

**PEMANFAATAN LIMBAH *BITTERN* UNTUK
SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNESIUM OKSIDA
(MgO) DENGAN METODE ELEKTROLISIS 2-
KOMPARTEMEN SERTA STUDI KOMPUTASI
SEBAGAI AGEN ANTIBAKTERI TERHADAP
Escherichia coli DAN *Staphylococcus aureus***

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia



**Shofyanuddin Abdur Rosyid
21106030044**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1842/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Pemanfaatan Limbah Bittern untuk sintesis Nanopartikel Magnesium Oksida MgO dengan Metode Elektrolisis 2-Kompartemen serta Studi Komputasi sebagai Agen Antibakteri terhadap Escherichia coli dan Staphylococcus aureus

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SHOFYANUDDIN ABDUR ROSYID
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030044
Telah diujikan pada : Kamis, 14 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Priyagung Dheni Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 689ed33e12ef1



Penguji I

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

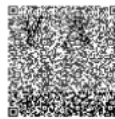
Valid ID: 68a546d17141a



Penguji II

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widawati, M.Si.,
M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 68a72086c6669



Yogyakarta, 14 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68a72a2f55c31

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Shofyanuddin Abdur Rosyid
NIM : 21106030044
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pemanfaatan Limbah *Bittern* untuk Sintesis Nanopartikel Magnesium Oksida (MgO) dengan Metode Elektrolisis 2-Kompartemen serta Studi Komputasi sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus***" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 11 Agustus 2025

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Shofyanuddin Abdur Rosyid
NIM. 21106030044

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Shofyanuddin Abdur Rosyid

NIM : 21106030044

Judul Skripsi : Pemanfaatan Limbah *Bittern* untuk Sintesis Nanopartikel Magnesium Oksida (MgO) dengan Metode Elektrolisis 2-Kompartemen serta Studi Komputasi sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 7 Agustus 2025

Pembimbing

Privaquna Dheni Widiakongko, M.Sc

NIP: 199003302019031008

HALAMAN MOTTO

“Hidup adalah tentang pencarian dan petualangan”

“Doa dan sudah tentu diiringi dengan usaha, itu yang kita tahu untuk kedepannya, tak ada yang mudah, tak ada yang serta merta. Di keheningan semoga terijabah segala cita dan semua”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis ini penulis persembahkan dan didedikasikan untuk almamater Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji bagi Allah SWT, Sang Pemilik cahaya dan kehidupan, yang tak henti melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya kepada setiap insan. Atas izin dan ridha-Nya, langkah ini terus terjaga, asa ini tetap menyala. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sang pembawa risalah agung, yang telah menuntun umat manusia dari gelapnya kebodohan menuju terang benderangnya peradaban. Semoga kelak kita semua beroleh syafaat beliau di hari yang tiada ampunan selain dari-Nya, *aamiin ya Rabbal 'alamin*. Alhamdulillah, dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang dalam, penulis telah menyelesaikan tugas akhir berjudul “Pemanfaatan Limbah *Bittern* untuk Sintesis Nanopartikel Magnesium Oksida (MgO) dengan Metode Elektrolisis 2-Kompartemen serta Studi Komputasi sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*” dengan sebaik-baiknya sebagai bentuk ikhtiar menuju gerbang ilmu yang lebih bermakna.

Penulis menyadari, bahwa perjalanan dalam menyusun karya ilmiah ini bukanlah tanpa rintangan, ada letih yang menyapa, ada keraguan yang menggoda, dan ada hari-hari

yang terasa begitu sunyi tanpa arah. Namun, setiap langkah yang tertatih menjadi tegap kembali berkat kehadiran mereka yang senantiasa menyemangati dalam doa yang diam-diam dipanjatkan, dalam kata yang lembut namun menguatkan, dalam kehadiran yang sederhana namun meneduhkan. Atas segala doa, dukungan, dan motivasi yang mengalir tiada henti, penulis menghaturkan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah menjadi cahaya di sepanjang perjalanan ini. Maka dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa syukur, izinkan penulis menyampaikan terima kasih tak terhingga kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang penuh dedikasi dan keteladanan. Beliau senantiasa meluangkan waktu di tengah kesibukan, memberikan bimbingan dengan ketelatenan, menyampaikan arahan dengan kejernihan, menyalurkan nasihat yang menenangkan, serta menguatkan dengan dukungan dan motivasi yang tak ternilai. Dukungan, motivasi, serta pemantauan yang

beliau berikan secara berkelanjutan sangat membantu dalam menjaga kualitas dan ketepatan arah dari tugas akhir ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

5. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmunya selama bangku perkuliahan.
7. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dan setulus-tulusnya kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Badarudin dan Ibu Rindi Budiati, atas segala bentuk pengorbanan, kerja keras, dan dedikasi yang tiada henti dalam mendukung setiap langkah penulis. Setiap usaha yang dilakukan demi memenuhi kebutuhan, memberikan pendidikan, membimbing dengan penuh kasih, serta menyemangati dalam berbagai keadaan, menjadi fondasi utama yang menguatkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kedua saudara tersayang, Afifuddin Emilul Fata dan Silmi Syamila Rahma yang selalu memberikan hiburan, dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
9. Keluarga besar Bani Sudjadi yang selalu memberikan doa dan dukungan secara materi maupun motivasi.

10. Teman-teman Mahasiswa Pecinta Alam UIN Sunan Kalijaga yang selalu ada dikondisi apapun, selalu menemani, menghibur, dan membantu penulis, serta selalu memberikan semangat kepada penulis.
11. Segenap teman-teman bocah prik, glogok squad, dan remaja masjid yang selalu memberi dukungan, doa, dan hiburan kepada penulis.
12. Teman-teman scandium, kimia 21 yang telah berjuang bersama-sama, terima kasih atas kenangan selama kuliahnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Besar harapan, dengan disusunnya skripsi ini semoga dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi banyak orang. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini dan masih jauh dari kata sempurna. Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan kemudahan kepada kita semua, *Aamiin...*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Penulis,

Shofyanuddin Abdur Rosyid

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACT	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Landasan Teori	10
1. Limbah Tambak Garam <i>Bittern</i>	10
2. Nanopartikel Magnesium Oksida.....	11
3. Sel Elektrolisis 2-Kompartemen.....	14
4. Karakterisasi XRD	17
5. Karakterisasi SEM-EDX.....	18

6. Bakteri <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i>	21
7. Penambatan molekular (<i>docking</i>).....	23
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian	26
BAB III	29
METODE PENELITIAN	29
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
B. Alat-alat Penelitian	29
C. Bahan-bahan Penelitian	30
D. Prosedur Kerja Penelitian	30
E. Teknik Analisis Data	37
BAB IV	38
PEMBAHASAN.....	38
A. Preparasi alat elektrolisis 2-kompartemen.....	38
B. Sintesis $Mg(OH)_2$ dari limbah <i>bittern</i>	40
C. Karakterisasi nanopartikel $Mg(OH)_2$ berdasarkan difraktogram XRD	45
D. Karakterisasi nanopartikel MgO berdasarkan mikroskop SEM-EDX.....	46
E. Uji antibakteri <i>in silico</i> metode penambatan molekuler	49
F. Uji antibakteri <i>in vitro</i> metode difusi cakram.....	52
BAB V	56
KESIMPULAN DAN SARAN	56
A. Kesimpulan.....	56
B. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN	64
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Konfigurasi elektronik ion Mg^{2+} dan O^{2-} dan struktur Kristal MgO	13
Gambar 2. 2. Pola tipikal MgO	14
Gambar 2. 3. Sel Elektrolisis 2-Kompartemen.....	15
Gambar 2. 4. <i>Dihydrofolate reductase</i> (DHFR, PDB entry 5CC9).....	24
Gambar 2. 5. <i>DNA Gyrase B</i> (GyrB, PDB entry 3U2D)	26
Gambar 2. 6. Ukuran potongan kompartemen	30
Gambar 2. 7. Desain sel 2-kompartemen	31
Gambar 2. 8. Desain alat elektrolisis 2-kompartemen.....	32

