

**PENGARUH VOLTASE DAN WAKTU TAHAN TERHADAP RENDEMEN
MAGNESIUM HIDROKSIDA DARI AIR BITTERN BLEDUK KUWU
GROBONGAN JAWA TENGAH MENGGUNAKAN SISTEM
ELEKTROLISIS**

(Skripsi)

Oleh

GALIPAT WIJAYA

2117041001



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PENGARUH VOLTASE DAN WAKTU TAHAN TERHADAP RENDEMEN
MAGNESIUM HIDROKSIDA DARI AIR BITTERN BLEDUK KUWU
GROBONGAN JAWA TENGAH MENGGUNAKAN SISTEM
ELEKTROLISIS**

Oleh

GALIPAT WIJAYA

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH VOLTASE DAN WAKTU TAHAN TERHADAP RENDEMEN MAGNESIUM HIDROKSIDA DARI AIR BITTERN BLEDUK KUWU – GROBONGAN JAWA TENGAH MENGGUNAKAN SISTEM ELEKTROLISIS

Oleh

GALIPAT WIJAYA

Telah dilakukan penelitian ini bertujuan untuk dapat mengkaji suatu pengaruh voltase dan waktu tahan terhadap produksi magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$) dari air bittern menggunakan metode elektrolisis. Proses ini mengonversi ion Mg^{2+} menjadi $Mg(OH)_2$ dengan memvariasikan tegangan listrik, tingkat pengenceran, dan durasi reaksi. Sistem elektrolisis yang digunakan berupa sel dua kompartemen dengan katode nikel, anode karbon, dan jembatan garam NaCl dalam gelatin. Kondisi optimum diperoleh pada tegangan 60 V, pengenceran tiga kali, dan waktu tahan 6 jam, menghasilkan konversi 85,59% dan kemurnian $Mg(OH)_2$ sebesar 91,21%. Hasil karakterisasi menunjukkan adanya pengotor utama berupa Cl (dari analisis XRF), morfologi kristal memanjang (dari SEM), serta tiga fase $Mg(OH)_2$ dan empat fase MgO (dari XRD). serta terbentuknya tiga fase $Mg(OH)_2$ dan empat fase MgO dengan ukuran partikel $Mg(OH)_2$ lebih kecil dibandingkan MgO. Tegangan tinggi terbukti meningkatkan efisiensi pembentukan $Mg(OH)_2$ nano berkualitas. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode elektrolisis berpotensi untuk dikembangkan dalam produksi material nano ramah lingkungan dan bernilai ekonomi tinggi.

Kata kunci: bittern; elektrokimia; $Mg(OH)_2$; sel elektrolisis 2-kompartemen

ABSTRACT

THE EFFECT OF VOLTAGE AND HOLDING TIME ON THE YIELD OF MAGNESIUM HYDROXIDE FROM BITTERN WATER BLEDUK KUWU GROBONGAN CENTRAL JAVA USING ELECTROLYSIS SYSTEM

By

GALIPAT WIJAYA

This study aims to investigate the effect of voltage and retention time on the production of magnesium hydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) from bittern using the electrolysis method. The process converts Mg^{2+} ions into $\text{Mg}(\text{OH})_2$ by varying the applied voltage, dilution level, and reaction duration. The electrolysis system used consists of a two-compartment electrochemical cell with a nickel cathode, carbon anode, and a NaCl salt bridge in a gelatin matrix. Optimal conditions were obtained at 60 V, threefold dilution, and a retention time of 6 hours, resulting in a conversion efficiency of 85.59% and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ purity of 91.21%. Characterization results showed Cl as the main impurity (XRF analysis), elongated crystal morphology (SEM), and the presence of three $\text{Mg}(\text{OH})_2$ phases and four MgO phases (XRD). and the formation of three $\text{Mg}(\text{OH})_2$ phases and four MgO phases with $\text{Mg}(\text{OH})_2$ particle sizes smaller than MgO. High voltage was found to significantly enhance the efficiency of high-quality nano- $\text{Mg}(\text{OH})_2$ formation. This research demonstrates that the electrolysis method has great potential for application in the production of environmentally friendly and economically valuable nanomaterials.

Keywords: bittern; electrochemistry; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 2-compartment electrolytic cell

Judul Skripsi : Pengaruh Voltase dan Waktu Tahan Terhadap Rendemen Magnesium Hidroksida dari Air Bittern Bleduk Kuwu Grobogan Jawa Tengah Menggunakan Sistem Elektrolisa

Nama Mahasiswa : Galipat Wijaya

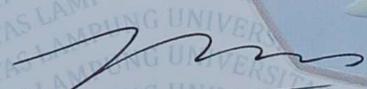
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041001

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

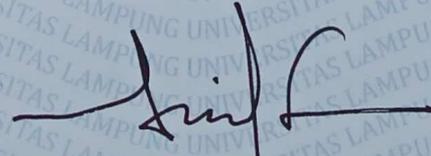


1. Komisi Pembimbing


Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.
NIP. 195903081991031001


Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.
NIP. 198203272015021002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

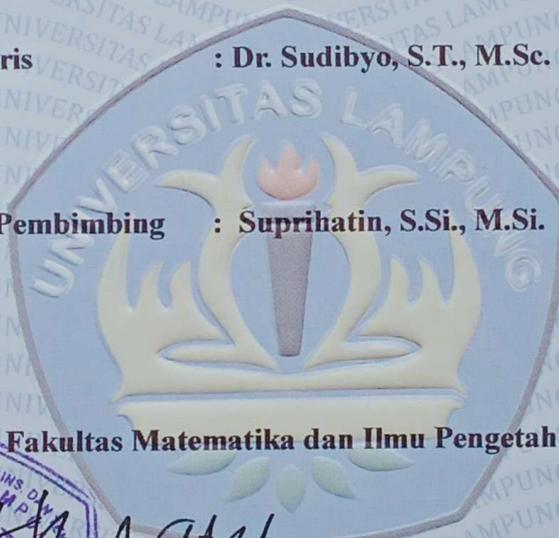
1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.

Sekretaris : Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc.

Penguji

Bukan Pembimbing : Suprihatin, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 September 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Galipat Wijaya
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041001
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa dalam skripsi saya ini dengan berjudul tentang **“Pengaruh Voltase dan Waktu Tahan terhadap Rendemen Magnesium Hidroksida dari Air Bittern Bleduk Kuwu – Grobongan Jawa Tengah menggunakan Sistem Elektrolisa”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data didalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 02 September 2025



Galipat Wijaya
NPM. 2117041001

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Galipat Wijaya, dilahirkan di Pekalongan pada tanggal 23 April 2002. Penulis merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Kaman dan Ibu Koyimah. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 04 Cipulir Jakarta Selatan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 61 Jakarta Barat pada tahun 2018 dan Sekolah Menengah Atas Triguna Utama UIN Syarif Hidayatullah Jakarta pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tahun 2021.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti beberapa organisasi. Pada Tahun 2021 penulis menjadi anggota magang Biro Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi). Tahun 2022 penulis menjadi anggota Biro Dana dan Usaha Himafi. Selanjutnya Tahun 2023 penulis menjadi Ketua Biro Dana dan Usaha Himafi. Penulis melaksanakan pengabdian masyarakat dengan mengikuti acara Karya Wisata Ilmiah (KWI) di Desa Tambah Dadi, Kec. Purbolinggo, Kab. Lampung Timur pada tahun 2021 dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Sripindowo, Kec. Bandar Sribhawono, Kab. Lampung Timur pada tahun 2024. Selanjutnya penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Lampung pada tahun 2024. Penulis juga menjadi asisten praktikum Pemrograman Komputer dan menjadi asisten praktikum Pendidikan Agama Islam pada tahun 2024.

