



PAPER – OPEN ACCESS

Pemurnian Grafit dari Anoda Baterai Nickel Manganese Cobalt (NMC) Bekas

Author : Dwi Fahira, dkk.
DOI : 10.32734/ee.v7i1.2164
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 7 Issue 1 – 2024 TALENTA Conference Series: Energy and 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



Pemurnian Grafit dari Anoda Baterai *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) Bekas

Dwi Fahira*, Indra Perdana, Panut Mulyono

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

dwifahira2000@mail.ugm.ac.id, iperdana@ugm.ac.id, pmulyono@ugm.ac.id

Abstrak

Era transportasi baru di Indonesia yaitu penggunaan kendaraan listrik yang diatur dalam Peraturan Presiden (Perpres) No. 55 tahun 2019 mendorong peningkatan penggunaan baterai khususnya baterai tipe *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) yang banyak digunakan karena unggul dari segi penyimpanan energi. Meskipun demikian, usai habis pakai, baterai NMC bekas menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan. Selain berbagai logam, di dalam limbah baterai ini terdapat grafit yang berpotensi untuk didaur ulang. Grafit merupakan karbon kualitas tinggi berstruktur dan umum digunakan sebagai komponen baterai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi *recovery* logam pengotor dalam rangka memurnikan grafit dari baterai NMC bekas. Mula-mula, grafit dalam baterai bekas dipisahkan dari katoda dan anoda. Logam pengotor dalam grafit dibersihkan secara selektif dengan proses *acid leaching* menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dan asam peroksida (H_2O_2) sebagai senyawa reduktor. Pada penelitian, dilakukan eksplorasi variasi konsentrasi asam sulfat dan suhu proses *leaching* dalam rangka memurnikan grafit. Pada akhir proses *leaching*, larutan hasil *leaching* diambil dan dianalisis dengan ICP-OES pada setiap variasi. Variasi suhu dan konsentrasi pada proses *acid leaching* mampu meningkatkan kemurnian grafit dengan menghilangkan logam-logam pengotor. Peningkatan suhu pada proses *acid leaching* meningkatkan *recovery* logam pengotor secara signifikan. Suhu $75^\circ C$ memberikan *recovery* maksimum untuk sebagian besar logam pengotor yang dievaluasi. Selain itu, peningkatan konsentrasi asam sulfat juga meningkatkan *recovery* logam pengotor, dimana *recovery* maksimum dicapai pada konsentrasi 1 M. Oleh karena itu, kontrol yang tepat terhadap suhu dan konsentrasi asam sulfat dapat meningkatkan efisiensi pemurnian grafit bekas baterai NMC.

Kata Kunci: Baterai NMC; Daur Ulang; Grafit; *Leaching*

Abstract

A new era of transportation in Indonesia, with the use of electric vehicles regulated by Presidential Regulation (Perpres) No. 55 of 2019, has spurred the increased use of batteries, especially *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) batteries, which are widely favored for their superior energy storage capabilities. However, after reaching their end of life, the spent NMC batteries become a hazardous waste for environment. Beside various metals, the waste contains graphite that holds potential for recycling. Graphite, a high-quality structured carbon, is commonly used as a battery component. This study aims to recover graphite from spent NMC batteries. Initially, graphite in the batteries was separated from the cathode and anode. Impurity metals in the graphite were selectively cleaned through an *acid leaching* process using sulfuric acid (H_2SO_4) and hydrogen peroxide (H_2O_2) as a reducing compound. The study investigated some variations in sulfuric acid concentration and *leaching* process temperature to purify the graphite. At the end of the *leaching* process, the *leaching* solution was collected and analyzed using ICP-OES for each variation. Increasing temperature in the *acid leaching* process significantly enhanced the *recovery* of metals as impurity. A temperature of $75^\circ C$ provided the maximum *recovery* for most evaluated impurity metals. Additionally, increasing concentration of sulfuric acid also enhanced the *recovery* of impurity metals, with the maximum *recovery* achieved at a concentration of 1 M. Therefore, a precise control over temperature and sulfuric acid concentration can improve the purification efficiency of graphite from spent NMC batteries.

