

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BAHAN KATODA BATERAI *LITHIUM IRON PHOSPHATE* (LiFePO₄) MENGGUNAKAN METODE *SOLID STATE REACTION*

Okni Putra¹, Rusdan Fadila¹, Eko Andrijanto¹, dan Dian Ratna Suminar^{1,*}

¹Program Studi D-III Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung

*E-mail: dian.ratna@polban.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan baterai tak luput dari kebutuhan energi yang kian meningkat. Meskipun sumber energi tidak terpaku pada baterai, namun baterai banyak diminati karena dapat menampung cukup banyak energi, relatif aman, dan bersifat *portable*. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesa dan mengetahui karakteristik salah satu jenis katoda baterai *lithium-ion* yaitu *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄) dengan variasi mol *reagent* berdasarkan perbandingan stoikiometri dan suhu proses kalsinasi 600°C, 700°C, dan 800°C selama 3x3 jam menggunakan metode *solid state reaction* dengan Li₂SO₄.H₂O, FeSO₄.7H₂O, dan KH₂PO₄ sebagai *reagent*. Produk hasil kalsinasi 800°C dengan variasi 0,1 mol dijadikan sampel untuk dianalisis dan dikarakterisasi karena memiliki penurunan berat endapan BaSO₄ tertinggi. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan gugus fungsi P-O yang cukup kuat, sementara hasil karakterisasi menggunakan SEM/EDX menunjukkan partikel yang terbentuk memiliki ukuran sekitar 160nm hingga 14µm dan terdapat atom S yang merupakan *impurities* dalam produk. Pola difraksi hasil uji XRD menunjukkan terbentuknya sejumlah fasa seperti LiFePO₄, LiFeP₂O₇, dan Li₃PO₄.

Kata kunci: Katoda baterai, LiFePO₄, kalsinasi, solid state reaction

ABSTRACT

The development of batteries is inseparable from the increasing energy needs. Although energy sources are not available for batteries, batteries are in great demand because they can store a lot of energy, are relatively safe, and are portable. This study aims to synthesize and determine the characteristics of one type of lithium-ion battery cathode, namely Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) with various mole reagents based on stoichiometric ratios and calcination process temperatures of 600°C, 700°C, and 800°C for 3x3 hours using the solidstate reaction method with Li₂SO₄.H₂O, FeSO₄.7H₂O, and KH₂PO₄ as reagents. The 800°C calcined product with 0,1 mol variation was sampled for analysis and characterization because it had the highest weight loss of BaSO₄ deposits. The results of characterization using FTIR showed that the functional group P-O are quite strong, while the results of characterization using SEM/EDX showed that the particles formed had a size of about 160nm to 14µm and contained S atoms which were impurities in the product. The diffraction pattern of XRD test results shows the formation of phase numbers such as LiFePO₄, LiFeP₂O₇, dan Li₃PO₄.

Keywords: Battery cathode, LiFePO₄, calcination, solid state reaction

PENDAHULUAN

Baterai merupakan sebuah perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik dari konversi kimia yang ada di dalamnya yang merupakan reaksi elektrokimia reduksi dan oksidasi. Baterai sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai sekali pakai yang tidak dapat diisi ulang, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang sehingga dapat digunakan kembali dan memiliki siklus hidup yang panjang (Linden dkk., 2002). Baterai sekunder memiliki berbagai klasifikasi berdasarkan bahan kimia yang digunakan sebagai dasar pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Berbagai baterai berbahan kimia yang banyak beredar antara lain baterai *nickel-cadmium* (NiCd), baterai *nickel-metal hydride* (NiMH), baterai *lithium ion* (Li-Ion) dan baterai *lithium polymer* (Li-Po) (Sidiq, 2015).

