



PAPER – OPEN ACCESS

Pengaruh H₂O₂ Terhadap Recovery Logam Dari Black Mass Baterai Bekas NMC dengan Metode Leaching dalam Campuran H₂SO₄ dan Na₂SO₄

Author : Villina Nindy Putri, dkk
DOI : 10.32734/ee.v8i1.2616
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 8 Issue 1 – 2025 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengaruh H_2O_2 Terhadap *Recovery* Logam Dari *Black Mass* Baterai Bekas NMC dengan Metode *Leaching* dalam Campuran H_2SO_4 dan Na_2SO_4

Villina Nindy Putri¹², Indra Perdana¹², Aswati Mindaryani¹

¹Dapartemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Bulaksumur, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia

²Green e-Waste and Battery Recycling Research Group (GREENERY)
Jl. Grafika No.2, Bulaksumur, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia
villinanindyputri2000@mail.ugm.ac.id, iperdana@ugm.ac.id, amindaryani@ugm.ac.id

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi nasional yang diproyeksikan melebihi 500 juta ton setara minyak pada tahun 2060 menjadi tantangan besar bagi Indonesia dalam mewujudkan ekonomi hijau. Ketergantungan terhadap energi fosil tidak hanya mengancam ketahanan energi nasional, tetapi juga berdampak negatif terhadap keberlanjutan lingkungan. EBT khususnya energi surya, menawarkan solusi berkelanjutan, meskipun masih menghadapi kendala dalam kontinuitas suplai energi. Untuk mengoptimalkan pemanfaatannya, diperlukan teknologi penyimpanan energi yang efisien dan ramah lingkungan, salah satunya adalah baterai LiB. Seiring meningkatnya permintaan baterai, terutama dari sektor kendaraan listrik, volume limbah baterai bekas juga meningkat secara signifikan, sehingga menimbulkan persoalan lingkungan baru. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung desain berkelanjutan melalui pemulihan kembali logam berharga dari limbah baterai NMC menggunakan pendekatan sirkular ekonomi. Metode hidrometalurgi diterapkan dengan memanfaatkan campuran H_2SO_4 1,8 M, Na_2SO_4 0,08 M, serta penambahan H_2O_2 sebagai agen reduktor. Variasi konsentrasi H_2O_2 (1–3%) dan temperatur (60–80°C) digunakan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap efisiensi pemulihan logam Li, Ni, Mn, dan Co. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi pemulihan tertinggi logam litium sebesar 95,14% dicapai pada suhu 80°C dan konsentrasi H_2O_2 3%. Logam lainnya seperti Ni, Mn, dan Co juga menunjukkan peningkatan *recovery* seiring kenaikan suhu. Dengan demikian, kombinasi parameter tersebut terbukti efektif dalam mendukung proses daur ulang yang berkelanjutan, efisien, dan bernilai ekonomi tinggi, sejalan dengan arah transisi menuju ekonomi hijau dan sistem energi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Baterai NMC; Hidrometalurgi; Daur Ulang Berkelanjutan

Abstract

The projected increase in national energy demand, exceeding 500 million tons of oil equivalent by 2060, presents a major challenge for Indonesia in achieving a green economy. Reliance on fossil fuels not only threatens national energy security but also negatively impacts environmental sustainability. RES, particularly solar energy, offer sustainable solutions, although they still face challenges in energy supply continuity. To optimize their utilization, efficient and environmentally friendly energy storage technologies are required, one of which is LiBs. As battery demand rises especially from the electric vehicle sector the volume of spent batteries is also increasing significantly, creating new environmental issues. This study aims to support sustainable design by recovering valuable metals from NMC battery waste through a circular economy approach. A hydrometallurgical method is applied using a mixture of H_2SO_4 1.8 M, Na_2SO_4 0.08 M, and H_2O_2 as a reducing agent. Variations in H_2O_2 concentration (1–3%) and temperature (60–80°C) were used to evaluate their effect on the recovery efficiency of Li, Ni, Mn, and Co. The results showed that the highest lithium recovery efficiency of 95.14% was achieved at 80°C and 3% H_2O_2 concentration. Other metals such as Ni, Mn, and Co also showed increased recovery rates with rising temperatures. Thus, the combination of these parameters proved

effective in supporting a recycling process that is sustainable, efficient, and economically valuable, aligning with the transition towards a green onomy and a sustainable energy system.

