

Potensi Pemanfaatan Limbah *Laundry* Sebagai Katoda LiFePO_4 Baterai *Lithium-ion*

Reynaldi Virgiawan Rifki Pradana¹, Valiana Mugi Rahayu¹, Yudi Eka Fahroni¹, Agus Purwanto¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Corresponding author: aguspurwanto@staff.uns.ac.id

Abstrak. Tingginya kandungan fosfat dalam limbah *laundry* sangat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, terutama untuk perairan dan tanah. Diperlukan beberapa langkah untuk mengurangi kandungan fosfat dalam limbah *laundry*, yaitu dengan mengambil atau *recovery* fosfat. Senyawa hasil dari *recovery* fosfat salah satunya dapat dimanfaatkan sebagai prekursor Fe dan fosfat dalam sintesis katoda LiFePO_4 baterai *lithium-ion*. *Recovery* fosfat dari limbah *laundry* dilakukan menggunakan metode *chemical precipitation* dengan bantuan senyawa $\text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Metode kopresipitasi, hidrotermal, dan *sol-gel* dengan kondisi operasi tertentu dapat dilakukan untuk sintesis LiFePO_4 dengan prekursor hasil *recovery* limbah *laundry*. Kapasitas yang dihasilkan dari ketiga metode tersebut mendekati kapasitas teoritis LiFePO_4 sebesar 170 mAh/g.

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, kebutuhan masyarakat akan media penyimpan energi turut meningkat salah satunya baterai. Saat ini banyak dikembangkan teknologi untuk pembuatan baterai yang tentu saja mempunyai daya simpan yang besar, tahan lama, dan ramah lingkungan. Salah satu jenis baterai yang marak dikembangkannya adalah baterai *lithium-ion* sebagai media penyimpan energi untuk masa depan (Hou et al., 2018).

Lithium Ferro Phosphate (LiFePO_4) merupakan salah satu jenis katoda baterai *lithium-ion* yang memiliki kapasitas spesifik teoritis tinggi sebesar 170 mAh/g (Li, 2018). Katoda LiFePO_4 memiliki kelebihan seperti stabilitas termal yang baik, umur pemakaian panjang, dan harganya yang murah (Gao et al., 2017), sehingga menjadikan LiFePO_4 sebagai material yang perlu dikembangkan.

Pembuatan katoda LiFePO_4 menggunakan prekursor *lithium*, *ferro*, dan *phosphate* yang biasanya didapat dari $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber *ferro*, Li_2CO_3 sebagai sumber *lithium*, dan $(\text{NH}_2)_2\text{HPO}_4$ sebagai sumber *phosphate*. Bahan-bahan tersebut mempunyai harga yang mahal dan kurang ramah lingkungan, sehingga perlu dilakukan penggantian bahan-bahan tersebut dengan memanfaatkan limbah *laundry*. Limbah *laundry* memiliki kadar fosfat yang tinggi sehingga berpotensi sebagai sumber fosfat dalam pembuatan baterai *lithium-ion*. Penggunaan limbah *laundry* ini diharapkan dapat mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh tingginya kandungan fosfat.

2. Metode Pelaksanaan

Paper disusun dengan menggunakan metode studi literatur data sekunder yaitu dari penelitian yang sudah dilakukan. Data-data tersebut dapat dijadikan pendekatan terhadap hasil yang akan dicapai. Pendekatan dilakukan dengan cara membandingkan antara penelitian satu dengan yang lain sehingga didapatkan kondisi yang optimal untuk memprediksi hasil yang akan dicapai. Langkah langkah yang dilakukan dalam menyusun paper ini diantaranya yaitu menyusun pokok bahasan, melakukan studi literatur, pengumpulan dan perbandingan data, analisis data, dan penyusunan naskah.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Fosfat dalam Limbah Laundry

