

**LAPORAN PENELITIAN
PROGRAM RISET INOVASI UNTUK INDONESIA MAJU**



“BATERAI MERAH PUTIH”

Dr. Eng. Ersan Y. Muslih, M.Sc.Eng.

Daisman Purnomo Bayyu Aji, ST, Ph.D.

Muhammad Ihram Maulana, ST, MT.

Astari Minarti, ST., M.Sc.

Larasati Rizky Putri, S.Pd., M.Pd.

Dr. Ir. Sally Cahyati, M.T., I.P.M.

Dra. Wiwik Dahani, MT.

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI ARSITEKTUR LANDSKAP
DAN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS TRISAKTI
2025**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR RISET DAN INOVASI UNTUK INDONESIA MAJU KOMPETISI

1. Judul Proposal : LITBANG PEMBUATAN BAHAN BAKU BATERAI LITIUUM MERAH PUTIH
2. Ketua Periset Univ. Trisakti
- a. Nama Lengkap : Dr. Eng. Ersan Yudhapratama Muslih, M.Sc.Eng.
 - b. Jenis Kelamin : Pria
 - c. NIP/NIK/KTP : 3275052112870011
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Jabatan Fungsional : -
 - f. Institusi Periset : Universitas Trisakti
 - g. Alamat : Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol Petamburan, Jakarta Barat 11440.
 - h. HP/Telepon/Faks : (021) 5674166
 - i. Alamat Rumah : Pondok Indah Gempol 1, Blok G10/53, Desa Sukadami, Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi 17532
- Telepon/Faks/Email : ersan.ym@trisakti.ac.id
3. Mitra Periset : Pusat Riset Metalurgi BRIN
- Alamat Mitra Periset : Kawasan PUSPIPTEK Gedung Gg. Masjid No.470, Muncul, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314

Anggota Riset

No	Nama	NIP/NIK	Asal Institusi
1	Daisman Purnomo Bayyu Aji, ST, Ph.D.		Universitas Trisakti
2	Muhammad Ihram Maulana, ST, MT.		Universitas Trisakti
3	Larasati Rizky Putri, S.Pd., M.Pd.	3671096002920004	Universitas Trisakti
4	Astari Minarti, ST., M.Sc.		Universitas Trisakti
5	Dr. Ir. Sally Cahyati, M.T., I.P.M.		Universitas Trisakt
6	Dra. Wiwik Dahani, MT.		Universitas Trisakt
7	Dr. Latifa Hanum Lalasari , M.T.	197802212008012016	Pusat Riset Metalurgi BRIN
8	Prof. Dr.Ir. F. Firdiyono	195602141982021001	Pusat Riset Metalurgi BRIN
9	Dr. Eko Sulistiyono, M.Si	196810221995031001	Pusat Riset Metalurgi BRIN
10	Dr. Iwan Setiawan		Pusat Riset Metalurgi BRIN
	Dr. Agus Budi Prasetyo	198210232006041003	Pusat Riset Metalurgi BRIN

4. Pendanaan :

No	Uraian	BRIN	Sharing	Total
1	Tahun 1	Rp 706.100.000,-		Rp 706.100.000,-
2	Tahun 2	Rp 950.000.000,-		Rp 950.000.000,-
3	Tahun 3	Rp 950.000.000,-		Rp 950.000.000,-

Menyetujui,
Ketua DRPM FALTL,



Dr. Ir. Diana Irvindiaty Hendrawan, M.Si

Jakarta, 6 Januari 2025
Ketua Periset,



Dr. Eng. Ersan Y. Muslih, M.Sc.Eng.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kendaraan listrik telah menjadi tren global yang tak terhindarkan dalam industri otomotif. Kemajuan teknologi dan kesadaran akan isu-isu lingkungan telah mendorong pertumbuhan pesat dalam penggunaan kendaraan listrik di seluruh dunia. Kendaraan ini dinilai sebagai salah satu solusi terbaik untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi masalah polusi udara di perkotaan. Namun seiring pertumbuhan tersebut, muncul pula tantangan baru terkait pengelolaan limbah baterai kendaraan listrik.

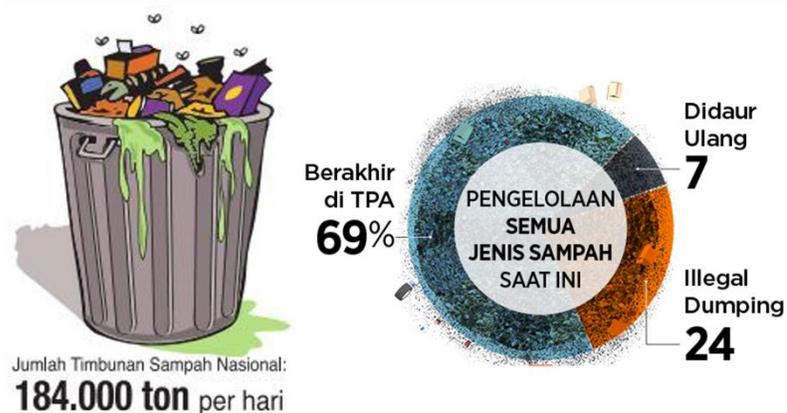
Indonesia, sebagai salah satu negara berkembang yang memiliki populasi kendaraan bermotor dalam jumlah besar, tidak luput dari tren tersebut. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2030, akan terdapat 13 Juta motor listrik dan 2,2 juta mobil listrik.[1] Ketika pemerintah mendorong penggunaan kendaraan listrik untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, Indonesia menghadapi peluang besar untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dengan penggunaan kendaraan listrik, pemerintah dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 2,5 juta kilo liter pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 6 juta kilo liter pada tahun 2030.[1–3] Gambar 1 menunjukkan grafis proyeksi kendaraan listrik dan pengurangan konsumsi BBM di Indonesia.



