

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Hukum Kekekalan Energi adalah salah satu prinsip dasar fisika yang menyatakan apa bila energi sesungguhnya tidak dapat diciptakan ataupun ditiadakan, energi hanya dapat dirubah bentuknya ataupun dipindahkan dari 1 bentuk ke wujud lain. Secara matematis, prinsip dasar energi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Energi Awal} + \text{Energi yang Ditambahkan} - \text{Energi yang Dihilangkan} = \text{Energi Akhir}$$

Persamaan 1.1. Hukum Kekekalan Energi

Energi awal bisa juga disebut dengan sumber energi. Menurut *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) “Sumber energi adalah segala sesuatu yang memberikan energi dalam bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Ini bisa berupa sumber daya alam, seperti matahari, angin, air, atau biomassa, maupun sumber energi buatan manusia, seperti bahan bakar fosil, nuklir, atau listrik”.

Sumber energi dapat berbeda-beda dalam hal ketersediaan, dampak lingkungan, efisiensi, dan biaya. Perkembangan teknologi terus mendorong pengembangan sumber energi yang lebih bersih, terbarukan dan efisien guna mengurangi ketergantungan pada sumber energi non-terbarukan dan mengatasi perubahan iklim. Pada era modern, penggunaan baterai telah meluas ke berbagai sektor dan aplikasi. Baterai menjadi salah satu komponen paling penting dalam teknologi sehari-hari dan memainkan peran vital dalam menyediakan daya *portable* dalam penyimpanan energi. Penggunaan baterai kini dapat kita lihat pada kendaraan listrik (mobil listrik, motor listrik), peralatan *portable*

(laptop, *gadget*, *smartwatch*), alat penyimpan energi (panel surya, turbin angin), alat elektronik rumah tangga (*remote*, jam), peralatan medis (pompa insulin, alat bantu dengar), dan masih banyak lagi. Masing-masing alat menggunakan jenis baterai yang berbeda sesuai dengan kebutuhan dan penggunaan.

Baterai *Lithium-Ion* (*Li-Ion Battery*) merupakan salah satu jenis baterai yang paling *general* dipergunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk *smartphone*, laptop, kendaraan listrik, dan peralatan *portable* lainnya. Baterai ini memiliki kepadatan energi yang tinggi, ringan dan tidak adanya efek memori. *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) adalah material yang paling *general* dipergunakan untuk menjadi bahan katoda baterai *Li-Ion*. Harga LiFePO_4 di pasaran relatif terbilang lebih murah jikalau dibandingkan dengan material katoda lainnya. Keunggulan lain LiFePO_4 yaitu memiliki sifat tidak beracun yang mengakibatkan material ini lebih ramah lingkungan ^[1]. Secara teoritis, LiFePO_4 mampu menghasilkan kapasitas hingga 170 Milliampere-hours / gram dan kepadatan energi mencapai 583 Watt-hour / kilogram ^[2]. Kemampuan ekstraksi dan pengisian daya ulang menyebabkan LiFePO_4 menjadi material yang banyak dipergunakan sebagai material katoda *Li-Ion*. LiFePO_4 yang terbentuk untuk bahan aktif katoda baterai *Li-Ion* haruslah berstruktur *olivine*. Terbentuknya struktur kristal *orthorhombic* adalah salah satu ciri struktur *olivine*, selain itu juga dengan ditunjukkannya *space group* Pnma yang terbentuk ^[1]. Sintesis material LiFePO_4 merupakan proses sintesis yang terbilang cukup rumit. Berdasarkan klasifikasi umum, ada 2 metode umum dalam melakukan sintesis bahan LiFePO_4 , metode yang dimaksud yaitu *solid-state method* dan juga *wet-chemical process method* ^[3].

Metode *wet-chemical* juga dapat diklasifikasikan menjadi *spray-pyrolysis*, *hydrothermal method*, *ion-thermal*, *solvothermal*, *co-presipitasi*, *sol-gel method* dan *co-*

presipitasi method^[3]. Penelitian tentang sintesis LiFePO_4 terus berkembang hingga hari ini. Hingga 2010, proses sintesis masih banyak mempergunakan metode-metode yang umum, namun perkembangan mulai ditunjukkan dari tahun 2011, sintesis LiFePO_4 mengacu pada pembuatan butiran nano partikel. Secara praktek nyatanya merupakan gabungan dari butiran nano partikel dan dilapisi menggunakan karbon^[4].