Keywords: Spent NMC Battery; Recycling; Graphite; *Leaching*

1. Pendahuluan

Grafit memegang peran kunci dalam industri baterai, terutama sebagai komponen utama dalam baterai *lithium-ion* yang banyak digunakan dalam kendaraan listrik dan perangkat elektronik [1, 8]. Ketersediaan grafit yang berkualitas sangat vital dalam memastikan kinerja dan efisiensi baterai. Grafit memberikan konduktivitas listrik yang baik dan mampu menyimpan energi dalam jumlah yang signifikan [1, 5]. Selain itu, sifat kimia dan fisik grafit yang stabil memungkinkan baterai untuk memiliki siklus pengisian dan pengosongan yang baik, sehingga meningkatkan umur pakai dan kinerja baterai secara keseluruhan [13].

Meskipun demikian, baterai litium memiliki masa habis pakai dan menjadi limbah. Grafit perlu di-recovery dari baterai bekas karena grafit adalah bahan yang berharga dan tidak dapat diperbaharui [11]. Selain itu, *recovery* grafit dari baterai bekas juga memiliki manfaat ekonomi yang signifikan, karena dapat menciptakan peluang baru dalam ekonomi sirkular dan mengurangi biaya produksi baterai baru [10]. Oleh karena itu, *recovery* grafit dari limbah baterai merupakan langkah yang penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan, mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas, dan menciptakan peluang barudalam

ekonomi sirkular [3, 17].

Baterai adalah komponen krusial dalam kendaraan listrik, dengan grafit mencakup 28,1% dari total massa sel baterai. Namun, Indonesia belum mampu menghasilkan grafit bahan baku baterai dengan kemurnian 99,9%, yang menghambat upaya menjadi produsen baterai. Daur ulang limbah baterai menjadi solusi menjanjikan mengingat harga grafit komersil mencapai Rp 2.142.714 per kg. Grafit dari baterai litium bekas dapat dimurnikan dengan metode pelindian untuk menghilangkan pengotor di dalamnya [3, 12].

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk me-recovery grafit dari baterai ion litium, dengan fokus pada penggunaan metode acid leaching diikuti dengan kalsinasi pada suhu tinggi. Gao et al. berhasil mencapai kemurnian grafit sebesar 99,96% dengan specific capacity sebesar 358.1 mAh/g (0.1 C) dan retention capacity sebesar 98,8% setelah 100 siklus [7]. Penelitian lainnya, oleh Yang et al. mengembangkan metode two-stage calcination pada suhu tinggi yang diikuti oleh acid leaching, menghasilkan kemurnian grafit sebesar 99% dengan removal impurities Li, Al, dan Cu sebanyak 99%, serta retention capacity sebesar 97,9% setelah 100 siklus [10]. Akan tetapi, kalsinasi memiliki kelemahan yakni risiko dekomposisi termal yang dapat mengakibatkan perubahan fisik dan kimia pada grafit serta konsumsi energi yang tinggi.

Meskipun demikian, hingga saat ini belum ada studi yang mendalami suhu dan konsentrasi agen pelindi konsentrasi rendah saat melakukan leaching untuk evaluasi efisiensi recovery logam-logam pengotor dalam rangka memurnikan grafit dari baterai bekas. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan eksplorasi variasi konsentrasi dan suhu pada proses leaching untuk meningkatkan kemurnian grafit dengan melakukan evaluasi pada efisiensi recovery logam-logam pengotor.

Nomenclature

| | |
|---------|--|
| ICP-OES | <i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometry</i> |
| NMC | <i>Nickel Manganese Cobalt</i> |
| S/L | <i>Solid/Liquid</i> |

2. Material & Metode

2.1. Material

Material dalam penelitian ialah: baterai bekas *Nickel Manganese Cobalt* (NMC) dari PT. VIAR Motor Indonesia, larutan asam sulfat (Merck), dan asam peroksida (Merck).

