



PENGARUH SUHU PADA PROSES *LEACHING* TERHADAP EFISIENSI EKSTRAKSI LI DAN FE DARI *BLACKMASS* PENGOLAHAN BATERAI LiFePO_4 BEKAS

Fanisa Fitriyani¹, Yus Rama Denny², Rudi Haryadi³, Tsaltsa Hulliyatunnisa⁴
^{1,2,3,4}Department of Physics Education, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
¹fanisafitriyani0512@gmail.com

ABSTRAK

Permintaan akan baterai LiFePO_4 akan terus meningkat, namun limbahnya berpotensi mencemari lingkungan dan mengandung logam berharga. Salah satu solusi permasalahan ini adalah dengan mendaur ulang baterai LiFePO_4 melalui proses *leaching*. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses *leaching* adalah suhu. Suhu pada proses *leaching* memiliki peran signifikan karena suhu mempengaruhi kinetika reaksi dan selektivitas pelarutan logam tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *leaching* terhadap efisiensi ekstraksi Li dan Fe dari *blackmass* pengolahan LiFePO_4 bekas dan membandingkan hasil *leaching blackmass heat treatment* 500°C/1 jam dengan *blackmass* tanpa *heat treatment*. Proses *leaching* menggunakan asam format 0,5 M pada variasi suhu 25°C, 50°C, dan 80°C, kemudian duji dengan AAS dan dinalisis. Hasil menunjukkan efisiensi *leaching blackmass heat treatment* 500°C/1 jam menghasilkan persen efisiensi ekstraksi Li tertinggi (78%) pada 80°C, sedangkan *blackmass* tanpa *heat treatment* mencapai 99% di suhu ruang 24°C, dan suhu 80°C. Efisiensi ekstraksi Fe menurun seiring kenaikan suhu. Disimpulkan bahwa suhu *leaching* berpengaruh signifikan terhadap efisiensi ekstraksi Li, dengan kinerja optimal tergantung pra-perlakuan termal, sehingga proses daur ulang baterai LiFePO_4 dapat dilakukan secara lebih efektif dan berkelanjutan.

Keyword : Daur Ulang, LiFePO_4 , *Leaching*, Suhu

Article History:

Received: June 2025
Reviewed: June 2025
Published: June 2025

Plagirism Checker No 234
Prefix DOI:
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright: Author
Publish by: Kohesi



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

INTRODUCTION

Dalam dekade terakhir, kendaraan listrik (*Electric Vehicles*) dan sistem penyimpanan energi stasioner dianggap sebagai salah satu solusi utama menuju sektor transportasi dan energi yang berkelanjutan. Hal ini didukung dengan baterai Lithium-ion yang memiliki berbagai bentuk dan komposisi yang sangat bervariasi. Keunggulan baterai lithium ion yaitu menggunakan logam paling ringan karena terbuat dari bahan logam lithium, sehingga memungkinkan baterai ini memiliki densitas energi tinggi dan masa pakai yang lama. Selain itu, baterai ini mendukung pengisian cepat, memiliki rasio massa terhadap energi yang tinggi, dan tidak mengalami efek memori, sehingga menghasilkan daya densitas yang besar (Otong, 2019).

Dipasar global pada tahun 2019, penggunaan baterai lithium ion termasuk jenis *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) telah mencapai 1,25 juta ton dan diperkirakan akan mencapai lebih dari 3,75 juta ton di beberapa tahun berikutnya (Melin, 2019). Permintaan akan baterai lithium ion terus bertambah dan masih akan terus menunjukkan pertambahan (Skeete et al., 2020). Baterai LiFePO_4 bekas umumnya mengandung logam lithium, besi, dan fosfat, serta elektrolit. Jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan risiko kebakaran, mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan (Barbosa de Mattos et al., 2025). Disisi lain, cadangan logam



seperti lithium di dunia terbatas dan tidak merata, sementara untuk memperoleh logam tersebut dengan penambangan memerlukan banyak energi dan tenaga kerja serta menimbulkan polusi yang cukup besar. Salah satu solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku primer adalah dengan mendaur ulang baterai $LiFePO_4$ bekas (Zhao et al., 2024).