Tujuan dari penambahan zat karbon berbentuk komposit LiFePO_4/C maupun dengan metode penambahan lapisan karbon (*carbon coating*) pada permukaan partikel LiFePO_4 adalah untuk menaikkan performa elektrokimia yang terkandung di dalamnya^[5]. Material karbon dapat kita peroleh dari berbagai macam sumber. Sumber karbon yang berbeda akan menyebabkan *temperature* pembentukan yang berbeda pula. Sebagai salah satu contohnya, LiFePO_4/C dengan sumber karbon yang diperoleh dari prekursor polimer membutuhkan *temperature* kalsinasi 600°C . Sementara itu, pengontrolan ukuran partikel dapat menghasilkan LiFePO_4 yang dapat diaplikasikan pada baterai *Li-Ion* untuk penggunaan *temperature* rendah^[6]. Secara eksperimental, performa elektrokimia yang lebih baik ditunjukkan pada ukuran partikel yang semakin kecil pada *temperature* yang lebih rendah^[6]. Pada *solvothermal method* dapat ditemukan penggabungan proses penambahan / pelapisan karbon serta kontrol ukuran partikel. Pada metode ini, kalsinasi dapat dilakukan hanya dengan *temperature* 170°C , factor tersebut akan mengakibatkan proses sintesis yang lebih hemat energi^[7].

Proses sintesis LiFePO_4 dengan penggabungan metode ukuran partikel nano dan pelapisan karbon memerlukan peralatan sintesis yang terbilang canggih dan mutakhir dengan harga yang relatif mahal^[14]. Sintesis tersebut akan dengan mudah diterapkan oleh negara-negara maju, namun akan sulit bila diterapkan oleh negara-negara yang masih berkembang seperti Indonesia^[14]. Oleh sebab itu, penelitian sintesis bahan aktif yang

bersifat *generic* pada baterai *lithium* lebih dianjurkan dilakukan di Indonesia. Bahan baku material aktif LiFePO_4 sendiri dapat disintesis dalam bentuk *generic*. Kemurnian butiran *generic* LiFePO_4 yang tinggi menjadi syarat agar LiFePO_4 dapat diolah lebih lanjut. Faktor utama dalam sintesis serbuk LiFePO_4 *generic* adalah kemurnian fasanya. Bentuk *generic* dari butiran LiFePO_4 harus bisa diolah lebih lanjut, yaitu ukuran partikelnya dapat direduksi atau dapat dilapisi karbon. Dengan demikian, upaya yang dapat dilakukan guna membuat butiran LiFePO_4 *generic* adalah dengan memaksimalkan metode sintesis konvensional yang sudah ada dengan menyesuaikan fasilitas sintesis yang tersedia. Namun, dalam studi ini metode *solvothermal* tidak dapat diterapkan karena keterbatasan alat. Sedangkan, dari berbagai metode sintesis tersebut, *hydrothermal method* menjadi metode yang paling banyak memiliki faktor yang harus dikontrol (pH, pelapisan karbon, ukuran partikel, dan *temperature* sinter) dibandingkan dengan macam metode lainnya [8]. *Co-presipitasi method* relatif lebih mudah dilakukan dibandingkan *hydrothermal method* karena hanya perlu mengontrol penambahan karbon dan *temperature* sinter. Hasil dari *co-presipitasi method* dapat berupa butiran komposit LiFePO_4/C dengan ukuran partikel mikro [9]. Ukuran partikel yang semakin kecil pada butiran LiFePO_4 *generic* akan semakin menguntungkan karena akan mereduksi kebutuhan proses selanjutnya. Justru masalah dari kedua metode tersebut adalah diperlukan penambahan ataupun pelapisan karbon. Sedangkan, penambahan/pelapisan karbon dapat dilakukan pada proses lanjutan dengan berbagai sumber karbon. Bila kita dapat mensintesis serbuk LiFePO_4 *generic* tanpa pelapisan karbon, maka serbuk tersebut akan memiliki pasar yang cukup potensial, salah satunya pada dunia penelitian di mana akan mempermudah peneliti yang fokus pada penelitian sumber karbon sebagai bahan lapisan karbon permukaan partikel LiFePO_4 [14].

Dalam sektor industri baterai *lithium*, butiran LiFePO_4 *generic* tanpa pelapisan karbon akan memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan butiran LiFePO_4 dengan pelapisan karbon. Selain itu, serbuk LiFePO_4 tanpa pelapisan karbon akan bersifat lebih fleksibel karena pengguna akan bebas menentukan sumber karbon apapun yang diinginkan sebagai sumber pelapisan karbon pada serbuk *generic* tersebut guna meningkatkan performa elektrokimia sel baterai *lithium* buatannya [14].