Gambar 1. Grafis tentang proyeksi kendaraan listrik dan proyeksi pengurangan konsumsi BBM di Indonesia pada 2021, 2025, dan 2030.[1]

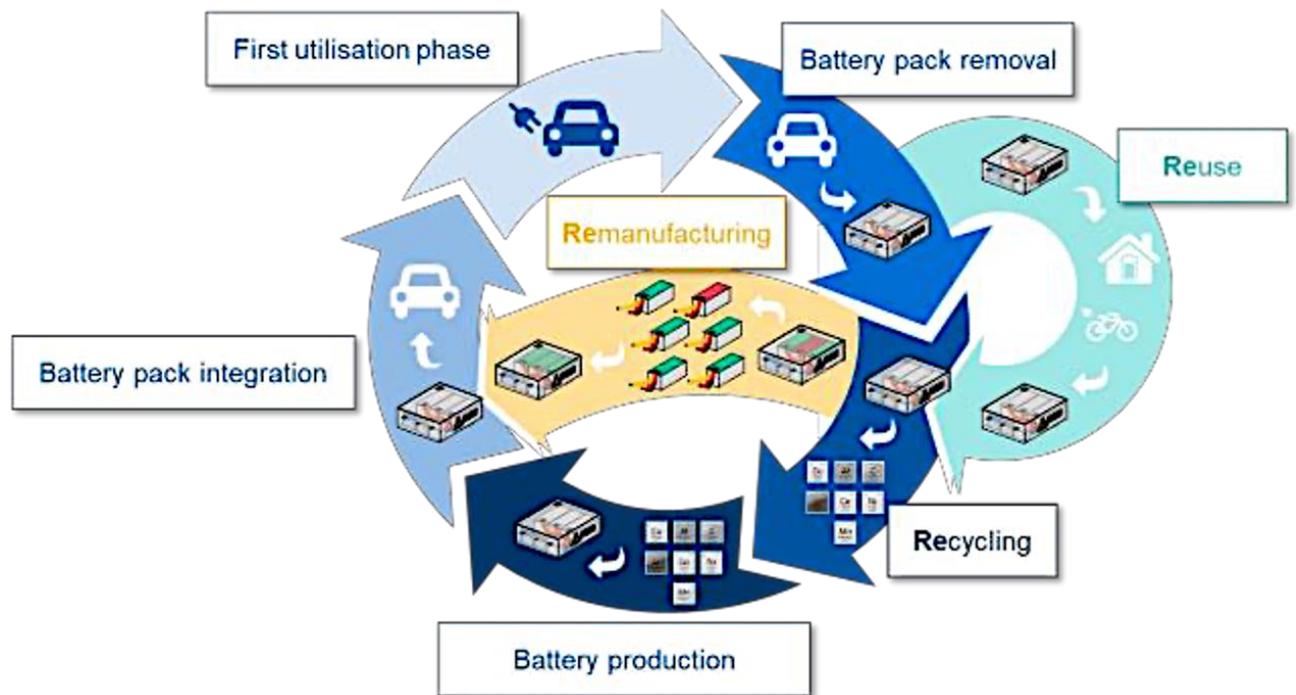
Namun dibalik potensi kebaikan yang ada, terdapat juga potensi masalah yang besar menanti didepan, yaitu terkait dengan sistem pengolahan limbah khususnya limbah baterai kendaraan listrik yang perlu segera diatasi. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH)

terdapat 184 ribu ton sampah per hari dan 69% diantaranya hanya berakhir di tempat pembuangan akhir akibat buruknya sistem pengolahan sampah di Indonesia.[4–6] Limbah baterai kendaraan listrik mengandung berbagai bahan beracun dan berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia berbahaya. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari tanah dan air, serta menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia. Oleh karena itu, pengembangan sistem pengelolaan limbah baterai kendaraan listrik yang efektif dan berkelanjutan sangatlah penting. Gambar 2 menunjukkan grafis tentang jumlah timbunan sampah nasional per hari dengan persentase pengelolaan sampah yang terjadi.



Gambar 2. Grafis jumlah timbunan sampah nasional per hari pengelolaannya.[7]

Limbah baterai lithium adalah salah satu isu lingkungan yang semakin mendesak untuk diatasi di era modern ini. Baterai lithium digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, dan penyimpanan energi. Meskipun teknologi baterai litium telah membantu revolusi dalam mobilitas berkelanjutan dan elektronik yang lebih canggih, manajemen limbah baterai ini menjadi semakin penting. Salah satu pendekatan inovatif untuk mengatasi masalah ini adalah melalui metode *loop* tertutup daur ulang baterai. Gambar 3 menunjukkan siklus *loop* tertutup daur ulang baterai.