DAFTAR TABEL

- Tabel 4. 1. Perbandingan Design Sel Elektrolisis dalam menghasilkan Mg(OH)_2 dari Limbah *Bittern*.. 42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan.....	64
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian.....	65
Lampiran 3 Data Pengujian	67



ABSTRAK

Pemanfaatan Limbah *Bittern* untuk Sintesis Nanopartikel Magnesium Oksida (MgO) dengan Metode Elektrolisis 2-Kompartemen serta Studi Komputasi sebagai Agen Antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

Oleh:

Shofyanddin Abdur Rosyid

21106030044

Pembimbing:

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc

Nanopartikel Magnesium Oksida (MgO) digunakan dalam berbagai bidang karena karakternya yang sangat unik. Sebagai contoh antasida, bahan tahan api, bahan peralatan medis, dan obat penyakit. Oleh karena itu pengembangan metode produksi yang ramah lingkungan serta aplikasinya menjadi topik yang relevan saat ini. Dalam studi ini, MgO disintesis dengan bahan baku limbah tambak garam (*Bittern*) yang selama ini masih banyak dibuang kembali ke laut dan minim pemanfaatan dimana tujuan sintesis untuk dianalisis studi sebagai agen antibakteri. Sintesis nanopartikel MgO menggunakan metode elektrolisis 2-kompartemen dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX. Sifat antibakterinya di analisis secara *in vitro* dan *in silico* terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Analisis secara *in silico* menggunakan metode *molecular docking* dan secara *in vitro* metode difusi cakram. Difraktogram XRD menghasilkan puncak yang menunjukkan terbentuknya senyawa $Mg(OH)_2$ dari proses elektrolisis 2-kompartemen berbahan dasar *bittern* sebagai prekursor MgO. Gambar SEM menghasilkan morfologi permukaan yang tidak teratur dengan nanopartikel berbentuk *spherical* yang teraglomerasi. Spektrum EDX menunjukkan bahwa nanopartikel MgO

berhasil diperoleh dengan perbandingan atomik 1:1 tanpa adanya pengotor lain. Kemampuan nanopartikel MgO sebagai agen antibakteri diprediksi berhasil mengikat sisi aktif asam amino residu dengan energi ikatan sebesar $-1,70$ dan $-1,08$. Hal ini diperkuat dengan terbentuknya zona bening pada difusi cakram yang membuktikan terhambatnya pertumbuhan bakteri.

Kata Kunci: Elektrolisis, *Bittern*, Antibakteri



ABSTRACT

Valorization of *Bittern* Waste for the Synthesis of Magnesium Oxide (MgO) Nanoparticles via a Two-Compartment Electrolysis Method and a Computational Study of Their Antibacterial Activity Against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*

By:

Shofyanddin Abdur Rosyid

21106030044

Adviser:

Privagung Dhemi Widiakongko, M.Sc

Magnesium oxide (MgO) nanoparticles are utilized across a wide range of applications due to their distinctive physicochemical properties. Notable examples include their use as antacids, flame-retardant materials, components in medical devices, and as therapeutic agents in pharmaceuticals. Consequently, the development of environmentally friendly production methods and exploration of their potential applications have become increasingly relevant research topics. In this study, MgO nanoparticles were synthesized using bittern waste derived from traditional salt production ponds which is often discarded into the sea with minimal utilization. The objective was to evaluate their potential as antibacterial agents. The synthesis was conducted via a two-compartment electrolysis method, and the resulting MgO nanoparticles were characterized using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX). Antibacterial activity was assessed through both in vitro and in silico approaches against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The in silico analysis employed molecular docking methods, while the in vitro analysis used the disk diffusion method. XRD diffractograms indicated the

formation of magnesium hydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) as a precursor to MgO. SEM images revealed irregular surface morphologies, with agglomerated, spherical-shaped nanoparticles. EDX spectra confirmed the successful synthesis of MgO nanoparticles with a 1:1 atomic ratio and no detectable impurities. The molecular docking analysis predicted strong binding interactions between the MgO nanoparticles and the active sites of amino acid residues, with binding energies of -1.70 and -1.08 kcal/mol. These predictions were supported by the formation of clear inhibition zones in the disk diffusion assays, indicating effective suppression of bacterial growth.

