

PRODUKSI MATERIAL MAGNESIUM OKSIDA MENGGUNAKAN PROSES ELEKTROLISIS DENGAN JEMBATAN GARAM VERTIKAL DAN VARIASI JUMLAH ELEKTRODA

*Muhammad Fathur Rohman Basir Nasution¹, Sulisty², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: fr619343@gmail.com

Abstrak

Magnesium oksida (MgO) merupakan material dengan berbagai aplikasi industri, seperti katalis, refraktori, dan adsorben. Salah satu sumber utama magnesium adalah limbah *bittern*, yang kaya akan ion magnesium, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Metode produksi MgO konvensional sering kali memerlukan energi tinggi dan bahan kimia tambahan, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi magnesium oksida (MgO) dari limbah *bittern* melalui proses elektrolisis menggunakan jembatan garam vertikal dengan variasi jumlah elektroda. Proses elektrolisis dilakukan dengan variasi arus listrik dan jumlah elektroda untuk mengoptimalkan pembentukan endapan magnesium hidroksida (Mg(OH)₂), yang kemudian dikalsinasi menjadi MgO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah elektroda berpengaruh signifikan terhadap efisiensi elektrolisis dan rendemen Mg(OH)₂ yang diperoleh. Karakterisasi menggunakan XRF menunjukkan bahwa MgO yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian tinggi. Dengan demikian, metode elektrolisis dengan jembatan garam vertikal dapat menjadi alternatif yang efisien dalam produksi MgO dari limbah *bittern*, sekaligus mendukung pemanfaatan sumber daya yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: *bittern*; elektrolisis; jembatan garam; magnesium oksida; variasi elektroda

Abstract

Magnesium oxide (MgO) is a versatile material with various industrial applications, including catalysis, refractories, and adsorbents. One of the main sources of magnesium is bittern waste, which is rich in magnesium ions but remains underutilized. Conventional MgO production methods often require high energy and additional chemicals, necessitating a more efficient and environmentally friendly approach. This study aims to produce magnesium oxide (MgO) from bittern waste using an electrolysis process with a vertical salt bridge and variations in the number of electrodes. Electrolysis was carried out with different electric currents and electrode quantities to optimize the deposition of magnesium hydroxide (Mg(OH)₂), which was then calcined into MgO. The results indicate that the number of electrodes significantly affects electrolysis efficiency and the yield of Mg(OH)₂ obtained. Characterization using XRF revealed that the produced MgO possesses with high. Thus, the electrolysis method with a vertical salt bridge presents an efficient alternative for MgO production from bittern waste, contributing to a more sustainable resource utilization.

Keywords: *bittern*; electrode variation; electrolysis; magnesium oxide; salt bridge

1. Pendahuluan

Material keramik merupakan salah satu material menarik yang berkembang sangat pesat. Karena berbagai sifat unggulnya, keramik digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri kimia, permesinan, elektronik, dirgantara, dan teknik biomedis. Sifat-sifat yang menjadikannya bahan serba guna meliputi kekuatan dan kekerasan mekanik yang tinggi, stabilitas termal dan kimia yang baik, serta kinerja termal, optik, listrik, dan magnetik yang layak. Komponen keramik pada umumnya dibentuk menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan mulai dari campuran serbuk dengan bahan pengikat dan bahan tambahan lainnya, dengan menggunakan teknologi konvensional antara lain *injection moulding*, *die pressed*, *tape casting*, *gel casting*, dan lain-lain[1].

Salah satu bahan keramik yang mempunyai aplikasi yang luas baik dalam dunia industri maupun penelitian adalah magnesium oksida (MgO). Magnesium oksida memiliki karakter yang sangat unik, antara lain merupakan salah satu jenis bahan keramik yang mempunyai titik lebur yang tinggi, yaitu sekitar 3073 K sehingga bersifat tahan api, permukaan yang kuat, tahan air, kedap suara, anti rayap, tahan terhadap serangan jamur, lumut dan pembusukan. Magnesium oksida juga digunakan pada temperatur refraktori yang tinggi, isolator listrik, pembungkus makanan, kosmetik, dan hal-hal yang berkenaan dengan bidang farmasi[2].

Bittern adalah cairan pekat yang diperoleh dari kristalisasi sisa proses pembuatan garam. *Bittern* mengandung berbagai mineral, baik makromineral maupun mikromineral. Dari sekian banyak mineral yang terkandung dalam *bittern*,

beberapa mineral mempunyai konsentrasi yang tinggi, yaitu Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), dan Kalsium (Ca)[3].

