

BAB I

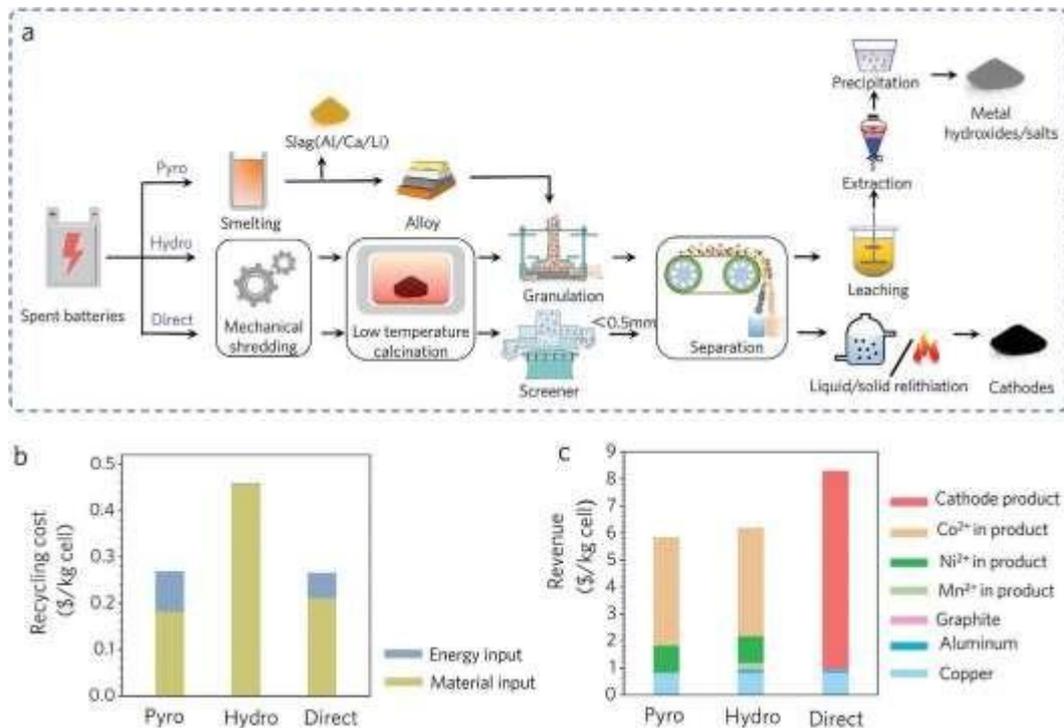
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai adalah salah satu media penyimpanan energi yang paling banyak digunakan saat ini, karena hal tersebut baterai menjadi salah satu teknologi yang sangat penting dalam penggunaan energi terbarukan, baterai yang sering digunakan untuk media penyimpanan energi yang berasal dari energi surya. Dalam beberapa Tahun terakhir, kebutuhan akan sumber yang efisien dan berkelanjutan semakin meningkat. Salah satu inovasi yang menjadi perhatian utama dalam bidang penyimpanan energi adalah pengembangan baterai lithium-ion (Li-ion), yang digunakan secara luas dalam perangkat elektronik, Seperti kendaraan listrik yang sering disebut *Electric Vehicle* (EV), serta sistem penyimpanan energi terbarukan [1].

Banyak baterai saat ini menggunakan teknologi lithium-ion, yang terdiri dari anoda, katoda, kolektor arus, elektrolit, dan separator. Penelitian tentang material katoda mencari opsi yang murah, aman, dan ramah lingkungan. Beberapa kandidat unggulan meliputi lithium iron silicate ($\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$), lithium nickel manganese cobalt oxide (LiNiMnCoO_2), dan lithium titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Selain itu salah satu material katoda yang berpotensi unggul dalam pengembangan baterai lithium-ion adalah lithium iron phosphate (LiFePO_4), yang dikenal memiliki kestabilan termal yang baik, umur siklus yang panjang, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material katoda berbasis oksida logam transisi lainnya seperti *litium kobalt oksida* (LiCoO_2) dan *Litium Mangan Oksida* (LiMn_2O_4) [2]. Baterai lithium merupakan teknologi penyimpanan energi yang pertama kali dipasarkan oleh perusahaan SONY pada awal dekade 1990-an. Baterai yang dikomersialisasikan ini terdiri dari carbon sebagai anoda dan *litium kobalt oksida* (LiCoO_2) sebagai material katodanya [3], [4]. Karena karakteristiknya yang memiliki kerapatan energi tinggi, daya besar dan panjangnya umur pakai, baterai lithium sangat menarik untuk digunakan pada berbagai aplikasi seperti hand phone,