Salah satu tipe baterai sekunder yang paling banyak dimanfaatkan dan menjadi pusat perhatian adalah baterai *lithium-ion*. Baterai *lithium-ion* sendiri memiliki nilai potensial standar yang tinggi, kepadatan energi yang tinggi, dan nilai kapasitasnya yang tinggi menjadi harapan untuk ketersediaan energi dan sebagai sumber energi untuk berbagai barang elektronik hingga kendaraan listrik (Scrosati & Garche, 2010). Berbeda dengan *Sodium-Ion Battery* (SIB) yang sangat mudah habis ketika digunakan dengan bentuk baterai yang kurang *portable* akibat dari *housing* baterai yang sangat besar dibanding baterai *lithium-ion* (Karuppasamy, 2020).

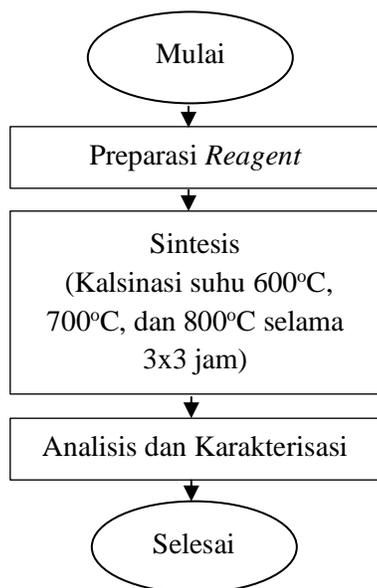
Sejak kemunculan *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄) pada tahun 1997 (Padhi dkk., 1997) yang sangat menjanjikan untuk perkembangan katoda baterai *lithium-ion*, berbagai metode

sintesis LiFePO₄ telah dilakukan dan menjadi pertimbangan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Namun tantangan untuk komersialisasi LiFePO₄ tetap ada. Hal tersebut diakibatkan kompleksnya proses fabrikasi katoda LiFePO₄ itu sendiri yang perlu dipermudah dan dioptimalkan, serta pemilihan sumber bahan baku untuk sintesisnya sendiri agar lebih ekonomis dan tidak berdampak buruk terhadap lingkungan (Wang dkk., 2012). Saat ini metode sintesis LiFePO₄ yang sering digunakan dan menjadi pertimbangan dalam berbagai penelitian adalah *solid state reaction method*, *liquid phase method*, *sol-gel method*, *hydrothermal method*, dan *spray pyrolysis method* (Jugovic & Uskokovic, 2009).

Solid state reaction method merupakan salah satu jenis sintesis LiFePO₄ melalui reaksi fasa padat menggunakan suhu tinggi dibawah titik leburnya (kalsinasi) (Jugovic & Uskokovic, 2009). Dalam *solid state reaction method* terdapat proses kalsinasi dimana proses ini merupakan pemanasan bahan dengan suhu tinggi dibawah titik leburnya untuk mendekomposisi senyawa-senyawa seperti air pada suhu 100°C hingga 300°C, dan gas-gas seperti H₂, CO₂ pada suhu sekitar 600°C (Richardson dkk., 1988) dan dapat membentuk struktur kristal disekitar suhu 800°C (Ruksudjarit dkk., 2008). Sementara itu anion sulfat mulai terdekomposisi pada rentang suhu yang lebih jauh diatas 800°C hingga 900°C membentuk gas SO₂ (Yadav & Nair, 1999). Metode *solid state reaction* dipilih karena biaya produksi yang cukup murah, penggunaan energi yang lebih rendah, serta cukup sederhana dengan skala produksi yang besar (Cho dkk., 2017).

METODOLOGI

Penelitian kali ini menggunakan metode eksperimental. Sintesis LiFePO_4 menggunakan *solid state reaction method* dengan $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan KH_2PO_4 sebagai *reagent* dengan variasi suhu kalsinasi 600°C , 700°C , dan 800°C selama 3×3 jam pada tekanan atmosferik. Setelah itu produk dianalisis kadar anion sulfat-nya (SO_4^{2-}) kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM/EDX dan XRD. Secara keseluruhan, rancangan penelitian disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahap preparasi *reagent* dimulai dengan menetapkan reaksi yang berlangsung secara stoikiometri. Proses sintesis didasari oleh perkiraan reaksi secara stoikiometri seperti berikut:



Reagent $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dibuat berlebih sehingga perbandingan mol *reagent*

menjadi (1:1:1). Kemudian ditetapkan variasi mol 0,1 dan 0,05 mol $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ untuk tiap variasi suhu sehingga didapatkan 6 produk. *Reagent* dicampur dan digerus hingga homogen kemudian dilakukan pemanasan awal menggunakan oven dengan suhu 130°C selama 3 jam.