Keywords: Electrolysis, Bittern, Antibacterial

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Produksi garam secara tradisional menghasilkan limbah cair yang disebut *bittern*. Cairan ini memiliki konsentrasi mineral jauh lebih tinggi dibandingkan air laut biasa, dengan peningkatan konsentrasi unsur-unsur tertentu hingga 20-40 kali lipat (Cipollina *et al.*, 2015). Randazzo, *et al* (2024) mengatakan cairan *bittern* dapat dijadikan solusi menjanjikan sebagai alternatif untuk memperoleh *critical raw material* (CRM) di Uni Eropa, salah satunya adalah magnesium. Sebagian besar industri garam hanya membuang *bittern* secara langsung ke lingkungan laut tanpa melalui proses pengolahan lebih lanjut. Hal ini menimbulkan dua permasalahan utama. Pertama, dari sisi lingkungan, pembuangan *bittern* dengan kadar mineral tinggi berpotensi mencemari ekosistem perairan pesisir. Kandungan garam dan mineral yang tinggi dapat mengganggu keseimbangan biota laut serta menurunkan kualitas perairan. Kedua, dari sisi ekonomi, rendahnya pemanfaatan *bittern* menyebabkan hilangnya peluang untuk memperoleh nilai tambah dari sumber daya tersebut (Bagastyo *et al.*, 2021).

Sintesis magnesium dalam bentuk senyawa magnesium oksida atau magnesium hidroksida berhasil

disintesis dengan menggunakan berbagai metode salah satunya adalah elektrolisis 2-kompartemen. Metode ini dipilih dan banyak dikembangkan karena memiliki suhu pengolahan yang lebih rendah, penggunaan peralatan sederhana, memungkinkan hasil yang dapat dikendalikan, biaya rendah, dan menghasilkan produk dengan kualitas tinggi (Natter & Hempelmann, 2003). Elektrolisis 2-kompartemen merupakan sistem elektrolisis yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel dengan memperhatikan faktor arus yang dialirkan. Nanopartikel MgO hasil sintesis dari *bittern* menggunakan metode elektrolisis 2-kompartemen belum dilaporkan sebagai senyawa yang bermanfaat, salah satunya sebagai agen antibakteri. Mekanisme yang terjadi pada tingkat molekuler juga belum dapat diketahui pasti sehingga perlu adanya kajian menyeluruh secara *in vitro* dan *in silico*.

Ukuran nanopartikel pada suatu material memberikan keunikan sifat seperti optik, termal, listrik kimia, dan sifat fisik (Panigrahi, 2004). Magnesium Oksida (MgO), terutama dalam bentuk nano, merupakan material yang banyak diminati dan digunakan dari kelompok oksida logam sederhana (Hornak, 2021). Nanopartikel MgO memiliki aplikasi yang luas dan multidisiplin. Beberapa tahun terakhir, nanopartikel magnesium oksida (MgO) telah menarik perhatian yang signifikan sebagai agen antibakteri potensial. Nanopartikel MgO telah menunjukkan efektivitas yang luar biasa dalam

melawan berbagai strain bakteri, termasuk *E. coli*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii* (Ananda, *et al.*, 2021), *S. aureus* (Das, *et al.*, 2018), dan *P. carotovorum* (Sharma, *et al.*, 2020). Mekanisme antibakteri yang diteliti melibatkan stimulasi *reactive oxygen species* (ROS) dalam bakteri, yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan signifikan pada membran lipid, protein, dan asam nukleat bakteri (Gatou *et al.*, 2024). Mekanisme hasil dari uji *in vitro* ini dapat dibandingkan dengan adanya kajian pada uji *in silico*.