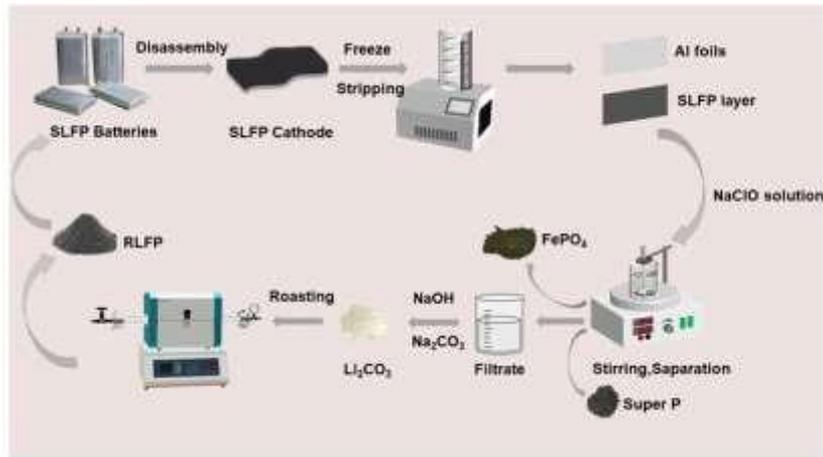
laptop, dan juga power tools. Selain itu sel surya pun mulai dilirik oleh produsen otomotif seperti mobil listrik dimana merupakan salah satu komponen terpenting dalam sebuah sistem mobil yang dikenal dengan baterai. Baterai mobil listrik sering dikenal dengan *Battery Electric Vehicle* (BEV) terpopuler dan paling banyak digunakan adalah lithium-ion dari bahan jenis baterei lainnya. Densitas energi baterai jenis ini adalah 140-150 Wh kg⁻¹ untuk sel dengan wadah metal dan 160-170 Wh kg⁻¹ untuk sel dengan wadah dari material yang lebih ringan. Saat ini telah berkembang beberapa material katoda antara lain *Lithium Manganese Oxide* (LiMn₂O₄), *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (LiNiMnCoO₂ atau NMC), *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄ atau LFP) dan *Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide* (LiNiCoAlO₂ atau NCA) [5]. Gambar 1.1 memperlihatkan perbandingan tiga metode utama daur ulang baterai litium-ion, yaitu pirometalurgi (Pyro), hidrometalurgi (Hydro), dan daur ulang langsung (Direct). Gambar 1.1 (a) menggambarkan alur proses dari baterai bekas hingga menghasilkan kembali material katoda dan produk samping lainnya. Selanjutnya, grafik (b) menunjukkan bahwa metode Direct memiliki biaya daur ulang paling rendah dibandingkan Pyro dan Hydro, terutama karena minimnya input material dan energi. Sedangkan grafik (c) memperlihatkan bahwa metode Direct menghasilkan pendapatan tertinggi berkat pemulihan langsung material katoda dan logam bernilai, sehingga menjadikannya lebih menguntungkan secara ekonomi.



Gambar 1.1 Skema, Biaya dan Revenue dari Daur Ulang LFP

Meskipun LiFePO_4 memiliki banyak keunggulan, material ini juga memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal konduktivitas listrik dan ioniknya yang relatif rendah[3]. Faktor lain yang sangat berpengaruh terhadap performa elektroda berbasis LiFePO_4 adalah ukuran kristalin yang terbentuk dalam proses sintesisnya. Ukuran kristalin (crystallite size): $\sim 50\text{--}100$ nm ini merupakan Cukup kecil untuk memperpendek lintasan difusi Li^+ dan memperluas luas permukaan aktif, tapi tidak terlalu kecil sehingga masih menjaga stabilitas. Ukuran kristalin yang lebih kecil cenderung meningkatkan luas permukaan aktif dan mempercepat difusi ion Li^+ , sehingga dapat meningkatkan kinerja elektroda dalam baterai[1][2]. Oleh karena itu, pengendalian ukuran kristalin menjadi aspek penting dalam optimasi material LiFePO_4 . Salah satu metode yang digunakan untuk mengendalikan ukuran kristalin LiFePO_4 adalah melalui pencampuran dengan berbagai bahan tambahan serta perlakuan atmosfer yang dikontrol dan saat ini metode sintesis LiFePO_4 yang