Daur ulang baterai lithium ion, termasuk jenis *Lithium Iron Phosphate* dapat dilakukan melalui lima tahap yaitu klasifikasi, deaktivasi, *disassembly*, penghilangan organik binder dan *chemical metallurgy* (Yu et al., 2021). Pada tahap *chemical metallurgy*, proses *leaching* menjadi kunci dalam mengekstraksi logam dari *blackmass* (residu hasil pengolahan mekanik baterai bekas). Suhu pada proses *leaching* memiliki peran signifikan karena suhu mempengaruhi kinetika reaksi dan selektivitas pelarutan logam tertentu. Ketika suhu dinaikkan, partikel-partikel dalam larutan akan bergerak lebih cepat karena memiliki energi kinetik yang lebih besar. Gerakan yang lebih aktif ini menyebabkan partikel lebih sering bertumbukan dengan intensitas yang lebih kuat, sehingga mempercepat terjadinya reaksi kimia. Sebaliknya, jika suhu diturunkan, partikel menjadi kurang aktif dan frekuensi tumbukan efektif berkurang, sehingga laju reaksi pun menurun (Yusuf, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pada proses *leaching* terhadap efisiensi ekstraksi Li dan Fe dari *blackmass* pengolahan $LiFePO_4$ bekas. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pengetahuan terkait daur ulang baterai $LiFePO_4$, mendukung pengolahan limbah baterai dan berkontribusi dalam menjaga lingkungan dari limbah berbahaya.

RESEARCH METHODS

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pada proses *leaching* terhadap efisiensi ekstraksi Li dan Fe dari *blackmass* pengolahan $LiFePO_4$ dari proses mekanik. Proses mekanik diawali dengan penyortiran baterai bekas berdasarkan jenis dan bentuknya. (Nembhard, 2019). Penelitian ini menggunakan baterai lithium silinder $LiFePO_4$. Baterai kemudian dikosongkan kapasitasnya (deaktivasi) dengan perendaman dalam larutan garam untuk mencegah arus pendek dan percikan api saat *crushing* (Yuliusman, 2016). Tahap selanjutnya adalah *crushing*, yaitu penghancuran komponen baterai seperti casing, separator, anoda, dan katoda. Proses ini bertujuan mengecilkan ukuran partikel dan melepaskan material aktif dari *current collector*, menghasilkan produk berupa *blackmass* (Werner et al., 2022). *Blackmass* kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui komponennya berdasarkan struktur kristal.

Pra-perlakuan termal dilakukan untuk menghilangkan binder organik seperti seperti PVDF (*polyvinylidene fluoride*), yang terurai pada suhu sekitar 400°C (Muzayanha et al., 2019). Grafit teroksidasi pada 500°C sampai 600°C , menghasilkan CO/CO_2 dan memutus ikatan C-F, membentuk senyawa Li-F dan Co-F yang melemahkan struktur katoda (Yu et al., 2021). Penelitian ini menggunakan *blackmass* dengan dan tanpa perlakuan termal (*heat treatment*) pada suhu 500°C .

Proses *leaching* dilakukan menggunakan asam format dengan konsentrasi 0,5 M, rasio liquid/solid 10ml/g, kecepatan adukan 300 Rpm, dan waktu reaksi 30 menit. Asam format dan aquades ditambahkan ke gelas kimia dan dicampur secara merata melalui *hot plate magnetic stirrer*. Kemudian *blackmass* ditambahkan ke larutan yang sedang diaduk. Variasi suhu *leaching* yang diuji 24°C , 50°C , dan 80°C , baik untuk *blackmass* dengan maupun tanpa pra-perlakuan termal berupa *heat treatment*, untuk mengetahui pengaruhnya. Konsentrasi larutan Li dan Fe hasil *leaching* dianalisis melalui *Atomic Absorption Spechtrophotometer* (AAS) dan efisiensi ekstraksi logam Li dan Fe (efisiensi *leaching*) dihitung berdasarkan persamaan :

