH?

1.3 Tujuan

1. Mensintesis dan karakterisasi komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ menggunakan VSM, XRD dan BET.
2. Menentukan kondisi optimum adsorpsi zat warna metilen biru oleh komposit CaO/PEG/Fe₃O₄ menggunakan *response surface methodology* dengan variasi konsentrasi, waktu kontak dan pH.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi tahapan sintesis dan karakterisasi komposit CaO/PEG/Fe₃O₄. Hasil optimasi proses adsorpsi metilen biru dengan metode *response surface methodology* dengan adsorben CaO/PEG/Fe₃O₄ dapat digunakan sebagai acuan dalam proses adsorpsi sejenis. Penelitian ini juga diharapkan dapat mengurangi limbah cangkang kerang darah dan memanfaatkannya untuk menyerap limbah cair yang mengandung zat warna metilen biru.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Hidayat, T., dan Seulalae, A. V. 2021. *Moluska: Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Sebagai Bahan Baku Industri Pangan dan Non Pangan*. Syiah Kuala University Press.
- Akbar, F., Kusumaningrum, R., Jamil, M. R. S., Noviyanto, A., Widayatno, W. B., Wismogroho, A. S., dan Rochman, N. T. 2019. Sintesis $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ dari Limbah Kerang dengan Metode Solvotherma. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 15(3): 110-113.
- Anwar, K. 2019. Isotermis dan termodinamika adsorpsi methylene blue menggunakan batang Jagung termodifikasi asam sitrat. *Doctoral dissertation Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.
- Asnawati, A., Kharismaningrum, R.R. and Andarini, N. 2017. Penentuan kapasitas adsorpsi selulosa terhadap Rhodamin B dalam sistem dinamis. *Jurnal Kimia Riset*. 2(1): 23-29.
- Assagaf, M., Hastuti, P., Hidayat, C., dan Supriyadi, S. 2012. Optimasi Ekstraksi Oleoresin Pala (*Myristica fragrans* Houtt) Asal Maluku Utara Menggunakan Response Surface Methodology (RSM). *Agritech*. 32(4).
- Azzahro, U. L., dan Broto, W. 2021. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara Sebagai Katalis CaO pada Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Sosial Teknologi*. 1(6): 499-507.
- Baunsele, A. B., dan Missa, H. 2020. Kajian kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben sabut kelapa. *Jurnal Kimia Indonesia*. 5(2): 76-85.
- Chen, X., Li, P., Zeng, X., Kang, Y., Wang, J., Xie, H., dan Zhang, Y. 2020. Efficient adsorption of methylene blue by xanthan gum derivative modified hydroxyapatite. *International journal of biological macromolecules*. 151: 1040-1048.
- Cheraghipour, E. and Pakshir, M., 2020. Process optimization and modeling of Pb (II) ions adsorption on chitosan-conjugated magnetite nano-biocomposite using response surface methodology. *Chemosphere*, 260:127560.
- Dodrill, B., dan Lindemuth, J. R. 2021. Vibrating Sample Magnetometry. *Magnetic Measurement Techniques for Materials Characterization*, 15-37.
- Dwijayanti, U., Gunawan, G., Widodo, D. S., Haris, A., Suyati, L., dan Lusiana, R. A. 2020. Adsorpsi Methylene Blue (MB) menggunakan abu layang batubara teraktivasi larutan Naoh. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 5(1): 1-14.
- Fadilla, P. J. 2021. TA: Pemanfaatan Bottom Ash Sebagai Adsorben Zat Warna Dan Cod Limbah Industri Tekstil (Studi Kasus Pt Tci Kabupaten Bandung). *Doctoral dissertation*. Institut Teknologi Nasional Bandung.