Studi *in silico* memberikan wawasan tentang bagaimana nanopartikel berinteraksi dengan target bakteri pada tingkat molekuler, yang dapat memprediksi interaksi sehingga dapat dilanjutkan secara eksperimental tentang efek antibakteri suatu nanopartikel. Pendekatan *in silico* ini membantu memperdalam pemahaman tentang mekanisme kerja nanopartikel dan potensinya sebagai agen antibakteri alternatif untuk mengatasi resistensi antibiotik (Taebi *et al.*, 2024). Telah dilakukan penelitian aktivitas antibakteri pada nanopartikel MgO hasil dari *bittern* sintesis metode presipitasi terhadap bakteri *Escherichia coli* dengan metode difusi cakram, yang terbukti adanya aktivitas penghambatan ditandai dengan terdapat zona bening yang terbentuk di sekitar cakram (Ningrum & Jumaeri, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *bittern* sebagai bahan baku dalam sintesis nanopartikel magnesium oksida (MgO) menggunakan metode elektrolisis 2-kompartemen. Metode ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, seperti suhu pengolahan yang lebih rendah, peralatan sederhana, hasil yang dapat dikendalikan, biaya rendah, dan kualitas produk yang tinggi (Natter & Hempelmann, 2003). Selain itu, penelitian ini juga akan melakukan studi komputasi untuk memperdalam pemahaman tentang mekanisme kerja nanopartikel MgO sebagai agen antibakteri, khususnya terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Kombinasi antara analisis eksperimental dan analisis komputasi diharapkan dapat memberikan wawasan menyeluruh tentang potensi nanopartikel MgO dari *bittern* sebagai alternatif agen antimikroba yang efektif dan ramah lingkungan.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah tambak garam (*bittern*) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Koperasi Pugar Ronggolawe Makmur, Tuban, Jawa Timur
2. Sintesis nanopartikel magnesium oksida diperoleh dengan metode elektrolisis 2-kompartemen

3. Karakterisasi nanopartikel MgO dilakukan dengan menggunakan *X-ray diffractometry* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilanjutkan Energy Dispersive X-Ray (EDX)
4. Uji aktivitas antibakteri nanopartikel MgO dilakukan terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*
5. Studi mekanisme interaksi molekuler dilakukan dengan menggunakan analisis *docking* menggunakan *AutoDock Tools*
6. Uji komputasi dilakukan pada protein bakteri *E. coli* (DHFR) dan *S. aureus* (GyrB) yang diuji secara komputasi dengan parameter nilai kekuatan afinitas dan visualisasi interaksi molekuler.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kristal nanopartikel MgO hasil sintesis dari *bittern* menggunakan metode elektrolisis 2-kompartemen berdasarkan uji menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) ?
2. Bagaimana interaksi molekuler antara nanopartikel MgO dengan target protein bakteri *E. coli* (DHFR) dan *S. aureus* (GyrB) hasil analisis docking?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis nanopartikel MgO dari *bittern* dengan metode elektrolisis 2-kompartemen
2. Mengkarakterisasi dan menganalisis kristalinitas struktur nanopartikel MgO berdasarkan instrument XRD dan SEM-EDX.
3. Mengkaji interaksi molekuler antara nanopartikel MgO dengan target protein bakteri *E. coli* (DHFR) dan *S. aureus* (GyrB) hasil analisis docking
4. Mengkaji perbandingan uji antibakteri secara *in silico* dengan *in vitro*

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan alternatif pemanfaatan *bittern* dengan menjadikannya sebagai bahan sintesis nanopartikel MgO menggunakan metode elektrolisis 2-kompartemen dan aplikasinya sebagai agen antibakteri. Kajian mekanisme aktivitas antibakteri MgO pada tingkat molekuler dapat dijadikan informasi bagi pembaca.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

1. Sintesis nanopartikel MgO dengan metode elektrolisis 2-kompartemen berhasil dilakukan. Menggunakan prekursor $\text{Mg}(\text{OH})_2$ hasil sintesis dan kemudian di kalsinasi menghasilkan MgO
2. Karakterisasi nanopartikel MgO ukuran kristal dan komposisi senyawa menggunakan instrument SEM-EDX menghasilkan morfologi berbentuk *spherical*, ukuran nanopartikel yang tidak seragam antara 50-100 nm dan menghasilkan komposisi unsur Mg 60,1% dan O 39,1% tanpa pengotor diperoleh rumus empiris dari perbandingan atomic 1:1 yaitu MgO.
3. Senyawa MgO terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus* secara *in silico* metode docking berhasil mengikat sisi aktif residu asam amino dengan bentuk interaksi elektrostatis dan ikatan hidrogen. Residu asam amino yang berinteraksi yaitu Glutamin, Leusin, Asparagin dan Valin. energi binding -1,70 dan -1,08 yang menandakan adanya interaksi spontan antara ligan dengan reseptor.
4. Studi aktivitas antibakteri secara *in vitro* menggunakan metode difusi cakram memperkuat hasil *in silico* dibuktikan

