

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN FUNDAMENTAL REGULER II**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT PENGELOLAAN BATERAI  
BEKAS MOTOR LISTRIK PADA PELAKU INFORMAL**



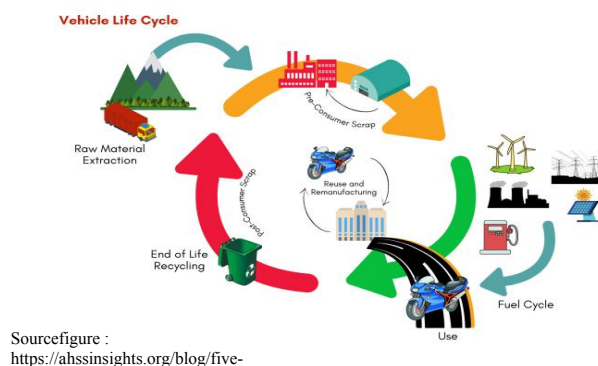
Annie Purwani  
Siti Mahsanah Budijati  
Hayati Mukti Asih  
Silvia De'e 2000019109  
Bagas Bayu Bismantaka 2000019075  
Dari Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

**HIBAH RISET MUHAMMADIYAH BATCH VII TAHUN 2023/2024**

## 1. Latar Belakang, Rumusan Masalah, dan Tujuan

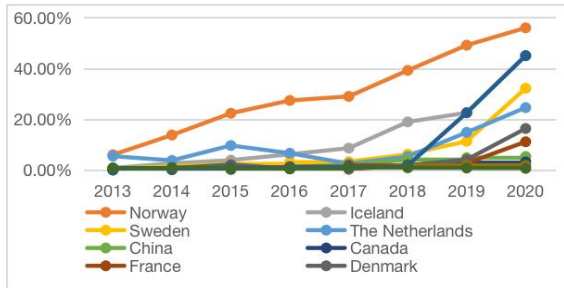
Kehadiran teknologi kendaraan listrik menjadi solusi dari permasalahan keterbatasan bahan bakar fosil. Selain dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, kendaraan listrik menjadi lebih ramah lingkungan. Girardi [1] membuktikan bahwa electric vehicle (EV) memberikan efek gas rumah kaca lebih rendah (12,07 €/1000 k) dibandingkan kendaraan internal combustion engine (ICE) (21,30 €/1000 k), sementara menurut Andrea [2], EV menghasilkan lebih sedikit karbon dalam siklus hidupnya dibandingkan kendaraan diesel atau bensin. Nordelöf dalam papernya [3] menyatakan bahwa pengurangan efek gas rumah kaca dari teknologi kendaraan listrik didukung adanya penetrasi analisis dampak lingkungan untuk semua pemanufaktur.

Kehadiran teknologi kendaraan listrik di Indonesia, diperkuat dengan dukungan regulasi pemerintah. Regulasi pemerintah tersebut terutama adalah, Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 [4] tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai dan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020 [5] tentang Spesifikasi Teknis, Roadmap EV dan Perhitungan Tingkat Kandungan Lokal Dalam Negeri (TKDN). Pemanufaktur EV menyesuaikan dengan mempercepat produksi kendaraan bermotor listrik. Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020, menjadi acuan target detail TKDN kendaraan bermotor listrik dan target kuantitatif pengembangan bagi para pemanufaktur.



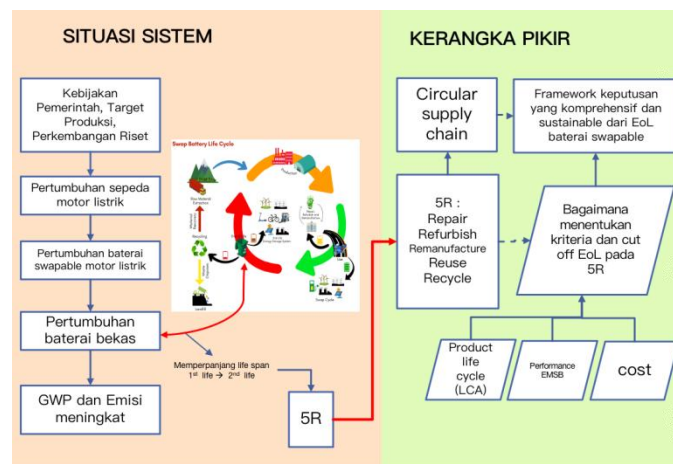
Gambar 1. Life Cycle Motor Listrik

Industri motor listrik merupakan suatu ekosistem baru (**Gambar 1.**). Suatu ekosistem merupakan tatanan unsur lingkungan hidup yang merupakan kesatuan utuh menyeluruh dan saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitas lingkungan [6]. **Gambar 2.** merupakan data perkembangan penjualan produk EV selama tahun 2013 - 2020 pada sebelas negara [7]. Tampak bahwa dari tahun ke tahun sebelas negara menunjukkan peningkatan penjualan EV. Kondisi ini menunjukkan para pengguna semakin sadar dan percaya terhadap EV, hal ini memberikan keyakinan yang cukup tinggi bagi pemanufaktur untuk meningkatkan produksi pada tahun-tahun berikutnya.