Keywords: *Spent NMC battery; hydrometallurgy; sustainable recycling*

1. Pendahuluan

Permintaan energi global yang terus meningkat, seiring dengan pertumbuhan populasi dan perubahan gaya hidup, telah menimbulkan tantangan signifikan bagi keberlanjutan sumber daya energi dunia. Hingga saat ini, sebagian besar kebutuhan energi masih bergantung pada sumber daya tak terbarukan, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, yang menyumbang sekitar 84,3% dari total penggunaan energi global [1]. Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil mengancam keberlanjutan lingkungan, mengingat sifatnya yang terbatas dan dampaknya terhadap perubahan iklim. Oleh karena itu, perlu dilakukan diversifikasi energi dengan mengoptimalkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan.

Energi surya, sebagai salah satu sumber EBT yang paling potensial, telah mendapatkan perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir. Namun, kendala utama dalam pemanfaatannya adalah ketergantungan pada cuaca dan waktu, sehingga dibutuhkan teknologi penyimpanan energi yang efektif untuk mendukung penggunaan energi surya secara lebih fleksibel. Salah satu teknologi yang menjanjikan adalah penyimpanan energi dalam bentuk baterai ion lithium (LiB), yang memiliki efisiensi tinggi dan dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia tanpa menghasilkan emisi gas [2].

Baterai LiB telah digunakan secara luas dalam berbagai sektor, mulai dari elektronik konsumen hingga kendaraan listrik (EV), yang semakin populer seiring dengan dorongan untuk dekarbonisasi sektor transportasi [3]. Peningkatan permintaan untuk kendaraan listrik memicu pertumbuhan pasar baterai lithium-ion secara pesat, dengan proyeksi bahwa pada sepuluh tahun mendatang, produksi baterai LiB akan terus meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi kendaraan ramah lingkungan [4]. Namun, peningkatan produksi baterai ini juga berisiko menghasilkan limbah baterai yang semakin menumpuk, mengingat baterai LiB memiliki masa pakai terbatas dan menjadi limbah berbahaya setelahnya.

Oleh karena itu, pengelolaan limbah baterai bekas, khususnya baterai LiB, menjadi perhatian utama dalam rangka menciptakan ekonomi yang berkelanjutan. Daur ulang baterai bekas, terutama baterai lithium NMC, merupakan solusi yang dapat mengurangi dampak lingkungan serta memberikan keuntungan ekonomi. Proses daur ulang tersebut memungkinkan pemulihan kembali logam berharga, seperti kobalt (Co), nikel (Ni), dan litium (Li), yang dapat digunakan kembali dalam produksi baterai baru, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas [5].

Salah satu metode yang menjanjikan dalam proses daur ulang baterai LiB adalah hidrometalurgi, khususnya dengan menggunakan metode leaching untuk mengekstraksi logam dari black mass baterai bekas. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan campuran asam sulfat dan natrium sulfat sebagai pelarut dapat menghasilkan tingkat pemulihan logam yang tinggi [6]. Namun, meskipun proses ini cukup efektif, masih banyak faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan efisiensi pemulihan, seperti konsentrasi agen pelarut dan suhu leaching yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi konsentrasi hidrogen peroksida dalam larutan asam sulfat dan natrium sulfat, serta suhu pelarutan dalam meningkatkan efisiensi pemulihan logam-logam dari black mass baterai lithium NMC bekas. Dengan memahami pengaruh kondisi operasi yang berbeda, diharapkan dapat ditemukan metode yang lebih efisien dalam mendaur ulang baterai LiB untuk mendukung pengelolaan limbah elektronik yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Nomenclature

LiB	<i>Lithium-ion Battery</i>
RES	<i>Renewable Energy Sources</i>
NMC	<i>Nickel Manganese Cobalt</i>
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometry</i>
v/v	<i>volume/volume</i>

2. Material dan Metode

2.1 Material

Penelitian ini menggunakan *black mass* dari baterai bekas jenis Nickel Manganese Cobalt (NMC) sebagai sumber utama logam lithium. Bahan kimia yang digunakan dalam proses *leaching* meliputi Asam Sulfat (H_2SO_4) 1,8 M sebagai pelarut utama, Natrium Sulfat (Na_2SO_4) 0,08 M sebagai aditif penstabil, serta Hidrogen Peroksida (H_2O_2) 1–3% v/v sebagai agen pereduksi.