adanya zona bening yang terbentuk menunjukan terhambatnya pertumbuhan bakteri.

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Variasi lebih lanjut untuk jenis elektroda, jembatan garam dan larutan elektrolit untuk lebih efisiennya sintesis ion magnesium dari limbah *bittern*.
2. Menambahkan parameter aktivitas anti jamur untuk pemanfaatan hasil sintesis yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah Putri Pinasty, Mukhlis Sanuddin, M. A. (2023). *Sintesis Dan Uji Aktivitas Senyawa Dibuti Timah (Iv) N-Etil Benzil Ditiokarbamat Terhadap Bakteri Streptococcus Mutans Dan Escherichia Coli*. 4(IV), 5574–5583.
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization. In *Handbook of Materials Characterization*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4
- Amrulloh, H., Simanjuntak, W., & Situmeang, R. T. M. (2017). Sintesis $Mg(OH)_2$ dari *Bittern* Menggunakan Metode Elektrokimia. *ALKIMIA*, 01(01), 10–15.
- Apriani, M., Hadi, W., & Masduqi, A. (2018). Physicochemical properties of sea water and *bittern* in Indonesia: Quality improvement and potential resources utilization for marine environmental sustainability. *Journal of Ecological Engineering*, 19(3), 1–10. <https://doi.org/10.12911/22998993/86150>
- Bagastyo, A. Y., Sinatria, A. Z., Anggrainy, A. D., Affandi, K. A., Kartika, S. W. T., & Nurhayati, E. (2021). Resource recovery and utilization of *bittern* wastewater from salt production: a review of recovery technologies and their potential applications. *Environmental Technology Reviews*, 10(1), 295–322. <https://doi.org/10.1080/21622515.2021.1995786>
- Chavali, M. S., Nikolova, M. P., & Silver, A. (2019). Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology. *SN Applied Sciences*, 1(6), 1–30. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0592-3>
- Cipollina, A., Bevacqua, M., Dolcimascolo, P., Tamburini, A., Brucato, A., Glade, H., Buether, L., & Micale, G. (2015). Reactive crystallisation process for magnesium recovery from concentrated brines. *Desalination and Water Treatment*, 55(9), 2377–2388.

- <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.947771>
- Davis, J. S. (2018). Structure, function and management of the biological system for seasonal solar saltworks. *Global NEST Journal*, 2(3), 217–226. <https://doi.org/10.30955/gnj.000175>
- Derek Pletcher. (2009). *First Course in Electrode Processes*. <https://doi.org/10.1007/s10008-011-1303-1>
- Dighe, S. N., & Collet, T. A. (2020). Recent advances in DNA gyrase-targeted antimicrobial agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 199, 112326. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112326>
- Fatimah, S., Nadifah, F., & Burhanudin, I. (2016). Uji Daya Hambat Ekstrak Etanol Kubis (*Brassica oleracea* var. capitata f. alba) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* Secara In Vitro. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 4(1), 102–106. <https://doi.org/10.24252/bio.v4i2.2515>
- Fitriyanti. (2021). Jurnal Sains Fisika. *Jurnal Sains Fisika*, 1, 42–52. <http://journal.uin-alaududin.ac.id/index.php/sainfis>
- Gatou, M.-A.; Skylla, E.; Dourou, P.; Pippa, N.; Gazouli, M.; Lagopati, N.; Pavlatou, E. A. M. O. (MgO) N. S. S. and B. A. C. (2024). Magnesium Oxide (MgO) Nanoparticles: Synthetic Strategies and Biomedical Applications Maria-Anna. *Crystals*, 14, 215.
- Gnanaraj, C., Sekar, M., Fuloria, S., Swain, S. S., Gan, S. H., Chidambaram, K., Rani, N. N. I. M., Balan, T., Stephenie, S., Lum, P. T., Jeyabalan, S., Begum, M. Y., Chandramohan, V., Thangavelu, L., Subramaniam, V., & Fuloria, N. K. (2022). In Silico Molecular Docking Analysis of Karanjin against Alzheimer's and Parkinson's Diseases as a Potential Natural Lead Molecule for New Drug Design, Development and Therapy. *Molecules*, 27(9). <https://doi.org/10.3390/molecules27092834>
- Grandgirard, J., Poinso, D., Krespi, L., N  non, J. P., & Cortesero, A. M. (2002). Costs of secondary parasitism in the facultative hyperparasitoid *Pachycrepoideus dubius*: Does host size matter? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 103(3), 239–248. <https://doi.org/10.1023/A>