- Ginting, E. M., Bukit, N., dan Handayani, D. U. 2021. Pembuatan Nanopartikel Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Peg-6000. *Einstein (e-Journal)*. 9(2): 28-33.
- Gupta, S., Sharma, A., Tomar, M., Gupta, V., Pal, M., Guo, R., dan Bhalla, A. 2012. Piezoresponse force microscopy and vibrating sample magnetometer study of single phased Mn induced multiferroic BiFeO₃ thin film. *Journal of Applied Physics*. 111(6): 064110.
- Hadayani, L. W., Riwayati, I., dan Ratnani, R. D. 2015. Adsorpsi pewarna metilen biru menggunakan senyawa xanthat pulpa kopi. *Majalah Ilmiah Momentum*. 11(1).
- Hakam, M., Praditama, F., dan Kurniati, E. 2023. Peningkatan Derajat Deasetilasi Dalam Sintesis Kitosan Dari Cangkang Kerang Darah. *Jurnal Teknik Kimia*. 17(2): 97-104.
- Hanum, F., Gultom, R. J., dan Simanjuntak, M. 2017. Adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari kulit durian menggunakan KOH dan NaOH sebagai aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(1) 49-55.
- Hatimah, H., Indah, D. R., dan Wardani, I. K. 2022. Efisiensi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Karbon Baggase Teraktivasi. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*. 10(2): 236-245.
- Hay, A., dan Darmawa, A. 2016. Katalisator Cangkang Keong Mas Terhadap Sifat Mekanik Baja ST42 Melalui Proses Kaburasi. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 9(1): 39-43.
- Hikmawati, D. I. 2018. Studi Perbandingan Kinerja Serbuk dan Arang Biji Salak Pondoh (Salacca zalacca) pada Adsorpsi Metilen Biru. *Chimica et Natura Acta*. 6(2): 85-92.
- Indrayati, I. 2015. Pengaruh Polietilen Glikol (PEG) dalam analisis fenilpiruvat pada urin menggunakan plat silika terimmobilisasi ferri amonium sulfat. *Doctoral dissertation*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kakame, D. Y., Wuntu, A. D., dan Koleangan, H. 2018. Degradasi dan adsorpsi zat warna methylene blue menggunakan komposit Ag-tulang ikan terkalsinasi. *CHEMISTRY PROGRESS*. 11(2).
- Khoo, F. S. and Esmaili, H. 2018. Synthesis of CaO/Fe₃O₄ Magnetic Composite for the Removal of Pb(II) and Co(II) from Synthetic Wastewater. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 83(2): 237–249.
- Khoshnamvand, N., Jafari, A., Kamarehie, B., dan Faraji, M. 2019. Optimization of adsorption and sonocatalytic degradation of fluoride by zeolitic imidazole framework-8 (ZIF-8) using RSM-CCD. *Desalin Water Treat*. 171: 270-280.

- Khuluk, R. H., dan Rahmat, A. 2019. Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon from coconut shell (*Cocous Nucifera L.*). *Indonesian Journal of Science dan Technology*. 4(2): 229-240.
- Krisbiantoro, P. A., Santosa, S. J. and Kunarti, E. S. 2017. Synthesis of Fulvic Acid Coated Magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FA}$) and its Application for the Reductive Adsorption of $[\text{AuCl}_4]$ - . *Indonesia Journal Chemistry*. 17(3): 453-460.
- Lapailaka, T., dan Triandi, R. 2013. Penentuan ukuran Kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*. 1(2).
- Lestari, I. 2020. Penyerapan Ion Pb (II) Menggunakan Adsorben dari Limbah Padat Lumpur Aktif Pengolahan Air Minum. *Chemistry Progress*. 13(2).
- Lu, Y., Jiang, B., Fang, L., Ling, F., Gao, J., Wu, F., dan Zhang, X. 2016. High performance NiFe layered double hydroxide for methyl orange dye and Cr (VI) adsorption. *Chemosphere*. 152: 415-422.
- Mairoza, A., dan Astuti, A. 2016. Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand*. 5(3): 283-286.
- Malensang, J. S., Komalig, H., dan Hatidja, D. 2013. Pengembangan model regresi polinomial berganda pada kasus data pemasaran. *Jurnal Ilmiah Sains*. 12(2): 149-152.
- Muadifah, A., dan Ngibad, K. 2020. Analisis merkuri dan hidrokuinon pada krim pemutih yang beredar di Blitar. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. 3(2).
- Munawaroh, S., dan Widyastuti, S. 2019. Penjerapan Logam Besi (Fe) menggunakan Adsorben Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa Linn.*). *Waktu: Jurnal Teknik Unipa*. 17(2): 1-5.
- Nurhasni, N., Mar'af, R., dan Hendrawati, H. 2018. Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachis hipogaea L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia Valensi*. 4(2).
- Nurika, I., Nisa, F. N., Azizah, N., dan Suhartini, S. 2021. Optimasi Kondisi Ekstraksi Vanillin Hasil Degradasi Lignoselulosa Bagas Tebu Menggunakan Response Surface Method (RSM). *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia (Jbbi)*. 8(1): 89-104.
- Nurudin, A. 2011. Potensi pengembangan komposit berpenguat serat kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) kontinyu laminat sebagai material pengganti fiberglass pada pembuatan lambung kapal. *Info-Teknik*. 12(2): 1-9.
- Pauzan, M., Kato, T., Iwata, S., dan Suharyadi, E. 2013. Pengaruh ukuran butir dan struktur kristal terhadap sifat kemagnetan pada nanopartikel magnetit

(Fe₃O₄). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng dan DIY. Solo: Himpunan Fisika Indonesia.* 24-28.