Gambar 3. Siklus daur ulang *loop* tertutup dari baterai.[8]

Metode siklus baterai *loop* tertutup adalah konsep yang memprioritaskan pengelolaan baterai lithium dengan pendekatan berkelanjutan dan daur ulang yang efisien. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dari produksi baterai, tetapi juga untuk memaksimalkan nilai ekonomi dan sosial dari baterai yang ada. Dengan demikian, siklus baterai *loop* tertutup mendorong pengumpulan, pemilahan, daur ulang, dan pemulihan baterai lithium bekas untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas.[9] Selain itu, metode ini juga dapat meningkatkan tingkat komponen dalam negeri (TKDN) sehingga meningkatkan perekonomian nasional dan menciptakan *supply chain* yang baik. Pendekatan ini bukan hanya tentang pengelolaan limbah, tetapi juga tentang menciptakan ekosistem yang berkelanjutan di sekitar baterai lithium, mana baterai yang tidak digunakan dapat diubah menjadi sumber daya yang bernilai dan dapat digunakan kembali. Dengan demikian, metode siklus baterai *loop* tertutup memiliki potensi untuk menjadi solusi yang berdampak besar dalam mengurangi dampak lingkungan dari konsumsi baterai lithium yang terus berkembang dan mendukung pelestarian menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan secara keseluruhan.

Tujuan dari proposal ini adalah untuk mengidentifikasi dan merumuskan solusi yang dapat membantu Indonesia mengelola limbah baterai kendaraan listrik dengan lebih efektif. Usulan ini akan mengkaji berbagai aspek, antara lain pemilahan, daur ulang, dan pembuangan yang aman, edukasi bagi masyarakat serta melibatkan berbagai pemangku kepentingan seperti pemerintah, industri, masyarakat dan lembaga penelitian seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

1.2. Perumusan Masalah

Bagaimana mendaur ulang limbah baterai litium agar dapat dipisahkan setiap komponennya?

Bagaimana memisahkan setiap elemen dari katoda mengembalikan fungsi dari katoda tersebut agar dapat digunakan kembali?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan cara yang baru untuk mendaur ulang baterai litium bekas agar dapat digunakan kembali sebagai komponen penyusun baterai litium.

1.4. Batasan Penelitian

Penelitian ini hanya menggunakan baterai litium. Dan baterai litium yang digunakan adalah baterai litium bekas berjenis (LiNiCoMnO / NCM) yang sudah berbentuk baterai selinder.

1.5. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi dan Road Map Penelitian Fakultas

Road Map Penelitian Pribadi dari Ersan Y. Muslih merupakan Road Map terbaru setelah yang bersangkutan menyelesaikan studi doktoralnya yang terdata oleh sistem SIMPPM. Road Map Penelitian yang dibuat oleh Ersan Y. Muslih tentang daur ulang limbah baterai litium ini sangat berkaitan erat dan mendukung Road Map Penelitian Fakultas dan Road Map Penelitian Universitas di bidang *Green Engineering Technology, Green Urban Environment* dan juga Material Maju.

Selain itu, penelitian ini juga merupakan kelanjutan dan penyesuaian dari penelitian bersama antara Fakultas Teknologi Industri (FTI) Universitas Trisakti dengan Pusat Penelitian Metalurgi

dan Material LIPI (sekarang BRIN) dengan SK Dekan nomor 0621/HM.4.00/FTI-DEK/I/2018 yang pada prakteknya dilakukan oleh Ersan Y. Muslih dari Jurusan Teknik Mesin. Dari Kerjasama ini pula dihasilkan beberapa publikasi karya tulis ilmiah pada jurnal internasional bereputasi tentang ekstraksi mineral sebagai mana terlampir pada LAMPIRAN 3. Oleh karena kerjasama yang baik ini, maka para peneliti dari kedua belah pihak ingin melanjutkan kembali kerjasama yang telah terjalin dengan penyesuaian pada BRIN namun, tetap memasukkan topik terkini dan masih terkait pada salah satu *core* dari penelitian Pusat Riset Metalurgi BRIN yaitu ekstraksi.

Oleh karena itu, pihak Pusat Riset Metalurgi BRIN, dalam perjanjian kerjasama yang baru dengan pihak Universitas Trisakti melalui Pusat Kajian Kecerdasan Artifisial dan Teknologi Maju – LPPM USAKTI, berkomitmen untuk saling berbagi peran dalam penelitian terbaru ini dan pihak Pusat Riset Metalurgi BRIN bersedia menganggarkan dukungan pendanaan **In Kind sebesar Rp 70.000.000** yang tertuang dalam Lampiran Perjanjian Kerja Sama (PKS) berupa Kerangka Acuan Kerja (KAK).