Bittern umumnya selama ini belum banyak dimanfaatkan, sehingga cukup mudah diperoleh dan murah. Limbah *bittern* yang dihasilkan dari proses pembentukan garam (*crude solar salt*) yang melimpah, pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal sehingga perlu dilakukan kajian mendalam dengan menggunakan proses elektrolisis. Melalui proses elektrolisis ini, senyawa $Mg(OH)_2$ dapat diproduksi dari limbah garam.

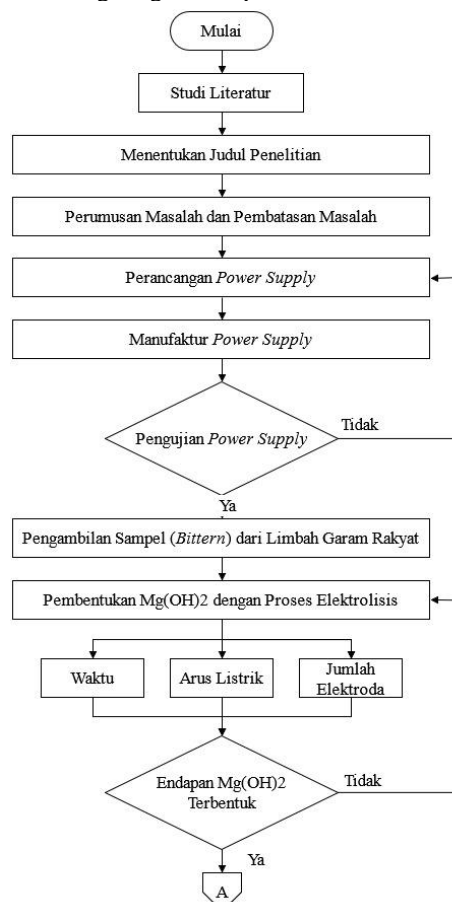
Elektrolisis adalah proses penguraian zat elektrolit menggunakan arus listrik. Artinya, pada proses elektrolisis, energi listrik diubah menjadi energi kimia (reaksi oksidasi-reduksi). Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion H_2 , dan ion negatif akan bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion O_2 atau dikenal dengan generator HHO. Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen[4].

