

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi secara global terus meningkat dan masih bergantung pada energi yang bersumber dari fosil sehingga dapat menyebabkan krisis energi dan dampak kerusakan lingkungan yang serius. Melalui pertumbuhan populasi dan industrialisasi yang terus meningkat, maka energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan diperlukan untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat emisi gas rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim [1], [2]. Untuk menjamin ketersediaan energi terbarukan yang bersifat fluktuatif, seperti energi surya dan angin, diperlukan teknologi penyimpanan energi yang andal agar pasokan energi tetap stabil dan dapat dimanfaatkan secara optimal. Dalam situasi seperti ini, kemajuan teknologi penyimpanan energi merupakan langkah penting menuju sistem energi yang lebih ramah lingkungan.

Berbagai jenis baterai telah dikembangkan sebagai teknologi penyimpanan energi, di antaranya baterai timbal-asam, nikel-kadmium (Ni-Cd), nikel-metal hidrida (Ni-MH), dan lithium-ion (Li-ion). Baterai timbal-asam merupakan teknologi yang paling tua dan banyak digunakan pada kendaraan konvensional, namun memiliki densitas energi yang rendah dan umur pakai terbatas [3]. Baterai Ni-Cd dan Ni-MH menawarkan performa lebih baik dibanding timbal-asam, namun penggunaannya semakin berkurang karena isu toksisitas kadmium serta densitas energi yang masih rendah dibandingkan baterai modern [4]. Baterai lithium-ion (LIBs) telah menjadi pilihan utama untuk berbagai aplikasi, termasuk perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, dan sistem penyimpanan energi skala besar [2]. LIBs memiliki densitas energi yang tinggi, siklus hidup yang panjang, dan efisien dalam pengisian dan pengosongan.

Namun, material katoda tradisional yang digunakan dalam LIBs, seperti LiCoO_2 , LiNiMnCoO_2 (atau NMC), dan LiNiCoAlO_2 (atau NCA), menghadapi tantangan yang rumit dimana biaya bahan baku yang tinggi (terutama nikel dan kobalt), ketersediaan yang terbatas, kekhawatiran tentang toksisitas dan stabilitas termal yang rendah pada suhu tinggi adalah masalah utama [3]. Karena masalah

ini, material katoda alternatif yang lebih hemat biaya, aman, dan berkelanjutan sedang terus dikembangkan.

Oleh karena banyak keunggulan intrinsik dari material katoda lithium besi fosfat (LiFePO_4 , yang sering dikenal sebagai LFP) telah muncul sebagai kandidat material katoda yang sangat menjanjikan. Material katoda ini menawarkan biaya yang jauh lebih rendah, ketahanan termal yang lebih baik karena struktur olivinnya yang stabil, dan siklus hidup yang lebih panjang dari katoda sebelumnya [3]. Namun, konduktivitas elektronik material katoda LiFePO_4 masih relative rendah dan difusivitas ion Li^+ yang lambat sehingga membatasi kapasitas dan kinerja laju yang tinggi dari katoda ini [3].

Untuk mengatasi keterbatasan intrinsik LiFePO_4 , berbagai strategi modifikasi telah dikembangkan, termasuk pelapisan karbon untuk meningkatkan konduktivitas listrik serta doping kation dengan ion logam transisi. Pendekatan doping ini terbukti efektif dalam memodifikasi struktur kristal, memperbaiki konduktivitas ionik maupun elektronik, dan secara keseluruhan meningkatkan kinerja elektrokimia material katoda [3], [4].

Mangan (Mn) menjadi pilihan dopan yang menarik dalam strategi doping. Dengan ukuran ion yang mirip dengan Fe^{2+} , ion Mn^{2+} dapat disubstitusikan secara stabil pada situs besi dalam struktur olivin LiFePO_4 [4]. Doping mangan dapat memperbaiki stabilitas struktur, konduktivitas ionik, dan bahkan tegangan kerja material [4]. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa doping Mn pada LiFePO_4 menunjukkan peningkatan kinerja elektrokimia [5]. Namun, penelitian lebih lanjut masih terus diperlukan untuk mengoptimalkan persentase doping mangan serta untuk melakukan analisis menyeluruh tentang pengaruh doping Mn terhadap sifat elektrokimia material yang disintesis melalui metode solid-state [3].