MOTTO

“Kelak kamu akan ingat kepada apa yang Kukatakan kepada kamu. Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sesungguhnya Allah Maha melihat akan hamba-hamba-Nya”

(Q.S. Al-Mu'min: 44)

“Janganlah kamu berangan-angan (iri hati) terhadap apa yang telah dilebihkan Allah kepada sebagian kamu atas sebagian yang lain. Bagi laki-laki ada bagian dari apa yang mereka usahakan dan bagi perempuan (pun) ada bagian dari apa yang mereka usahakan”

(Q.S. An-Nisa: 32)

“Tetapkan tujuan, tantang diri Anda, dan capai tujuan tersebut. Hiduplah dengan sehat dan hitunglah setiap waktu yang Anda miliki. Bangkitlah mengatasi rintangan dan focus pada hal yang positif”

(Galipat Wijaya)

“Pada dasarnya takdir Allah itu selalu baik, walau terkadang perlu air mata untuk menerimanya”

(Umar bin Khattab)

“Jika tidak bisa menjadi yang pertama usahakan jangan jadi yang terakhir”

(Galipat Wijaya)

“Sesuatu yang tidak diubah berarti itu pilihanmu”

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala

Karya ini saya persembahkan untuk Ayah tercinta yang telah mengusahakan segalanya untuk anaknya

Bapak Kaman

Ibu saya tercibta

Ibu Koyimah

Sumber kekuatan dalam hidup saya. Terima kasih yang sebesar-besarnya sudah membuat anak-anakmu kuat sampai sekarang, sehingga anakmu bisa menyelesaikan pendidikan S1 ini. Terima kasih aku ucapkan atas pengorbanan, kesabaran dan kasih sayang dalam membimbing, mendidik, dan menyemangati dengan do'a yang tiada kesudahan. Terima kasih aku ucapkan tiada hentinya.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Voltase dan Waktu tahan terhadap rendemen magnesium hidroksida dari air bittern Bleduk Kuwu – Grobongan Jawa Tengah menggunakan sistem elektrolisa”. Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik dan sempurna.

Bandar Lampung, 02 September 2025

Penulis

Galipat Wijaya

SANWACANA

Puji dan puja syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan nikmat iman, nikmat sehat dan nikmat islam sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Voltase dan Waktu tahan terhadap rendemen magnesium hidroksida dari air bittern Bleduk Kuwu – Grobongan Jawa Tengah menggunakan sistem elektrolisa”**. Dengan kerendahan hati dan ketulusan hati, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak serta mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku Pembimbing Utama yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta nasehat dan ilmu yang bermanfaat selama penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Dr. Sudibyso, S.T., M.Si. selaku Pembimbing Kedua yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran dan motivasi, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah berkenan senantiasa memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian penulisan skripsi.
4. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberi nasihat dan juga motivasi selama menempuh pendidikan di Jurusan Fisika.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

6. Orang tua, Kakak, Adik, serta seluruh keluarga besar dan teman-teman tercinta yang telah mendoakan serta selalu memberikan motivasi dan dorongan kepada penulis dalam pelaksanaan penelitian.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan doa, motivasi, bantuan moril maupun materil kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penulisan yang lebih baik kedepannya, atas segala kekurangannya penulis mohon maaf sebesar-besarnya. Semoga Allah SWT. Senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak sehingga skripsi ini dapat selesai.

Bandar Lampung, 02 September 2025

Galipat Wijaya

NPM. 2117041001

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Tua (Bittern)	5
2.2 Magnesium Hidroksida (Mg(OH) ₂)	7
2.3 Elektrokimia	8
2.4 Karakterisasi Material	11
2.4.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	11
2.4.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	12
2.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	15
III. METODE PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.2.1 Alat-Alat	17
3.2.2 Bahan-Bahan	17
3.3 Prosedur Penelitian dan Desain Alat	18
3.3.1 Pembuatan Jembatan Garam	18
3.3.2 Konstruksi Alat	19
3.3.3. Elektrolisis Larutan Standar Mg ²⁺	19
3.3.4 Elektrolisis Larutan Bittern	19
3.3.4.1 Percobaan dengan Bittern Tanpa Pengenceran	19
3.3.4.2 Percobaan PengaruhPencucian	20
3.3.4.3 Penelitian dengan PengenceranBittern	20
3.3.4.4 Penentuan Waktu Optimum Elektrolisis	20

3.3.5 Karakterisasi Mg(OH) ₂	20
3.3.5.1 Karakterisasi dengan XRF	20
3.3.5.2 Karakterisasi dengan XRD	21
3.3.5.3 Karakterisasi dengan SEM	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pembuatan Jembatan Garam dan Konstruksi Alat	23
4.2 Hasil Pembuatan Larutan Elektrolisis Mg ²⁺	24
4.2.1 Hasil karakterisasi XRF analisis unsur padatan larutan Mg ²⁺ Terhadap Tegangan	26
4.2.2 Hasil karakterisasi XRF analisis unsur padatan larutan Mg ²⁺ Terhadap Waktu	28
4.2.3 Data variabel proses elektrolisis dan visualisasi hasil hasil	29
4.3 Hasil Pembuatan Larutan Elektrolisis Bittren	30
4.4 Penentuan Waktu Optimum Elektrolisis	32
4.5 Karakterisasi Mg(OH) ₂	33
4.5.1 Hasil Karakterisasi XRD pada sampel Mg(OH) ₂	33
4.5.2. Hasil Analisis Kualitatif XRD Sampel Mg(OH) ₂	33
4.5.3. Hasil Analisis Kuantitatif XRD Sampel Mg(OH) ₂	38
4.5.4 Hasil Karakterisasi SEM dan EDS Pada Sampel Mg(OH) ₂	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Hasil analisis unsur padatan elektrolisis larutan Mg^{2+} dengan XRF.....	27
4.2 Nilai konversi yang diperoleh dari larutan Mg^{2+} potensial beda	27
4.3 Data uji komposisi oksida pada sampel $Mg(OH)_2$ tegangan 20 volt	28
4.4 Data uji komposisi oksida pada sampel $Mg(OH)_2$ tegangan 40 volt	28
4.5 Data uji komposisi oksida pada sampel $Mg(OH)_2$ tegangan 60 volt.....	28
4.6 Data uji komposisi oksida pada sampel $Mg(OH)_2$ tegangan 80 volt.....	29
4.7 Hasil dari sebuah 2 kompartemen	30
4.8 Hasil analisis kadar unsur dalam bittern	30
4.9 Hasil XFR analisis unsur $Mg(OH)_2$ pada waktu 6 jam	31
4.10 Rendemen elektrolisis <i>bittern</i> dengan waktu tahan 6 jam	31
4.11 Hasil penentuan waktu optimum dengan tegangan 60 volt	32
4.12 Δd hasil perbandingan data observasi fasa $Mg(OH)_2$	35
4.13 Δd hasil perbandingan data observasi dengan data referensi	36
4.14 Puncak-puncak difraktogram acuan unsur padatan $Mg(OH)_2$	37
4.15 Data kristalografi $Mg(OH)_2$ sampel 60 volt, waktu tahan 6 jam	40
4.16 Persentase fasa $Mg(OH)_2$ dalam persen berat (%).....	40
4.17 Komposisi kimia sampel $Mg(OH)_2$ terhadap waktu 6 jam.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur kristal Mg(OH) ₂	8
2.2 Alat XRF dan bagian-bagiannya	11
2.3 Skema dasar XRD	13
2.4 Skema hukum bragg	14
2.5 Skema alat SEM	16
3.1 Diagram alir penelitian	18
3.2 Sel elektrolisis 2-kompartemen	19
4.1 Perangkat alat elektrolisis	24
4.2 Hasil larutan elektrolisis Mg ²⁺	25
4.3 Hasil XRD sampel padatan Mg(OH) ₂	34
4.4 Tampilan hasil analisis kualitatif	36
4.5 Hasil Rietveld sampel padatan Mg(OH) ₂	39
4.6 Mikrograf hasil analisis SEM padatan Mg(OH) ₂	41
4.7 Mikrograf hasil analisis SEM padatan MgO perbesaran (A) 1 kx	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia dengan potensi kelautan yang sangat besar. Luas wilayah laut Indonesia diperkirakan mencapai 5,80 juta km², yang terdiri dari 0,30 juta km² perairan teritorial, 2,80 juta km² perairan pedalaman dan kepulauan, serta 2,70 juta km² Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) (Kurnia *et al.*, 2016). Dengan jumlah pulau yang melebihi 17.500, keanekaragaman hayati laut dan kekayaan sumber daya kelautan dikategorikan sangat tinggi. Panjang garis pantai yang mencapai sekitar 99.090 km memberikan akses strategis terhadap potensi perikanan, minyak dan gas bumi, mineral laut, serta energi terbarukan. Sumber daya ini dinilai sangat melimpah dan memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan energi nasional serta pembangunan ekonomi. Namun, sebagian besar dari kekayaan ini belum dimanfaatkan secara maksimal karena masih terbatas pada sektor-sektor tradisional dan minim penerapan teknologi canggih.

Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya kelautan perlu dilakukan secara bijak dan berkelanjutan berbasis ilmu pengetahuan, inovasi, serta perlindungan ekosistem laut. Penerapan kebijakan maritim terpadu dan pengembangan industri berbasis ekonomi biru menjadi strategi utama yang didukung teknologi seperti pemetaan laut, pemantauan satelit, dan pengolahan data. Dengan demikian, eksplorasi dapat dilakukan secara lebih efisien, adaptif, dan ramah lingkungan. Sinergi antara pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat menjadi kunci keberhasilan dalam mengoptimalkan potensi maritim Indonesia. Upaya ini diharapkan mampu memberikan kontribusi besar bagi kesejahteraan masyarakat serta pembangunan nasional berkelanjutan (Siswanto and Rosdaniah, 2023).

Magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) merupakan senyawa anorganik multifungsi yang banyak dimanfaatkan di berbagai sektor, mulai dari industri kertas sebagai bahan pengisi untuk meningkatkan kualitas produk, bahan refraktori pada aplikasi bersuhu tinggi, hingga bidang pangan dalam pemurnian gula dan pengeringan makanan. Senyawa ini juga berperan penting di sektor energi, khususnya dalam pemisahan dan pemurnian unsur radioaktif seperti uranium, serta dikenal ramah lingkungan karena stabil secara kimia maupun fisika, mampu bertindak sebagai agen penetral dan adsorben, sehingga potensial untuk dikembangkan lebih lanjut melalui inovasi teknologi guna mendukung kebutuhan berbagai industri strategis (Hasnat *et al.*, 2023).

Penelitian mengenai sintesis magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) terus dilakukan untuk memperoleh kristal dengan kualitas optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.*, (2023) dapat menunjukkan bahwa adanya sintesis magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) yang sangat dipengaruhi oleh parameter proses, terutama waktu pendinginan dan kecepatan pengadukan. Kondisi optimum dicapai pada pengadukan 500 rpm selama 240 menit, menghasilkan kristal dengan keteraturan struktur lebih baik. Proses kristalisasi melalui pemanasan, penguapan vakum, dan pendinginan dirancang untuk mempercepat pembentukan kristal, di mana kontrol parameter sangat menentukan kualitas produk. Temuan ini membuka peluang pengembangan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ sebagai nanomaterial fungsional untuk aplikasi industri dan lingkungan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dilakukan suatu Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh voltase dan waktu tahan terhadap rendemen magnesium hidroksida dari air bittern Bleduk Kuwu, Grobogan, Jawa Tengah melalui proses elektrolisis pada suhu tetap $100\text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi waktu 6–10 jam, guna menentukan kondisi optimum berdasarkan beda potensial, waktu proses, dan konsentrasi larutan elektrolit. Karakterisasi dilakukan secara terpadu menggunakan XRF untuk analisis kandungan unsur kimia, XRD untuk identifikasi struktur kristal, fasa, dan ukuran kristal, serta SEM-EDS untuk mengamati morfologi permukaan, aglomerasi partikel, dan distribusi unsur.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variabel voltase dan waktu lama operasi terhadap kemurnian $Mg(OH)_2$ yang dapat dihasilkan dari air *bittern* menggunakan metode elektrokimia?
2. Bagaimana cara mengetahui suatu hasil kondisi optimum pada pembuatan $Mg(OH)_2$ dari air *bittern* menggunakan metode elektrolisis?
3. Bagaimana cara menganalisis sifat kimia, fisika dan morfologi magnesium hidroksida yang dihasilkan menggunakan XRF, XRD dan FESEM EDS?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variabel voltase dan waktu lama operasi terhadap kemurnian $Mg(OH)_2$ yang dapat dihasilkan dari air *bittern* menggunakan metode elektrokimia.
2. Mengetahui suatu hasil kondisi optimum pada pembuatan $Mg(OH)_2$ dari air *bittern* menggunakan metode elektrolisis.
3. Menganalisis sifat kimia, fisika dan morfologi magnesium hidroksida yang dihasilkan menggunakan XRF, XRD dan FESEM EDS

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu elektrolisis kemurnian $Mg(OH)_2$ selama 6 jam, 7 jam, 8 jam, 9 jam dan 10 jam.
2. Voltase elektrolisis kemurnian $Mg(OH)_2$ dengan 20volt, 40volt, 60volt dan 80 volt
3. Analisis struktur, morfologi dan komposisi unsur melalui karakterisasi XRF, XRD dan FESEM EDS
4. Pengaruh uji voltase dan waktu tahan rendemen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh voltase dan waktu tahan terhadap rendemen pada pembuatan magnesium hidroksida dari air bittern.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan IPTEK pembuatan magnesium hidroksida secara elektrolisis sekaligus menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di bidang Fisika Material FMIPA Unila.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tua (Bittern)

Air tua atau bittern merupakan limbah utama dari proses produksi garam rakyat yang dihasilkan setelah kristal natrium klorida (NaCl) mengendap dan dipisahkan. Jumlahnya sangat besar, dengan estimasi tiga kali lebih banyak dibandingkan garam yang diperoleh dalam satu musim panen (Bagastyo and Anggrainy, 2021). Jika tidak dikelola dengan baik, volume bittern yang besar ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan menjadi beban serius dalam pengelolaan limbah. Selain berpotensi mencemari lingkungan, pembuangan bittern secara langsung juga menyebabkan hilangnya sumber daya yang sebenarnya masih memiliki nilai ekonomis. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan yang efektif dan efisien agar bittern dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku alternatif, sehingga tidak hanya dipandang sebagai limbah, tetapi juga sebagai sumber daya yang bernilai guna.

Penelitian ini yang dilakukan oleh Luong *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa bittern masih mengandung magnesium, kalium, dan elemen lain dalam konsentrasi tinggi yang berpotensi dimanfaatkan kembali melalui teknologi seperti pemisahan elektrokimia atau presipitasi selektif untuk menghasilkan senyawa bernilai ekonomi; upaya ini sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular karena menjadikan limbah sebagai sumber daya sekunder, sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan, ketergantungan pada sumber daya primer, serta membuka peluang pemanfaatan industri, sehingga pengembangan teknologi pengolahan bittern yang efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis menjadi sangat penting bagi pengelolaan limbah garam berkelanjutan di masa depan.

Pemanfaatan bittern diarahkan untuk dihasilkan sebagai produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi, sehingga peluang peningkatan pendapatan bagi petani garam dapat dibuka secara lebih luas. Melalui pendekatan ini, bittern tidak lagi dianggap semata-mata sebagai limbah, melainkan telah mulai diposisikan sebagai bahan baku alternatif yang potensial untuk dikonversi menjadi sumber daya yang bernilai. Salah satu karakteristik unggul dari bittern adalah kandungan ion mineralnya yang tinggi, seperti magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), dan kalsium (Ca^{2+}), yang dapat diekstraksi melalui proses-proses kimia tertentu dan dikembangkan menjadi berbagai produk turunan bernilai tinggi. Produk-produk tersebut meliputi magnesium hidroksida [$Mg(OH)_2$], pupuk cair berbasis mineral, hingga bahan kimia untuk keperluan industri. Melalui proses ekstraksi dan konversi yang telah dikembangkan secara ilmiah, kandungan mineral dalam bittern dapat dimurnikan, sehingga efisiensi pemanfaatannya dapat ditingkatkan dan kualitas produknya dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar (Rohmania *et al.*, 2024).

Salah satu metode pemurnian yang umum digunakan adalah metode pengendapan dengan penambahan bahan pengikat pengotor atau precipitating agent, yang berfungsi untuk mengikat dan mengendapkan ion pengotor sehingga dapat dipisahkan dari larutan. Dalam proses ini, ion-ion pengganggu akan bereaksi dengan bahan pengikat dan membentuk senyawa yang tidak larut dalam air, sehingga dapat dengan mudah disaring atau diendapkan. Melalui pendekatan ini, kadar kemurnian garam dapat ditingkatkan secara signifikan, sehingga menghasilkan garam berkualitas tinggi yang sesuai untuk konsumsi maupun keperluan industri. Pemurnian ini juga penting dilakukan untuk menghindari kerusakan pada peralatan industri serta memenuhi standar mutu nasional. Dengan penerapan teknik pemurnian yang tepat, kualitas produk garam rakyat dapat ditingkatkan, sekaligus mendukung produktivitas dan nilai jual yang lebih tinggi di pasar (Rohmania *et al.*, 2024).