sering digunakan dan dijadikan sebagai pertimbangan dalam berbagai penelitian diantaranya adalah *solid state reaction method*, *liquid phase method*, *sol-gel method*, *hydrothermal method*, dan *spray pyrolysis method*[6]. Dalam pembuatan material katoda ini, biasanya digunakan gas Nitrogen (N_2) sebagai media dalam proses pencampuran dan sintesis. Gas Nitrogen (N_2) dipilih karena sifatnya yang inert, yaitu tidak mudah bereaksi dengan zat lain dalam kondisi normal oleh karena memiliki konfigurasi elektron stabil sehingga tidak cenderung berikatan dengan unsur lain yang dapat mencegah oksidasi yang tidak diinginkan selama proses kristalisasi. Selain itu, dialiran gas Nitrogen (N_2) selama proses pencampuran juga berpotensi meningkatkan homogenitas campuran dan mengurangi aglomerasi partikel, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pembentukan kristal yang lebih seragam dan optimal. Gambar 1.2 Ilustrasi skematik rute yang menunjukkan alur proses daur ulang katoda SLFP (Spent Lithium Iron Phosphate) secara langsung, dimulai dari pembongkaran baterai hingga pemisahan komponen aktif. Setelah katoda dipisahkan melalui proses freeze stripping, lapisan aktif SLFP dapat dipisahkan dari aluminium foil. Selanjutnya, lapisan aktif diolah menggunakan larutan $NaClO$ untuk menghasilkan $FePO_4$, yang kemudian dicampur dengan bahan tambahan seperti Super P dan dilanjutkan dengan proses pemanggangan (roasting) bersama Li_2CO_3 dan Na_2CO_3 . Proses ini menghasilkan kembali material RLFP yang dapat digunakan sebagai katoda baru.



Gambar 1. 2 Ilustrasi skematik rute daur ulang untuk katoda^[7].

Bahan katoda yang memiliki nilai konduktivitas 10^{-7} – 10^{-2} S/m cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai katoda. 10^{-9} – 10^{-7} S/cm Nilai konduktivitas dari sampel LiFePO_4 yang telah berhasil diperoleh dalam penelitian sebelumnya masih berpeluang untuk ditingkatkan. Salah satu caranya adalah dengan menambahkan bahan konduktif seperti grafit. Grafit memiliki konduktivitas listrik yang cukup tinggi yaitu mencapai 10^4 S/m mencapai 10^4 - 10^5 S/m. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Berbagai teknologi pembuatan baterai diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi baterai agar mampu bersaing dengan sumber energi lain[8]. Di antara jenis baterai yang tersedia, Baterai Ion Litium (BIL) dengan karakteristik kepadatan energi dan daya yang tinggi menjadi salah satu pilihan utama. BIL ini juga telah banyak digunakan dalam berbagai peralatan elektronika seperti kamera digital, laptop, dan telepon seluler. Salah satunya material LiFePO_4 merupakan katoda ion katoda baterai ion lithium (BIL) yang sifatnya relatif ramah lingkungan serta relatif tidak mahal jika dibandingkan dengan katoda lain berbahan Co atau Ni[8]. Pengembangan riset terkait dengan baterai litium di Indonesia untuk kendaraan listrik dengan banyaknya ketersediaan bijih nikel, namun mayoritas bijih nikel tidak terkelolah di Indonesia karena teknologi dan sumber daya manusia

terbatas. Litium pada baterai merupakan elemen solid bereaktif serta paling ringan sehingga tersimpan energi lebih besar pada komponen utama litium dan nikel[9]. Hal ini mengakibatkan pertumbuhan industri baterai Litium naik 14 kalinya mengikuti kemajuan teknologi seperti yang dikemukakan oleh Evvy Kartini selaku Pendiri Institut Penelitian Baterai Nasional atau National Battery Research Institut atau NBRI [10]

