

Pelindian Nikel dari Bijih Nikel Laterit dengan Metode Microwave Sebagai Aplikasi Katoda Baterai

¹Al Jalali Muhammad, ²Yumnawati, ³Aslan Ndita

^{1,2,3} Jurusan Fisika, Universitas Halu Oleo, Kota Kendari

¹aljalalimuhammad@uho.ac.id, ²yumnawati@uho.ac.id, ³aslanndita@gmail.com

Abstract - The growing demand for nickel has multiplied the attention of researchers to study nickel extraction from laterite nickel ores. Leaching technology using H₂SO₄ solvent promises to extract nickel without CO₂ emissions. The microwave application adds to the advantages of the leaching method for reducing energy consumption. Microwave power was varied to study the effect of power on extraction results. The heating temperature increases as the microwave power increases. To support the completeness of information, the sample residue was analyzed using electron microscopy integrated energy dispersive x-ray (SEM-EDX). Furthermore, the filtrate analysis used atomic absorption of spectroscopy (AAS). EDX analysis of the residue sample showed that the intensity of nickel peaks decreased compared to the sample before leaching. Nickel that was successfully extracted increased with increasing microwave power. Based on AAS results, 41 mg/L of nickel was successfully extracted at 800 W microwave power application for 6 minutes.

Keywords —Nickel, Laterite Nickel Ore, Microwave, SEM/EDX, AAS

Abstrak - Permintaan terhadap nikel yang terus meningkat mendorong perhatian para peneliti untuk mempelajari teknik ekstraksi nikel dari bijih nikel laterit. Teknologi pelindian menggunakan larutan H₂SO₄ menawarkan prospek proses ekstraksi nikel tanpa menghasilkan emisi CO₂. Penerapan teknologi microwave memberikan keuntungan tambahan pada metode pelindian, terutama dalam mengurangi konsumsi energi. Variasi daya microwave dilakukan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap hasil ekstraksi. Seiring peningkatan daya microwave, suhu pemanasan juga mengalami kenaikan. Untuk melengkapi informasi yang diperoleh, residu sampel dianalisis menggunakan mikroskop elektron yang dilengkapi dengan energi dispersiv sinar-X (SEM/EDX), sementara filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Hasil analisis EDX pada sampel residu menunjukkan penurunan intensitas puncak nikel dibandingkan sampel sebelum pelindian. Proses ekstraksi nikel meningkat seiring dengan bertambahnya daya microwave. Berdasarkan hasil AAS, sebanyak 41 mg/L nikel berhasil diekstraksi pada aplikasi daya microwave 800 W selama 6 menit.

Kata Kunci-Nikel, Bijih Nikel Laterit, Microwave, SEM/EDX, AAS.

I. Pendahuluan

Nikel merupakan salah satu material berharga yang memiliki berbagai aplikasi yang sangat luas, seperti sebagai katalis berbasis nikel, baterai, bahan stainless steel, alloy steel, dan lain-lain [1], [2]. Aplikasi nikel sebagai katoda baterai telah menarik perhatian peneliti dalam pemanfaatannya sebagai

media penyimpanan energi bersih. Sifat tingginya rapat energi nikel memungkinkan untuk menciptakan baterai dengan ukuran yang lebih kompak dalam skala besar yang dapat memenuhi meningkatnya permintaan kendaraan listrik. Hal ini tentunya meningkatkan permintaan nikel pada industri baterai dan untuk mengimbangi hal tersebut, maka diperlukan percepatan dalam ekstraksi nikel.