Selain digunakan dalam sektor pertanian, Air tua tidak hanya dimanfaatkan di sektor pertanian, tetapi juga telah diterapkan di berbagai industri seperti pakan ternak, sistem pemanas, pigmen cat dan pernis, baja, farmasi, hingga produksi pupuk, di mana kandungan mineralnya dapat diekstraksi dan dimurnikan menjadi

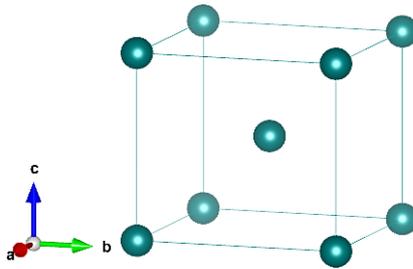
produk bernilai ekonomi; penelitian Sutiyono (2006) menegaskan bahwa pengolahan bittern secara berkelanjutan dapat memasukkannya ke dalam rantai pasok industri nasional sebagai pengganti bahan baku impor, sehingga selain mengurangi pencemaran lingkungan juga menekan ketergantungan pada sumber daya mineral primer, sekaligus mendukung konsep ekonomi sirkular, efisiensi sumber daya, dan keberlanjutan industri di masa depan.

2.2 Magnesium Hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)

Magnesium merupakan unsur alkali tanah yang melimpah di alam, terutama dalam bentuk senyawa stabil seperti MgCO_3 , MgCl_2 , dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dengan magnesium hidroksida dikenal luas karena sifatnya yang stabil, tidak toksik, serta memiliki banyak aplikasi industri dan lingkungan, mulai dari penetral asam, penyerap logam berat, hingga retardan api, sehingga pemanfaatannya mendukung konsep teknologi bersih karena tidak menghasilkan produk samping berbahaya dan dapat menggantikan senyawa kimia yang korosif maupun berisiko bagi lingkungan.

Keunggulan utama magnesium terletak pada kombinasi sifatnya yang ringan, kuat, mudah dibentuk, serta ramah lingkungan, menjadikannya logam strategis untuk berbagai aplikasi. Di alam, magnesium tidak ditemukan dalam bentuk murni, melainkan dalam mineral stabil seperti dolomit, magnesit, serta terlarut dalam air laut, yang kemudian diekstraksi melalui proses kompleks pemisahan mineral. Setelah diperoleh, magnesium menunjukkan sifat kimia khas, yakni sangat reaktif, mudah terbakar dengan titik nyala rendah, dan mampu membentuk senyawa penting seperti magnesium oksida (MgO) dan magnesium hidroksida [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] yang luas penggunaannya di industri kimia, lingkungan, dan manufaktur (Patnaik, 2002). Secara kristalografi, struktur atom magnesium dapat dimodelkan dalam sistem triklinik menggunakan perangkat lunak VESTA sebagaimana dilaporkan oleh Patel *et al.*, (2019), yang memperlihatkan keteraturan kisi atom logam ini

Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur Kristal $\text{Mg}(\text{OH})_2$

Magnesium hidroksida [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] banyak digunakan sebagai flame retardant ramah lingkungan karena tidak mengandung halogen maupun logam berat, sehingga lebih aman dibanding retardant berbasis antimon atau senyawa terhalogenasi yang meski efektif, menghasilkan uap korosif dan senyawa toksik saat terdegradasi; mekanisme kerjanya adalah melepaskan uap air pada suhu tinggi yang menurunkan suhu permukaan, memperlambat penyebaran api, serta menekan gas mudah terbakar, sehingga menjadikannya pilihan unggul untuk aplikasi pada elektronik, tekstil, dan plastik sebagai pengganti retardant konvensional yang berisiko bagi lingkungan dan Kesehatan (Ren *et al.*, 2016).

Magnesium hidroksida memiliki karakteristik ideal sebagai flame retardant bebas halogen karena mampu melepaskan uap air saat terpapar suhu tinggi, yang menyerap panas, mendinginkan permukaan, serta memperlambat pembakaran sambil terdekomposisi menjadi magnesium oksida (MgO) dan uap air, sehingga menekan gas mudah terbakar dan pertumbuhan api, sifat ini menjadikannya banyak digunakan pada kabel listrik, komponen otomotif, dan bahan bangunan, dengan produk $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Hikmiyah *et al.*, 2021).

2.3 Elektrokimia

Elektrolisis merupakan salah satu metode elektrokimia yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari pemurnian logam, pelapisan elektro, hingga produksi senyawa kimia tertentu. Dalam konteks pemanfaatan air laut sebagai bahan baku, elektrolisis menjadi salah satu teknik potensial untuk menghasilkan energi alternatif maupun senyawa bernilai ekonomi tinggi seperti gas hidrogen dan magnesium hidroksida. Air laut yang memiliki kandungan elektrolit tinggi memberikan keuntungan dalam konduktivitas listrik, namun juga

menghadirkan tantangan seperti korosi elektroda akibat tingginya kandungan ion klorida (Cl^-). Dengan karakteristik ionik yang kompleks, air laut menjadi media yang sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut dalam penerapan elektrolisis berskala besar.

Pada penelitian ini yang telah dilakukan oleh Aziz *et al.*, (2022) mengenai elektrolisis air laut untuk produksi hidrogen ditunjukkan bahwa efisiensi dan ketahanan sangat dipengaruhi oleh material elektroda, di mana elektroda berbahan tembaga digambarkan memiliki stabilitas dan daya tahan lebih baik dibandingkan elektroda berbahan aluminium, sedangkan perbedaan performa tersebut dijelaskan sebagai akibat dari pengaruh faktor korosi, polaritas, struktur kristal, serta afinitas ionik pada permukaan elektroda yang secara langsung memengaruhi laju reaksi elektrokimia.

Selain studi lokal, penelitian global turut memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem elektrolisis berbasis air laut. Zhao *et al.*, (2023) melakukan pengembangan strategi desain elektroda tahan korosi dalam elektrolisis air laut dengan fokus pada penerapan lapisan pelindung polianion (polyanion layer) yang bertujuan untuk mencegah penetrasi ion Cl^- ke permukaan elektroda. Studi ini menyoroti pentingnya desain struktural dan kimiawi elektroda dalam mencegah degradasi jangka panjang yang disebabkan oleh reaksi redoks dan serangan ion agresif seperti klorida. Penelitian Zhao dan rekan-rekannya berhasil menunjukkan bahwa penggunaan elektroda dengan pelindung khusus dapat memperpanjang umur pakai dan meningkatkan efisiensi elektrolisis.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Xin *et al.*, (2024) memberikan pendekatan pada peningkatan efisiensi reaksi elektrokimia dalam elektrolisis air laut melalui modifikasi elektroda berbasis nikel (Ni). Perhatian dalam penelitian tersebut difokuskan pada bagaimana rekayasa struktur dan permukaan elektroda mampu meningkatkan aktivitas serta stabilitas elektrokatalitik dalam jangka panjang. Untuk mencapai tujuan tersebut, elektroda berbasis nikel dimodifikasi dengan penambahan material aktif seperti molibdenum, kobalt, dan logam transisi lainnya, sehingga diperoleh peningkatan jumlah situs aktif pada permukaan elektroda,

perbaikan konduktivitas, serta penguatan ketahanan terhadap korosi. Dengan adanya modifikasi tersebut, kinerja sistem elektrolisis air laut dapat ditingkatkan tidak hanya dari segi efisiensi reaksi elektrokimia, tetapi juga dari segi keandalan dan umur pakai elektroda, sehingga teknologi ini berpotensi lebih aplikatif dalam produksi hidrogen skala besar.

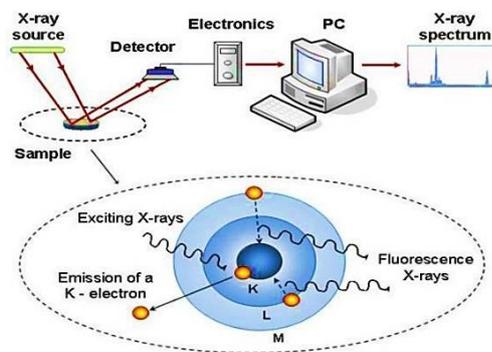
Studi lainnya yang dilakukan oleh Nurdin and Sari (2023) menyoroti pengaruh variasi tegangan dan jarak antar elektroda terhadap efisiensi elektrolisis air laut. Mereka mengamati bahwa peningkatan tegangan dapat mempercepat laju elektrolisis namun juga memperparah laju korosi elektroda. Selain itu, jarak antar elektroda yang terlalu jauh menyebabkan peningkatan resistansi listrik dalam larutan, sehingga menurunkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi dalam pengaturan parameter operasional agar diperoleh efisiensi yang tinggi namun dengan degradasi material yang minimal. Penelitian ini juga menemukan bahwa konfigurasi sel elektrolisis sangat memengaruhi dinamika distribusi ion dalam larutan. Jarak elektroda yang terlalu dekat berpotensi menyebabkan korsleting lokal dan menyebabkan ketidakstabilan sistem, sedangkan jarak yang terlalu jauh mengurangi efektivitas medan listrik dan memperlambat laju reaksi elektrokimia. Optimalisasi jarak, luas permukaan elektroda, serta bentuk geometri sel menjadi pertimbangan penting dalam merancang sistem elektrolisis air laut yang efisien. Kajian ini relevan dalam pengembangan alat elektrolisis berbasis modular dan sistem kontrol otomatis.

Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa tantangan utama dalam elektrolisis air laut meliputi efisiensi energi, ketahanan elektroda, korosi, serta dinamika distribusi ion dalam sistem larutan elektrolit. Dengan demikian, pendekatan interdisipliner menjadi sangat penting. Integrasi antara ilmu material, elektrokinetika, rekayasa proses, dan teknologi pelapisan permukaan diperlukan untuk menghasilkan sistem elektrolisis yang berdaya guna tinggi dan berumur panjang. Dalam skala industri, peran optimasi sistem dan perawatan elektroda menjadi sangat krusial agar investasi teknologi dapat memberikan hasil yang berkelanjutan.

2.4 Karakterisasi Material

2.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

XRF adalah teknik analisis kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan kandungan unsur dalam berbagai bentuk sampel (padat, cair, atau bubuk) dengan prinsip ketika sampel diradiasi sinar-X berenergi tinggi, elektron dari kulit dalam terlepas lalu digantikan elektron dari tingkat energi lebih tinggi, sehingga menghasilkan sinar-X dengan energi karakteristik yang membentuk spektrum; puncak energi pada spektrum ini digunakan untuk mengidentifikasi serta mengukur konsentrasi unsur dalam sampel (Brouwer, 2010). Skema XRF ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Skema XRF (Girard, 2010).

XRF merupakan suatu metode analisis yang berbasis interaksi atom dengan sinar-X berenergi tinggi, di mana elektron dari kulit dalam terlepas dan digantikan oleh elektron dari tingkat energi lebih tinggi sehingga memancarkan radiasi fluoresensi dengan energi spesifik tiap unsur; karakteristik energi ini memungkinkan identifikasi unsur secara kualitatif, sedangkan intensitas radiasi digunakan untuk analisis kuantitatif, sehingga XRF banyak diterapkan pada berbagai material padat maupun serbuk tanpa merusak struktur sampel. Pada tabung sinar-X dalam XRF menghasilkan radiasi yang disaring oleh filter dan diarahkan dengan kolimator sebelum mengenai sampel, lalu sinar fluoresensi yang dipancarkan dipisahkan oleh analyzer crystal menjadi panjang gelombang spesifik untuk identifikasi unsur; metode ini bersifat non-destruktif sehingga mampu menganalisis struktur kimia, mendeteksi logam berat, serta menentukan kandungan mineral tanpa merusak

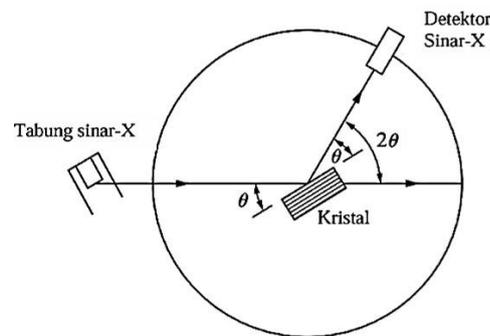
sampel, menjadikannya banyak digunakan dalam penelitian material, lingkungan, dan geologi. (Beckhoff *et al.*, 2006).

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Conrad Röntgen pada tahun 1895 dan sejak saat itu menjadi salah satu penemuan penting dalam bidang sains maupun teknologi, khususnya untuk analisis material. Dalam Teknik XRF, sinar-X dapat digunakan dengan cara menembakkan sinar primer ke permukaan sampel sehingga menyebabkan ionisasi elektron pada kulit dalam atom. Ionisasi tersebut menghasilkan transisi elektron dari kulit luar ke kulit dalam yang kosong, sehingga dilepaskan sinar-X karakteristik dari masing-masing unsur melalui mekanisme yang dikenal sebagai efek fotolistrik. Radiasi karakteristik yang dipancarkan kemudian ditangkap oleh detektor semikonduktor Si(Li) yang didinginkan menggunakan nitrogen cair agar tetap stabil dalam mendeteksi energi. Detektor ini berfungsi merekam spektrum energi setiap unsur secara presisi, kemudian sinyal yang diperoleh diperkuat dan diolah secara digital untuk menghasilkan data kualitatif maupun kuantitatif. Dengan cara ini, XRF mampu memberikan informasi mengenai jenis unsur yang terkandung dalam sampel sekaligus menentukan konsentrasinya dengan tingkat akurasi yang tinggi. (Rousseau, 2001).

2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Teknik difraksi sinar-X (XRD) merupakan metode karakterisasi material kristalin yang banyak digunakan karena mampu memberikan informasi struktural secara detail. Melalui analisis pola difraksi, XRD dapat menentukan parameter kisi, struktur sel satuan, tingkat keteraturan susunan atom, adanya cacat kristal, hingga orientasi butir. Hukum Bragg menjadi dasar dalam interpretasi data difraksi, di mana sinar-X yang berinteraksi dengan bidang kristal tertentu akan dipantulkan pada sudut spesifik sesuai dengan jarak antar bidang atom (jarak d). Informasi ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi jenis kristal, mengukur ukuran butir, serta menilai keberhasilan suatu proses sintesis material. Oleh karena itu, teknik ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, termasuk ilmu material, kimia, farmasi, metalurgi, dan nanoteknologi.

Prinsip kerja XRD dimulai dengan penghasilan sinar-X dari tabung sinar-X yang diarahkan ke sampel melalui celah logam khusus agar tetap sejajar. Sinar tersebut kemudian terdifraksi oleh bidang kristal dalam material, dan berkas yang terpantul diarahkan melalui celah antihambur untuk meminimalkan radiasi latar serta meningkatkan akurasi sinyal. Selanjutnya, sinar difraksi diterima detektor yang merekam intensitas pada berbagai sudut 2θ . Data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik intensitas terhadap sudut, di mana posisi puncak menunjukkan bidang kristal tertentu, sedangkan tinggi puncak mencerminkan jumlah foton yang terdeteksi. Dengan demikian, pola difraksi yang dihasilkan mampu merepresentasikan struktur internal material, termasuk ukuran partikel dan sifat kristalnya (Bijić et al., 2018), yang ditampilkan dalam bentuk pola difraksi seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.3**.

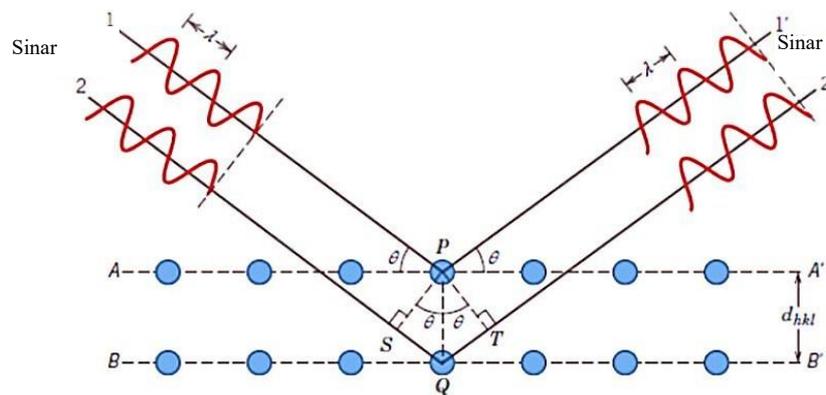


Gambar 2. 3 Skema dasar XRD (Cullity, 1978).

Analisis XRD pada dasarnya terdiri dari tiga tahap utama, yaitu persiapan sampel, akuisisi data, dan analisis data. Pada tahap persiapan, sampel umumnya digiling menjadi serbuk halus untuk memastikan sifatnya homogen dan mampu merepresentasikan keseluruhan material. Serbuk ini kemudian diposisikan pada holder agar sinar-X dapat menembus atau dipantulkan dengan baik. Dalam beberapa kasus, kristal dipotong atau dibelah pada bidang tertentu dengan jarak antar bidang yang sudah diketahui sehingga sesuai dengan hukum Bragg. Penempatan yang tepat sangat penting karena orientasi kristal terhadap sinar datang akan menentukan pola difraksi yang terbentuk.