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas daur ulang baterai katoda berbasis LiFePO_4 . Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pengaruh penambahan komposisi Li terhadap daur ulang katoda LiFePO_4 *solid state reaction method* khusus yang melibatkan aliran gas Nitrogen (N_2). Pemanfaatan gas Nitrogen (N_2) berperan dalam menciptakan atmosfer inert yang dapat mencegah terjadinya oksidasi serta meningkatkan keseragaman kristalisasi.

Pada penelitian tahun 2022 yang dilakukan oleh Syamsul Bahtiar, dkk [8] bahwa struktur Li dengan FePO_4 mempunyai nilai potensial interkalasi optimasi pada ion Li ke dalam struktur dapat diprediksi struktur kelistrikan. Tahun 1997 Jhon Goodenough bersama tim pertama kali material LiFePO_4 dikenalkan yaitu atom Fe berada pada situs oktahedra, sedangkan atom P berada seperdelapan situs tetrahedral sehingga memiliki potensial bernilai ~ 3.5 V dengan menggunakan acuan Li/Li^+ . Kapasitas yang dihasilkan material LiFePO_4 secara teoritis bernilai 170 mAh g^{-1} dengan tegangan discharge sebesar 3,4 V serta memiliki stabilitas termal dan kimia yang tinggi serta ekonomis dan ramah lingkungan karena bahan yang tak beracun[8].

Pada penelitian tahun 2024 Hossein Rostami, Dkk membahas siklus hidup baterai LiFePO_4 (LFP), terutama dari segi metode sintesis, komposisi bahan, dan hasil sintesisnya. Penelitian tersebut mengkaji berbagai pendekatan untuk menghasilkan serbuk LiFePO_4 , baik dengan metode konvensional maupun inovatif. Metode yang digunakan mencakup sintesis fase padat (solid-state), reduksi karbotermal, pemanasan gelombang mikro, serta metode basah seperti hidrotermal, sol-gel, kopersipitasi, dan *spray pyrolysis*. Pemanasan awal sampel pada 300–400

°C dengan waktu 8 jam bertujuan untuk melepaskan katoda dari aluminium foil dan pemanasan akhir: 400–800 °C selama 2 jam bertujuan untuk menghilangkan binder pada katoda. Komposisi umum bahan yang digunakan meliputi garam besi (Fe^{2+} atau Fe^{3+}), garam litium (seperti LiOH , Li_2CO_3), dan sumber fosfat (seperti H_3PO_4 atau $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), dengan penambahan *Carbon Black* sebagai pelapis atau pereduksi melalui sintering pada suhu 700 °C selama 3 jam, dan 900 °C selama 6 jam untuk meningkatkan konduktivitas. Hasil sintesis menunjukkan bahwa pelapisan karbon dan pengendalian ukuran partikel sangat memengaruhi kinerja elektrokimia dari LiFePO_4 . Metode solid-state menghasilkan partikel kecil dan homogen dengan kapasitas pelepasan hingga 159 mAhg^{-1} , sementara metode reduksi karbotermal mampu menghasilkan komposit LiFePO_4/C dengan kapasitas hingga 164.8 mAh/g [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Junmei Zhao, dkk (2020), dengan pendekatan pencucian berbasis asam organik pada suhu ruangan untuk memulihkan Li dan FePO_4 dari bubuk katode LiFePO_4 bekas. Ion logam yang ada bersamaan yaitu Cu dan Al, juga telah diteliti. Dalam kondisi yang dioptimalkan, laju pencucian Li, Cu, dan Al dapat mencapai hingga 94,83%, 96,92%, dan 47,24%, sementara Fe dan P tetap rendah hingga 4,05% dan 0,84%. Li_2CO_3 dan FePO_4 dapat diperoleh kembali dari pencucian dan residu pencucian masing-masing. FePO_4 yang diperoleh kembali digunakan untuk menyiapkan material katode baru LiFePO_4 . FePO_4 dan Li_2CO_3 yang diperoleh kembali digiling dengan 20% glukosa (sebagai sumber karbon untuk mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+}) selama 1 jam sesuai dengan rasio Molaritas yaitu 1:1:1 masing-masing untuk Li:Fe:P, kemudian dikeringkan pada suhu 60°C selama 3 jam. Campuran yang dikeringkan dipindahkan ke dalam tungku tabung dan dikalsinasi pada suhu 700°C dalam atmosfer inert (Ar) selama 3 jam. Sampel yang telah disiapkan diberi nama LFP-B. Selain itu, sebagai perbandingan, residu pelindian yang diperoleh dengan karbon kristal digiling dengan Li_2CO_3 tanpa glukosa, kemudian dikalsinasi pada suhu 700°C dalam atmosfer inert (Ar) selama 3 jam. Sampel yang telah disiapkan diberi nama LFP-A.