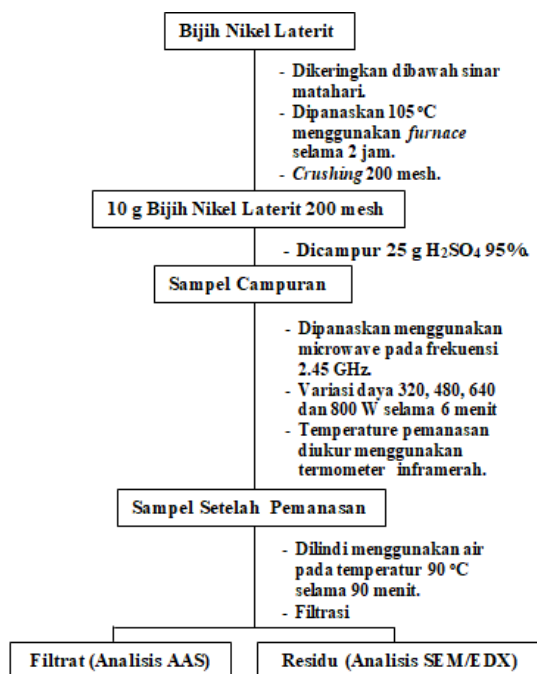
Secara umum nikel tersedia di alam dalam bentuk sulfida (NiS) dan laterit yang merupakan sumber cadangan nikel utama. Produksi nikel secara besar-besaran dari bijih NiS menyebabkan cadangannya semakin menipis [3], [4], [5], sehingga fokus utama pengayaan nikel saat ini berasal dari bijih nikel laterit. Bijih nikel laterit menyumbang sebagian besar cadangan nikel yang ada, dan hanya sebagian kecil yang telah dieksplorasi [6], [7], [8]. Kandungan Nikel pada bijih nikel laterit hanya sekitar 0.8-3% yang tergabung dalam mineral goethite dan silikat. Oleh karena itu, dibutuhkan teknik yang sangat tepat untuk mengekstraksi nikel dari bijih nikel jenis ini.

Beberapa teknik pirometalurgi telah dikembangkan, seperti proses Krupp-Renn, RKEF (Rotary Kiln-Electric Furnace), dan Blast Furnace. Kelemahan utama dari semua metode tersebut adalah penggunaan material berbasis karbon sebagai pereduksi, yang menyebabkan emisi CO₂, yang merupakan masalah utama dalam industri pertambangan [9]. Selain itu, konsumsi energi yang tinggi dan lamanya proses ekstraksi menjadi tambahan masalah dan tantangan terbesar dalam teknik-teknik tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi yang lebih efisien dengan prinsip ramah lingkungan dan penggunaan energi yang rendah. Teknik pelindian sangat tepat diaplikasikan untuk mengurangi emisi CO₂, serta iradiasi microwave sebagai teknologi yang lebih hemat energi.

Microwave memiliki panjang gelombang sekitar 1 hingga 10³ meter. Microwave memiliki berbagai manfaat signifikan, yang umumnya diaplikasikan dalam bidang komunikasi serta pemanasan, khususnya dalam pemanasan makanan. Beberapa dekade terakhir radiasi gelombang telah diaplikasikan pada skala laboratorium untuk membantu proses pemanasan pada preparasi material [10]. Beberapa laporan menyimpulkan bahwa aplikasi microwave sebagai pemanas memberi beberapa kelebihan seperti waktu pemanasan yang lebih singkat, mempercepat proses reaksi dan penggunaan energi yang lebih rendah dibandingkan pemanasan konvensional (tanur) [11], [12].

Aplikasi microwave dalam bidang pertambangan telah dimanfaatkan untuk membantu proses pelindian material tembaga dan emas. Didapatkan bahwa aplikasi microwave meningkatkan presentase pemulihan logam dari bijihnya. Dipercaya bahwa sistim *non-thermal effect* memberikan pengaruh signifikan terhadap proses pelindian. Berdasarkan laporan sebelumnya, maka peneliti melakukan pelindian nikel dari bijih nikel laterit dengan bantuan microwave. Beberapa penelitian telah melakukan pelindian pada bijih nikel laterit menggunakan pemanasan konvensional. Namun, dalam pelaksanaannya, penggunaan tekanan tinggi tentu berbahaya bagi keselamatan. Selain itu waktu ekstraksi yang dibutuhkan cukup lama dan temperature yang cukup tinggi memberikan tambahan masalah berupa meningkatnya konsumsi energy [13], [14]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dimanfaatkan microwave untuk mengekstraksi Ni pada kondisi atmosfer. Pemanfaatan sifat *non-thermal effect* dan kecepatan reaksi pada microwave akan membantu meningkatkan pemulihan Nikel dari bijihnya. Hasil ini akan menjadi dasar pengayaan nikel dengan metode yang sangat aman (tanpa tekanan tinggi dan emisi CO₂), *short time* (reaksi yang terjadi berlangsung sangat singkat), sederhana, dan dengan konsumsi energi yang sangat rendah (cepat dan temperatur rendah).

II. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Sumber sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sulawesi Tenggara, Indonesia. Proses diawali dengan pemanasan sampel di bawah sinar matahari, dilanjutkan

dengan pemanasan menggunakan *furnace* pada temperatur sekitar 105 °C selama 2 jam. Setelah itu, sampel digerus hingga mencapai ukuran partikel 200 mesh. Sebanyak 10 g sampel bijih nikel laterit dicampurkan dengan 25 g asam sulfat (H₂SO₄) 95%, kemudian dipanaskan menggunakan radiasi microwave pada frekuensi 2,45 GHz dengan variasi daya 320, 480, 640, dan 800 W selama 6 menit. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termometer inframerah. Setelah proses pemanasan, dilanjutkan dengan pelindian menggunakan air hangat pada temperatur 90 °C selama 90 menit. Proses pelindian diakhiri dengan filtrasi untuk memisahkan filtrat dan residu, yang selanjutnya dianalisis menggunakan mikroskop electron dan AAS (gambar 1). Nikel yang terkandung dalam filtrat berada dalam bentuk NiSO₄ sebagai hasil reaksi antara NiO dan H₂SO₄. NiSO₄ merupakan bahan dasar pembuatan katoda baterai berbasis nikel.

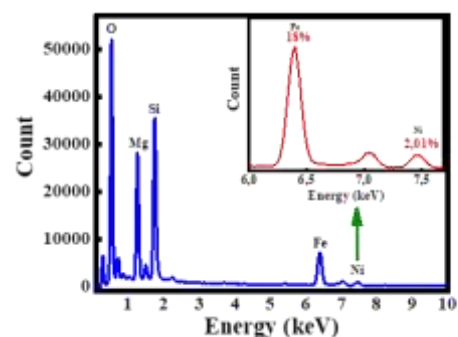
III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil analisis XRF dan EDX bijih nikel laterit

Analisis komponen kimia dilakukan menggunakan alat XRF (X-Ray Fluorescence). Tabel 1 menunjukkan bahwa sampel mengandung nikel (Ni) dan besi (Fe) dengan kadar sekitar 2,0% dan 22,7%, berturut-turut. Nikel dan besi merupakan material feromagnetik yang memiliki konduktivitas yang sangat baik, sehingga sangat aktif berinteraksi dengan komponen medan listrik dan medan magnetik pada microwave. Konfirmasi menggunakan alat EDX pada gambar 2 menunjukkan bahwa sampel bijih nikel laterite mengandung Ni, Fe, Mg, Si, dan O.

Tabel 1. XRF Analisis sampel Nikel laterit ore

Chemical Compound	Ni	Fe	SiO ₂	CaO	MnO
Content (%)	2.0	22.7	34.1	0.3	0.2

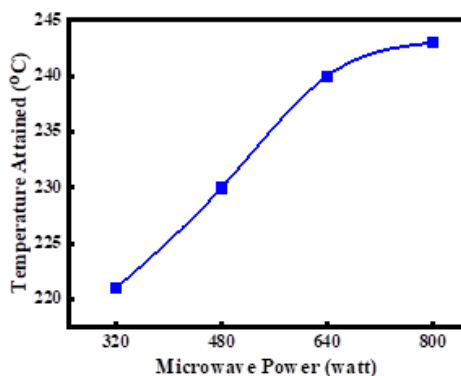


Gambar 2. Hasil Analisis EDX bijih nikel laterit

B. Hubungan antara daya microwave dan temperatur maksimum

Kenaikan temperatur merupakan hal yang sangat penting pada proses pelindian nikel berbantu microwave. Kenaikan temperatur menunjukkan interaksi aktif antara material dan microwave. Hal ini mempercepat terjadinya reaksi antara H_2SO_4 dan logam nikel yang terjandung dalam bijih. Gambar 3 menunjukkan kebergantungan temperatur maksimum pemanasan terhadap daya microwave. Terlihat bahwa temperatur maksimum pemanasan meningkat seiring dengan meningkatnya daya microwave. Temperatur maksimum pada aplikasi daya microwave 320, 480, 640, dan 800 W berturut-turut sekitar 221, 230, 240, dan 243 °C.