2.2. Metode

Proses persiapan dimulai dengan discharging baterai NMC bekas agar muatannya hilang. Setelah discharging, dilakukan proses *dismantling* dan dilanjutkan pemisahan fisis secara manual. Lembaran anoda yang terdiri dari tembaga dan material grafit diambil lalu dilanjutkan proses pemisahan basah sehingga didapatkan serbuk grafit. Serbuk grafit tersebut dicuci dengan menggunakan *demineralized water*. Selanjutnya, dilakukan proses pemisahan menggunakan pengendapan bertingkat untuk mendapatkan serbuk grafit. Serbuk grafit yang dihasilkan kemudian diberi perlakuan *acid leaching* menggunakan asam sulfat dan asam peroksida 2% sebagai agen pereduksi selama 1 jam. Proses ini dilakukan dalam labu leher 3 dengan rasio 80% *Solid/Liquid* (S/L) dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi konsentrasi asam sulfat dengan nilai 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 M, serta variasi suhu pada 30; 45; 60; dan 75°C.

2.3. Karakterisasi

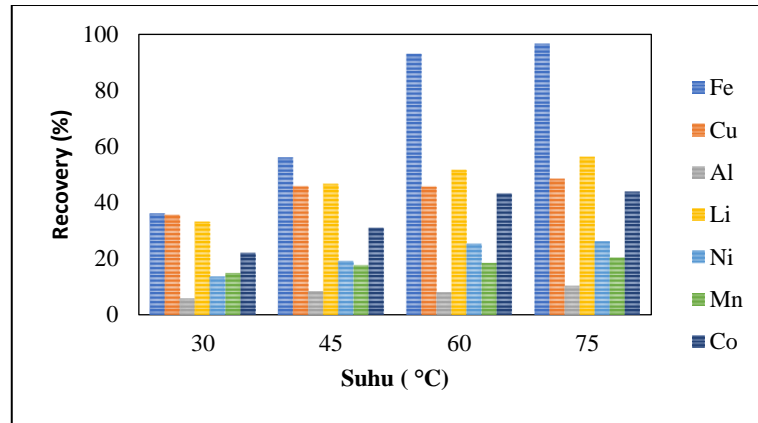
Sampel cair dianalisis elemen terkandung untuk mengetahui secara kuantitatif pengotor dalam grafit yang dapat dilarutkan dan untuk secara kualitatif mengetahui pemulihan grafit. Analisis elemen dilakukan menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometry* (ICP-OES).

3. Pembahasan

3.1. Pengaruh Suhu

Pengaruh suhu (30; 45; 60; dan 75°C) pada proses *acid leaching* dievaluasi selama 60 menit menggunakan asam sulfat 0,5 M dan asam peroksida 2% dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Gambar 1 menunjukkan hasil analisis ICP-OES pada setiap variasi suhu. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara peningkatan suhu pada proses *acid leaching* dengan

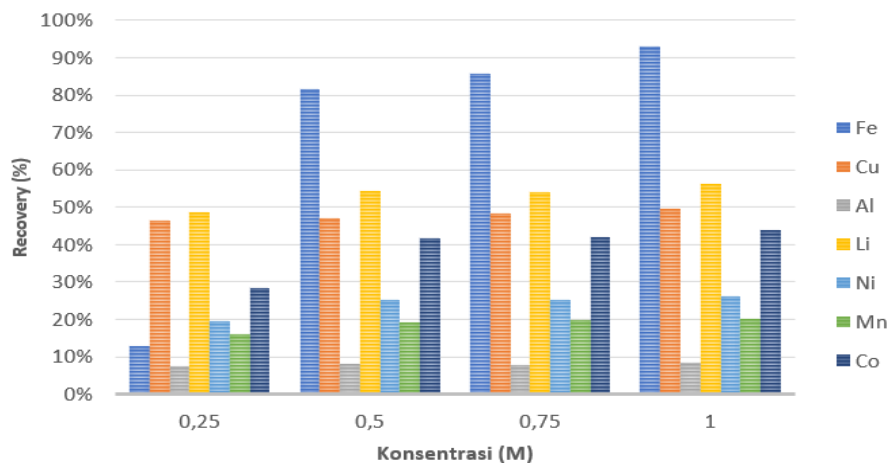
peningkatan *recovery* untuk setiap logam pengotor. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu mempercepat laju kinetika *proses acid leaching*, sehingga *recovery* logam pengotor yang lebih tinggi dan menghasilkan grafit dengan kemurnian yang lebih tinggi dibanding sebelumnya [4, 9]. Adapun suhu yang memberikan *recovery* maksimum adalah pada suhu 75°C dengan *recovery* untuk masing-masing elemen Fe 96,67%; Cu 48,48%; Al 10,17%; Li 56,17%; Ni 26,21%; Mn 20,33%; dan Co 43,91% yang dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. *Recovery* Logam Pengotor Variasi Suhu