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Baterai Litium

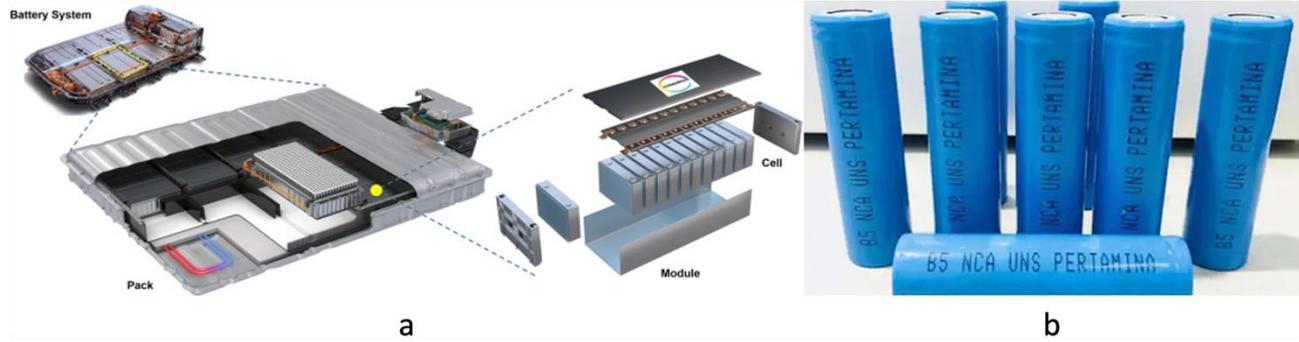
Baterai litium adalah baterai primer yang menggunakan litium sebagai anoda. Baterai jenis ini juga disebut sebagai baterai lithium-ion dan paling umum digunakan untuk kendaraan listrik dan elektronik.[10] Jenis baterai litium pertama dibuat oleh ahli kimia Inggris bernama M. Stanley Whittingham pada awal tahun 1970-an dan menggunakan titanium dan litium sebagai elektrodanya. Sayangnya, penerapan baterai ini dibatasi oleh tingginya harga titanium dan bau tidak sedap yang dihasilkan dari reaksi tersebut.[3] Baterai lithium ion saat ini, meniru upaya Whittingham oleh Akira Yoshino, pertama kali dikembangkan pada tahun 1985.[11]

Baterai litium ion merupakan baterai yang ringan, ringkas, dan bekerja dengan voltase sekitar 4V dengan energi spesifik berkisar antara 100 Wh kg^{-1} dan 150 Wh kg^{-1} . Dalam strukturnya yang paling konvensional, baterai litium ion dapat mengandung anoda grafit, sebuah katoda yang dibentuk oleh oksida logam litium (LiCoO_2) dan elektrolit yang terdiri dari larutan garam litium (LiPF_6) dalam campuran pelarut organik yang tertanam dalam kain pemisah [5]. Pada umumnya, baterai ini didasarkan pada C/LiPF_6 dalam rangkaian EC-DMC/ LiMO_2 dan dengan reaksi sebagai berikut:



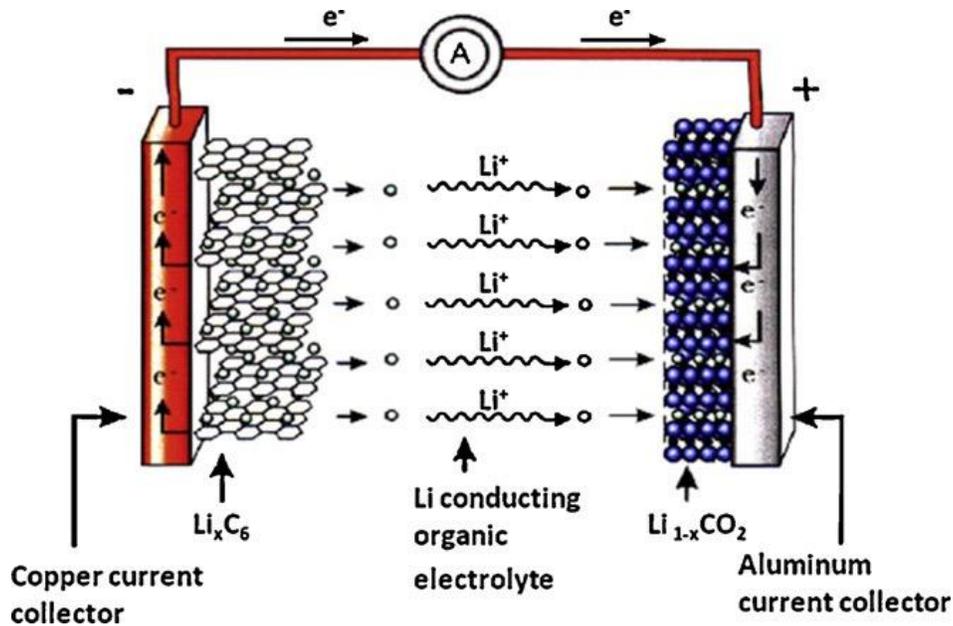
(1)

Baterai litium melibatkan reaksi reversibel dan penyisipan ion litium di antara dua elektroda dengan pelepasan dan penambahan elektron secara bersamaan. Karena tingginya nilai kandungan energi, baterai lithium ion telah memicu pertumbuhan pasar perangkat populer, seperti telepon seluler, komputer laptop, MP3 dan lain-lain. Memang, baterai lithium ion saat ini diproduksi miliaran unit per tahun dan digunakan untuk berbagai macam aplikasi seperti perangkat elektronik dan juga kendaraan listrik. Gambar 4 menunjukkan baterai litium yang digunakan untuk mobil listrik dari modul hingga sel.