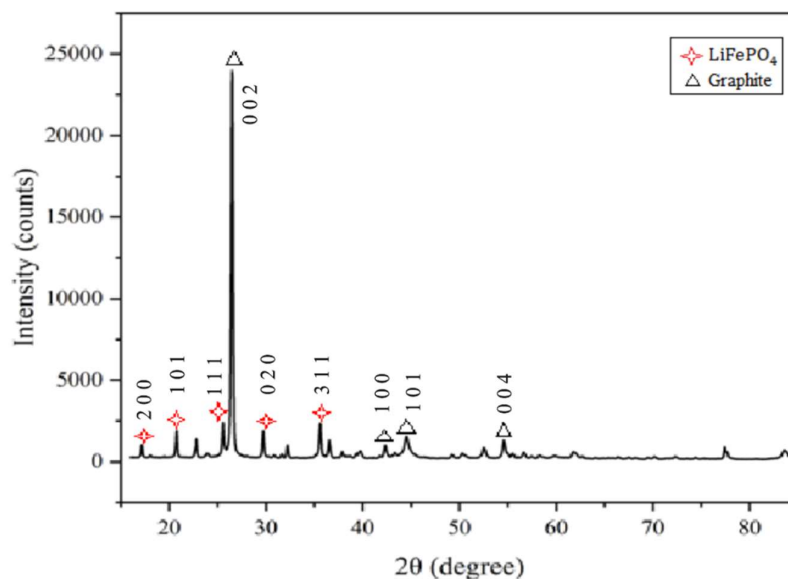
$$E = \frac{c \times V}{m \times x\%} \times 100\% \quad (1)$$



Dimana c merupakan konsentrasi ion logam dalam larutan setelah *leaching* (mg/L), V adalah volume larutan setelah *leaching* (L), m adalah massa awal serbuk *blackmass* (mg) dan x adalah presentasi ion logam dalam serbuk *blackmass* awal (Zhao et al., 2023).

RESULTS AND DISCUSSION

Gambar 1 menunjukkan pola XRD dari *blackmass* hasil proses mekanik baterai LiFePO_4 . Komponen utama *blackmass* berupa Lithium Besi Fosfat (LiFePO_4) berbentuk olivin orthorombik, berdasarkan data *Chrystallography Open Database* (COD) dengan pola yang dipilih 96-210-0917 dimana puncak puncaknya terdapat pada 17.2° , 20.7° , 25.5° , 29.7° , dan 35.5° secara berturut turut puncak difraksi berada pada (200), (101), (111), (020) dan (311), dan grafit dengan pola yang dipilih 96-910-1578 dimana puncak puncaknya terdapat pada 26.5° , 42.3° , 44.5° , dan 54.5° yang secara berturut turut puncak difraksi berada pada (002), (100), (101), dan (004) (Zhao et al., 2023) (Liu et al., 2018).



Gambar 1. Pola XRD dari *blackmass* hasil proses mekanik

Hasil analisis *Atomic Absorption Spechtrophotometer* (AAS) dari sampel filtrat hasil *leaching blackmass* pengolahan LiFePO_4 bekas dapat dilihat pada tabel

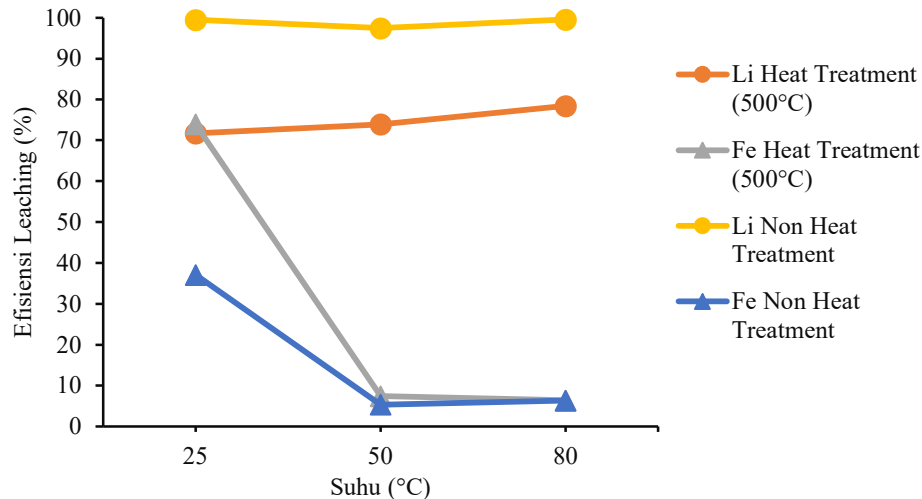
Tabel 1 Hasil AAS pada sampel hasil *leaching blackmass*