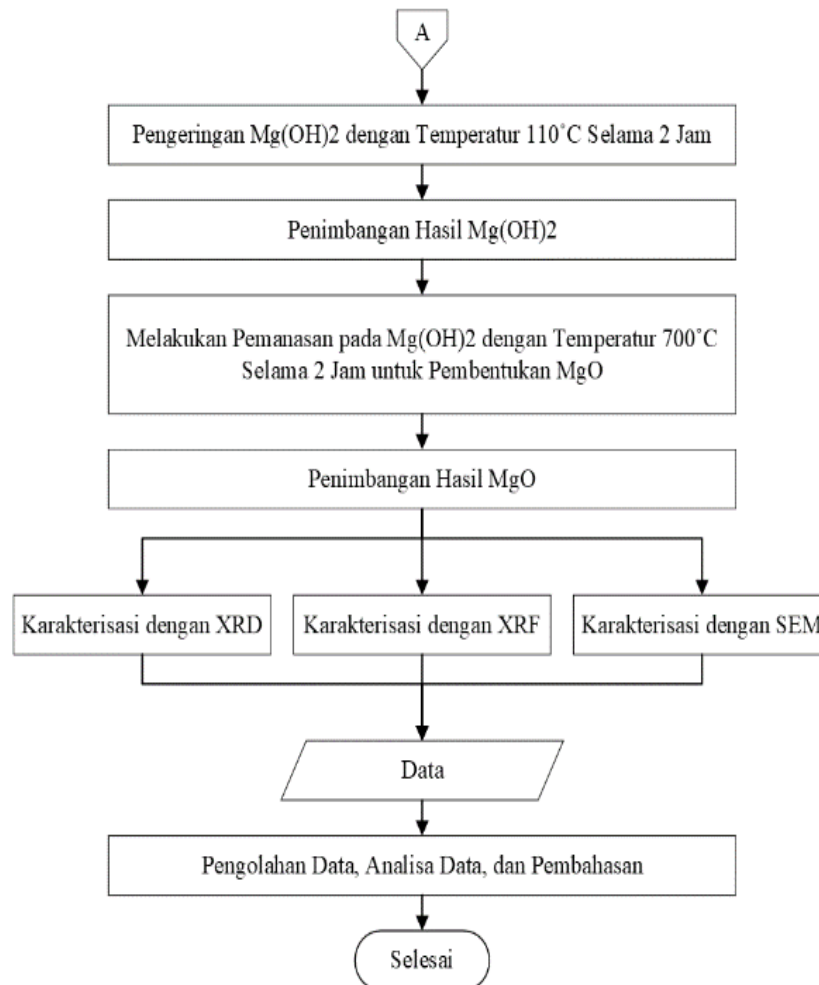
Pada proses elektrolisis, elektroda dialiri arus listrik searah (DC) dan terjadi proses reduksi oksidasi, karena terbentuk senyawa pada elektrolit yang terurai membentuk ion-ion sehingga menghasilkan gas. Proses elektrolisis membutuhkan arus listrik tinggi agar proses reaksi kimia menjadi efektif dan efisien. Apabila kedua kutub elektroda (katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik menyebabkan elektroda timbul gelembung gas[4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi magnesium oksida dengan bahan baku *bittern* dengan cara elektrolisis menggunakan sumber arus listrik DC (*Direct Current*). Perubahan arus listrik akan diamati selama proses elektrolisis. Pengaruh variasi arus listrik, jumlah elektroda, dan lama waktu proses juga diperlukan untuk mengetahui pengaruh arus listrik, waktu, dan jumlah elektroda terhadap endapan $Mg(OH)_2$ yang dihasilkan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Soedarto, S. H. Tembalang, Semarang. Tahap awal penelitian melibatkan studi literatur tentang magnesium oksida (MgO), termasuk sumber dan manfaatnya. Penelitian literatur ini kemudian dilanjutkan dengan mencari sumber magnesium alami, terutama dari air laut. Garam krosok (*crude solar salt*) yang berasal dari air laut akan menghasilkan limbah *bittern*. Limbah *bittern* memiliki kandungan magnesium yang lebih tinggi dibandingkan air laut karena sebagian besar $NaCl$ dalam air laut telah berubah menjadi garam. Studi literatur berikutnya berfokus pada metode pembentukan MgO dari limbah *bittern* dan karakterisasi MgO yang perlu dilakukan. Rumusan masalah dan batasan penelitian akan disesuaikan dengan kondisi lingkungan saat proses observasi dan pengumpulan data.





Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen terhadap limbah *bittern* dalam proses pembentukan garam krosok (*crude solar salt*). Tahap awal penelitian melibatkan perancangan *power supply* untuk memungkinkan proses elektrolisis. Perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi *power supply* yang akan digunakan untuk menyalurkan arus listrik melalui kabel penghubung dan elektroda dalam proses elektrolisis.

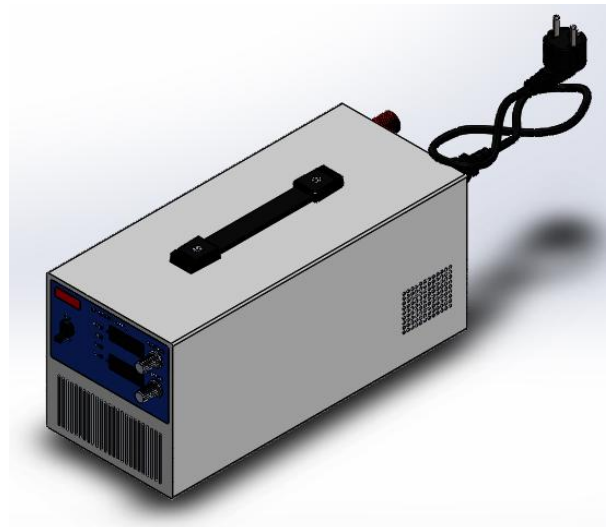
Peralatan elektrolisis terdiri dari dua kompartemen yang dipisahkan oleh jembatan garam agar larutan elektrolit tidak bercampur dari kompartemen katoda ke kompartemen anoda. Kedua kompartemen saling terhubung oleh jembatan garam vertikal, memungkinkan proses elektrolisis berlangsung. Setelah perancangan *power supply* dan kompartemen sel elektrolisis selesai, dilanjutkan dengan proses manufaktur sesuai dengan desain dan spesifikasi yang telah dibuat, termasuk ukuran dan bentuknya.