Limbah *laundry* adalah suatu limbah yang berasal dari kegiatan yang melibatkan sabun dan deterjen untuk menghilangkan lemak dan kotoran dari pakaian yang kotor (Sheth et al., 2017). Limbah *laundry* umumnya dibagi menjadi *domestic laundry*, *industrial laundry*, dan *hospital laundry* yang

memiliki karakteristik masing masing. Karakteristik dari ketiga jenis limbah *laundry* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah *laundry* (Kis et al., 2008)

Parameter	Domestic laundry	Industrial laundry	Hospital laundry
pH	9,3 - 10	9 - 11	11,4 - 11,6
TDS, mg/L	400 - 6000	420	456 - 800
TSS, mg/L	200 - 987	Apr - 00	66 - 71
Fosfat, mg/L	4 - 27,6	3,43	10,8 - 167
BOD, mg/L	48 - 1200	218 - 9810	44 - 50
COD, mg/L	375 - 4155	80 - 212000	477 - 876

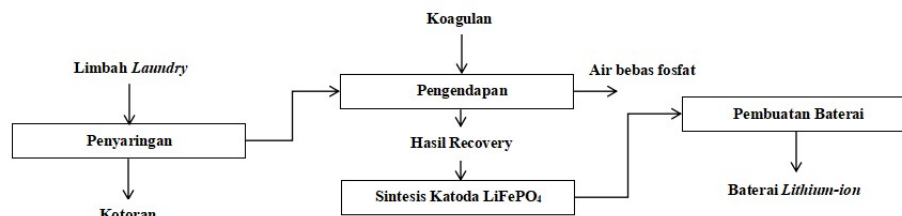
Tabel 1 menunjukkan bahwa semua sumber limbah *laundry* memiliki kandungan fosfat diatas 0,5 mg/L yang akan mempermudah pertumbuhan alga sehingga sangat berpotensi mengakibatkan eutrofikasi (Omolara, 2018). Oleh karena itu, dibutuhkan proses penghilangan atau pengambilan fosfat dari limbah *laundry* (Mohamed et al., 2018).

3.2. Pemanfaatan Senyawa Fosfat

Fosfat adalah salah satu senyawa vital yang dibutuhkan dalam banyak bidang, diantaranya proses fermentasi dalam produksi alkohol, sebagai *baking powder*, dan bahan refraktori (Toama, 2017). Senyawa fosfat dapat dimanfaatkan sebagai sumber fosfat dalam prekursor fosfat katoda $LiFePO_4$ baterai *lithium-ion* seperti yang pernah dilakukan oleh (Sun et al., 2019) dengan memanfaatkan *waste slag* Fe-P yang merupakan limbah padat dari *yellow phosphorus industry* di Cina. Baterai *lithium-ion* yang dihasilkan oleh Sun memiliki kapasitas sebesar 145 mAh/g pada 0,1 C. Hasil ini membuktikan bahwa pemanfaatan fosfat dari limbah berpeluang besar sebagai sumber fosfat pada sintesis katoda $LiFePO_4$.

3.3. Proses Pemanfaatan Limbah Laundry Menjadi Baterai Lithium-ion

Proses pemanfaatan limbah *laundry* menjadi katoda $LiFePO_4$ baterai *lithium-ion* secara garis besar melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pemanfaatan limbah *laundry* sebagai baterai *lithium-ion*

Tahap awal yang dilakukan yaitu penyaringan kotoran, kemudian fosfat yang ada dalam limbah *laundry* akan diambil dengan menggunakan koagulan (Aulenbach, 2015). Senyawa hasil *recovery* dari proses koagulasi limbah *laundry* akan digunakan sebagai prekursor Fe dan fosfat pada pembuatan baterai *lithium-ion* (Sun et al., 2019).