Pretreatment	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Konsentrasi (mg/L)	
		Li	Fe
<i>Blackmass</i> dengan <i>Heat Treatment</i> ($500^\circ\text{C}/1$ jam)	25	4,653	8,348
	50	5,384	0,9312
	80	6,048	0,8525
<i>Blackmass</i> tanpa <i>Heat Treatment</i>	25	6,516	4,2
	50	7,095	0,6674
	80	7,251	0,7925



Tabel 1 merupakan besar kadar unsur Lithium (Li) dan besi (Fe) yang terkandung dalam sampel filtrat hasil *leaching blackmass* pengolahan baterai LiFePO_4 bekas. Terlihat bahwa konsentrasi unsur Li yang paling banyak ada pada sampel filtrat hasil *leaching* dengan parameter suhu 80°C baik *leaching* dengan *blackmass* dengan *heat treatment* pada suhu $500^\circ\text{C}/1$ jam maupun *blackmass* tanpa *heat treatment* yaitu sebesar 6,048 mg/L dan 7,251 mg/L

Untuk mengetahui pengaruh suhu pada proses *leaching*, digunakan variasi suhu yaitu 25, 50 dan 80°C . Pengaruh suhu terhadap persen ekstraksi logam dalam proses *leaching* dapat diamati melalui grafik pada gambar dibawah .



Gambar 2. Grafik pengaruh suhu terhadap efisiensi *leaching blackmass* dengan *Heat Treatment* 500°C dan tanpa *Heat treatment*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *blackmass* yang mengalami pemanasan (*blackmass heat treatment*) sebelum proses *leaching* dengan asam format cenderung memiliki efisiensi ekstraksi yang meningkat untuk logam Li seiring kenaikan suhu *leaching*. Efisiensi *leaching* maksimum tercapai pada suhu 80°C sebesar 78%. Hal ini disebabkan oleh perubahan sifat material akibat pemanasan awal, seperti dekomposisi senyawa organik (binder PVDF dan elektrolit) dan peningkatan kadar lithium dalam *blackmass* (Obuz et al., 2023), transformasi fase logam menjadi bentuk yang lebih mudah larut (misalnya dari hidroksida/sulfat menjadi oksida). Pada kondisi ini, suhu *leaching* yang tinggi mempercepat kinetika reaksi dan meningkatkan kelarutan logam target seperti Li, sehingga efisiensi ekstraksi meningkat secara konsisten (Yu et al., 2021).

Sebaliknya, pada *blackmass* tanpa pemanasan, efisiensi *leaching* untuk logam Li cenderung naik turun dan dapat mencapai nilai optimal pada suhu ruang 25°C dan suhu 80°C sebesar 99%. Hal ini selaras dengan penelitian oleh (Zhao et al., 2023), fenomena ini dapat dijelaskan oleh adanya senyawa organik sisa (sebagai pengotor) yang belum terdekomposisi (Bjerre-christensen et al., 2025) dan mengganggu proses *leaching* yang mengakibatkan efisiensi *leaching* mengalami fluktuasi. Pada suhu ruang asam format dalam kondisi stabil dan konsentrasinya maksimal sehingga efisiensi ekstraksi tinggi. Sedangkan untuk logam Fe, efisiensi *leaching* cenderung menunjukkan penurunan baik *leaching* menggunakan *blackmass* dengan *heat treatment* maupun *blackmass non heat treatment*. Hal ini dikarenakan seiring dengan kenaikan suhu asam format mengalami reaksi dehidrasi dan dekomposisi (Sanchez et al., 2018) sehingga mengurangi konsentrasi asam aktif dan tidak cukup kuat melarutkan Fe.



CONCLUSION

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa suhu pada proses *leaching* berpengaruh terhadap efisiensi ekstraksi logam Li dari *blackmass* dengan *heat treatment*. Semakin tinggi suhu pada proses *leaching*, semakin banyak logam Li yang terekstraksi. Sedangkan, efisiensi *leaching* untuk logam Li dari *blackmass non heat treatment* cenderung naik turun dan dapat mencapai nilai optimal pada suhu ruang. Sementara itu, untuk logam Fe, baik proses *leaching blackmass* dengan *heat treatment* maupun *non heat treatment* mengalami penurunan. Selain suhu, kinerja *leaching* juga sangat bergantung pada stabilitas asam dan sifat alami material.