Langkah selanjutnya adalah pembentukan $Mg(OH)_2$ melalui elektrolisis. Dalam proses elektrolisis, larutan *bittern* membentuk senyawa $Mg(OH)_2$ dalam bentuk gumpalan padat. Setelah elektrolisis selesai, gumpalan $Mg(OH)_2$ dipisahkan dengan penyaringan dan pencucian. Pencucian dilakukan dengan *aquades*, di mana 50 ml *aquades* dituangkan ke dalam gelas kaca berisi endapan $Mg(OH)_2$ kemudian diaduk dan didiamkan hingga mengendap. Proses pencucian dilakukan untuk membersihkan $Mg(OH)_2$ dari pengotor yang ada dalam larutan elektrolit. Setelah proses pencucian selesai, $Mg(OH)_2$ dikeringkan di dalam *furnace* pada suhu 110 °C selama 2 jam.

Setelah $Mg(OH)_2$ kering, langkah berikutnya adalah mengukur berat $Mg(OH)_2$ yang diperoleh dari proses elektrolisis. Kemudian, pemanasan lanjutan dilakukan pada suhu 700 °C selama 2 jam untuk menghasilkan butir MgO . Setelah pemanasan selesai dan MgO terbentuk, karakterisasi MgO dilakukan melalui pengujian XRF, XRD, dan SEM. Data yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut dianalisis dan dibahas dalam penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Perancangan *power supply* untuk proses elektrolisis dimulai dengan menentukan spesifikasi daya yang diperlukan, seperti tegangan dan arus yang dibutuhkan untuk menjalankan elektrolisis dengan efisien. Setelah spesifikasi daya ditentukan, pemilihan komponen utama dilakukan, termasuk transformator yang mampu menangani tegangan input dan output yang diinginkan, dioda untuk proses penyearahan, dan kapasitor untuk penyaringan tegangan.

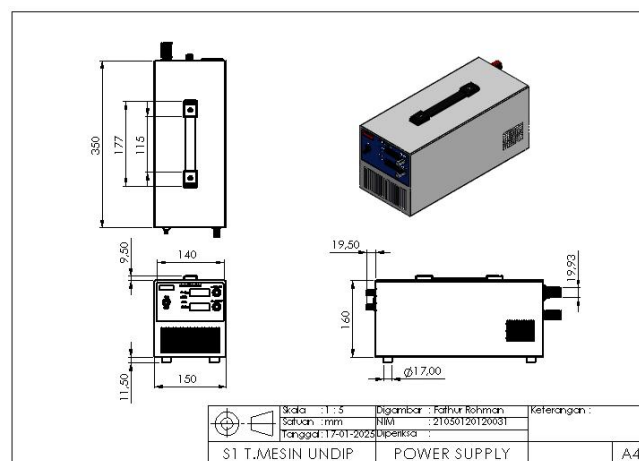


Gambar 3. 1 Desain 3D Power Supply

Langkah selanjutnya adalah merancang rangkaian penyearah. Ini melibatkan konfigurasi dioda yang tepat, seperti jembatan penyearah (*bridge rectifier*), untuk mengubah arus AC menjadi DC. Setelah penyearahan, rangkaian filter yang terdiri dari kapasitor digunakan untuk mengurangi riak dan memastikan tegangan DC yang lebih stabil.

Jika diperlukan, regulator tegangan ditambahkan untuk menjaga tegangan output tetap konstan meskipun ada variasi beban. Regulator ini memastikan bahwa proses elektrolisis berjalan dengan tegangan yang konsisten.

Proses manufaktur *power supply* untuk elektrolisis dimulai dengan pengadaan dan verifikasi semua modul dan komponen yang diperlukan, seperti transformator, penyearah, filter, regulator tegangan, dan pendingin. Setelah memastikan semua komponen dalam kondisi baik, tahap berikutnya adalah perakitan modul pada papan rangkaian atau *chassis*. Modul-modul tersebut dipasang dengan kuat menggunakan sekrup atau penjepit, dan kabel-kabel listrik dihubungkan sesuai dengan desain rangkaian. Penyolderan dilakukan pada titik-titik koneksi untuk memastikan kontak yang baik dan mengurangi resistansi. Pada tahap ini, pendingin seperti *heatsink* atau kipas juga dipasang pada komponen yang memerlukan pendinginan, dengan penggunaan pasta termal jika diperlukan untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.