Kenaikan temperatur pemanasan diakibatkan oleh adanya interaksi antara gelombang mikro dan material dalam sampel. Diduga bahwa peristiwa kehilangan energi akibat interaksi magnetik berperan dalam kenaikan temperatur. Pada bijih nikel laterit terdapat material Ni dan Fe yang merupakan material feromagnetik. Interaksi feromagnetik dan medan magnetik bolak-balik gelombang mikro menyebabkan terjadinya peristiwa kehilangan histerisis yang kemudian meningkatkan temperatur sampel. Interaksi medan listrik bolak-balik gelombang mikro juga menyebabkan meningkatnya temperatur pada material dalam bentuk *conduction loss*. Selain itu, peristiwa *dipolar loss* juga dipercaya berpengaruh terhadap meningkatnya temperatur pemanasan sebagai akibat interaksi medan listrik bolak-balik microwave terhadap senyawa polar (H_2SO_4). Diketahui bahwa kekuatan medan magnet dan medan listrik bolak-balik meningkat seiring dengan meningkatnya daya microwave. Sehingga hal ini menyebabkan adanya kenaikan temperature maksimum ketika aplikasi daya microwave ditingkatkan .



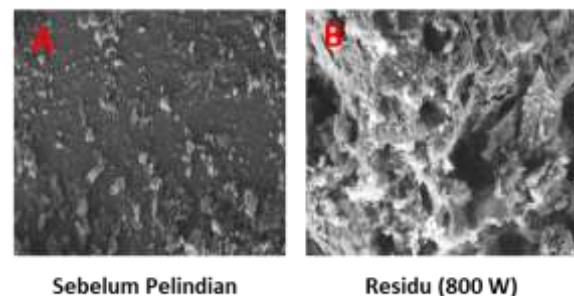
Gambar 3. Hubungan antara temperatur maksimum dan daya gelombang mikro

C. Hasil Analisis SEM/EDX sampel residu

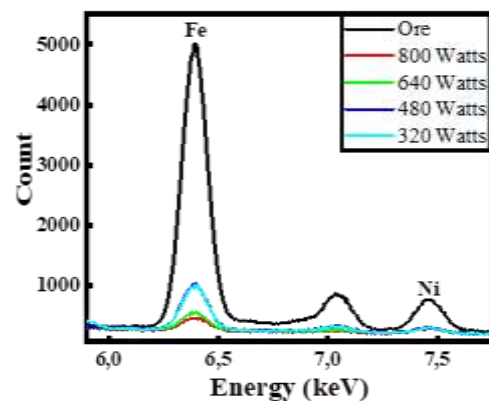
Gambar 4 menunjukkan hasil analisis SEM sampel sebelum pelindian dan residu setelah pelindian 800 W. Pada sampel sebelum pelindian (4A) terdapat bulir dengan permukaan sampel yang cenderung lebih datar dan memiliki struktur yang

lebih rapat tanpa adanya pori. Hal berbeda ditunjukkan pada residu sampel setelah pelindian gambar (4B). Terlihat adanya pori-pori yang terbentuk pada sampel residu setelah pelindian. Dipercaya bahwa pori terbentuk sebagai akibat dari hilangnya logam pada proses pelindian. Hilangnya logam pada sampel residu dikonfirmasi juga oleh hasil EDX. Gambar 5 menunjukkan hasil analisis EDX sampel residu. Terlihat bahwa puncak logam besi dan nikel menurun setelah pelindian dengan microwave pada aplikasi daya 320-800 W.

Material-material logam yang terdapat pada bijih nikel laterit terlepas dari ikatannya karena bereaksi dengan H_2SO_4 dan membentuk logam sulfat. Logam yang berhasil berikatan dengan asam sulfat kemudian meninggalkan jejak dalam bentuk pori-pori seperti yang terlihat pada gambar 3B. Radiasi microwave menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur sampel sebagai efek dari peristiwa *magnetic loss*, *conduction loss*, dan *dipolar loss* [10]. Namun perlu dipahami bahwa peristiwa *loss* terjadi sebagai akibat meningkatnya waktu relaksasi momen dipol material penyusun sampel. Meningkatnya waktu relaksasi ini diakibatkan oleh adanya friksi ataupun tumbukan dari material yang secara khusus berinteraksi dengan gelombang mikro. Hal ini menyebabkan terjadinya reaksi dalam waktu yang sangat singkat dan menyebabkan logam berikatan dengan asam sulfat.