Hasilnya menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki rasio molar yang diharapkan hampir 1:1:1 untuk masing-masing Li:Fe:P. Selain senyawa utama LiFePO_4 , pengotor berupa sedikit Al dan sangat sedikit Cu tertinggal dalam produk akhir. Namun, sangat sedikit Al dan Cu seharusnya tidak memiliki efek besar pada sifat elektrokimianya. Pola difraksi melalui XRD pada sampel LFP-A dan LFP-B yang disintesis dapat diindeks ke fase olivin LiFePO_4 . Namun, LFP-A mengandung karbon kristal. Dibandingkan dengan pola difraksi XRD LFP bekas, yang mengandung karbon kristal dan beberapa pengotor yang tidak jelas, kita tahu bahwa LFP-A yang disintesis mengandung karbon kristal yang sama dengan LFP bekas mentah. LFP-B yang disintesis dapat diindeks dengan baik ke fase murni LiFePO_4 tanpa puncak karbon. Jelas bahwa karbon kristal dalam bubuk LFP bekas mentah berbeda dari karbon yang diproduksi oleh glukosa. Selain itu, morfologi LFP-A dan LFP-B yang disintesis juga dikarakterisasi melalui Scanning Elektron Microscopic (SEM). Hasil pemeriksaan morfologi LFP-A dan LFP-B dengan SEM menunjukkan hasil yang sangat berbeda. Hal ini sangat dipengaruhi oleh keberadaan karbon kristal di dalam bubuk FePO_4 awal. Ukuran partikel LFP-A sekitar 100–400 nm jauh lebih kecil daripada ukuran LFP-B sekitar 1–2 mm. Karbon kristal dapat mengganggu kristalisasi LiFePO_4 karena sebagian partikel FePO_4 dibungkus oleh karbon, dan dengan demikian menghambat pertumbuhan partikel LiFePO_4 [12].

Penelitian yang dilakukan Deise F (2024), diterapkan untuk meregenerasi elektroda LFP bekas dengan adanya Li_2CO_3 dan glukosa melalui proses pemanasan dua langkah pada suhu 350 °C selama 4 jam, kemudian diikuti dengan 650 °C selama 9 jam. Kemudian, menggabungkan ini dengan pengerasan awal Liang untuk menghilangkan sisa-sisa PVDF, karbon, dan elektrolit. Setelah itu, Li_2CO_3 dan glukosa dalam rasio yang berbeda dicampur dengan bubuk LFP yang telah dimurnikan menggunakan penggilingan bola, diikuti dengan perlakuan panas dua langkah pada 350 °C selama 2 jam, dan kemudian 900 °C selama 6 jam, mencapai pemulihan 96% dalam kapasitas pelepasan spesifik dibandingkan dengan LFP

asli[13]. Li et al. melanjutkan pendekatan yang sama, tetapi melakukan langkah pengerasan pertama di bawah udara, sehingga melakukan reaksi pra-oksidasi. Selain itu, mereka menggabungkan titanium dioksida berukuran nano sebagai doping dalam reaksi pengerasan kedua, bersama dengan Li_2CO_3 dan glukosa. Mereka menemukan bahwa doping 1% dengan titanium dapat secara signifikan meningkatkan sifat elektrokimia dari LFP yang diregenerasi[14].