Gambar 3. 2 Drawing Dimensi Power Supply

Setelah perakitan, dilakukan pemeriksaan kualitas yang meliputi inspeksi visual untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik dan pengujian awal untuk memastikan semua modul berfungsi dengan baik. Tegangan output dan arus diperiksa untuk memastikan bahwa keduanya sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Jika diperlukan, kalibrasi tegangan dilakukan untuk memastikan stabilitas dan konsistensi. Selanjutnya, *power supply* diuji dengan beban yang sesuai untuk memastikan kinerjanya dalam kondisi nyata, termasuk pemantauan suhu komponen selama operasi untuk memastikan tidak ada yang terlalu panas.

Setelah semua pengujian selesai dan *power supply* berfungsi dengan baik, dilakukan penyesuaian akhir pada koneksi atau komponen jika ditemukan masalah. Perakitan akhir dilakukan dengan memasang penutup atau casing untuk melindungi komponen dari kerusakan fisik dan debu. Tahap terakhir adalah pemeriksaan akhir untuk memastikan semua

komponen terpasang dengan benar dan tidak ada masalah yang terlewatkan. Proses manufaktur yang teliti ini memastikan *power supply* berkualitas tinggi dan berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan untuk elektrolisis.

Peningkatan jumlah endapan $Mg(OH)_2$ disebabkan oleh semakin banyak reaksi kimia yang terjadi karena peningkatan arus listrik yang digunakan. Semakin besar arus listrik maka semakin banyak muatan listrik yang dapat mengatur pergerakan ion pada proses elektrolisis[5]. Berdasarkan dengan hukum Faraday 1 dimana massa zat yang dihasilkan selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah arus listrik yang digunakan ($M = I.e.t/F$). Hal ini terbukti, semakin banyak elektron yang mengalir maka semakin banyak ion $2OH^-$ yang terbentuk. Terbentuknya ion $2OH^-$ akan meningkatkan jumlah endapan $Mg(OH)_2$.

Faktor lain yang memengaruhi jumlah $Mg(OH)_2$ yang dihasilkan selain arus listrik adalah durasi proses elektrolisis. Semakin lama proses elektrolisis, semakin besar pula rendemen $Mg(OH)_2$ yang diperoleh. Pada durasi 1 jam, jumlah endapan $Mg(OH)_2$ masih rendah karena reaksi kimia belum berlangsung sepenuhnya. Ion-ion dalam kompartemen masih berusaha mengalir melalui jembatan garam[6]. Seiring bertambahnya waktu elektrolisis, semakin banyak elektron yang dibutuhkan agar reaksi kimia dalam sel elektrolisis dapat terjadi. Durasi elektrolisis juga berpengaruh terhadap kualitas endapan yang terbentuk. Jika waktunya terlalu singkat, endapan $Mg(OH)_2$ yang dihasilkan cenderung berukuran kecil dan kurang padat.

Jumlah elektroda yang digunakan dalam proses elektrolisis juga berpengaruh terhadap jumlah $Mg(OH)_2$ yang dihasilkan. Jumlah elektroda menentukan laju reaksi yang berlangsung pada katoda dan anoda. Jika hanya terdapat satu pasang elektroda (satu katoda dan satu anoda), maka laju reaksi elektrolisis terbatas oleh jumlah elektroda tersebut. Sebaliknya, dengan menambah jumlah elektroda, reaksi elektrolisis dapat meningkat.

Proses perubahan $Mg(OH)_2$ menjadi MgO dengan perlakuan panas membuat berat $Mg(OH)_2$ menurun. Setelah dilakukan proses pemanasan pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam sebanyak 4,02 gram $Mg(OH)_2$ menghasilkan MgO sebanyak 1,78 gram. Selama proses kalsinasi berat $Mg(OH)_2$ berkurang karena uap air (H_2O) yang dihasilkan selama reaksi dekomposisi terlepas ke udara. Massa air yang hilang ini menyebabkan penurunan berat total dari padatan yang tersisa (MgO).

Berdasarkan hasil analisis unsur dan senyawa pada sampel menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), senyawa yang paling dominan adalah magnesium oksida (MgO) dengan persentase sebesar 97,692 mass%. Pada Tabel 3.1 ditampilkan komposisi senyawa kimia dari serbuk hasil proses elektrolisis yang telah dibentuk, sebagaimana ditentukan oleh analisis XRF.