- Permatasari, N. V., Hadiyanto, H., dan Warsito, B. 2022. Proses Daur Ulang Baterai Melalui Pelindian Asam Sulfat Untuk Perolehan Nikel Dan Kobalt. *Doctoral dissertation.* School of Postgraduate Studies.
- Prabudi, M., Nurtama, B., dan Purnomo, E. H. 2018. Aplikasi response surface methodology (RSM) dengan historical data pada optimasi proses produksi burger. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality.* 5(2): 109-115.
- Pranoto, P., Martini, T., dan Maharditya, W. 2020. Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia.* 16(1): 50-66.
- Safira, V. P., dan Purwaningrum, W. 2022. Sintesis Komposit CaO/Fe₃O₄ dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Zat Warna Congo Red. *Doctoral dissertation.* Sriwijaya University.
- Saidah, A., Susilowati, S. E., dan Nofendri, Y. 2018. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Jerami Padi Epoxy Dan Serat Jerami Padi Resin Yukalac 157. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur.* 5(2): 96-101.
- Sepehr, et al. 2016. Adsorption Performance of Magnesium/Aluminium Layered Double Hydroxide Nanoparticles Metronidazole from Aqueous Solution. *Arabian Journal of Chemistry.* 7(3): 1-13
- Shakerian, K. F., dan Esmaeili, H. 2018. Synthesis of CaO/Fe₃O₄ magnetic composite for the removal of Pb (II) and Co (II) from synthetic wastewater. *Journal of the Serbian Chemical Society.* 83(2): 237-249.
- Sholihah, L. K. 2010. Sintesis dan karakteristik partikel nano Fe₃O₄ yang berasal dari Pasir besi dan Fe₃O₄ bahan komersial (Aldrich). *Tugas Akhir.* Jurusan Fisika. F-MIPA. ITS. Surabaya.
- Suhardin, A., Ulum, M. S., dan Darwis, D. 2018. Penentuan komposisi serta suhu kalsinasi optimum CaO dari batu kapur kecamatan Banawa. *Natural Science: Journal of science and technology.* 7(1).
- Sulaiman, M., dan Rahmat, M. H. 2018. Kajian potensi pengembangan material komposit polimer dengan serat alam untuk produk otomotif. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin.*
- Syafaat, W. U. 2016. Optimasi produksi roti menggunakan metode rancangan percobaan response surface pada Industri rumahan Tahun 2015. *Bachelor's thesis,* Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta

- Taib, S., dan Suharyadi, E. 2015. Sintesis nanopartikel magnetite (Fe_3O_4) dengan template silika (SiO_2) dan karakterisasi sifat kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 5(1): 23-30.
- Tamjidi, S. and Esmaeili, H. 2019. Chemically Modified $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Nanocomposite by Sodium Dodecyl Sulfate for Cr(III) Removal from Water. *Chemical Engineering and Technology*. 42(3): 607–616.
- Tammi, T., Suaniti, N., dan Manurung, M. 2013. Variasi Konsentrasi Dan Ph Terhadap Kemampuan Kitosan Dalam Mengadsorpsi Metilen Biru. *Jurnal Kimia*. 7(1): 11-18.
- Tarihoran, D. H. 2014. Sintetis Nanopartikel Fe_3O_4 Dengan Metode Kopresipitasi Dan Karakterisasi. *Doctoral dissertation*. UNIMED.
- Tauvana, A. I., Syafrizal, S., dan Subekti, M. I. 2020. Pengaruh matrik resin-epoxy terhadap kekuatan impak dan sifat fisis komposit serat nanas. *Jurnal Polimesin*. 18(2): 99-104
- Thakur, A, Joshi, N. C., Kaur, K., Kumar, N., dan Bhandari, N. S. (2021). Synthesis and adsorption applications of PPY/ Fe_3O_4 nanocomposite based material. *Nano-Structures dan Nano-Objects*. 25: 100669.
- Thong, P. Q., Thu Huong, L. T., Tu, N. D., My Nhung, H. T., Khanh, L., Manh, D. H., and Kim Thanh, N. T. 2022. Multifunctional nanocarriers of Fe_3O_4 @PLA-PEG/curcumin for MRI, magnetic hyperthermia and drug delivery. *Nanomedicine*. (0).
- Tutu, R., Subaer, S., dan Usman, U. 2015. Studi Analisis Karakterisasi Dan Mikrostruktur Mineral Sedimen Sumber Air Panas Sulili Di Kabupaten Pinrang. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(2): 192-201.
- Wahyuni, Pambudi, T., E. T., and M. Mudasir. 2020. Recoverable adsorbent of natural zeolite/ Fe_3O_4 for removal of Pb (II) in water. *Journal Mater Environ Sci*. 11(1): 69-78.
- Wardiyati, S., Fisli, A. dan Ridwan. 2011. Penyerapan logam Ni dalam Larutan oleh Nano Komposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(3): 224–228.
- Widayati, T. W., Jaya, D., Danujatmiko, A., dan Trimulyo, B. D. 2020. Characterization of Activated Carbon from Pyrolysis Process of Bamboo Base Waste (*Dendrocalamus asper*) Karakteristik Arang Aktif Hasil Pirolisis Limbah Pangkal Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*). *Chemica: Jurnal Teknik Kimia* 7(1): 67-70.
- Zannah, M. 2020. Isoterm adsorpsi metilen biru oleh biochar dari kulit singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) yang dimodifikasi menggunakan magnetit (Fe_3O_4). *Doctoral dissertation*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.