Selanjutnya tahap sintesis menggunakan *solid state reaction method*, dan proses utama dalam metoda ini adalah kalsinasi. Kalsinasi dilakukan menggunakan furnace yang terdapat di Laboratorium Analis Kimia Politeknik Negeri Bandung. Variasi suhu kalsinasi yaitu 600°C , 700°C , dan 800°C dengan tekanan atmosferik. Proses kalsinasi berlangsung selama 3×3 jam (terputus-putus hingga total lama kalsinasi yaitu 9 jam).

Tahap terakhir yaitu analisis dan karakterisasi produk hasil sintesis. Sebelum masuk karakterisasi lebih lanjut menggunakan FTIR, SEM/EDX, dan XRD, produk akan dianalisis kadar anion sulfat-nya (SO_4^{2-}) terlebih dahulu. Karena anion sulfat (SO_4^{2-}) dapat menunjukkan keberadaan *Sulphuric Acid* (H_2SO_4) maupun Kalium Sulfate (K_2SO_4) dalam produk sebagai pengotor atau produk samping yang tidak diinginkan keberadaannya. Kemudian untuk menghilangkan kandungan anion sulfat (SO_4^{2-}), maka produk dicuci menggunakan *aquadest*. Setelah pencucian dilakukan analisis kadar anion sulfat (SO_4^{2-}) kembali. Sehingga akan diketahui penurunan kadar anion sulfat pada produk, dan produk dengan penurunan kadar anion sulfat terbesar akan dikarakterisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan KH_2PO_4 sebagai *reagent* menghasilkan produk samping

yang memiliki kandungan anion sulfat (SO₄²⁻) di dalamnya seperti *Sulphuric Acid* (H₂SO₄) maupun *Kalium Sulfate* (K₂SO₄). Kadar anion sulfat (SO₄²⁻) pada Tabel 1 dan 2 diketahui dari analisis secara kualitatif dan kuantitatif pada produk dengan cara pengambilan filtrat produk sebanyak 2 ml yang ditambahkan 2 ml HCl 6M dan 3 tetes BaCl₂. Terdapat endapan putih BaSO₄ yang tidak larut yang menandakan adanya kandungan anion sulfat (SO₄²⁻).

Tabel 1. Hasil analisis anion sulfat (SO₄²⁻) variasi 0,1 mol

| Suhu (°C) | Berat endapan BaSO ₄ (gr) | Berat anion sulfat (SO ₄ ²⁻) (gr) |
|-----------|--------------------------------------|--|
| 600 | 0,0237 | 0,0098 |
| 700 | 0,0206 | 0,0085 |
| 800 | 0,0218 | 0,0090 |

Tabel 2. Hasil analisis anion sulfat (SO₄²⁻) variasi 0,05 mol

| Suhu (°C) | Berat endapan BaSO ₄ (gr) | Berat anion sulfat (SO ₄ ²⁻) (gr) |
|-----------|--------------------------------------|--|
| 600 | 0,0424 | 0,0175 |
| 700 | 0,0458 | 0,0189 |
| 800 | 0,0225 | 0,0093 |

Kemudian dilakukan pencucian terhadap produk menggunakan *aquadest* untuk menghilangkan kandungan anion sulfat (SO₄²⁻). Analisis anion sulfat setelah pencucian menunjukkan penurunan kadar anion sulfat seperti yang tersaji pada Tabel 3 dan 4. Penurunan kadar anion sulfat (SO₄²⁻) tertinggi yaitu pada suhu kalsinasi 800°C untuk kedua variasi mol, yaitu 78.90% pada variasi 0,1 mol dan 75,11% pada variasi 0,05 mol.