Penelitian yang dilakukan oleh Chaoqi Shen, Dkk(2021), Dalam penelitian ini, rute sintesis solid-state yang dioptimalkan dikembangkan untuk menyiapkan komposit LiFePO_4/C berbiaya rendah dan berkinerja tinggi dengan bubuk besi sebagai bahan baku langsung. Prekursor yang mengandung Li_3PO_4 , bubuk Fe, dan FePO_4 tidak hanya menghasilkan ekonomi atom 100%, tetapi juga menghindari pembentukan gas dari bahan baku dan menekan pembentukan pori selama proses kalsinasi solid-state, sehingga menghasilkan kerapatan tap yang tinggi sekitar $\sim 1,45 \text{ g cm}^{-3}$ yang 30% lebih tinggi daripada LiFePO_4/C komersial. Karakterisasi fisiko-kimia dan elektrokimia mengungkapkan bahwa ukuran bubuk Fe dan durasi ball milling memengaruhi kinerja sel secara signifikan berdasarkan efek penyeragaman prekursor. Dengan biaya dan kinerja yang seimbang dan kondisi yang dioptimalkan, Bahan katoda LiFePO_4/C disiapkan. Biasanya, bahan baku terdiri dari FePO_4 , Li_3PO_4 dan bubuk Fe dalam rasio molar 2:1:1, yang sesuai dengan massa masing-masing. Sejumlah sampel LiFePO_4/C dimasukkan ke dalam tabung ukur kecil dan diketuk selama minimal 5 menit. Kepadatan ketukan dihitung berdasarkan massa dan volume serbuk yang diukur. Pola XRD dari material LiFePO_4/C yang telah disiapkan disajikan dalam Gambar 1, di mana profil difraksi semua sampel dapat diindeks dengan baik ke LiFePO_4 ortorombik standar (JCPDS: 81-1173). Sebagai perbandingan, fase komponen Fe, Li_3PO_4 , dan FePO_4 dapat diidentifikasi dengan jelas dalam pola XRD prekursor yang digiling bola. Tidak adanya pengotor dalam pola XRD menunjukkan transformasi lengkap dari prekursor menjadi produk LiFePO_4/C . Baik durasi ball milling maupun skala ukuran Fe tidak memberikan pengaruh yang jelas pada fitur kristalisasi atau

kemurnian produk akhir, sedangkan puncak difraksi yang tajam menggambarkan kristalinitasnya yang baik. Khususnya, puncak karbon kristal hampir tidak dapat diamati untuk sampel LiFePO_4/C ini, yang menunjukkan sifat amorf dari karbon residu atau kandungan karbon rendah dalam produk. Dua pita 1 pada 1584 dan 1348 cm^{-1} dalam LFP-3 ditetapkan ke pita G dan pita D[15], yang sesuai dengan mode getaran peregangan untuk sp^2 domain karbon dan tingkat ketidakteraturan karbon. yang diharapkan dapat memberikan komposit LiFePO_4/C dengan konduktivitas elektronik yang baik. TGA LiFePO_4/C selanjutnya dilakukan di bawah aliran udara untuk memperkirakan kandungan karbon. Peningkatan berat dapat dikaitkan dengan oksidasi LiFePO_4 menjadi $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ dan Fe_2O_3 . Jadi, dengan membandingkan profil TGA P-LFP dan LFP-3, kandungan karbon dalam komposit LiFePO_4/C diperkirakan sekitar 1,96 % berat[16].

Penelitian yang dilakukan oleh Noor Fatima, Dkk(2022), Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat elektrokimia LiFePO_4 terutama untuk kapasitas tingkat tinggi dan siklus panjang kinerja dengan menggunakan efek sinergis dari metode sol-gel dan hidrotermal. Proses regenerasi katoda LiFePO_4 dari baterai bekas dilakukan melalui metode sintering fase padat. Pada tahap ini, rasio molar $\text{Li} : \text{Fe} : \text{P}$ dijaga pada nilai 1 : 1 : 1 untuk memastikan struktur kristal olivin terbentuk dengan stabil. Bahan-bahan utama yang digunakan meliputi Li_2CO_3 (sebagai sumber lithium), $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sebagai sumber besi), dan $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (sebagai sumber fosfat). Ketiga bahan ini dicampur dalam jumlah molar yang setara untuk memastikan kesetimbangan reaksi pembentukan LiFePO_4 . Selain itu, ditambahkan karbon sebanyak 5% dari total berat campuran sebagai bahan pelapis guna meningkatkan konduktivitas listrik material hasil sintesis. Seluruh campuran kemudian dicampur dengan etanol untuk membentuk prekursor yang homogen, lalu dikalsinasi pada suhu 600–700 °C selama 24 jam. Hasil sintesis menunjukkan bahwa produk akhir berupa serbuk LiFePO_4 memiliki morfologi hampir bulat dengan ukuran partikel sekitar 10 mikrometer serta menunjukkan kapasitas