Gambar 4. (a) Modul baterai litium yang digunakan untuk mobil listrik [12], (b) baterai litium [13].

Proses elektrokimia yang menggerakkan baterai ion litium tampak cukup sederhana, tampaknya terdiri dari pertukaran ion litium yang dapat dibalik antara dua elektroda. Namun, dalam praktiknya pengoperasian baterai ini memerlukan proses sampingan utama yang berkelanjutan. Pada reaksi (1) kita dapat melihat bahwa proses redoks pada anoda berkembang sekitar 0,05 V vs. Li dan proses redoks pada katoda LiCoO_2 berkembang pada sekitar 4 V vs. Li. Permulaan arus dalam elektrolit menunjukkan terjadinya proses dekomposisi reduktif atau oksidatif yang menentukan domain stabilitasnya. Reaksi tersebut menunjukkan bahwa domain elektrolit berkisar dari sekitar 0,8 V vs Li hingga 4,5 V vs Li dan bahwa anoda beroperasi dengan baik di luar stabilitas elektrolit dan katoda hanya pada batasnya. Hal ini juga terlihat jelas dari gambar 5 yang menunjukkan rentang tegangan anoda dan katoda LiCoO_2 dibandingkan dengan jendela stabilitas elektrolit cair organik yang paling umum. Kita kemudian dapat menyimpulkan bahwa baterai C/ LiCoO_2 secara termodinamika tidak stabil dalam elektrolit ini. Namun, dalam praktiknya, baterai beroperasi pada stabilitas kinetik: penguraian awal elektrolit menghasilkan pembentukan lapisan pelindung pada permukaan anoda, sehingga memberikan kondisi yang menjamin kelanjutan proses pengisian dan pengosongan baterai. Yang lebih berbahaya lagi adalah proses oksidatif di sisi katoda. Gambar 5 menunjukkan skema gambar pada baterai litium.



Gambar 5. Diagram baterai litium.[14]

Dalam kondisi yang tepat, baterai beroperasi di bawah batas oksidatif elektrolit. Namun, jika terjadi kejadian tak terduga, seperti pengisian daya berlebih yang tidak disengaja, batas ini terlampaui, tidak ada lapisan pelindung yang terbentuk pada katoda dan elektrolit terus teroksidasi, hal ini berkontribusi besar terhadap percepatan kegagalan sel.

Secara keseluruhan, proses dekomposisi anoda dan katoda menyiratkan konsumsi massa aktif dan elektrolit, disertai dengan pelepasan gas. Hal ini mengakibatkan hilangnya kapasitas baterai (kapasitas awal yang tidak dapat diubah) dan bahaya keselamatan. Hilangnya kapasitas dan evolusi gas tentu saja tidak diinginkan