Tabel 3. Hasil analisis anion sulfat (SO₄²⁻) setelah pencucian produk variasi 0,1 mol

| Suhu (°C) | Berat endapan BaSO ₄ (gr) sebelum pencucian produk | Berat endapan BaSO ₄ (gr) setelah pencucian produk | Penurunan berat endapan BaSO ₄ (%) |
|-----------|---|---|---|
| 600 | 0,0237 | 0,0123 | 48,10 |
| 700 | 0,0206 | 0,0092 | 55,34 |
| 800 | 0,0218 | 0,0046 | 78,90 |

Tabel 4. Hasil analisis anion sulfat (SO₄²⁻) setelah pencucian produk variasi 0,05 mol

| Suhu (°C) | Berat endapan BaSO ₄ (gr) sebelum pencucian produk | Berat endapan BaSO ₄ (gr) setelah pencucian produk | Penurunan berat endapan BaSO ₄ (%) |
|-----------|---|---|---|
| 600 | 0,0424 | 0,0189 | 55,42 |
| 700 | 0,0458 | 0,0183 | 60,04 |
| 800 | 0,0225 | 0,0056 | 75,11 |

Meskipun pencucian berhasil menurunkan kadar anion sulfat (SO₄²⁻) pada produk namun tidak serta merta membersihkan seluruh pengotor pada produk, terlebih kemungkinan pengotor pada produk bukan hanya senyawa yang mengandung anion sulfat (SO₄²⁻) saja. Melalui perhitungan stoikiometri, LiFePO₄ yang didapat seharusnya 10,2 gram untuk variasi 0,1 mol dan 5,1 gram untuk 0,05 mol, akan tetapi berat LiFePO₄ yang didapat masih cukup jauh diatas perhitungan secara stoikiometri. Pencucian mampu menurunkan berat produk dengan presentasi yang didapat dari penimbangan berat sebelum dan sesudah produk dicuci sehingga berat produk akhir jika seluruh produk dicuci tersaji pada Tabel 5 dan 6 sebagai berikut.

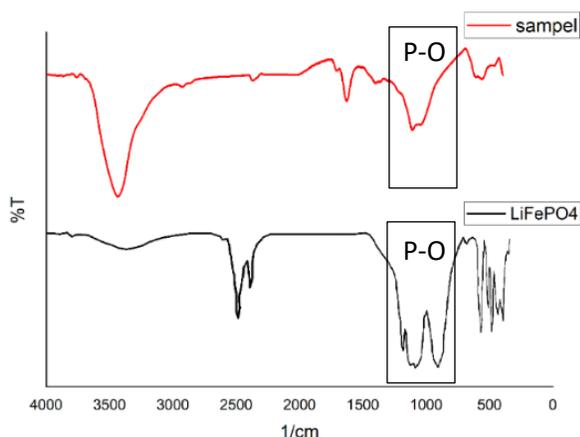
Tabel 5. Berat produk akhir variasi 0,1 mol

| Suhu (°C) | Berat produk (gr) | Persen penurunan berat (%) | Berat produk akhir (gr) |
|-----------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| 600 | 34,2047 | 39,46 | 20,7075 |
| 700 | 31,1005 | 47,77 | 16,2438 |
| 800 | 30,6915 | 52,16 | 14,6828 |

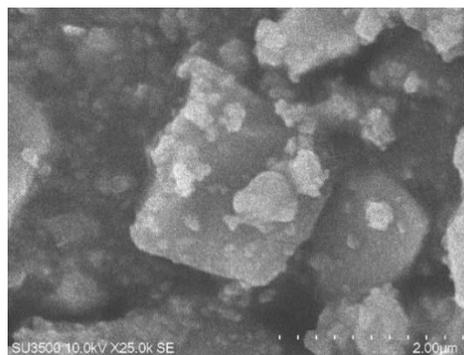
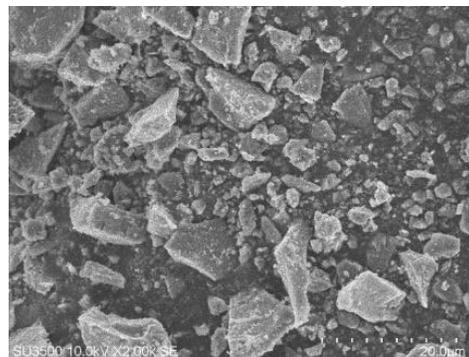
Tabel 6. Berat produk akhir variasi 0,05 mol

| Suhu (°C) | Berat produk (gr) | Persen penurunan berat (%) | Berat produk akhir (gr) |
|-----------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| 600 | 15,8477 | 49,12 | 8,0633 |
| 700 | 12,0607 | 49,00 | 6,1509 |
| 800 | 11,3233 | 49,60 | 5,7069 |