3.2. Pengaruh Konsentrasi

Pengaruh konsentrasi asam sulfat (0,25; 0,5; 0,75; dan 1 M) pada proses *acid leaching* dievaluasi selama 60 menit menggunakan asam peroksida 2% dengan kecepatan pengadukan 500 rpm dan suhu 60 °C. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis elemen dalam larutan hasil *leaching* pada setiap variasi konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya konsentrasi asam sulfat pada proses *acid leaching* maka semakin meningkat *recovery* setiap logam pengotor. Akibatnya grafit yang mengalami proses *acid leaching* memiliki spesifikasi kemurnian yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi meningkatkan interaksi antar senyawa sehingga kinetika *proses acid leaching* menjadi lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan studi lain yang menyatakan bahwa *recovery* meningkat seiring meningkatnya konsentrasi [6, 9, 14]. Adapun konsentrasi yang memberikan *recovery* maksimal adalah pada 1 M dengan *recovery* untuk masing-masing elemen Fe 93,01%; Cu 49,53%; Al 8,58%; Li 56,17%; Ni 26,21%; Mn 20,33%; dan Co 43,91% yang dapat dilihat dari Gambar 2.



Gambar 2. *Recovery* Logam Pengotor Variasi Konsentrasi Asam Sulfat

Proses *recovery* logam pengotor dari grafit bertujuan untuk meningkatkan kemurnian grafit dengan cara menghilangkan elemen-elemen yang tidak diinginkan. Pengotor dalam grafit dapat berupa logam-logam berat yang mengganggu sifat-sifat fisik dan kimia grafit. Selama proses *recovery*, teknik-teknik seperti pencucian kimia, pemanggangan, atau penggunaan bahan kimia tertentu digunakan untuk memisahkan dan mengeluarkan logam pengotor dari matriks grafit [15]. Dengan demikian, ada hubungan

langsung antara *recovery* logam pengotor dan peningkatan kemurnian grafit, di mana penghilangan pengotor secara efektif meningkatkan kualitas grafit yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa suhu dan konsentrasi asam sulfat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses *acid leaching* untuk *recovery* logam-logam pengotor dalam rangka pemurnian grafit dari baterai NMC bekas. Peningkatan suhu pada proses *acid leaching* meningkatkan *recovery* logam pengotor secara signifikan sehingga menghasilkan grafit dengan kemurnian yang lebih tinggi, dengan suhu 75°C memberikan *recovery* maksimum untuk sebagian besar logam pengotor yang dievaluasi. Selain itu, peningkatan konsentrasi asam sulfat juga meningkatkan *recovery* logam pengotor dan mampu meningkatkan kemurnian grafit usai proses *acid leaching*, dengan konsentrasi 1 M memberikan *recovery* maksimum. Oleh karena itu, kontrol yang tepat terhadap suhu dan konsentrasi asam sulfat dapat meningkatkan efisiensi pemurnian grafit bekas baterai NMC.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi serta terima kasih kepada PT. VIAR Indonesia atas penyediaan baterai bekas dalam riset ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dengan Nomor Proyek: PRJ-77/LPDP/2020 atas dukungannya dalam proyek riset daur ulang baterai litium bekas.