Gambar 4. Hasil analisis SEM sampel sebelum pelindian (A) dan residu setelah pelindian pada daya 800 W

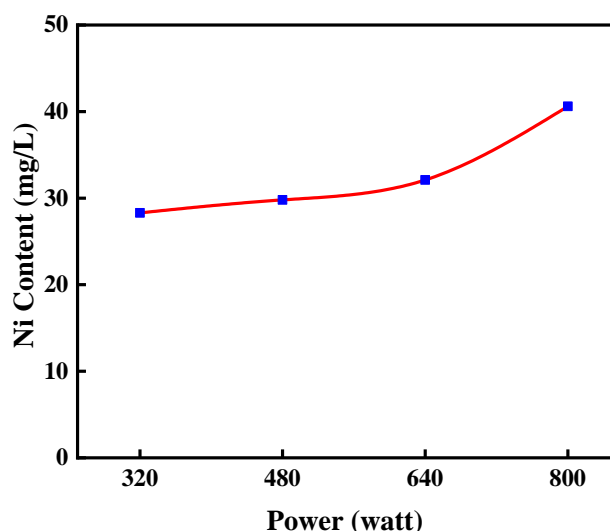


Gambar 5. Hasil analisis EDX residu setelah pelindian

D. Hubungan antara daya microwave dan jumlah nickel yang diekstraksi

Filtrat yang diperoleh dai hasil pelindian kemudian dianalisis menggunakan alat AAS. Gambar 6 menunjukkan kandungan nickel dalam filtrat. Terlihat bahwa kandungan untuk aplikasi daya microwave 320, 480, 640 dan 800 W meningkat secara berturut-turut sekitar 28, 30, 31 dan 41 mg/L. Hasil terbaik diperoleh dengan aplikasi daya microwave 800 W selama 6 menit.

Secara umum nickel yang terkandung dalam bijih nickel laterit berada dalam bentuk NiO. Dibawah pengaruh microwave, material mengalami kenaikan temperatur dan mempercepat mobilisasi H₂SO₄ yang meningkatkan reaksi dalam waktu yang sangat singkat. NiO bereaksi dengan asam sulfat membentuk NiSO₄ berdasarkan persamaan reaksi NiO + H₂SO₄ = NiSO₄ + H₂O. NiSO₄ merupakan senyawa yang memiliki tingkat kelarutan tinggi dalam air. Seiring dengan kenaikan daya terlihat bahwa, jumlah nickel yang diekstraksi cenderung meningkat. Hal ini disebabkan peningkatan daya menyebabkan meningkatnya kuat medan magnetik dan medan listrik bolak-balik yang diaplikasikan. Meningkatnya kuat medan menyebabkan interaksi dengan material semakin meningkat dan laju reaksi meningkat beberapa kali lipat pada daya tinggi. NiSO₄ berperan penting sebagai bahan katoda dalam baterai, menawarkan kepadatan energi tinggi untuk penyimpanan lebih banyak energi dalam ukuran kompak. Selain itu, nickel sulfat memiliki kestabilan termal dan efisiensi siklus yang tinggi, yang memperpanjang umur baterai [15].



Gambar 6. Kandungan nickel yang berhasil diekstraksi berdasarkan kenaikan daya microwave

IV. Kesimpulan

1. Nickel laterit yang berasal dari Indonesia berhasil diekstraksi dengan menggunakan metode pelindian berbantu microwave.
2. Temperature pemanasan meningkat dari 221, 230, 240, sampai 243 °C untuk aplikasi daya microwave berturut-turut adalah 320, 480, 640, dan 800 W.
3. Hasil analisis EDX untuk sampel residu menunjukkan adanya pengurangan nickel secara signifikan setelah proses pelindian.
4. Hasil AAS mengkonfirmasi bahwa nickel berhasil dilindi dengan kadungan nickel tertinggi adalah 41 mg/L dengan aplikasi daya microwave 800 W selama 6 menit.
5. Hasil ini kemungkinan masih dapat dimaksimalkan dengan cara menambah waktu radiasi microwave dan mengurangi daya microwave.. Nickel yang diperoleh berada dalam bentuk NiSO₄ sebagai hasil reaksi antara NiO dan H₂SO₄. NiSO₄ merupakan salah satu senyawa yang digunakan pada aplikasi katoda baterai.