Sampel yang akan dikarakterisasi merupakan produk hasil sintesis pada kalsinasi suhu 800°C variasi 0,1 mol, karena memiliki penurunan berat endapan BaSO₄ yang paling tinggi. Karakterisasi pertama menggunakan spektrofotometer FTIR. Gambar 2 merupakan *IR spectral* produk yang menunjukkan terdapat beberapa gugus fungsi seperti gugus fungsi O-H pada bilangan gelombang 3433 cm⁻¹ dan gugus fungsi P-O pada bilangan gelombang 1111 cm⁻¹ dan 1051 cm⁻¹. Menurut Li, dkk., (2016) puncak-puncak pada bilangan gelombang 505 cm⁻¹ dan 469 cm⁻¹ menunjukkan fasa LiFePO₄, sementara pada sampel puncak bergeser di bilangan gelombang 563 cm⁻¹.

**Gambar 2. IR spectral sampel dan standard LiFePO₄**

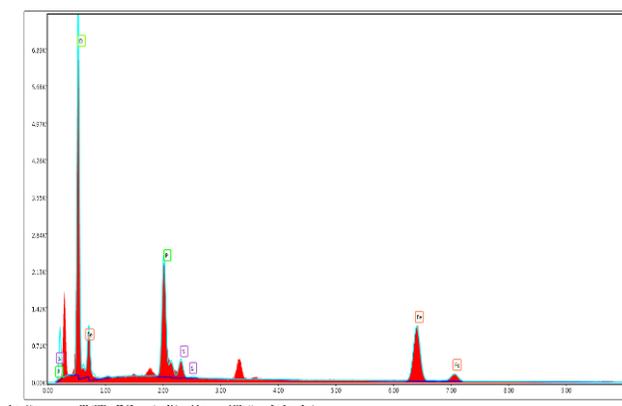
Selanjutnya karakterisasi menggunakan SEM/EDX. Hasil dari SEM berupa *micrograph* yang menunjukkan morfologi dan topografi sampel seperti pada Gambar 3 dan 4. Sampel diketahui memiliki ukuran partikel sekitar 160nm hingga 14µm dengan menggunakan aplikasi ImageJ. ImageJ adalah aplikasi yang dikembangkan oleh National Institute of Mental Health, Maryland, USA yang digunakan untuk menganalisa ukuran mikro dari sampel makhluk hidup maupun benda mati sehingga cukup andal untuk digunakan pada analisis ukuran partikel produk penelitian kali ini. Dalam pengamatan diketahui bahwa sampel mengalami aglomerasi antarfasa sehingga ukuran partikel menjadi tidak seragam (Sabrina & Supardi 2019).

**Gambar 3. Micrograph sampel dengan skala 2µm****Gambar 4. Micrograph sampel dengan skala 20µm**

Hasil uji EDX tersaji dalam Tabel 7 dan Gambar 5 yang menunjukkan bahwa di dalam sampel terdapat sejumlah atom O dengan persentase 60,07%, atom P dengan persentase 14,56%, atom Fe dengan persentase 23,12%, dan atom S sebagai pengotor dengan persentase 2,25%.