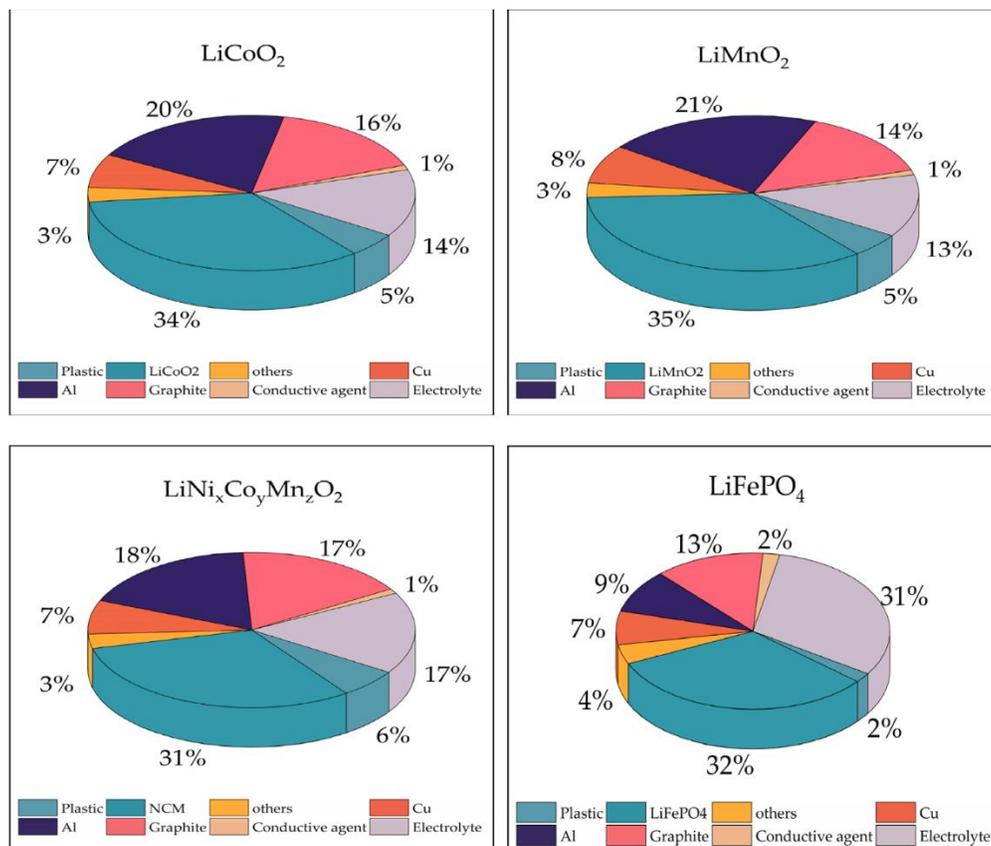
Daur Ulang Baterai Litium

Baterai litium ion telah menjadi sumber daya penting untuk berbagai aplikasi, mulai dari perangkat elektronik portabel hingga kendaraan listrik. Namun, meningkatnya permintaan akan baterai ini telah menimbulkan kekhawatiran mengenai dampak lingkungan dari pembuangannya. Menanggapi hal ini, daur ulang baterai lithium ion telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengurangi limbah dan melestarikan sumber daya yang berharga. Dalam konteks ini, pengembangan metode daur ulang baterai litium-ion yang efisien dan berkelanjutan telah menjadi fokus utama penelitian dalam beberapa tahun terakhir.

Pesatnya perkembangan kendaraan bertenaga listrik telah menyebabkan peningkatan pesat

dalam konsumsi baterai. Sebagai salah satu perwakilan khas baterai tenaga energi baru, baterai lithium-ion (LIB) banyak digunakan dalam penyimpanan energi dan kendaraan listrik dengan siklus hidup yang panjang, energi spesifik yang tinggi, efek self-discharge yang kecil, ukuran yang kecil, tinggi tegangan kerja, tidak ada efek memori, rentang suhu yang berlaku luas, dan perlindungan lingkungan hijau. Beberapa LIB yang umum (menurut bahan katoda) adalah LiCoO_2 (LCO), LiMnO_2 (LMO), $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ (NCM), dan LiFePO_4 (LFP), serta komposisi dan struktur ditunjukkan pada Gambar 1 (% pada gambar mengacu pada wt%).

Dari tahun 2015 hingga 2040, produksi LIB untuk kendaraan listrik dapat mencapai 0,33 hingga 4 juta ton [1], yang akan menimbulkan kekhawatiran terhadap rantai pasokan sumber daya. Diperkirakan total 21 juta paket LIB yang habis masa pakainya akan dihasilkan antara tahun 2015 dan 2040 [2]. Oleh karena itu, untuk mengurangi tekanan pada rantai pasokan, melindungi lingkungan, dan mencapai pembangunan industri yang berkelanjutan, perlu dikembangkan proses daur ulang yang efisien sedini mungkin. Hal ini juga akan terjadi pada kobalt dan nikel. Gambar 6 menunjukkan persentase komponen dari beberapa jenis baterai LIB



Gambar 6. Struktur dan komposisi beberapa jenis baterai litium yang umum.[8,10]

Perkiraan total permintaan litium (Li) global pada tahun 2016-2030 diperkirakan akan mencapai 1,79 juta ton setara litium karbonat pada tahun 2030.[8,15] Dengan perkiraan peningkatan konsumsi Li di masa depan, mungkin ada masalah terkait ekstraksi Li, yang mungkin menyebabkan kenaikan harga Li secara cepat. Cobalt (Co) dan nikel (Ni) menghadapi skenario yang sama.[14]

Limbah baterai LIB pada proses daur ulang biasanya diambil dari baterai LIB yang sudah tidak menghasilkan listrik sama sekali. Hal ini bertujuan untuk menghindari reaksi yang masif. Biasanya dilakukan penetralan sebelum dilakukan daur ulang pada baterai LIB. Penetralan ini dilakukan secara fisik sebelum mengalami ekstraksi lebih lanjut. Terdapat beberapa metode untuk metode untuk mendaur ulang baterai LIB. Tabel 1 menunjukkan beberapa metode yang dapat digunakan untuk daur ulang baterai LIB.

Tabel 1. Perbandingan metode yang digunakan untuk daur ulang baterai LIB

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Pyrometallurgy	Proses Sederhana	Membutuhkan energi yang besar
	Kapasitas Besar	Banyak kehilangan Li
	Mudah diterapkan	Contaminasi sekunder yang parah
	Tinggi Efisiensi	Proses yang panjang
Hydrometallurgy	Kemurnian yang tinggi	Membutuhkan bahan kimia yang banyak
	Konsumsi energi rendah	Terdapat limbah buangan
	Rendah polutan sekunder	Sulit untuk efisien
Biohydrometallurgy	Rendah polutan dan rendah konsumsi energi	Terdapat mikorba
	Ramah lingkungan	Proses yang panjang
	Dapat menggunakan mikroorganisme	Kondisi yang harus terkontrol

Karakterisasi

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan baku maupun produk, mulai dari struktur kristal, komposisi kimia hingga morfologi, diperlukan proses karakterisasi. Proses karakterisasi ini meliputi *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar X merupakan teknik analisis cepat yang digunakan untuk identifikasi fasa dari material kristalin dan dapat memberikan informasi ukuran unit sel. Material yang dianalisa dihaluskan, dihomogenisasi, dan komposisi rata-ratanya ditentukan.