REFERENCES

- Barbosa de Mattos, D. F., Duda, S., & Petranikova, M. (2025). Recycling of Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Batteries from the End Product Quality Perspective. *Batteries*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/batteries11010033>
- Bjerre-christensen, N., Eriksen, C. B., Sylvester-hvid, K. O., & Ravnsbæk, D. B. (2025). *Characterization of Industrial Black Mass from End-of-Life LiFePO₄ -Graphite Batteries*. 1-12.
- Liu, R., Chen, J., Li, Z., Ding, Q., An, X., Pan, Y., Zheng, Z., Yang, M., & Fu, D. (2018). Preparation of LiFePO₄/C cathode materials via a green synthesis route for lithium-ion battery applications. *Materials*, 11(11), 1-13. <https://doi.org/10.3390/ma11112251>
- Melin, H. E. (2019). State of the art in reuse and recycling of lithium-ion batteries-a research review. *Circular Energy Storage*, 1(2019), 1-57.
- Muzayanha, S. U., Yudha, C. S., Hasanah, L. M., Nur, A., & Purwanto, A. (2019). Effect of Heating on the Pretreatment Process for Recycling Li-Ion Battery Cathode. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(2), 105. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i2.29906>
- Nembhard, N. S. (2019). *Safe, Sustainable Discharge of Electric Vehicle Batteries as a Pre-treatment Step to Crushing in the Recycling Process*. 1-66.
- Obuz, H. E., Tekmanli, F., Mettke, L. N., Müller, M., & Yagmurlu, B. (2023). *Investigation of Recycling Behavior of Lithium Iron Phosphate Batteries with Different Thermal Pre-Treatments*. 68. <https://doi.org/10.3390/materproc2023015068>
- Sanchez, F., Alotaibi, M. H., Motta, D., Chan-Thaw, C. E., Rakotomahevitra, A., Tabanelli, T., Roldan, A., Hammond, C., He, Q., Davies, T., Villa, A., & Dimitratos, N. (2018). Hydrogen production from formic acid decomposition in the liquid phase using Pd nanoparticles supported on CNFs with different surface properties. *Sustainable Energy and Fuels*, 2(12), 2705-2716. <https://doi.org/10.1039/c8se00338f>
- Skeete, J. P., Wells, P., Dong, X., Heidrich, O., & Harper, G. (2020). Beyond the Event horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition. *Energy Research and Social Science*, 69(April), 101581. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101581>
- Werner, D. M., Mütze, T., Kaas, A., & Peuker, U. A. (2022). Mechanical and physical processes of battery recycling. In *Nano Technology for Battery Recycling, Remanufacturing, and Reusing* (Issue January). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91134-4.00023-6>
- Yu, D., Huang, Z., Makuza, B., Guo, X., & Tian, Q. (2021). Pretreatment options for the recycling of spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Minerals Engineering*, 173(April), 107218. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107218>
- Yuliusman, Y. (2016). *Pengambilan Kembali Logam Litium dan Cobalt dari Baterai Li-Ion dengan Pengambilan Kembali Logam Litium dan Cobalt dari Baterai Li-Ion dengan Metode Leaching Asam Sitrat*. March.
- Yusuf, Y. (2018). Kimia Dasar. In *EduCenter Indonesia* (Vol. 1, Issue 11150331000034).



- Zhao, T., Li, ., Traversy, M., Choi, Y., Ghahreman, A., Zhao, Z., Zhang, C., Zhao, W., & Yunfeng, L. (2024). A Review On The Recycling Of Spent Lithium Iron Phosphate Batteries. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.119670>.
- Zhao, T., Marthi, R., Mahandra, H., Chae, S., Traversy, M., Sadri, F., Choi, Y., & Ghahreman, A. (2023). Direct selective leaching of lithium from industrial-grade black mass of waste lithium-ion batteries containing LiFePO₄ cathodes. *Waste Management*, 171(August), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.08.030>
- Zhao, T., Li, ., Traversy, M., Choi, Y., Ghahreman, A., Zhao, Z., Zhang, C., Zhao, W., & Yunfeng, L. (2024). A Review On The Recycling Of Spent Lithium Iron Phosphate Batteries. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.119670>.