Tabel 7. Hasil uji EDX sampel produk kalsinasi 800 °C variasi 0,1 mol

| Element | Line type | Atom (%) |
|---------|-----------|----------|
| O | K series | 60,07 |
| P | K series | 14,56 |
| Fe | K series | 23,12 |
| S | K series | 2,25 |

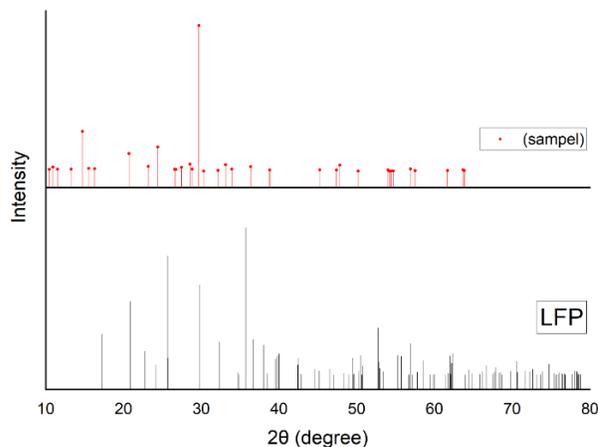


Gambar 5. EDX spectrum sampel

Menurut Orliukas dkk., (2014) persentase atom pada *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄) dengan jumlah O sangat besar disusul dengan atom Fe, dan P. Sementara atom lainnya seperti Li tidak terbaca pada EDX, karena memiliki nomor atom dibawah 4 (Rohib & Wahyuadi, 2013) dan atom S pada sampel merupakan pengotor.

Karakterisasi terakhir menggunakan XRD. Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan dengan cara mencocokkan puncak-puncak difraksi hasil analisis (*diffraction*) dengan standarnya dibantu dengan beberapa aplikasi pengolahan data seperti MATCH! 3 dan

OriginLab. Setiap senyawa memiliki puncak difraksi pada 2θ (derajat) yang khas dan puncak-puncak difraksi khas untuk LiFePO₄ terletak pada 2θ (derajat) 21,30,33, dan 36 sesuai dengan (COD ID 1101111). Gambar 6 menunjukkan *Diffraction standard* LiFePO₄ (LFP) dan sampel yang menunjukkan puncak difraksi pada 21° cukup kuat, puncak difraksi pada 33° tidak terlalu kuat, puncak difraksi pada 36° bergeser tidak terlalu kuat, dan puncak difraksi pada 30° sangat kuat mengindikasikan terbentuknya fasa *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄). Terdapat juga fasa lainnya yang ditunjukkan puncak difraksi pada 14° cukup kuat, puncak difraksi pada 27° dan 28° tidak terlalu kuat yang mengindikasikan terbentuknya fasa *Lithium Iron (III) Diphosphate* (LiFeP₂O₇). Kemudian puncak difraksi pada 24° cukup kuat dan 34° tidak terlalu kuat yang mengindikasikan terbentuknya fasa *Lithium Phosphate* (Li₃PO₄) (Mareta, 2018).



Gambar 6. Diffraction sampel dan standard LiFePO₄ (LFP)

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, fasa *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) berhasil terbentuk berdasarkan hasil analisis dan karakterisasi sampel 0,1 mol suhu kalsinasi 800°C . Macam-macam *reagent* yang digunakan antara lain $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan KH_2PO_4 . Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan FTIR terdapat fasa yang diindikasikan sebagai LiFePO_4 pada bilangan gelombang 563 cm^{-1} . Sementara SEM/EDX menunjukkan ukuran partikel yang terbentuk sekitar 160nm hingga $14\mu\text{m}$ dan hasil *spectrum* EDX menunjukkan terdapatnya atom O, P, Fe, dan S. Atom S menunjukkan masih adanya pengotor pada produk yang dapat berupa senyawa yang mengandung anion sulfat. Kemudian untuk memperkuat bukti keberadaan fasa di dalam sampel maka dilakukan karakterisasi menggunakan XRD yang mengindikasikan terbentuknya fasa LiFePO_4 pada puncak difraksi 21° cukup kuat, puncak difraksi pada 33° tidak terlalu kuat, puncak difraksi pada 36° bergeser tidak terlalu kuat, dan puncak difraksi pada 30° sangat kuat. Terbentuk juga fasa lainnya seperti *Lithium Iron (III) Diphosphate* (LiFeP_2O_7), dan *Lithium Phosphate* (Li_3PO_4). Pola difraksi pada *diffractogram* sampel maupun pola puncak pada spektrum IR sampel cukup terganggu, karena produk akhir belum benar-benar murni sehingga perlu *treatment* lebih lanjut pada produk akhir maupun optimalisasi pada proses sintesis dan produk masih belum melalui tahap uji performa untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan spesifikasinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada manajemen Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan berupa dana untuk penelitian Tugas Akhir