3.4. Recovery Fosfat dari Limbah Laundry

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk melakukan *recovery* fosfat dari beberapa jenis limbah yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Percobaan *recovery* fosfat dari berbagai limbah

Jenis limbah	Metode	Recovery %	Referensi
Limbah air domestik	Biological	53%	Ye et al., 2015
Limbah air domestik	Membran	62,2%	Li et al., 2018
Limbah <i>laundry</i>	Chemical Precipitation	30% dan 25%	Adesoye et al., 2014
Limbah <i>laundry</i>	Chemical Precipitation	98,36%	Aulenbach, 2015



Dari tabel tersebut, ada tiga metode yang digunakan dalam *recovery* fosfat yaitu *biological*, membran, dan *chemical precipitation*. Masing masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan kekurangan metode *recovery* fosfat

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>Biological</i>	Kemurnian tinggi (Sukačová et al., 2015)	Stabilitas proses rendah dan proses lama (Guisasola et al., 2019)
Membran	Dapat me- <i>recovery</i> fosfat terlarut (Qiu & Ting, 2014)	Biaya investasi yang mahal dan membran sangat sensitif terhadap pH (Cornelissen et al., 2011)
<i>Chemical precipitation</i>	Dapat menghasilkan senyawa yang bisa digunakan langsung dan proses pemisahan mudah (Aulenbach, 2015).	Menghasilkan lumpur yang cukup banyak (Perera et al., 2019)

Dari ketiga metode tersebut, metode *chemical precipitation* dapat menghasilkan senyawa presipitan yang dapat langsung dimanfaatkan seperti $AlPO_4$ sebagai bahan komposit tahan api (Haryono et al., 2012) dan $FePO_4$ sebagai prekursor Fe dan fosfat pada sintesis katoda $LiFePO_4$ baterai *lithium-ion* (Prosini et al., 2014). Proses pengambilan fosfat dari limbah *laundry* dengan menggunakan metode *chemical precipitation* harus memperhatikan pemilihan jenis bahan kimia yang akan digunakan sebagai *presipitant* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pemilihan *presipitant* dalam metode *chemical precipitation* (Aulenbach, 2015)

Bahan kimia	Pertimbangan	Senyawa <i>recovery</i>	Kandungan PO_4
$Ca(OH)_2$	Perlu dilakukan netralisasi limbah setelah proses pengambilan fosfat.	$Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$	97,73%
$Al_2(SO_4)_3$	Akan mempengaruhi pertumbuhan populasi mikroba dalam lumpur.	$AlPO_4$	94%
$FeCl_2 \cdot 2H_2O$	Reaksi lambat sehingga perlu ditambahkan koagulan tambahan.	$FePO_4$	98,36%

Dari beberapa pertimbangan tersebut, penggunaan $FeCl_2 \cdot 2H_2O$ dalam metode *chemical precipitation* untuk me-*recovery* fosfat dari limbah *laundry* lebih dipilih karena hasil *recovery* fosfat yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan senyawa lain (Aulenbach, 2015). Selain itu, penggunaan $FeCl_2 \cdot 2H_2O$ menghasilkan senyawa $FePO_4$ yang dapat digunakan sebagai prekursor Fe dan PO_4 pada sintesis katoda $LiFePO_4$ baterai *lithium-ion* (Prosini et al., 2014).

3.5. Sintesis $LiFePO_4$

Metode pembuatan material aktif $LiFePO_4$ dibagi menjadi dua, yaitu metode berbasis *solid state* dan metode berbasis larutan. Metode *solid state* mudah dilakukan karena tidak membutuhkan pelarut, tetapi menyebabkan pertumbuhan partikel, kemurnian rendah, dan kapasitas rendah. Sementara itu, metode berbasis larutan menghasilkan ukuran partikel kecil serta kemurnian dan kapasitas tinggi sehingga metode berbasis larutan lebih dipilih (Yang et al., 2005).

