

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Kebaruan Penelitian	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
BAB III. DASAR TEORI	20
3.1 Baterai Lithium-ion.....	20
3.2 LiFePO_4	22
3.3 Metode <i>Solid State Reaction</i>	26
3.4 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	29
3.5 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	32
3.6 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	34
3.7 <i>Raman Spectroscopy</i>	36
3.8 <i>Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM)</i> dan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)</i>	39
3.9 <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	43
BAB IV METODE PENELITIAN	45
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	45

4.2 Peralatan dan Bahan	46
4.3 Tahapan Penelitian	47
4.3.1 Tahap 1 : Sintesis dan Karakterisasi LiFePO_4 dengan menggunakan prekursor $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lokal (LFP Lokal) .	47
4.3.2 Tahap 2 : Optimasi kinerja LiFePO_4 dengan rekayasa morfologi <i>nanoplate</i> menggunakan kombinasi pelarut <i>non</i> <i>polar</i> dan surfaktan	50
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
5.1 Kinerja LiFePO_4 yang disintesis dengan menggunakan prekursor $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lokal (LFP Lokal) dan Komersial (LFP Komersial)	55
5.1.1 Hasil Uji XRD.....	55
5.1.2 Hasil Pengujian SEM, TEM, dan EDS	57
5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik Elektrokimia	61
5.1.4 Hasil Pengujian Kapasitas Spesifik Baterai	64
5.2 Optimasi kinerja LiFePO_4 dengan rekayasa morfologi <i>nanoplate</i> menggunakan kombinasi pelarut <i>non-polar</i> dan surfaktan	65
5.2.1 Hasil Uji XRD.....	65
5.2.2 Hasil Pengujian dengan FE-SEM, EDS, dan TEM.....	67
5.2.3 Hasil Pengujian <i>Raman Spectroscopy</i>	74
5.2.4 Pengujian Karakteristik Elektrokimia.....	76
5.2.5 Hasil Pengujian Kapasitas Spesifik Baterai	77
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	82
6.1 Kesimpulan	82
6.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	103

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 (a) LiFePO_4 : *Ball Milled* 6 jam, kalsinasi 450 °C 5 jam dan 700 °C 10 jam, kapasitas spesifik (0,1 C) 160 mAh.g⁻¹
 (b) LiFePO_4 : *Ball Milled* 6 jam, kalsinasi 300 °C 10 jam dan 700 °C 24 jam, kapasitas spesifik (0,1 C) 135 mAh.g⁻¹
 (c) LiFePO_4 : *Ball Milled* , kalsinasi 450 °C 12 jam, kapasitas spesifik (0,1 C) 70 mAh.g⁻¹ (Nekahi dkk, 2024), dan (d) LiFePO_4 : *Ball Milled* 5 jam, kalsinasi 400 °C 6 jam dan 760 °C 6 jam, kapasitas spesifik (0,1 C) 156 mAh.g⁻¹..... 11
- Gambar 2.2 (a) Hasil uji EIS sampel LiFePO_4 yang disintesis menggunakan pelarut *ethanol* dengan variasi kenaikan temperatur (b) Agregat partikel teramati dari uji SEM-TEM pada LiFePO_4 dengan variasi kenaikan temperatur 5 °C/min (a-c), 10 °C/min (d-f), 15 °C/min (g-i), (c) *Cycleability* sampel LiFePO_4 dengan kenaikan temperatur 15 °C/min, dan (d) Uji Pengisian-Pengosongan (*Charge-Discharge*) LiFePO_4 dengan kenaikan temperatur 15 °C/min..... 14
- Gambar 2.3 (a-c) Morfologi *nanoplate* sampel LiMnPO_4 yang disintesis dengan pelarut *non polar Parafin Wax* dan surfaktan Asam Oleat menggunakan metode *solid state reaction*..... 18
- Gambar 3.1 (a) Proses pengisian (*Charging*) (b) Proses pengosongan (*discharging*) baterai lithium-ion 21
- Gambar 3.2 (a) Visualisasi Struktur kristal LiFePO_4 yang tampak pada Sumbu-*a* dan jalur difusi ion Li yang bergerak sepanjang (b) sumbu-*c*, dan (c) sumbu-*b*..... 23
- Gambar 3.3 Morfologi material katoda LiFePO_4 24
- Gambar 3.4 Kurva profil pertumbuhan nukleasi LiFePO_4 . Lebar pita kurva Δt_n adalah selisih waktu awal sampai akhir terjadinya nukleasi, dan Γ_{max} adalah nukleasi maksimum. Daerah dibawah kurva meenunjukkan jumlah partikel