Difraksi sinar X berdasarkan pada prinsip interferensi sinar X monokromatik dan sampel kristalin. Sinar X tersebut dihasilkan oleh tabung katoda, difilter untuk menghasilkan radiasi monokromatik, dikonsentrasikan dengan kolimator, dan diarahkan ke sampel. Interaksi sinar dengan sampel tersebut menghasilkan interferensi dan difraksi yang sesuai dengan hukum Bragg.

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

(2)

Hukum tersebut menghubungkan antara panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak kisi kristal sampel. Sinar X yang terdifraksi ini kemudian dideteksi, diproses dan dihitung. Semua arah difraksi dapat diperoleh dengan meng-*scan* sampel sejauh sudut 2 theta. Konversi puncak difraksi ke *d-spacing* dapat mengidentifikasi mineral karena setiap mineral memiliki *d-spacing* yang berbeda-beda. Identifikasi tersebut biasanya dilakukan dengan membandingkan *d-spacing* dengan pola referensi standar.

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Spektrometer *Xray fluorescence* (XRF) merupakan instrumentasi sinar X yang digunakan untuk analisa kimia batuan, mineral, sedimen, dan fluida. Metode ini sangat luas digunakan karena mudah, preparasi sampel yang tidak mahal, dan kemudahan penggunaan spektrometer.

Ketika material dieksitasi dengan energi yang tinggi (seperti sinar X), material tersebut dapat terionisasi. Jika energi radiasi cukup untuk mengeluarkan elektron dalam, atom menjadi tidak stabil dan elektron luar akan menempati elektron dalam. Ketika ini terjadi, energi terlepas karena berkurangnya energi ikat antara elektron dalam dengan luar.

Radiasi yang diemisikan memiliki energi yang lebih rendah daripada sinar X, hal ini disebut radiasi *fluorescent*. Karena energi yang diemisikan merupakan perpindahan elektron dari setiap unsur, hasil fluoresensi sinar X dapat mendeteksi kandungan setiap unsur yang ada di dalam sampel.

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) menggunakan sinar elektron dengan energi tinggi

untuk menghasilkan variasi sinyal pada permukaan spesimen. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron dengan sampel tersebut memberikan informasi, meliputi morfologi, komposisi kimia, struktur kristalin, dan orientasi material yang menyusun sampel tersebut. Data diperoleh pada beberapa titik di permukaan sampel dan gambar 2 dimensi akan muncul, gambar tersebut menunjukkan variasi spasial. SEM mampu menggambarkan area dengan lebar sekitar 1 cm hingga 5 mikron (dengan perbesaran dari 20x hingga 30.000x, resolusi spasial dari 50 hingga 100 nm)

Elektron terakselerasi pada SEM memiliki energi kinetik yang signifikan, energi ini terdisipasi sebagai sinyal yang dihasilkan oleh interaksi elektron dengan sampel, sinyal ini terdisipasi ketika elektron terdeselerasi pada sampel. Sinyal ini termasuk elektron sekunder (yang menghasilkan gambar SEM), *backscattered electron* (BSE), *diffracted backscattered electrons* (EBSD digunakan untuk menentuka struktur kristal dan orientasi mineral), foton, cahaya tampak, dan panas. Elektron sekunder dan *backscattered electron* biasanya digunakan untuk menggambarkan sampel. Elektron sekunder merupakan komponen yang penting untuk menampilkan morfologi sampel, sedangkan *backscattered* elektron penting untuk menggambarkan kontras pada sampel multifasa.

Pembangkitan sinar X dihasilkan oleh tumbukan antara elektron dengan elektron orbital sampel. Ketika elektron yang tereksitasi kembali ke keadaan energi yang lebih rendah, elektron tersebut menghasilkan sinar X dengan panjang gelombang tertentu. Kemudian dihasilkanlah karakteristik sinar X setiap unsur.

Analisa SEM dianggap sebagai analisa *non-destructive* karena sinar X yang muncul dari interaksi elektron tidak menyebabkan kehilangan volume sampel, sehingga memungkinkan menganalisa material yang sama dengan cepat.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

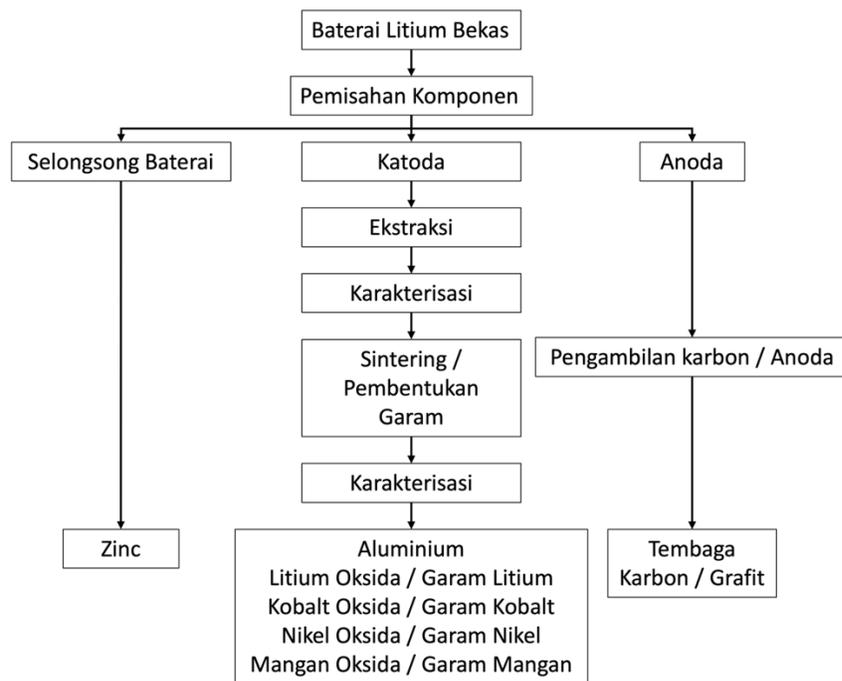
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian akan dilakukan pada Oktober 2023 hingga September 2024.