Selanjutnya, dalam tahap akuisisi data, tabung sinar-X menghasilkan berkas radiasi yang diarahkan ke sampel pada sudut tertentu. Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan didifraksi dan dipantulkan, lalu ditangkap oleh detektor sinar-X. Saat

sampel dan detektor berputar secara sinkron, intensitas sinar pantul direkam pada berbagai sudut 2θ . Apabila kondisi hukum Bragg terpenuhi, yaitu terjadi kesesuaian antara panjang gelombang sinar-X, jarak antar bidang kristal, dan sudut datang sinar, maka akan muncul puncak intensitas pada pola difraksi. Data ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi parameter kristal, jenis fase, serta sifat struktur material, sebagaimana digambarkan dalam skema hukum Bragg pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Skema hukum Bragg (Cullity, 1978).

Metode difraksi sinar-X (XRD) tidak hanya berguna untuk mengidentifikasi struktur kristal dan fase material, tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk menghitung ukuran kristalit pada suatu fase tertentu. Ukuran kristalit ini ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi pada pola difraktogram. Pendekatan yang paling umum digunakan adalah persamaan Scherrer, yang menghubungkan lebar penuh pada setengah maksimum (FWHM) puncak difraksi dengan ukuran rata-rata kristalit. Persamaan ini sederhana dan efektif untuk material yang relatif tidak mengalami regangan atau cacat kristal signifikan. Dengan mengetahui sudut difraksi, panjang gelombang sinar-X, dan nilai pelebaran puncak, ukuran kristalit dapat dihitung dengan cukup akurat, terutama untuk material berukuran nano.

Selain metode Scherrer, pendekatan lain seperti metode Williamson-Hall sering digunakan untuk mendapatkan informasi yang lebih komprehensif. Metode ini tidak hanya mempertimbangkan pelebaran puncak akibat ukuran kristalit kecil, tetapi juga akibat adanya regangan kisi (lattice strain) pada material. Dengan melakukan analisis grafik antara pelebaran puncak dan sudut difraksi, dapat

dipisahkan kontribusi pelebaran yang berasal dari ukuran kristalit dan dari regangan. Hal ini menjadikan metode Williamson-Hall lebih akurat untuk material yang mengalami deformasi atau memiliki cacat struktur. Dengan demikian, kombinasi metode Scherrer dan Williamson-Hall memungkinkan peneliti memperoleh gambaran lebih detail mengenai sifat mikroskopis suatu material, baik dari segi ukuran kristalit maupun kondisi tegangan internalnya.

2.4.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan mikroskop elektron beresolusi tinggi yang bekerja dengan menembakkan berkas elektron ke permukaan sampel, di mana citra diperoleh dari deteksi elektron sekunder yang dipancarkan dari permukaan dengan energi sekitar 5–50 keV untuk memberikan informasi morfologi, serta elektron hamburan balik yang berasal dari bagian lebih dalam sampel dan mencerminkan komposisi karena unsur berat memantulkan lebih banyak elektron sehingga tampak lebih cerah; kemampuan SEM dalam memindai area luas memungkinkan analisis kuantitatif seperti pengukuran objek, distribusi ukuran, dan statistik morfologi permukaan material secara detail. (Li, 2002).

Struktur dasar dari sistem SEM ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu pemindai, penyaji gambar, dan pendukung, di mana electron gun menghasilkan berkas elektron yang difokuskan oleh lensa magnetik serta diarahkan menggunakan scanning coils ke permukaan sampel pada meja spesimen, lalu interaksinya dengan atom menghasilkan sinyal berupa secondary electron dan backscattered electron yang ditangkap detektor; sinyal tersebut kemudian diproses oleh sistem penyaji gambar menjadi data visual maupun numerik, sementara komponen pendukung menjaga stabilitas operasi sehingga pemindaian dan pencitraan material dapat dilakukan secara efisien dan akurat. Komponen pemindai sampel dan komponen penyajian gambar seperti terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Skema Alat SEM

Pengolahan sinyal pada SEM dilakukan melalui sistem penyaji gambar dan data yang terdiri atas amplifier untuk memperkuat sinyal dari detektor, prosesor untuk mengubah sinyal menjadi data visual, serta monitor sebagai media tampilan hasil berupa citra maupun data kuantitatif. Adapun kinerja sistem ini yaitu didukung oleh komponen pendukung seperti catu daya yang menjaga kestabilan operasi, sistem vakum yang mempertahankan tekanan rendah guna mencegah hamburan elektron, serta sistem pendingin untuk menjaga suhu optimal, sehingga keseluruhan komponen bekerja secara terpadu dalam menghasilkan karakterisasi permukaan material yang akurat dan konsisten (Goldstein *et al.*, 2017).

Karakterisasi unsur pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) yang terintegrasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), di mana berkas elektron berenergi tinggi dari electron gun berinteraksi dengan atom sampel hingga menghasilkan sinar-X karakteristik yang ditangkap detektor dan diolah menjadi spektrum energi; melalui identifikasi puncak energi dilakukan analisis kualitatif jenis unsur, sedangkan intensitas puncak digunakan untuk analisis kuantitatif atau semi-kuantitatif, sehingga SEM-EDS mampu memberikan informasi morfologi, komposisi, serta distribusi unsur secara cepat, akurat, dan non-destruktif untuk melengkapi data citra SEM (Smallman dan Bishop, 1999).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan, dari Agustus 2024 hingga Februari 2025, untuk menjamin keakuratan dan kelengkapan proses, mencakup tahapan studi literatur, perancangan dan persiapan alat serta bahan, pengujian alat, pengambilan dan analisis data, hingga pembuatan laporan. Seluruh kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Non Logam Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN, Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-Alat

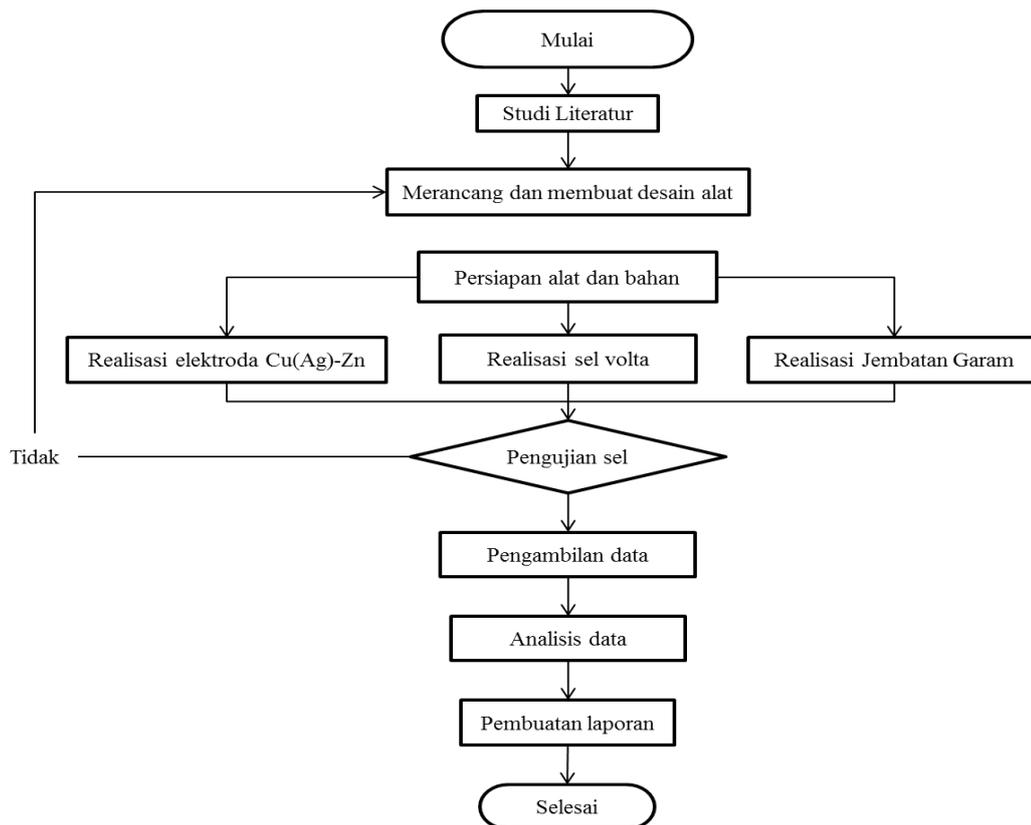
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tabung U (24 cm × 1,5 cm), sentrifuge, hidrometer skala Baume (BE), oven, mortar, neraca analitik digital, spatula, dan peralatan gelas laboratorium umum, serta instrumen canggih seperti ICP Spectro MS, SEM FEI (InspectS50, Belanda), XRD (PANalytical E'xpert Pro, Inggris), XRF (PANalytical Epsilon 3, Perancis), dan PSA NanoTec Plus Analysette 22. Semua peralatan tersebut digunakan untuk mendukung pengambilan data, karakterisasi material, dan analisis kuantitatif maupun kualitatif secara akurat.