Metode pembuatan material aktif $LiFePO_4$ berbasis larutan dibagi lagi menjadi kopresipitasi, hidrotermal, dan *sol-gel*. Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kelebihan dan kekurangan metode berbasis larutan

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Kopresipitasi	Kemurnian tinggi, kontrol proses mudah, partikel yang terbentuk kecil, suhu operasi rendah, dapat diterapkan untuk <i>scale-up</i> dan tidak terlalu dipengaruhi oleh jenis prekursor .	Kontrol pH larutan perlu diperhatikan dan proses sintesis berlangsung cukup lama (Feng, 2015).
Hidrotermal	Biaya proses rendah, proses sederhana, bentuk partikel mudah dikontrol, serta kemurnian dan kristalinitas tinggi (Waluyo & Noerochiem, 2014)	Kapasitas yang dihasilkan cenderung rendah dan <i>slurry</i> bersifat korosif (Waluyo & Noerochiem, 2014).
<i>Sol-gel</i>	Kemurnian material tinggi, proses sintesis pada suhu rendah, struktur kristal yang seragam, dan ukuran partikel sangat kecil (Satyavani, Kumar, & Rao, 2016).	Biaya sintesis relatif mahal, waktu sintesis lama, saat pengeringan terjadi penyusutan volume yang besar (Jamarun et al., 2015).

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa ketiga metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, namun metode kopresipitasi lebih diunggulkan jika prekursor yang digunakan berasal dari limbah karena metode ini tidak terlalu dipengaruhi oleh jenis prekursor (Feng, 2015).

3.6. Karakterisasi Material LiFePO_4 dan Uji Elektrokimia Baterai

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, karakterisasi material LiFePO_4 dilakukan untuk mengetahui hasil material yang dihasilkan. Contoh hasil analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan uji elektrokimia dapat dilihat pada Tabel 6, 7, dan 8. Untuk analisis XRD menggunakan nilai lattice parameter yang akan dibandingkan dengan JCPDS card 81-1173 (A=10,330 nm, B=6,010 nm, dan C=4,692 nm).

Tabel 6. Hasil analisis SEM material LiFePO_4

Metode	Bentuk partikel	Ukuran partikel	Referensi
Kopresipitasi	<i>Fine</i> partikel	100-200 nm	J. C. Zheng et al., 2008
Hidrotermal	<i>Ellipsoid</i>	100-500 nm	Zhao et al., 2012
<i>Sol-gel</i>	<i>Larger agglomerated grains</i>	50 nm	Bazzi et al., 2016

Tabel 7. Nilai *lattice parameter* dari percobaan sintesis LiFePO_4

Metode	A	B	C	Referensi
Kopresipitasi	10,3339	6,0091	4,6948	J. C. Zheng et al., 2008
Hidrotermal	10,3203	5,9930	4,6720	Zhao et al., 2012
<i>Sol-gel</i>	10,336	6,012	4,688	Bazzi et al., 2016

Tabel 8. Hasil uji elektrokimia baterai LiFePO_4

Metode	Kapasitas <i>charge/discharge</i> (mAh/g)	Referensi
Kopresipitasi	166 (0,1C)	J. C. Zheng et al., 2008
Hidrotermal	150 (0,1C)	Zhao et al., 2012
<i>Sol-gel</i>	155 (0,3C)	Bazzi et al., 2016

Dari hasil analisis material dan baterai LiFePO_4 yang tercantum pada tabel 6,7, dan 8 terlihat bahwa metode kopresipitasi, hidrotermal, dan *sol-gel* memiliki karakteristik material yang bagus diantaranya ukuran partikel yang kecil dan nilai *lattice parameter* yang mendekati nilai JCPDS card 81-1173 (A=10,330 nm, B=6,010 nm, dan C=4,692 nm). Kapasitas *charge/discharge* baterai LiFePO_4 yang dihasilkan dari ketiga metode tersebut sangat tinggi dan hampir mendekati kapasitas teoritis (170 mAh/g).