pelepasan hingga 148 mAh/g pada laju 0.1C. Pendekatan ini berhasil menghasilkan kembali material katoda dengan performa mendekati bahan baru.

Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa kelemahan utama pada material LiFePO_4 , seperti laju difusi ion Li^+ yang lambat di antarmuka dan konduktivitas listrik yang rendah, dapat diatasi melalui rekayasa ukuran partikel ke skala nanometer, salah satunya dengan metode Flame Assisted Spray Pyrolysis (FASP). FASP merupakan teknik sintesis yang memanfaatkan penyemprotan prekursor ke dalam nyala api di atas nozzle atomisasi, menghasilkan serbuk dengan karakteristik tertentu. Sintesis material katoda berperan signifikan dalam meningkatkan kinerja elektrokimia baterai lithium-ion, terutama dalam mengatasi keterbatasan katoda LiFePO_4 . Upaya yang dilakukan meliputi pelapisan dengan karbon, doping atom, serta kombinasi dengan jenis katoda lain untuk memperoleh baterai lithium-ion dengan stabilitas tinggi, siklus hidup yang baik, serta kemudahan dalam proses produksi. Pembentukan katoda LiFePO_4 dapat dilakukan melalui beberapa metode sintesis, seperti sol-gel, presipitasi, dan solid-state, yang menjadi dasar dalam efisiensi penyerapan energi panas[17]. Metode sol-gel dalam sintesis katoda LiFePO_4 melibatkan pembentukan sol sebagai suspensi koloid stabil dari partikel padat dalam pelarut, yang kemudian mengalami proses gelasi sehingga terbentuk gel. Keunggulan metode ini meliputi kemampuannya untuk dilakukan pada suhu rendah, biaya produksi yang relatif murah, kemurnian tinggi, serta ketepatan stoikiometri dan struktur yang seragam dengan ukuran partikel mikro. Namun, metode ini memerlukan aliran gas argon dalam jumlah besar untuk mencegah oksidasi ion ferrous. Metode presipitasi juga dapat digunakan sebagai alternatif ekonomis, dengan pengaruh signifikan terhadap sifat material yang terbentuk, termasuk kemurnian, fase kristalin, dan kecenderungan aglomerasi.

Sementara itu, metode solid-state menawarkan pendekatan yang lebih sederhana karena tidak memerlukan pelarut, hanya menggunakan doping untuk meningkatkan konduktivitas listrik

Proses daur ulang dan kalsinasi dalam metode *solid state* dengan aliran gas argon (N_2) di harapkan dapat meningkatkan konduktivitas listrik. Secara khusus, kajian mengenai pengaruh metode ini terhadap ukuran kristalit, perubahan struktur, dalam keadaan padat serta kemampuan penyerapan $LiFePO_4$ sebagai katoda baru untuk baterai Li-ion masa depan

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian- penelitian yang dihasilkan sebelumnya ditemukan beberapa hal yang menjadi permasalahan yaitu Shanta Dutta(2022), Kesulitan dalam ekstraksi dan pemulihan lithium dan Jiadong Yu(2023), Penghapusan binder (PVDF) dan pemisahan bahan. sehingga dapat dikembangkan ke penelitian selanjutnya. Daur Ulang $LiFePO_4$ yang berbentuk *solid state* yang menghasilkan partikel dengan morfologi homogen yang dialiri gas N_2 . Pada baterai mempunyai spesifikasi yang terjadi seperti kemampuan menyimpan muatan, daya yang dimiliki, waktu pengisian dan pengosongan, dimensi fisik baterai baik volume, massa. Dari latar belakang penelitian tersebut maka dirumuskan masalah seperti:

1. Bagaimana cara mendaur ulang Katoda baterai ion Litium menjadi Baterai LFP baru yang berkinerja tinggi melalui metode *solid state*?
2. Bagaimana pengaruh Penambahan komposisi Li yang baru dalam Pembentukan $LiFePO_4$ terhadap Pembentukan Baterai Katoda, Dengan menerapkan metode *solid-state* ?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada penambahan bahan-bahan pembentuk Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$), dengan fokus pada perubahan komposisi lithium terhadap performa katoda baru. Bahan yang digunakan meliputi $LiOH$ sebagai sumber tambahan litium, Fe_2O_3 sebagai sumber besi, dan $(NH_4)_2HPO_4$ sebagai sumber ion fosfat, serta penambahan Glukosa sebagai bahan konduktif. Proses

sintesis dilakukan menggunakan metode solid state dengan variasi suhu kalsinasi 700°C selama 9 jam dalam atmosfer inert (gas N₂). Pengujian karakterisasi yang dilakukan mencakup analisis XRD dan SEM-EDX.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah:

1. Memahami proses daur ulang katoda baterai lithium ion menjadi baterai kinerja baik baru melalui metode solid state.
2. Menganalisis peran glukosa dalam proses pembuatan katoda LiFePO₄ baru dengan menggunakan metode Solid-State.
3. Menganalisis pengaruh perubahan komposisi lithium (Li) dalam proses pembuatan katoda LiFePO₄ dengan menggunakan metode solid-state.
4. Menganalisis bagaimana perubahan struktur katoda setelah senyawa lithium yang hilang selama proses daur ulang ditambahkan kembali.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Untuk Penelitian

1. Menambah pemahaman tentang pengaruh Penambahan komposisi lithium dalam pembentukan katoda LiFePO₄ yang baru.
2. Mengembangkan metode sintesis daur ulang baterai LiFePO₄ yang lebih optimal dalam penelitian ini menggunakan metode solid state.

1.5.2 Untuk Umum

1. Mengurangi ketergantungan pada bahan katoda berbasis kobalt (LiCoO₂)
2. Mendukung pengembangan teknologi kendaraan listrik atau electric vehicle (EV) dan penyimpanan energi
3. Menjadi referensi bagi industri baterai dalam meningkatkan produksi daur ulang baterai LiFePO₄

1.6 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang terdapat dalam penelitian ini ialah:

1. Pengamatan langsung dalam skala laboratorium terhadap objek studi untuk memperoleh data empiris terkait hasil penelitian.
2. Studi literatur yaitu menelaah dan membaca literatur ilmiah (misalnya buku, artikel, jurnal) yang relevan dengan topik penelitian untuk membangun kerangka teori dan mendukung analisis dalam karya ilmiah.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dilakukan melalui sistematika dan format yang telah ditetapkan oleh Universitas Kristen Indonesia yang tersusun dari:

BAB I : Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta metode penelitian. Ditutup dengan penyajian sistematika penulisan skripsi.

BAB II : Landasan Teori

Bab ini berisi kajian pustaka yang mendukung, dengan penjelasan mendalam mengenai prinsip daur ulang baterai LiFePO_4 . Di dalamnya dijelaskan pula pengaruh ukuran kristalin terhadap kinerja katoda, peran gas nitrogen dalam proses sintesis, dan pencampuran karbon dalam sintesis ulang katoda LFP.

BAB III : Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tahap-tahap pembuatan serta pengujian sampel, meliputi pencampuran LiFePO_4 , disertai diagram alir yang menggambarkan keseluruhan proses daur ulang baterai LFP.

BAB IV : Pembahasan

Bab ini menganalisis hubungan antara teori yang digunakan dengan data penelitian. Dipaparkan hasil pengujian lapangan secara sistematis, dianalisis, dan diberi deskripsi sesuai dengan temuan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab penutup ini menyajikan kesimpulan dari hasil pengujian, sekaligus menyampaikan saran praktis atau teoretis berdasarkan temuan penelitian.