3.2.2 Bahan-Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu larutan bittern diperoleh dari tambak garam rakyat di Pamekasan, Madura, yang dikenal memiliki kandungan ion magnesium (Mg^{2+}) cukup tinggi serta ion-ion lain seperti Na^+ , Cl^- , dan SO_4^{2-} , akuades, bubuk agar-agar (swallow, indonesia), dan elektroda grafit dan nikel.

3.3 Prosedur Penelitian dan Desain Alat

Penelitian ini terdiri dari empat tahapan, yakni perancangan alat dan pembuatan jembatan garam, elektrolisis larutan bittern, penentuan waktu optimum elektrolisis, serta pengujian karakterisasi $Mg(OH)_2$ dan pengambilan data, yang secara umum ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

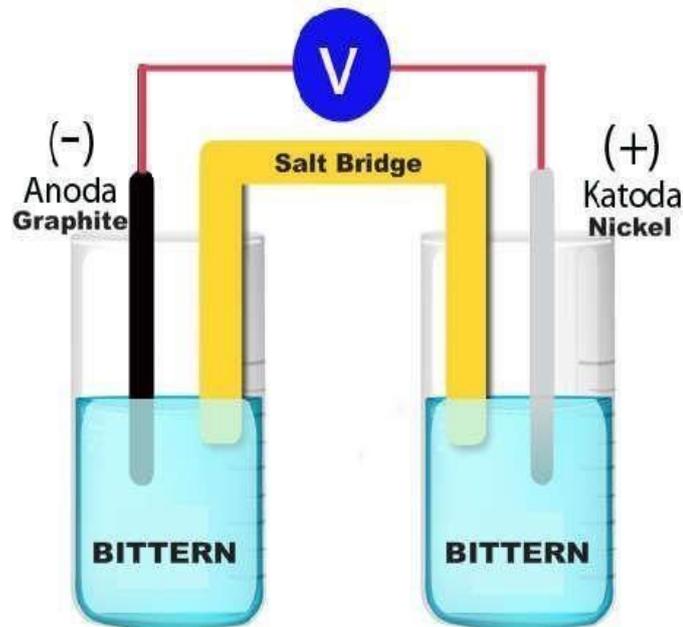
3.3.1 Pembuatan Jembatan Garam

Langkah awal penelitian ini adalah pembuatan jembatan garam dengan mencampurkan larutan NaCl molaritas satu dan bubuk agar-agar sejumlah lima gram, dipanaskan hingga mengental, dimasukkan ke tabung U, dan didinginkan pada suhu kamar hingga membentuk gel.

Adapun tujuan dari pembuatan jembatan garam ini untuk dapat menjaga suatu kenetralan muatan listrik pada larutan.

3.3.2 Konstruksi Alat

Alat elektrolisis dua kompartemen dikonstruksi dengan kompartemen katodik di kanan menggunakan elektroda nikel, kompartemen anodik di kiri menggunakan elektroda grafit, dan jembatan garam di antara kedua kompartemen, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Sel elektrolisis 2-kompartemen

3.3.3. Elektrolisis Larutan Standar Mg^{2+}

Prosedur elektrolisis larutan Mg^{2+} standar dilakukan dengan memasukkan 100 mL larutan 4 % ke kompartemen katodik, dielektrolisis pada potensial 20 hingga 80 V selama 10 jam, larutan katoda didiamkan semalam, endapan dipisahkan melalui sentrifugasi, dikeringkan pada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan serbuk $Mg(OH)_2$ yang diperoleh ditimbang untuk menghitung persen konversi.

3.4 Elektrolisis Larutan Bittern

3.4.1 Percobaan dengan Bittern Tanpa Pengenceran

Sebagai tahap awal, larutan bittern dielektrolisis dalam sel dua kompartemen pada potensial 20 hingga 80 V selama 10 jam, endapan di bagian katoda didiamkan

semalaman, dipisahkan dengan sentrifugasi, dan dikeringkan pada 100 °C sehingga diperoleh serbuk $Mg(OH)_2$ untuk dianalisis.

3.4.2 Percobaan Pengaruh Pencucian

Larutan bittern dielektrolisis dalam sel katodik dan anodik pada potensial 20 hingga 80 V selama 10 jam, kemudian larutan katoda didiamkan semalaman, endapan dipisahkan dengan sentrifugasi, dicuci tiga kali dengan akuades 18 °C, dan dikeringkan pada 100 °C.

3.4.3 Penelitian dengan Pengenceran Bittern

Voltase elektrolisis terbaik diterapkan pada larutan bittern yang diencerkan 2 hingga 8 kali, kemudian dimasukkan ke kompartemen katodik dan anodik, dielektrolisis selama 10 jam, larutan katoda didiamkan semalaman, endapan dipisahkan dengan sentrifugasi, dicuci tiga kali dengan akuades dingin, dan dikeringkan pada 100 °C.

3.4.4 Penentuan Waktu Optimum Elektrolisis

Sebagai tahap awal, Larutan bittern hasil pengenceran terbaik dimasukkan ke sel elektrolisis dua kompartemen untuk penentuan waktu optimum, dielektrolisis pada potensial yang ditetapkan dengan variasi 1 hingga 12 jam, larutan katoda didiamkan semalaman, endapan dipisahkan dengan sentrifugasi, dicuci tiga kali dengan akuades dingin, dan dikeringkan pada 100 °C.

3.5 Karakterisasi $Mg(OH)_2$

3.5.1 Karakterisasi dengan XRF

Analisis XRF dilakukan untuk mengidentifikasi unsur dan senyawa dalam $Mg(OH)_2$ secara kualitatif dan kuantitatif, dengan langkah-langkah uji sebagai berikut:

1. Sampel yang akan diuji disiapkan, apakah sampel tersebut berbentuk serbuk, cair, atau padatan.

2. Sampel diletakkan di dalam sampel holder, sambil memastikan bahwa bagian bawah sampel holder tertutupi seluruhnya oleh sampel karena bagian inilah yang akan ditembaki oleh sinar-X.
3. Setelah sampel siap pada sampel holder, Lid ditutup dan XRF dijalankan menggunakan tombol ON.
4. Analisis akan langsung berjalan dengan menggunakan tombol untuk penyinaran sinar-X, di mana sampel akan dikenai sinar-X untuk beberapa saat.
5. Sinar-X yang mengenai sampel akan diteruskan ke detektor dan selanjutnya unsur-unsur yang terkandung dalam sampel akan dianalisis
6. Hasil pemotretan dilakukan

3.5.2 Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi XRD dilakukan untuk menganalisis struktur kristalografi $Mg(OH)_2$, baik amorf maupun kristalin, dengan sumber radiasi $Cu K\alpha$, dan langkah-langkah analisis dilakukan sebagai berikut:

1. Sampel yang dianalisis disiapkan dan direkatkan pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (sampel *holder*) dengan bantuan malam (lilin perekat).
2. Sampel yang disimpan dipasang pada sampel *holder* kemudian dilekatkan pada sampel *stand* di bagian geniometer.
3. Parameter pengukuran dimasukkan pada *software* pengukuran melalui komputer pengontrol, yaitu meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan scan cuplikan, memberi nama cuplikan dan memberi nomor urut file data.
4. Alat difraktometer dioperasikan dengan perintah “Start” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
5. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut 2θ tertentu dapat dicetak oleh mesin printer.
6. Sampel dari sampel *holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

3.5.3 Karakterisasi dengan SEM

Analisis menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ukuran partikel. Analisis menggunakan SEM ini dilakukan pada sampel padatan yang dihasilkan. Adapun langkahlangkah dalam uji SEM ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang telah dianalisis disiapkan dan direkatkan pada *specimen holder* (*Dolite, double sticky tape*).
2. Sampel yang telah dipasang pada holder kemudian dibersihkan dengan *Hand Blower*.
3. Sampel dimasukkan ke dalam mesin coating untuk diberi lapisan tipis berupa *gold-palladium* selama 4 menit, sehingga lapisan dengan ketebalan 200-400 Å dihasilkan.
4. Sampel dimasukkan ke dalam *Specimen Chamber*.
5. Pengamatan dan pengambilan gambar pada *layer SEM* dilakukan dengan mengatur pembesaran yang diinginkan.
6. Spot untuk analisis pada *layer SEM* ditentukan.
7. Gambar SEM dipotret.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi voltase dan waktu tahan meningkatkan rendemen serta kemurnian $\text{Mg}(\text{OH})_2$ melalui peningkatan laju elektrolisis dan efisiensi reduksi ion Mg^{2+} hingga kondisi optimum, namun hasilnya menurun setelah titik tersebut terlewati.
2. Kondisi optimum ditunjukkan pada tegangan 60 V, pengenceran tiga kali, dan waktu tahan 6 jam, dengan rendemen 85,59% serta kemurnian $\text{Mg}(\text{OH})_2$ sebesar 91,21%.
3. Berdasarkan hasil karakterisasi, kadar Mg sebesar 91% telah teridentifikasi melalui XRF, tiga fase kristal utama dengan ukuran kristalit pada skala nanometer terdeteksi melalui XRD, dan morfologi partikel berbentuk nanosheet berukuran 20–50 nm diamati melalui FESEM.