Tabel 3. 1 Komposisi serbuk MgO berdasarkan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Komponen	Hasil	Standard Deviasi	Satuan
MgO	97,692	0,035	mass%
SO_3	1,876	0,033	mass%
K_2O	0,350	0,017	mass%
Fe_2O_3	0,023	0,001	mass%
NiO	0,012	<0,001	mass%
CuO	0,023	<0,001	mass%
Br	0,023	<0,001	mass%

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji limbah garam (*bittern*) untuk pembentukan $Mg(OH)_2$ dan MgO melalui proses elektrolisis dengan jembatan garam vertikal. Data yang diperoleh dari hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Hasil penelitian membuktikan bahwa rancangan spesifikasi *power supply* 1500 Watt 12 Volt 125 Ampere mampu menghasilkan MgO dari limbah *bittern*.
2. Besarnya daya listrik, waktu proses elektrolisis, dan jumlah elektroda sangat mempengaruhi jumlah endapan $Mg(OH)_2$ yang dihasilkan selama proses elektrolisis.
3. Analisis endapan MgO yang dihasilkan melalui pemanasan pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ terhadap endapan $Mg(OH)_2$ menggunakan XRF menunjukkan bahwa kemurnian MgO yang dihasilkan cukup tinggi yaitu sebesar 97,692%. Selain itu, senyawa lain juga terdeteksi dari hasil XRF antara lain sulfur trioksida (SO_3) sebesar 1,876 mass%, kalium oksida (K_2O) sebesar 0,350 mass%, ferri oksida (Fe_2O_3) sebesar 0,023 mass%, nikel oksida (NiO) sebesar 0,012 mass%, kupri oksida (CuO) sebesar 0,023 mass%, serta bromin (Br) dengan persentase yang sama, yaitu 0,023 mass%.

5. Daftar Pustaka

- [1] Z. Chen *et al.*, "3D printing of ceramics: A review," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 39, no. 4, pp. 661–687, 2019, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013.

- [2] P. Alpionita and Astuti, "Sintesis dan Karakterisasi Magnesium Oksida (MgO) dengan Variasi Massa PEG-6000," *J. Fis. Unand*, vol. 4, no. 2, pp. 167–172, 2015.
- [3] K. N. Wahyusi, A. S. Ferdian, M. A. Panangian, and I. N. Puspitawati, "Synthesis of Magnesium Carbonate with Bittern Raw Material with Carbon Dioxide Gas Injection in Packing Column," vol. 2021, pp. 1–6, 2021.
- [4] Fitriyanti, "Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Dengan Penambahan Pwm Controller Terhadap Efisiensi produksi Gas Hidrogen pada Proses Elektrolisis," *J. Sains Fis.*, vol. 1, pp. 42–52, 2021, [Online]. Available: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/sainfis>
- [5] Erlinawati, A. Zikri, and A. Mudzakkir, "Pengaruh Suplai Arus Listrik dan Jumlah Sel Elektroda Terhadap Produksi Gas Hidrogen dengan Elektrolit Asam Sulfat," *Kinetika*, pp. 14–19, 2014.
- [6] Y. Sano and M. Yamaguchi, "Preventing silica scale formation using hydroxide ions generated by water electrolysis," *Membranes (Basel)*, vol. 9, no. 11, 2019, doi: 10.3390/membranes9110154.
- [7] H. Amrulloh, W. Simanjuntak, R. T. M. Situmeang, S. L. Sagala, R. Bramawanto, and R. Nahrowi, "Effect of Dilution and Electrolysis Time on Recovery of Mg²⁺ As Mg(OH)₂ from Bittern by Electrochemical Method," vol. 4, p. 282, 2019.
- [8] L. Guo *et al.*, "Effect of processing parameters on the properties of electrolytically prepared Mg(OH)₂ powders," *Mater. Res. Express*, vol. 9, no. 8, p. 85504, 2022, doi: 10.1088/2053-1591/ac88b9.
- [9] O. D. Neikov and V. G. Gopienko, "Production of Magnesium and Magnesium Alloy Powders," *Handb. Non-Ferrous Met. Powders*, pp. 533–547, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-08-100543-9.00017-8.
- [10] G. Bassioni, R. Farid, M. Mohamed, R. M. Hammouda, and F. E. Kühn, "Effect of different parameters on caustic magnesia hydration and magnesium hydroxide rheology: A review," *Mater. Adv.*, vol. 2, no. 20, pp. 6519–6531, 2021, doi: 10.1039/d0ma00887g.