2.2 Metode

Secara umum, tahapan metode penelitian ini meliputi:

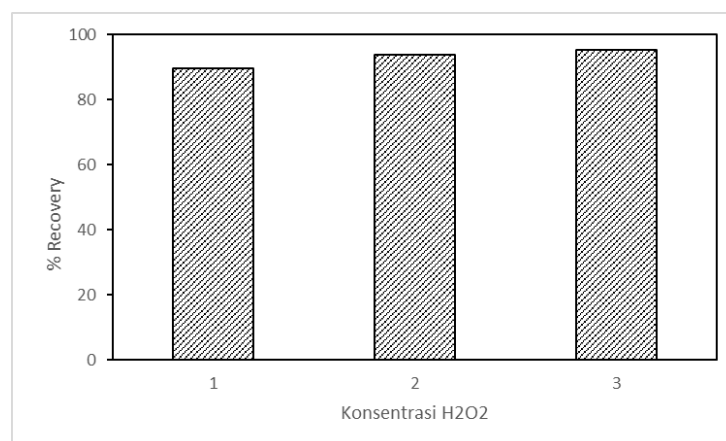
1. **Persiapan sampel**, yaitu pemrosesan baterai bekas hingga diperoleh serbuk *black mass* yang siap digunakan dalam proses pelindian.
2. **Proses leaching**, di mana *black mass* diproses dalam larutan pelarut dan agen pereduksi dengan variasi parameter seperti konsentrasi dan suhu.
3. **Pemurnian dan pemisahan**, yaitu proses filtrasi untuk memisahkan larutan hasil dari residu padat.
4. **Karakterisasi**, yaitu analisis kandungan logam hasil pelindian menggunakan instrumen ICP-OES.

Pada tahap persiapan, baterai *didischarge*, dihancurkan secara mekanis, dan dipisahkan komponen magnetik serta non-magnetik. Fragmen kemudian dicuci, dikeringkan, dan digerus menjadi serbuk. Tahap *leaching* dilakukan menggunakan larutan campuran H_2SO_4 dan Na_2SO_4 , dengan penambahan H_2O_2 sebagai reduktan, dalam suhu terkontrol (60–80°C) dan waktu reaksi 30 menit. Hasil *leaching* kemudian disaring, dan filtrat dianalisis untuk mengetahui kandungan lithium yang terekstraksi.

3. Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi H_2O_2 terhadap *Recovery* Logam Litium

Gambar menunjukkan pengaruh variasi konsentrasi agen pereduksi H_2O_2 terhadap efisiensi *recovery* logam litium (Li) dari *black mass* baterai bekas NMC menggunakan metode *leaching*. Proses dilakukan dengan larutan H_2SO_4 1,8 M dan Na_2SO_4 0,08 M sebanyak 250 mL selama 30 menit, dengan penambahan H_2O_2 sebagai agen reduksi pada konsentrasi (1%, 2%, dan 3% v/v).



Gambar 1. Perolehan Kembali Logam Litium (Li) Pada Berbagai Konsentrasi Hidrogen Peroksida Dari *Blackmass* NMC Hasil Pelindian Menggunakan H_2SO_4 1,8 M.

Berdasarkan Gambar 1, terjadi peningkatan *recovery* lithium seiring dengan bertambahnya konsentrasi H_2O_2 , dari 89,56% pada konsentrasi 1% menjadi 93,25% pada 2% dan mencapai 94,10% pada konsentrasi 3%. Hal ini mengidentifikasi bahwa peningkatan jumlah H_2O_2 mampu menghasilkan lebih banyak radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), yang diketahui dapat mempercepat pemutusan ikatan logam-logam pada struktur katoda [7,8].