LiFePO_4 saat ini menjadi subjek banyak orang penyelidikan karena bahan katoda ini menyadari tegangan konstan dan kapasitas tinggi (≈ 170 mA h/g) dengan kepadatan arus sedang. Selain itu murah, aman, dan tidak beracun, tiga keunggulan penentu sehubungan dengan bahan berbasis kobalt-oksida untuk aplikasi skala besar seperti hibrida kendaraan listrik (HEV).

Namun demikian, konduktivitas elektronik massal LiFePO_4 cukup rendah, yang dapat mengakibatkan hilangnya kapasitas selama debit tingkat tinggi. Meningkatkan konduktivitas elektronik, itu adalah praktek umum dalam produksi *Li-ion* katoda baterai untuk menambahkan karbon baik dengan menggunakan aditif karbon ke matriks LiFePO_4 .

Pada tahun 2013 telah dilakukan pengujian yang menunjukkan bahwa sintesis LiFePO_4 tanpa melakukan pelapisan karbon masih dapat dilakukan dengan menggunakan *sol-gel method* tetapi ada proses tambahan yaitu penambahan *dopant* Cu [10]. Namun produk LiFePO_4 yang dihasilkan dari studi tersebut masih belum bersifat *generic* karena terdapat penambahan *dopant* Cu. Oleh karena itu, studi ini mencoba untuk mensintesis butiran LiFePO_4 tanpa melakukan pelapisan karbon dan juga tanpa melakukan penambahan *dopant*. Studi kali ini dilakukan dengan menggunakan metode sintesis yang lebih mudah. Metode sintesis yang digunakan dalam studi ini menggunakan perlakuan

panas kalsinasi pada 3 *testpiece* dengan pengujian waktu yang berbeda dan juga dilakukan tanpa dialiri gas *inert* N₂. Peneliti kali ini juga fokus pada fasa-fasa yang terbentuk pada tiap pengujian waktu tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi terhadap ukuran kristalit pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion?
2. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi terhadap kerapatan dislokasi pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion?
3. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi terhadap regangan kisi mikro pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion?
4. Bagaimana pengaruh waktu kalsinasi terhadap gugus fungsi pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi terhadap ukuran kristalit pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion.
2. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi terhadap kerapatan dislokasi pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion.
3. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi terhadap regangan kisi mikro pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion.
4. Mengetahui pengaruh waktu kalsinasi terhadap gugus fungsi pada LiFePO₄ sebagai katoda baterai Li-ion.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mengantisipasi perluasan dalam pembahasan, maka penelitian ini dilakukan berdasarkan batasan masalah yang ditetapkan. Batasan masalah pada penelitian ini adalah penelitian mengenai pengaruh waktu kalsinasi terhadap material LiFePO_4 sebagai bahan katoda baterai litium yang disintesis dengan metode *Sol-Gel* tanpa pelapisan karbon dan tanpa penambahan *dopant*. Analisa pada produk sintesis dilakukan dengan data yang diperoleh dari pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) yaitu untuk mengetahui struktur kristal dan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada material digunakan pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang penulis buat diharapkan mendapat banyak manfaat baik secara teoritis maupun praktis. Berikut manfaat teoritis dan manfaat praktis dari penelitian ini.

- 1) Manfaat teoritis :
 - a) Mengembangkan pengetahuan tentang karakteristik baterai LiFePO_4
 - b) Memberikan informasi mengenai pengaruh *temperature* sinter terhadap perubahan karakteristik baterai LiFePO_4
 - c) Memberikan informasi mengenai metode pembuatan LiFePO_4
 - d) Menyumbang pengetahuan baru yang jarang ditemui pada teori di bangku sekolah ataupun kuliah
 - e) Sebagai referensi dalam karya ilmiah tentang LiFePO_4
 - f) Sebagai pertimbangan atau pengembangan suatu penelitian yang sejenis di masa yang akan datang

g) Menambah pengetahuan bersama baik dari penulis maupun pembaca

2) Manfaat praktis

a) Dapat mengontrol dan memprediksi kegagalan dalam pembuatan LiFePO_4

b) Memberikan metode atau pendekatan membuat LiFePO_4 dengan kualitas yang baik

c) Dapat menjadi bahan informasi untuk program studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia.