	yang terbentuk (N).....	25
Gambar 3.5	Prinsip kerja <i>Planetary Milling Ball</i> , (a) Dua buah <i>jar</i> diletakkan saling berhadapan diatas piringan yang berputar (<i>sun wheel</i>) dengan radius R dari pusat piringan, (b) <i>Jar</i> berotasi terhadap sumbu normalnya sendiri, sehingga kualitas material serbuk yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh faktor rasio serbuk yang diisikan terhadap ukuran <i>jar</i> , (c) kecepatan <i>sun wheel</i> (n_{sun}), (d) kecepatan rotasi <i>jar</i> (n_j)	27
Gambar 3.6	(a) Respon rangkaian DC yang menunjukkan tegangan DC dengan arus searah (b) Respon rangkaian AC yang menunjukkan tegangan AC dengan arus bolak balik	29
Gambar 3.7	Hubungan tegangan dan arus listrik ketika diberikan tegangan AC dengan frekuensi angular ω	29
Gambar 3.8	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> dengan <i>Nyquist Plot</i> (kiri) dan <i>Bode Plot</i> (kanan)	31
Gambar 3.9	Analisis EIS (a) Rangkaian ekuivalen (b) <i>Nyquist plot</i>	31
Gambar 3.10	(a) Profil tegangan vs waktu pada <i>linear sweep</i> dan <i>cyclic voltammetry</i> (b) <i>Cyclic voltamogram</i> puncak anoda dan katoda	32
Gambar 3.11	(a) contoh <i>Cyclic Voltamogram</i> (b) <i>Cyclic Voltamogram</i> pada kasus transfer elektron yang reversibel, quasi reversibel, dan irreversible	33
Gambar 3.12	(a) Pola difraksi sinar x (b) Teorema Phytagoras.....	35
Gambar 3.13	(a) Prinsip <i>Raman Spectroscopy</i> (b) Diagram Jablonski yang menunjukkan pergeseran Raman	37
Gambar 3.14	Eksperimen <i>Raman Spectroscopy</i>	39
Gambar 3.15	Skema gambar cara kerja <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	40
Gambar 3.16	Jenis interkasi elektron dengan sampel pada mikroskop Elektron	41

Gambar 3.17 Prinsip <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDS)	42
Gambar 3.18 Hubungan antara nomor atom Z dengan besar fluoresen ω yang dihasilkan oleh sinar-x dari kulit K.....	43
Gambar 3.19 Skema cara kerja <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM)	44
Gambar 4.1 Skema penelitian tahap 1	47
Gambar 4.2 Skema penelitian tahap 2	50
Gambar 4.3 Diagram alir sintesis dan pengujian LiFePO ₄ dengan menggunakan prekursor FeC ₂ O ₄ .2H ₂ O lokal(LFP Lokal) dan Komersial (LFP Komersial).....	53
Gambar 4.4 Diagram alir optimasi kinerja LiFePO ₄ dengan rekayasa morfologi <i>nanoplate</i> menggunakan kombinasi pelarut <i>non-polar</i> dan surfaktan.....	54
Gambar 5.1 Hasil Pengujian XRD untuk (a) LFP Lokal dan (b) LFP Komersial	55
Gambar 5.2 Hasil uji SEM pada sampel (a) LFP Lokal (c) LFP Komersial dan uji TEM pada sampel (c) LFP Lokal, (d) LFP Komersial	58
Gambar 5.3 Spektrum EDS dari (a) LFP Lokal (b) LFP Komersial.....	60
Gambar 5.4 (a) Hasil pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS) sampel LFP Lokal dan LFP Komersial, (b) <i>fitting</i> nilai Z' terhadap $\omega^{\frac{1}{2}}$ pada kurva Warburg LFP Lokal dan LFP Komersial, dan (c) profil <i>Cyclic Voltametry</i> (CV) LFP Lokal dan LFP Komersial pada <i>scan rate</i> 0,1 mV.s ⁻¹	62
Gambar 5.5 Hasil pengujian kapasitas spesifik baterai pada C-rate 0,1C 0,2C 0,5C 1C 2C 5C untuk (a) LFP Lokal dan, (b) LFP Komersial	64
Gambar 5.6 Hasil Pengujian XRD untuk LFP A, LFP B, dan LFP C.....	65
Gambar 5.7 Hasil Pengujian FE-SEM (a) LFP A, (b) LFP B, (c) LFP C, dan histogram distribusi partikel untuk (d) LFP A, (e) LFP B, (f) LFP C.....	67