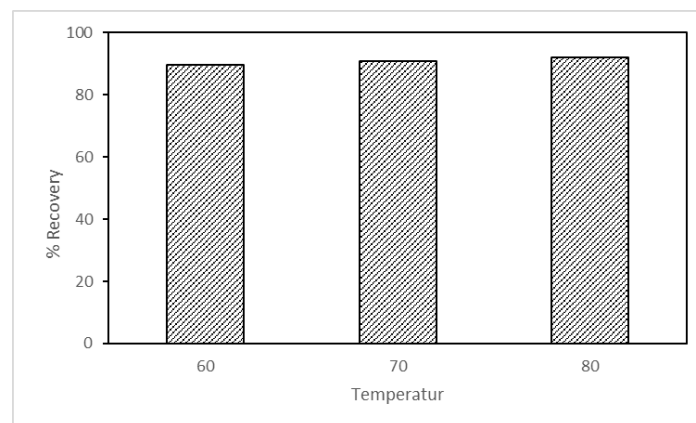
Temuan ini konsisten dengan studi yang dilakukan oleh [9] yang menyatakan bahwa efisiensi *recovery* lithium sebesar 92% menggunakan sistem H_2SO_4 - H_2O_2 pada baterai LCO. Hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi, meskipun dengan waktu kontak yang lebih singkat (30 menit dibandingkan 45 menit). Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan karakteristik

material aktif NMC yang lebih reaktif terhadap proses pelindian dibandingkan LCO, serta kondisi optimasi larutan yang lebih efektif.

Namun demikian, meskipun peningkatan konsentrasi H_2O_2 menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, peningkatannya tidak signifikan pada konsentrasi di atas 2%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi tertentu, sistem pelindian mulai mencapai kondisi jenuh, di mana penambahan H_2O_2 tidak lagi memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi *recovery*. Fenomena ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan H_2O_2 secara berlebih tidak selalu berbanding lurus dengan efisiensi pelindian, dan bahkan dapat menyebabkan pemborosan bahan kimia atau pembentukan senyawa peroksida yang tidak efektif [7,10]. Oleh karena itu, untuk efisiensi proses dan pertimbangan biaya, konsentrasi H_2O_2 sebesar 2% dapat dianggap sebagai kondisi optimal dalam sistem ini.

3.2 Pengaruh Suhu Terhadap *Recovery* Logam Litium

Gambar 2. menunjukkan persentase *recovery* logam litium (Li) dari proses *leaching black mass* baterai NMC bekas menggunakan campuran larutan H_2SO_4 1,8 M dan Na_2SO_4 0,08 M, dengan penambahan agen pereduksi H_2O_2 1% dalam larutan sebanyak 250 mL. Variasi temperatur yang digunakan dalam percobaan ini adalah 60°C, 70°C, dan 80°C dengan waktu proses 30 menit.



Gambar 2. Perolehan Kembali Logam litium (Li) Pada Berbagai Suhu Dari Blackmass NMC Hasil Pelindian Menggunakan H_2SO_4 1,8 M

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa *recovery* litium meningkat secara bertahap seiring dengan peningkatan temperatur. *Recovery* litium pada temperatur 60°C mencapai 89,56%, kemudian meningkat menjadi 90,98% pada 70°C, dan mencapai 92,08% pada 80°C. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa suhu berperan penting dalam mempercepat reaksi pelindian, karena kinetika reaksi kimia umumnya meningkat pada suhu yang lebih tinggi. Temperatur yang lebih tinggi mempercepat laju difusi ion dalam larutan serta meningkatkan interaksi antara ion H^+ dari H_2SO_4 dan partikel aktif dalam *black mass* [7].

Penelitian oleh [11] terhadap baterai NCA menunjukkan efisiensi maksimal sebesar 91,5% pada suhu 75°C menggunakan sistem pelindian H_2SO_4 - H_2O_2 . Hasil dalam penelitian ini menunjukkan kesesuaian terhadap temuan tersebut, dengan efisiensi maksimal tercapai pada suhu 80°C. Namun demikian, suhu tinggi juga berpotensi mempercepat dekomposisi H_2O_2 , yang menurunkan efektivitas agen pereduksi dan dapat memengaruhi hasil akhir.