ini, serta teknisi maupun pihak dari Laboratorium di Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung, Tim Laboratorium Instrumen Kimia Universitas Pendidikan Indonesia, Tim Laboratorium PPNN Institut Teknologi Bandung, dan Tim Laboratorium Karakterisasi Lanjut LIPI Bandung.

DAFTAR RUJUKAN

- Cho, S. J., Uddin, M. J., & Alaboina, P. (2017). Review of nanotechnology for cathode materials in batteries. *Emerging nanotechnologies in rechargeable energy storage systems* (pp. 83-129). Elsevier.
- Jugović, D., & Uskoković, D. (2009). A review of recent developments in the synthesis procedures of lithium iron phosphate powders. *Journal of Power Sources*, 190(2), 538-544.
- Karuppasamy, K., Jothi, V. R., Nichelson, A., Vikraman, D., Tanveer, W. H., Kim, H. S., & Yi, S. C. (2020). Nanostructured transition metal sulfide/selenide anodes for high-performance sodium-ion batteries. In *Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversion and Storage Systems* (pp. 437-464). Elsevier.
- Li, W., Hwang, J., Chang, W., Setiadi, H., Chung, K. Y., & Kim, J. (2016). Ultrathin and uniform carbon-layer-coated hierarchically porous LiFePO_4 microspheres and their electrochemical performance. *The Journal of Supercritical Fluids*, 116, 164-171.
- Linden, David & Thomas B. Reddy. (2002). Handbook of Batteries 3 Ed. Amerika Serikat: The McGraw-Hills Companies, Inc.
- Mareta, F. (2018). *Efek Waktu Penahanan Kalsinasi Terhadap Katoda*

- LiFePO₄/C Doping Ni*. (Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Diakses dari <https://repository.its.ac.id/50399/>
- Orliukas, A. F., Fung, K. Z., Venckutė, V., Kazlauskienė, V., Miškinis, J., Dindune, A., & Kežionis, A. (2014). SEM/EDX, XPS, and impedance spectroscopy of LiFePO₄ and LiFePO₄/C ceramics. *Lithuanian Journal of Physics*, 54(2).
- Padhi, A. K., Nanjundaswamy, K. S., & Goodenough, J. B. (1997). Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries. *Journal of the electrochemical society*, 144(4), 1188.
- Richardson, J. W., Pluth, J. J., & Smith, J. V. (1988). Rietveld profile analysis of calcined AlPO₄-11 using pulsed neutron powder diffraction. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*, 44(4), 367-373.
- Rohib., & Wahyuadi, S. J. (2013). Studi Ekstraksi Litium Dari Mineral Sugilite Dengan Metode Roasting Menggunakan Kalium Sulfat (K₂SO₄) dan Pelindian Air. *Metalurgi dan Material*, 70-72.
- Ruksudjarit, A., Pengpat, K., Rujijanagul, G., & Tunkasiri, T. (2008). Synthesis and characterization of nanocrystalline hydroxyapatite from natural bovine bone. *Current applied physics*, 8(3-4), 270-272.
- Sabrina, G. J., & Supardi. Z.A.I. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Material Katoda LiFePO₄ pada Baterai Lithium Ion. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 8(3)*, 58-61.
- Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of power sources*, 195(9), 2419-2430.
- Sidiq, R. K. (2015). Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16. (Bachelor thesis, Universitas Jember). Diakses dari <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/73490/>
- Wang, J., & Sun, X. (2012). Understanding and recent development of carbon coating on LiFePO₄ cathode materials for lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 5(1), 5163-5185.
- Yadav, G. D., & Nair, J. J. (1999). Sulfated zirconia and its modified versions as promising catalysts for industrial processes. *Microporous and mesoporous materials*, 33(1-3), 1-48.