Referensi

- [1] D. Bagus Galih Utomo *et al.*, "Pengaruh Kondisi Operasi Proses Pemekatan Litium Dari Geothermal Brine Sintetis Dengan Metode Direct Contact Membrane Distillation (DCMD)," *Jurnal Rekayasa Proses*, Jan. 2023
- [2] A. Chernyaev *et al.*, "Graphite recovery from waste Li-ion battery black mass for direct re-use," *Minerals Engineering*, vol. 208, p. 108587, Mar. 2024.
- [3] Y. Dong *et al.*, "Spent graphite regeneration: Exploring diverse repairing manners with impurities-catalyzing effect towards high performance and low energy consumption," *Journal of Energy Chemistry*, vol. 91, pp. 656–669, Apr. 2024.
- [4] Gerold, Eva *et al.*, "Recovery of Cobalt, Nickel, and Lithium from Spent Lithium-Ion Batteries with Gluconic Acid Leaching Process: Kinetics Study," *Batteries*, vol. 10, no. 4, p. 120, Apr. 2024.
- [5] E. V. Beletskii *et al.*, "Recycling spent graphite anodes into a graphite/graphene oxide composite via plasma solution treatment for reuse in lithium-ion batteries," *J Environ Chem Eng*, vol. 11, no. 1, p. 109234, Feb. 2023.
- [6] F. Anggara, V. S. H. Sujoto, W. Astuti, S. Sumardi, I. S. Raditya, and A. D. Putra, "Pengaruh parameter operasi terhadap persentase rekoveri litium dari sea water reverse osmosis (SWRO)," *Jurnal Rekayasa Proses*.
- [7] Gao, Y., Zhang, J., Jin, H., Liang, G., Ma, L., Chen, and Y., Wang, C, "Regenerating spent graphite from scrapped lithium-ion battery by high-temperature treatment," *Carbon*, vol. 189, pp. 493–502, Apr. 2022.
- [8] J. C. Abrego-Martinez, Y. Wang, V. Vanpeene, and L. Roué, "From waste graphite fines to revalorized anode material for Li-ion batteries," *Carbon*, vol. 209, p. 118004, Jun. 2023.
- [9] K. C. Wanta *et al.*, "Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah," *J. Rek. Pros.*, vol. 12, no. 2, p. 19, Dec. 2018.
- [10] Lai, Y *et al.*, "Recovery and regeneration of anode graphite from spent lithium-ion batteries through deep eutectic solvent treatment: Structural characteristics, electrochemical performance and regeneration mechanism," *Chemical Engineering Journal*, vol. 457, p. 141196, Feb. 2023.
- [11] Li, H., Peng, J., Liu, P., Li, W., Wu, Z., Chang, and B., Wang, X, "Re-utilization of waste graphite anode materials from spent lithium-ion batteries," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 932, p. 117247, Mar. 2023.
- [12] Mustika, P.C.B.W *et al.*, "Optimization of Lithium Separation from NCA Leachate Solution: Investigating the Impact of Feed Concentration, Pressure, and Complexing Agent Concentration," *ASEAN J. Chem. Eng.*, vol. 23, no. 3, p. 343, Dec. 2023.
- [13] Q. Chen, L. Huang, J. Liu, Y. Luo, and Y. Chen, "A new approach to regenerate high-performance graphite from spent lithium-ion batteries," *Carbon*, vol. 189, pp. 293–304, Apr. 2022.
- [14] Syarifuddin, F. *et al.*, "Effect of acid leaching on upgrading the graphite concentrate from West Kalimantan (Indonesia)," presented at the 2nd Padjadjaran International Physics Symposium 2015 (Pips-2015): Materials Functionalization And Energy Conservations, Jatinangor, Indonesia, 2016.
- [15] Wang, J.-R., Yang, D.-H., Xu, Y.-J., Hou, X.-L., Ang, E.H., Wang, D.-Z., Zhang, L., Zhu, Z.-D., Feng, X.-Y., Song, X.-H., and Xiang, H.-F., "Recent developments and the future of the recycling of spent graphite for energy storage applications". *New Carbon Mater.* 38, 787–803.

- [16] Yang, G., Lin, W., Lai, H., Tong, J., Lei, J., Yuan, M., Zhang, Y., and Cui, C., "Understanding the relationship between particle size and ultrasonic treatment during the synthesis of metal nanoparticles," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 73, p. 105497, May 2021.
- [17] Yuwen, C., Liu, B., Zhang, H., Tian, S., Zhang, L., Guo, S., and Zhou, B., "Efficient recovery and regeneration of waste graphite through microwave stripping from spent batteries anode for high-performance lithium-ion batteries," *Journal of Cleaner Production*, vol. 333, p. 130197, Jan. 2022.