Metode sintesis solid-state dipilih karena sederhana, ekonomis, mudah diskalakan, dan mampu menghasilkan material dengan struktur kristal yang stabil [3]. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengeksplorasi efek variasi doping Mn pada LiFePO_4 hasil sintesis solid-state melalui karakterisasi struktur kristal, morfologi, dan distribusi unsur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi doping mangan (Mn) sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap struktur kristal material LiFePO_4 hasil sintesis menggunakan metode solid-state berdasarkan karakterisasi X-ray Diffraction (XRD)?
2. Bagaimana morfologi permukaan material LiFePO_4 terdoping Mn berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)?
3. Bagaimana pengaruh variasi doping Mn terhadap distribusi dan komposisi unsur dalam material LiFePO_4 berdasarkan hasil karakterisasi *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS/EDX)?
4. Apakah metode solid-state reaction efektif digunakan dalam sintesis material LiFePO_4 terdoping Mn berdasarkan hasil karakterisasi struktur kristal, morfologi permukaan, dan distribusi unsur?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi doping Mn sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap struktur kristal material katoda LiFePO_4 hasil sintesis solid-state menggunakan karakterisasi XRD.
2. Mengidentifikasi perubahan morfologi permukaan material LiFePO_4 akibat doping Mn melalui karakterisasi SEM.
3. Mengetahui distribusi dan komposisi unsur Mn pada material katoda LiFePO_4 menggunakan analisis EDS/EDX.
4. Mengevaluasi efektivitas metode solid-state dalam menghasilkan material katoda LiFePO_4 terdoping Mn yang stabil berdasarkan analisis struktur kristal, morfologi, dan komposisi unsur.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Akademik: Menambah literatur ilmiah mengenai pengaruh doping Mn terhadap sifat struktural dan morfologi LiFePO_4 hasil sintesis solid-state, serta memperkaya data referensi dalam pengembangan material katoda baterai.
2. Industri: Memberikan acuan bagi pengembangan material katoda baterai lithium-ion yang lebih ekonomis, stabil, dan efisien sehingga berpotensi diaplikasikan pada skala komersial.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian lebih terarah, beberapa batasan yang ditetapkan adalah:

1. Material utama yang digunakan adalah lithium iron phosphate (LiFePO_4) dengan variasi doping Mn sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% mol terhadap jumlah Fe.
2. Metode sintesis yang digunakan adalah **solid-state reaction** dengan tahapan utama ball milling selama 18 jam pada 300 rpm, pre-heat pada 350 °C selama 2 jam, dan kalsinasi pada 700 °C selama 10 jam dalam atmosfer gas nitrogen (N_2) dengan laju alir 1 L/menit.
3. Penelitian ini tidak mencakup optimasi parameter sintesis lain seperti variasi suhu, waktu kalsinasi, atau media atmosfer selain nitrogen.
4. Karakterisasi sampel difokuskan pada tiga teknik utama, yaitu:
 - **X-ray Diffraction (XRD)** untuk analisis struktur kristal dan fase material,
 - **Scanning Electron Microscopy (SEM)** untuk analisis morfologi permukaan dan ukuran partikel,
 - **Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS/EDX)** untuk identifikasi dan distribusi unsur.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu:

1. Studi Literatur

Pengumpulan teori dan referensi terkait material katoda LiFePO_4 , strategi doping Mn, metode sintesis solid-state, serta teknik karakterisasi material (XRD, SEM, dan EDX).

2. Sintesis Material

Material katoda $\text{LiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{PO}_4$ ($x = 0, 0.01, 0.03, 0.05$ atau 0%, 1%, 3%, 5%) disintesis menggunakan metode **solid-state reaction**. Prekursor yang digunakan adalah Li_2CO_3 , Fe_2O_3 , $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, serta penambahan carbon black sebesar 5% massa total. Rasio stoikiometri disesuaikan dengan komposisi $\text{Li}:\text{Fe}(1-x):\text{Mn}_x:\text{PO}_4 = 1:(1-x):x:1$.

Prosedur sintesis meliputi:

- **Ball milling** campuran bahan selama 18 jam pada 300 rpm untuk homogenisasi,
- **Pre-heat** pada suhu 350°C selama 2 jam,
- **Kalsinasi** pada 700°C selama 10 jam dalam atmosfer nitrogen (N_2) dengan laju alir 1 L/menit.

3. Karakterisasi Material

Hasil sintesis kemudian dianalisis menggunakan tiga teknik utama, yaitu:

- **X-ray Diffraction (XRD)** untuk mengetahui fase kristal, struktur olivin, serta adanya fasa impuritas,
- **Scanning Electron Microscopy (SEM)** untuk mempelajari morfologi permukaan dan ukuran partikel,
- **Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS/EDX)** untuk mengidentifikasi komposisi dan distribusi unsur dalam material.

4. Analisis Data

Data hasil karakterisasi dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi doping Mn terhadap struktur kristal, morfologi, dan komposisi material katoda. Selanjutnya, efektivitas metode solid-state dalam menghasilkan LiFePO_4 terdoping Mn dinilai berdasarkan hasil analisis tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi dasar penyusunan yang meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang relevan dengan penelitian, mencakup konsep dasar daya energi, turbin air, profil pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), serta analisis penerapan profil tersebut pada turbin air. Tinjauan pustaka ini berperan sebagai landasan teoretis yang mendukung pelaksanaan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mengulas Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang memanfaatkan turbin air. Selain itu, bab ini juga membahas analisis sistem, serta menjelaskan perencanaan sistem yang akan dikembangkan, disertai dengan gambar sistem pendukung.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi rancangan sistem, metode analisis, perangkat yang dibutuhkan, serta kelebihan dan kekurangan dari sistem yang dikembangkan. Selain itu, bab ini juga menyajikan data hasil analisis turbin air beserta pembahasan terkait hasil tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian penutup penelitian, yang memaparkan kesimpulan terkait permasalahan yang dihadapi serta saran-saran untuk pengembangan sistem yang lebih optimal di masa mendatang.