4. Kesimpulan

Tingginya kandungan fosfat dalam limbah *laundry* sangat beresiko menimbulkan pencemaran lingkungan terutama untuk air dan tanah. Namun hal tersebut dapat diatasi dengan cara penghilangan atau pengambilan fosfat pada limbah *laundry*. Proses *recovery* fosfat dari limbah *laundry* dapat dilakukan dengan metode *chemical precipitation*. *Presipitant* yang cocok digunakan dalam *recovery* fosfat dari limbah *landry* yaitu $\text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan pertimbangan konversi *recovery* fosfat yang tinggi dan dapat menghasilkan senyawa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber Fe dan fosfat pada sintesis katoda LiFePO_4 baterai *lithium-ion*. Sintesis katoda LiFePO_4 dari limbah *laundry* sangat memungkinkan dilakukan dengan pilihan metode yang digunakan beragam seperti kopresipitasi, hidrotermal, dan *sol-gel*. Ketiga metode tersebut dapat menghasilkan material katoda yang bagus dan menghasilkan baterai LiFePO_4 dengan kapasitas yang mendekati teoritis yaitu 170 mAh/g.

5. Referensi

- [1] Adesoye, A. M., Olayinka, K., Olukomaiya, O. O., & Iwuchukwu, P. O. (2014). The Removal of Phosphates from Laundry Wastewater Using Alum and Ferrous Sulphate as Coagulants. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 5(October):256–260.
- [2] Aulenbach, D. B. (2015). Phosphate Removal from Laundry Wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 45(8):1708.
- [3] Bazzi, K., Nazri, M., Naik, V. M., Garg, V. K., Oliveira, A. C., Vaishnava, P. P., Nazri, G. A., & Naik, R. (2016). Enhancement of Electrochemical Behavior of Nanostructured LiFePO_4 /Carbon Cathode Material with Excess Li. *Journal of Power Sources*. 306:17–23.