5.2 SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penggunaan larutan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ hasil elektrolisis air bittern yang dicuci berulang kali dengan air hingga kandungan garam NaCl hilang. Uji kualitatif terhadap keberadaan NaCl dapat dilakukan menggunakan larutan AgNO_3 0,1 N, sedangkan kekeruhan putih menandakan sisa $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzra, S. S., and Pradana, W. B. 2024. Production of struvite fertilizer from salt pond waste (bittern) with the aeration process. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 13(1), 22–29.
- Aziz, F. A., Rustana, C. E., and Fahdiran, R. 2022. Study of lifetime of copper and aluminum electrodes in seawater electrolysis process to produce hydrogen gas. *Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 14(2). 350-360
- Bariyah, K., Suyati, L., and Nuryanto, R. 2020. *Pengaruh kation Fe^{2+} terhadap proses elektrokimiawi magnesium pada model larutan pekatan air laut (bittern)*. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(3), 95–100
- Beckhoff, B., Kanngießler, B., Langhoff, N., Wedell, R., and Wolff, H. (Eds.) 2006. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Springer. Hal. I–XXIV, 1–878.
- Brouwer, P. 2010. Theory of XRF: Getting Acquainted with The Principles. Panalytical BV. Almelo. Amsterdam. Hal: 8-10.
- Cui, Z., Di, Y., Peng, J., Wang, Y., and Feng, N. 2022 *Effect of Polyethylene Glycol on Preparation of Magnesium Hydroxide by Electrodeposition*. *Materials*, 15(9), 3278.
- Cullity, B. D., 1978. *Elements of X-ray Diffraction (2nd ed.)*. Pearson Education Limited: Harlow. Hal: 18-19
- Girard, J.E. 2010. Principles of Environmental Chemistry. Jones and Bartlett Publisher. U.S.A. Hal: 381-382.
- Goldstein, JI, Newbury, DE, Michael, JR, Ritchie, NW, Scott, JHJ, & Joy, DC. 2017. *Mikroskopi elektron pemindaian dan mikroanalisis sinar-X*. Springer.U.S.A. Hal: 265.
- Hasnat, M. R., Hassan, M. K., and Saha, S. 2023. *Flame Retardant Polymer Composite and Recent Inclusion of Magnesium Hydroxide Filler Material: A Bibliometric Analysis towards Further Study Scope*. *Fire*, 6(5): 180.
- Knight, K. S., and Cruickshank, A. 2022. Fundamentals of X-ray diffraction and Bragg's law. *International Journal of Materials Research*, 113(7), 480–492.

- Krishnamurthy, N., Sriramachandrasekharan, V., and Vasudeva Rao, P. R. 1978. *Preparation and properties of high purity magnesium hydroxide*. *Hydrometallurgy*, 3(3), 221–231.
- Kurnia, I., Suparto, R., and Nugroho, H. 2016. *Seeking and evaluating the regulations of Indonesia's Exclusive Economic Zone*. *Mimbar Hukum*, 28(1), 1–15.
- Lalasari, L. H., Amalia, B. R. R., Ulum, R. M., Andriyah, L., Arini, T., and Yunita, F. E. 2023. *The electrolysis technique without a salt bridge to reduce magnesium level and the Mg/Li ratio from brine water at various electrolysis duration*. *Prosiding Konferensi Universitas Indonesia*. 135-150
- Li, Z. R. 2002. *Industrial Applications Of Electron Microscopy*. CRC Press.U.S.A. Hal: 5-8.
- Li, Y., Zhang, T., and Wang, X. 2018. *Precipitation and solubility of magnesium hydroxide: Experimental and modeling study*. *Desalination*, 426, 79–85.
- Luong, N. D., Lee, Y., Hong, S., Nguyen, Q. T., Nguyen, T. P., and Bae, J. 2022. *Magnesium citrate powders from waste bitterns via crystallization and spray drying*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(18), 6446–6454.
- Lu, L., Hua, Q., Tang, J., Liu, Y., Liu, L., and Wang, B. 2018. *Reactive crystallization kinetics of magnesium hydroxide in the $Mg(NO_3)_2$ –NaOH system*. *Crystal Research and Technology*, 53(4), 1700130. 550-570
- Nurdin, M., and Sari, D. R. 2023. *Pengaruh Tegangan dan Jarak Elektroda terhadap Efisiensi Proses Elektrolisis Air Laut*. *Jurnal Rekayasa Energi dan Lingkungan*, 9(1), 35–42.
- Pan, X., Dou, Z., Zhang, T-a., Ren, Y., Lyu, G., Zhang, J., and Han, X. 2018. *Fabrication of $Mg(OH)_2$ by Electrolysis Using $MgCl_2$ Aqueous Solution*. *Magnesium Technology 2018 (TMS)*.
- Patel, A. M., Nørskov, J. K., Persson, K. A., and Montoya, J. H. 2019. *Efficient Pourbaix Diagrams of Many-element Compounds*. *Physical Chemistry Chemical Physics*. Vol. 21. No. 45. Hal: 25323-25327.
- Patnaik, P. 2002. *Handbook of inorganic chemical*. McGraw-Hill. New York. Hal: 529.
- Ren, M., Yang, M., Li, S., Chen, G., and Yuan, Q. 2016. *High throughput preparation of magnesium hydroxide flame retardant via microreaction technology*. *RSC Advances*, 6(113), 111265–111272.
- Rohmania, R., Rohmah, I., Altway, A., and Susianto, H. 2024. *Pra desain pabrik magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$) dari bittern*. *Jurnal Teknik ITS*, 13(1), 1–8.

- Rousseau, R. M. 2001. Detection limits for X-ray fluorescence analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 56(6), 659–682
- Siswanto, N., and Rosdaniah, S. 2023. Driving blue economy for sustainable development: A case of stakeholder collaboration platform development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1234(1), 012345.
- Smallman, R. E., and Bishop, R. J. 1999. *Modern physical metallurgy and materials engineering*. Butterworth-Heinemann. New York. Hal: 159-163.
- Sutiyono. 2006. Pemanfaatan bittern sebagai koagulan alternatif pengolahan limbah cair industri kertas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 5(2), 45–52.
- Vanhoof, C., Bacon, J. R., Fittschen, U. E. A., and Vincze, L. 2020. 2020 Atomic Spectrometry Update – A Review of Advances in X-ray Fluorescence Spectrometry and Its Special Applications. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 35(7), 1704–1719.
- Wang, H. Y., Jiang, Q. C., Li, X. L., & Wang, J. G. 2003. In Situ Synthesis of TiC/Mg Composites in Molten Magnesium. *Scripta Materialia*, Vol. 48. No. 9. Hal: 1349-1354.
- Xin, Y., Hua, Q., Li, C., Zhu, H., Gao, L., Ren, X., and Liu, A. 2024. Enhancing electrochemical performance and corrosion resistance of nickel-based catalysts in seawater electrolysis: focusing on OER and HER. *Journal of Materials Chemistry A*, 12, 23147–23178.
- Yuan, Q., Lu, Z., Zhang, P., Luo, X., Ren, X., and Golden, T. D. 2022 *Computational Modeling of Magnesium Hydroxide Precipitation and Kinetics Parameters Identification*. *Crystal Growth & Design*.
- Zhang, Y., Xia, L., Zhang, L., Li, Y., Feng, Y., and Zhang, J. 2023. *Study on Preparation of Magnesium Hydroxide by Continuous Forced Circulation Process*. *Crystal Research and Technology*, 58(8), hlm. 234–241.
- Zhao, Q., Zhang, L., Liu, Y., and Wang, H. 2021. *Crystallographic analysis of Mg(OH)₂ synthesized from seawater via electrochemical method*. *Journal of Applied Crystallography*, 54(3), 875–882.
- Zhao, W., Liu, X., and Tian, Y. 2021. Facile fabrication of hexagonal Mg(OH)₂ via controlled precipitation in brine. *Journal of Alloys and Compounds*, 872, 159633.