Penambahan H_2O_2 sebagai agen pereduksi turut berkontribusi terhadap peningkatan *recovery* litium dengan membantu mereduksi logam dalam bentuk oksida menjadi bentuk larut. Dengan konsentrasi tetap sebesar 1%, efek utama yang terlihat dalam grafik ini lebih dipengaruhi oleh parameter temperatur. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa temperatur optimal dapat mempercepat pelindian logam alkali seperti litium yang memiliki kestabilan termodinamika tinggi dalam bentuk larut [8]. Namun demikian, peningkatan temperatur di atas 80°C sebaiknya dikaji lebih lanjut karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan dekomposisi H_2O_2 dan meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu, temperatur 80°C dapat dianggap sebagai kondisi optimum dalam rentang yang diteliti untuk mendapatkan efisiensi *recovery* litium yang tinggi.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses *leaching* menggunakan larutan campuran H_2SO_4 1,8 M, Na_2SO_4 0,08 M, dan H_2O_2 sebagai agen pereduksi efektif dalam *recovery* logam litium dari *black mass* baterai NMC bekas. Peningkatan

temperatur dari 60°C hingga 80°C serta konsentrasi H_2O_2 dari 1% hingga 3% secara signifikan meningkatkan efisiensi *recovery* litium, dengan nilai tertinggi sebesar 95,14% pada kondisi 80°C dan H_2O_2 3%. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter temperatur dan konsentrasi agen pereduksi berperan penting dalam mengoptimalkan proses pelindian litium secara hidrometalurgi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dengan Nomor Riset: PRJ-77/LPDP/2020 atas dukungan finansial dalam proyek riset mengenai *recovery* litium dari baterai bekas. Penulis juga menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada PT. VIAR Indonesia atas suplai baterai bekas dalam riset ini.

References

- [1] Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P. and Zaghib, K., 2020. Key challenges and opportunities for recycling electric vehicle battery materials. *Sustainability*, 12(14), p.5837.
- [2] Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419–2430.
- [3] Searchinger, T.D.; Hamburg, S.P.; Melillo, J.; Chameides, W.; Havlik, P.; Kammen, D.M.; Likens, G.E.; Lubowski, R.N.; Obersteiner, M.; Oppenheimer, M.; et al. Climate change. Fixing a critical climate accounting error. *Science* 2009, 326, 527–528.
- [4] Lander, L.; Cleaver, T.; Rajaeifar, M.A.; Nguyen-Tien, V.; Elliott, R.J.R.; Heidrich, O.; Kendrick, E.; Edge, J.S.; Offer, G. Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling. *iScience* 2021, 24, 102787
- [5] Ordoñez, J., E. J. Gago, and A. Girard. 2016. "Processes and Technologies for the Recycling and Recovery of Spent Lithium-Ion Batteries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [6] Setiawan, H., Petrus, H. T. B. M., & Perdana, I. (2019). Reaction Kinetics Modeling for Lithium and Cobalt Recovery from Spent Lithium-Ion Batteries Using Acetic Acid. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 26(1), 98–107. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1713-0>
- [7] L. Li, Y. Bian, X. Zhang, Y. Zhang, dan R. Guo, "Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by a hydrometallurgical process," *Hydrometallurgy*, vol. 107, pp. 124–132, 2013, doi: 10.1016/j.hydromet.2011.12.001.
- [8] X. Wang, G. Gaustad, C. W. Babbitt, C. Bailey, M. Ganter, dan R. Kirchain, "Economic and environmental characterization of an evolving Li-ion battery waste stream," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 140, pp. 166–179, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.09.021.
- [9] Zhang, T., He, Y., Ge, L., & Peng, C. (2020). Recovery of lithium from spent lithium-ion batteries using H_2SO_4 and H_2O_2 leaching. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121441.
- [10] P. Meshram, B. D. Pandey, dan T. R. Mankhand, "Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review," *Hydrometallurgy*, vol. 150, pp. 192–208, 2015, doi: 10.1016/j.hydromet.2014.10.012.
- [11] Chen, Y., Li, L., Wang, Z., & Sun, Z. (2019). Sustainable recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries using organic reductant in acid leaching. *Journal of Cleaner Production*, 226, 613–623.