Gambar 5.8	Skema pembentukan morfologi <i>nanoplate</i> partikel LiFePO ₄ yang disintesis dari prekursor Li ₂ CO ₃ , FeC ₂ O ₄ .2H ₂ O, dan NH ₄ H ₂ PO ₄ dengan metode <i>Surfactant-Assisted Solid State Reaction</i>	69
Gambar 5.9	Spektrum EDS untuk (a) LFP A, (b) LFP B, dan (c) LFP C	70
Gambar 5.10	Hasil pengujian TEM (a) LFP A, (b) LFP B, (c) LFP C, hasil pengujian HR-TEM (d) LFP A, (e) LFP B, (f) LFP C, dan hasil analisis kisi atom (g) LFP A, (h) LFP B, (i) LFP C	72
Gambar 5.11	(a) Spektrum Raman dari LFP A, LFP B, LFP C, (b) Struktur karbon D dan G dari LFP A yang <i>difitting Gaussian</i> , (c) Struktur karbon D dan G dari LFP B yang <i>difitting Gaussian</i> , dan (d) Struktur karbon D dan G dari LFP C yang <i>difitting Gaussian</i>	74
Gambar 5.12	Hasil uji EIS untuk sampel LFP A, LFP B, LFP C (b) <i>Fitting</i> nilai <i>Z'</i> terhadap $\omega^{-\frac{1}{2}}$ pada kurva Warburg LFP A, LFP B, dan LFPC, (c) Profil kurva <i>Cyclic Voltametry</i> dari LFP A, LFP B, dan LFP C pada <i>scan rate</i> 0.1 mV.s ⁻¹	76
Gambar 5.13	(a) Hasil pengujian pengisian-pengosongan (<i>Charge-Discharge</i>) sampel LFPA, LFP B, dan LFP C pada 0,1 C (b) <i>Rate Performance</i> dari LFP A (c) <i>Rate Performance</i> dari LFP B, dan (d) <i>Rate Performance</i> dari LFP C	78
Gambar 5.14	Hasil pengujian <i>Cycleability</i> pengisian/pengosongan sampel LFP A, LFP B, dan LFP C dengan <i>C-rate</i> 1 C selama 100 siklus pada suhu ruang	79
Gambar 5,15	Morfologi partikel LiFePO ₄ produk MTI Corporation, (b) kapasitas pengisian-pengosongan (<i>Charge-Discharge</i>) LiFePO ₄ produk MTI Corporation, dan (c) <i>cycleability</i> LiFePO ₄ produk MTI Corporation	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ringkasan penelitian kombinasi jenis prekursor, material sumber karbon, dan teknik fabrikasi LiFePO_4 dengan metode <i>Solid State Reaction</i>	12
Tabel 2.2	Ringkasan penelitian pengaruh jenis koin sel, separator, elektrolit, agen konduktif, dan <i>binder</i> terhadap kinerja LiFePO_4	19
Tabel 4.1	Peralatan dan bahan yang digunakan	46
Tabel 5.1	Parameter kisi, volume unit sel, dan ukuran kristalit, dan indeks kristalinitas pada LFP Lokal dan LFP Komersial.....	56
Tabel 5.2	Hasil Perhitungan rata-rata ukuran partikel	59
Tabel 5.3	Persentase unsur kimia berdasarkan spektrum EDS pada LFP Lokal dan LFP Komersial.....	61
Tabel 5.4	Parameter kisi, volume unit sel, ukuran kristalit, dan indeks kristalinitas pada LFP A, LFP B, dan LFP C.....	66
Tabel 5.5	Persentase unsur kimia berdasarkan spectrum EDS pada LFP A, LFP B, dan LFP C	71
Tabel 5.6	Sifat fisika LiFePO_4 produk MTI Corporation	80