- [4] Cornelissen, E. R., Harmsen, D., Beerendonk, E. F., Qin, J. J., Oo, H., De Korte, K. F., & Kappelhof, J. W. M. N. (2011). The Innovative Osmotic Membrane Bioreactor (OMBR) for Reuse of Wastewater. *Water Science and Technology*. 63(8):1557–1565.
- [5] Feng, H. (2015). A Novel Co-precipitation Method for Carbon-free LiFePO₄ and Investigation into Potential LiFePO₄-C Cathode Materials for Lithium-ion Batteries. Thesis, Western Sy.
- [6] Gao, C., Zhou, J., Liu, G., & Wang, L. (2017). Synthesis of F-doped LiFePO₄/C Cathode Materials for High Performance Lithium-ion Batteries using Co-precipitation Method with Hydrofluoric Acid Source. *Journal of Alloys and Compounds*. 727:501–513.
- [7] Guisasola, A., Chan, C., Larriba, O., Lippo, D., Suárez-Ojeda, M. E., & Baeza, J. A. (2019). Long-term Stability of An Enhanced Biological Phosphorus Removal System in A Phosphorus Recovery Scenario. *Journal of Cleaner Production*. 214:308–318.
- [8] Haryono, A., Restu, W. K., & Harmami, S. B. (2012). Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Aluminum Fosfat. *J. Sains Materi Indonesia*. 14(1):51–55.
- [9] Hou, H., Li, D., Liu, X., Yao, Y., Dai, Z., & Yu, C. (2018). Recovery of Waste Li Foils from Spent Experimental Li-anode Coin Cells for LiFePO₄/C Cathode. *Sustainable Materials and Technologies*. 17:e00064.
- [10] Jamarun, N., Sari, T. P., Drajat, S., Azharman, Z., & Asril, A. (2015). Effect of pH Variation on Hydroxyapatite Synthesis Through Sol-gel Method. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 6(3):1065– 1069
- [11] Kis, L. T., Albrech, C., & Machado, Ê. L. (2008). Hospital Laundry Wastewater Disinfection with Catalytic Photoozonation. *Clean - Soil, Air, Water*. 36(9):775.
- [12] Li, R. hong, Wang, X. Mao, & Li, X. yan. (2018). A Membrane Bioreactor with Iron Dosing and Acidogenic Co-fermentation for Enhanced Phosphorus Removal and Recovery in Wastewater Treatment. *Water Research*. 129:402–412.
- [13] Mohamed, R. M., Al-Gheethi, A. A., Noramira, J., Chan, C. M., Hashim, M. K. A., & Sabariah, M. (2018). Effect of Detergents from Laundry Greywater on Soil Properties: A Preliminary Study. *Applied Water Science*. 8(1):1–7.
- [14] Omolara Lade, Z. G. (2018). Sustainable water supply: Potential of recycling laundry wastewater for domestic use. *Journal of Civil Engineering and Sustainable water supply: Potential of recycling laundry wastewater for domestic use*. 4:56–60.
- [15] Perera, M. K., Englehardt, J. D., & Dvorak, A. C. (2019). Technologies for Recovering Nutrients from Wastewater: A Critical Review. *Environmental Engineering Science*. 36(5):511–529.
- [16] Prosini, P. P., Cento, C., Masci, A., Carewska, M., & Gislou, P. (2014). A Synthesis of LiFePO₄ Starting from FePO₄ under Reducing Atmosphere. *AIP Conference Proceedings*. 1603:109–118.
- [17] Qiu, G., & Ting, Y. P. (2014). Direct Phosphorus Recovery from Municipal Wastewater via Osmotic Membrane Bioreactor (OMBR) for Wastewater Treatment. *Bioresource Technology*. 170:221–229.
- [18] Satyavani, T. V. S. L., Kumar, A. S., & Rao, P. S. V. S. (2016). Methods of Synthesis and Performance Improvement of Lithium Iron Phosphate for High Rate Li-ion Batteries: A review. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 19(1):178–188
- [19] Sheth, N., Patel, M., & Desai, M. D. (2017). A Study on Characterization & Treatment of Laundry Effluent. *IJRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology*. 4(1):50–55.
- [20] Sukačová, K., Trtílek, M., & Rataj, T. (2015). Phosphorus Removal Using A Microalgal Biofilm in A New Biofilm Photobioreactor for Tertiary Wastewater Treatment. *Water Research*. 71:55–63.
- [21] Sun, Y., Zhao, Q., Luo, C., Wang, G., Sun, Y., & Yan, K. (2019). A Novel Strategy for The Synthesis of Fe₃(PO₄)₂ Using Fe-P Waste Slag and CO₂ Followed by Its Use as the Precursor for LiFePO₄ Preparation. *ACS Omega*. 4(6):9932–9938.
- [22] Toama, H. Z. (2017). World Phosphate Industry. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining, January 2017*. 5–23.

- [23] Waluyo, H., & Noerochiem, L, 2014, Pengaruh Temperatur Hydrothermal terhadap Baterai Ion Lithium Type Aqueous Elektrolit, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [24] Yang, M. R., Ke, W. H., & Wu, S. H. (2005). Preparation of LiFePO_4 Powders by Co-precipitation. *Journal of Power Sources*. 146(1–2):539–543.
- [25] Ye, Y., Gan, J., & Hu, B. (2015). Screening of Phosphorus-Accumulating Fungi and Their Potential for Phosphorus Removal from Waste Streams. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 177(5):1127–1136.
- [26] Zhao, R. R., Hung, I. M., Li, Y. T., Chen, H. Y., & Lin, C. P. (2012). Synthesis and Properties of Co-doped LiFePO_4 as Cathode Material via A Hydrothermal Route for Lithium-ion Batteries. *Journal of Alloys and Compounds*. 513:282–288.
- [27] Zheng, J. C., Li, X. H., Wang, Z. X., Guo, H. J., & Zhou, S. Y. (2008). LiFePO_4 with Enhanced Performance Synthesized by A Novel Synthetic Route. *Journal of Power Sources*. 184(2):574–577.