V. Daftar Pustaka

- [1] S. Kaya and Y. A. Topkaya, "High pressure acid leaching of a refractory lateritic nickel ore," in *Minerals Engineering*, Sep. 2011, pp. 1188–1197. doi: 10.1016/j.mineng.2011.05.004.
- [2] L. U. Changyuan, L. U. Xionggang, Z. Xingli, C. Hongwei, X.U. Qian "Current situation and utilization technology of nickel ore in China". *Chinese Journal of Nature*, vol. 4, pp. 269-277, 2015.
- [3] Z. Wang, M. Chu, Z. Liu, H. Wang, W. Zhao, and L. Gao, "Preparing ferro-nickel alloy from low-grade laterite nickel ore based on metallized reduction–magnetic separation," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 8, Aug. 2017, doi: 10.3390/met7080313.
- [4] F. Wang, F. Liu, R. Elliott, S. Rezaei, L. T. Khajavi, and M. Barati, "Solid State Extraction of Nickel from Nickel Sulfide Concentrates," *J Alloys Compd*, vol. 822, May 2020, doi: 10.1016/j.jallcom.2019.153582.
- [5] C. D. Reynolds, S. Hayryluk, A. D. Bastaman, S. Oepomo, and A. Tmowidjojoi, "The Exploration of the Nickel Laterite Deposits in Irian Barat, Indonesia," 1973.
- [6] K. Quast, J. N. Connor, W. Skinner, D. J. Robinson, and J. Addai-Mensah, "Preconcentration strategies in the processing of nickel laterite ores Part 1: Literature review," Jul. 01, 2015, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.mineng.2015.03.017.

-
- [7] G. M. Mudd, "Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites," *Ore Geol Rev*, vol. 38, no. 1–2, pp. 9–26, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.oregeorev.2010.05.003.
- [8] R. Elliott, C. A. Pickles, and J. Peacey, "Ferronickel particle formation during the carbothermic reduction of a limonitic laterite ore," *Miner Eng*, vol. 100, pp. 166–176, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.mineng.2016.10.020.
- [9] W. Wei, P. B. Samuelsson, A. Tilliander, R. Gyllenram, and P. G. Jönsson, "Wenergy consumption and greenhouse gas emissions of nickel products," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 21, Nov. 2020, doi: 10.3390/en13215664.
- [10] R. R. Mishra and A. K. Sharma, "Microwave-material interaction phenomena: Heating mechanisms, challenges and opportunities in material processing," Feb. 01, 2016, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.10.035.
- [11] C. A. Pickles, "Microwave heating behaviour of nickeliferous limonitic laterite ores," *Miner Eng*, vol. 17, no. 6, pp. 775–784, Jun. 2004, doi: 10.1016/j.mineng.2004.01.007.
- [12] A. Amini, K. ichiro Ohno, T. Maeda, and K. Kunitomo, "Effect of the Ratio of Magnetite Particle Size to Microwave Penetration Depth on Reduction Reaction Behaviour by H₂," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-33460-5.
- [13] E. C. Chou, P. B. Queneau, and R. S. Rickard, "Sulfuric acid pressure leaching of nickeliferous limonites," *Metallurgical Transactions B*, vol. 8, no. 4, pp. 547–554, Dec. 1977, doi: 10.1007/BF02669329.
- [14] P. P. M. Ribeiro, L. C. M. De Souza, R. Neumann, I. D. Dos Santos, and A. J. B. Dutra, "Nickel and cobalt losses from laterite ore after the sulfation-roasting-leaching processing," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 12404–12415, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.08.082.
- [15] A. R. Ali, J. Lackner, F. Cerdas, and C. Herrmann, "Analysis of nickel sulphate datasets used in lithium-ion batteries," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2023, pp. 348–353. doi: 10.1016/j.procir.2023.02.059.