- Hamidah, M. N., Rianingsih, L., & Romadhon, R. (2019). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Asam Laktat dari Peda dengan Jenis Ikan Berbeda terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan*, 1(2), 11–21. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2019.6742>
- He, J., Qiao, W., An, Q., Yang, T., & Luo, Y. (2020). Dihydrofolate reductase inhibitors for use as antimicrobial agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112268>
- Hewitt, C. J., Bellara, S. R., Andreani, A., Nebe-Von-Caron, G., & McFarlane, C. M. (2001). An evaluation of the antibacterial action of ceramic powder slurries using multiparameter flow cytometry. *Biotechnology Letters*, 23(9), 667–675. <https://doi.org/10.1023/A:1010379714673>
- Hornak, J. (2021). Synthesis, properties and selected technical applications of magnesium oxide nanoparticles: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/ijms222312752>
- Huang, L., Li, D. Q., Lin, Y. J., Wei, M., Evans, D. G., & Duan, X. (2005). Controllable preparation of Nano-MgO and investigation of its bactericidal properties. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99(5), 986–993. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2004.12.022>
- Krishnamoorthy, K., Manivannan, G., Kim, S. J., Jeyasubramanian, K., & Premanathan, M. (2012). Antibacterial activity of MgO nanoparticles based on lipid peroxidation by oxygen vacancy. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(9). <https://doi.org/10.1007/s11051-012-1063-6>
- Lin, Y. J., Li, D. Q., Wang, G., Huang, L., & Duan, X. (2005). Preparation and bactericidal property of MgO nanoparticles on γ -Al₂O₃. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(1), 53–56. <https://doi.org/10.1007/s10856-005-6446-0>
- Loganathan, P., Naidu, G., & Vigneswaran, S. (2017). Mining valuable minerals from seawater: A critical review. In *Environmental Science: Water Research and Technology*

- (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1039/c6ew00268d>
- Meiyanto, Edy. "Docking Kurkumin Dan Senyawa Analognya Pada Reseptor Progesteron: Studi Interaksinya Sebagai Selective Progesterone Receptor Modulators (Sprms)." *Pharmacon: Jurnal Farmasi Indonesia UMS*, vol. 13, no. 2, 2012, pp. 55-60, doi:10.23917/pharmacon.v13i2.10.
- Natter, H., & Hempelmann, R. (2003). Tailor-made nanomaterials designed by electrochemical methods. *Electrochimica Acta*, 49(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2003.04.004>
- Nilawati, N. (2014). Pemanfaatan Limbah Cair Garam Bahan Baku 30° Be Untuk Pengasinan Ikan Gabus Rendah NaCl dan Mengandung Mg. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 5(2), 67–73. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2014.v5.no2.p67-73>
- Ningrum, A. N. K., & Jumaeri, J. (2022). Preparation of Magnesium Oxide Nanoparticles from a Sea Water *Bittern* as an Antibacterial Agent Against *Escherichia coli*. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(1), 9–15. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v10i3.51041>
- Peni Alpionita, A. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Magnesium Oksida (MgO) dengan Variasi Massa PEG-6000 Peni Alpionita, Astuti. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2), 167–172.
- Puratchikody, A., Sriram, D., Umamaheswari, A., & Irfan, N. (2016). 3-D structural interactions and quantitative structural toxicity studies of tyrosine derivatives intended for safe potent inflammation treatment. *Chemistry Central Journal*, 10(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0169-9>
- Randazzo, S., Vicari, F., López, J., Salem, M., Lo Brutto, R., Azzouz, S., Chamam, S., Cataldo, S., Muratore, N., Fernández de Labastida, M., Vallès, V., Pettignano, A., D'Alì Staiti, G., Pawlowski, S., Hannachi, A., Cortina, J. L., & Cipollina, A. (2024). Unlocking hidden mineral resources: Characterization and potential of *bitterns* as alternative sources of critical raw materials. *Journal of Cleaner Production*, 436(June 2023).