Adapun tempat penelitian, akan dilakukan di Laboratorium Kimia atau Laboratorium di lingkungan Universitas Trisakti dan juga Laboratorium Pusat Penelitian Metalurgi BRIN di Serpong

3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan merupakan kombinasi dari pemisahan fisik, dan ekstraksi secara *pyrometallurgy* dan *hydrometallurgy* dengan menggunakan alat yang didesain khusus untuk memisahkan komponen baterai tanpa menghancurkan baterai menjadi bubuk agar tiap komponen dapat didaur ulang dengan mudah dan dapat *direct recovery* dengan maksimal. Berikut adalah bagan alir metode daur ulang baterai LIB:

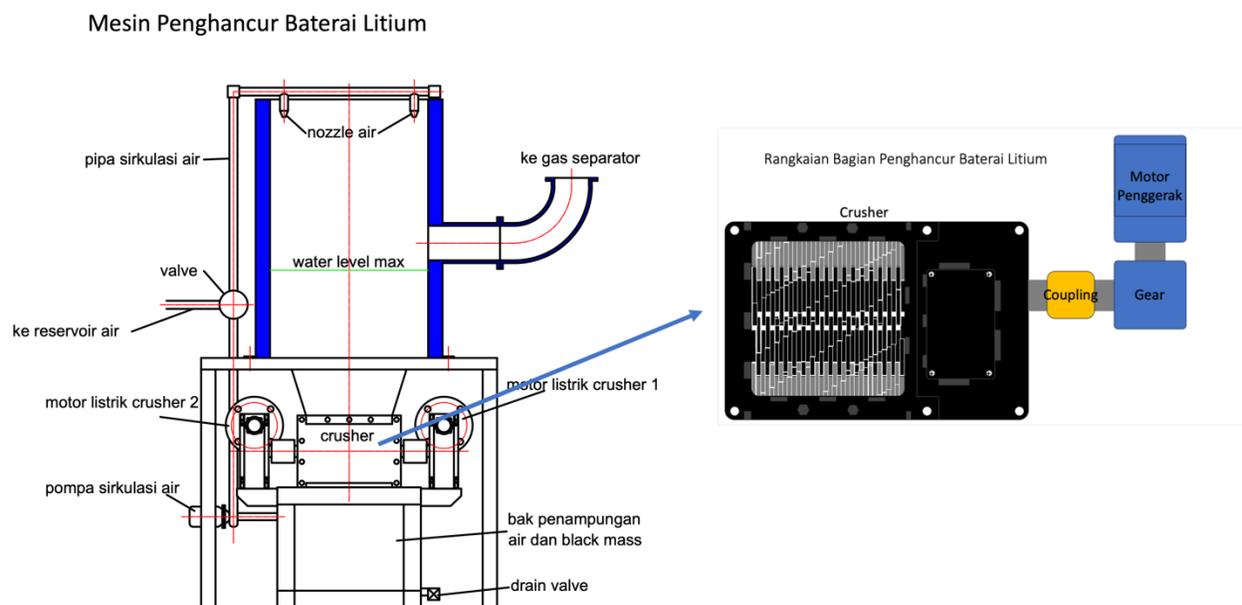


3.3. Metode Analisis

Metode analisis yang akan digunakan adalah dengan menggunakan XRD, XRF, BET, DSC, dan SEM.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan ini, riset penghancur baterai ini berfokus kepada desain dan perakitan alat penghancur baterai, khususnya pada bagian *crushernya*. Oleh karena itu, dibuatkanlah desain alat penghancur baterai dengan menggunakan teknik perendaman. Teknik ini memungkinkan untuk menghancurkan berbagai jenis baterai litium dan juga tanpa melakukan tahapan penetralan muatan terlebih dahulu. Berikut adalah desain rancangan alat penghancur baterai litium dengan Teknik perendaman:



BAB 5. KESIMPULAN

Rancangan / desain alat penghancur baterai litium dengan menggunakan Teknik perendaman ini sangat penting sebagai tahapan awal untuk proses berikutnya dalam riset ini. Karena dengan adanya penghancur baterai litium yang berfungsi dengan baik, maka material yang akan diteliti nanti akan dapat dipasok dengan konsisten. Desain alat ini sedang dalam proses pendaftaran patent ke Dirjen HKI.