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140412>
- Saefudin, S., Sulisty, S., Sulardjaka, S., & Arfiansyah, R. (2021). Desain Sel Elektrolisis untuk Memproduksi MgO dari Limbah Garam Rakyat. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 225. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2574>
- Saur, I. M. L., Panstruga, R., & Schulze-Lefert, P. (2021). NOD-like receptor-mediated plant immunity: from structure to cell death. *Nature Reviews Immunology*, 21(5), 305–318. <https://doi.org/10.1038/s41577-020-00473-z>
- Shand, M. A. (2006). The Chemistry and Technology of Magnesia. In *The Chemistry and Technology of Magnesia*. <https://doi.org/10.1002/0471980579>
- Sharma, R., Bisen, D. P., Shukla, U., & Sharma, B. G. (2012). X-ray diffraction: a powerful method of characterizing nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*, 4(8), 77–79. <http://recent-science.com/>
- Singh, J. P., & Chae, and K. H. (2017). d ° Ferromagnetism of Magnesium Oxide. *Condensed Matter*. <https://doi.org/10.3390/condmat2040036>
- Sinica, O. (2016). 白 杨 1, 2 张运林 2. *Tjyybjb.Ac.Cn*, 18(2), 33–37. <http://www.tjyybjb.ac.cn/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9987>
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2007). *Fundamental of Analytical Chemistry* (9th ed.). Brooks/Cole Cengage Learning.
- Taebi, M., Amiri, M., Rashidi, N., Ziasistani, M., Hadizadeh, S., Razavi, R., Farsinejad, A., Ahmadi Zeidabadi, M., & Karami-Mohajeri, S. (2024). Antibacterial, Antifungal and Cytotoxic Properties as well as Molecular Docking Evaluation of Green Synthesized Silver Nanoparticles. *Nanochemistry Research*, 9(2), 77–90. <https://doi.org/10.22036/ncr.2023.418220.1330>
- Yamamoto, O., Sawai, J., & Sasamoto, T. (2000). Change in antibacterial characteristics with doping amount of ZnO in MgO-ZnO solid solution. *International Journal of*

- Inorganic Materials*, 2(5), 451–454.
[https://doi.org/10.1016/S1466-6049\(00\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S1466-6049(00)00045-3)
- Yuniati, M. D., Wawuru, F. C. M. P., Mursito, A. T., Setiawan, I., & Lintjewas, L. (2019). The Characteristics of Padamarang Magnesite under Calcination and Hydrothermal Treatment. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 29(2), 153–162.
<https://doi.org/10.14203/risetgeotam2019.v29.1016>
- Zhou, P., Fan, H., Lan, T., Yang, X. Lou, Shi, W. F., Zhang, W., Zhu, Y., Zhang, Y. W., Xie, Q. M., Mani, S., Zheng, X. S., Li, B., Li, J. M., Guo, H., Pei, G. Q., An, X. P., Chen, J. W., Zhou, L., Mai, K. J., ... Ma, J. Y. (2018). Fatal swine acute diarrhoea syndrome caused by an HKU2-related coronavirus of bat origin. *Nature*, 556(7700), 255–259. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0010-9>
- Zhou, W., Apkarian, R. P., & Wang, Z. L. (2007). *Fundamentals of Scanning Electron Microscopy* (pp. 1–2).