Gambar 2. Perkembangan Penjualan EV [7]

Peningkatan penjualan EV pada akhirnya akan meningkatkan limbah baterai (baterai bekas - EOL battery) yang termasuk B3 (bahan berbahaya dan beracun). Peningkatan limbah ini jika tidak terkelola dengan baik akan berdampak terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Peningkatan limbah baterai dapat menurunkan minat pengguna EV, yang artinya menghambat program percepatan pengubahan ICE menjadi EV. Baterai bekas sesungguhnya dimungkinkan masih bernilai. Proses pemilahan diperlukan untuk menemukan limbah yang masih bernilai tersebut.



Gambar 3. Kerangka pendekatan pemecahan masalah

Berdasarkan siklus hidup EV (**Gambar 1.**), optimisme peningkatan penjualan EV juga akan diikuti peningkatan jumlah baterai yang sudah tidak dapat digunakan lagi (EoL baterai) dalam waktu 6 - 10 tahun mendatang. Material baterai termasuk limbah B3 yang dalam waktu panjang akan mempengaruhi kelestarian lingkungan. **Pengelolaan EoL baterai menjadi sangat perlu dilakukan agar masa pakai baterai menjadi lebih panjang sebelum benar-benar dinyatakan sebagai EoL dan masuk dalam disposal.** Namun kegiatan pengelolaan untuk memperpanjang masa pakai terbut perlu dipastikan tidak berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Pengelolaan EoL juga memerlukan dukungan dan peran serta aktif dari pihak supplier, pengelola swap station, pengguna, pemerintah dan pihak informal. **Gambar 3.** merupakan kerangka pendekatan pemecahan masalah dari pengembangan model pengelolaan rantai pasok sirkular dari EoL swapable battery.

Sebagaimana pada Gambar 3. **target temuan** kami adalah hasil identifikasi potensi dampak lingkungan dari kegiatan pengelolaan bengkel-bengkel motor listrik di Yogyakarta. Hasil identifikasi dampak lingkungan beberapa perlakuan terhadap baterai bekas tersebut diharapkan berkontribusi untuk menyiapkan bengkel-bengkel agar lebih siap untuk mengelola baterai sehingga dapat mempercepat proses perpindahan dari ICE menuju EV. Kesiapan ini menjadi sangat penting karena sampai saat ini manufaktur EV belum mengelola baterai EV dengan efektif. Dalam hal ini Persyarikatan Muhammadiyah (Risetmu) menjadi turut berkontribusi dalam mempercepat program EV di Indonesia.

### **Rumusan Masalah**

Bagaimana dampak lingkungan yang dilakukan beberapa bengkel motor listrik dalam mengelola baterai bekas?

### **Tujuan Penelitian**

1. Praktik dan menyusun proses pengelolaan baterai bekas yang dilakukan bengkel-bengkel motor listrik.
2. Mengukur dan menilai potensi dampak lingkungan pengelolaan dan penanganan baterai bekas.

## **2. Temuan Sementara dan Peran Mitra (jika ada)**

Penelitian kami awali dengan mengidentifikasi bengkel-bengkel yang melakukan pengelolaan baterai motor listrik sebagai pelaku informal. Kemudian kami juga mengidentifikasi praktik pengelolaan baterai dari bengkel-bengkel yang sudah teridentifikasi tersebut. Setelah itu kami lanjutkan dengan mengurai praktik beberapa proses yang mereka lakukan. Setidaknya kami menemukan ada tiga treatment yang dilakukan dalam rangka memperpanjang umur pakai baterai. Ketiga treatment tersebut adalah repair, refurbish dan reuse.

### **a. Penentuan pelaku informal**

Pelaku informal adalah beberapa bengkel motor yang melayani perawatan bengkel motor listrik di Yogyakarta. Hasil penelusuran kami dan observasi kami diperoleh sebagaimana telah dinyatakan sebelumnya adalah bengkel-bengkel yang memberikan layanan pengelolaan baterai bekas. Hasil penelusuran awal dilakukan menggunakan google, diketahui masing-masing Kota Yogyakarta, Sleman, dan Bantul memiliki tiga pelaku informal. Selanjutnya akan dipastikan kesesuaian kesembilan bengkel tersebut (Tabel 1.) adalah pelaku informal yang dimaksudkan dan riset ini.

### **b. Pembuatan Daftar Penyusun dan Urutan Praktek Pengelolaan Baterai Bekas**

Setelah pelaku informal dipastikan, dilanjutkan dengan pembuatan BOM dan OPC untuk setiap proses “R” pada pelaku informal tersebut. Definisi setiap R mengacu pada [8], [9], yaitu:

- 1) Repair adalah memperbaiki kesalahan minor pada baterai bekas tanpa membongkar battery management system untuk digunakan pada motor listrik.
- 2) Remanufaktur, untuk membawa produk bekas ke standar kualitas yang sama ketatnya dengan produk baru dengan pembongkaran lengkap hingga ke tingkat komponen dan inspeksi ekstensif serta penggantian suku cadang yang rusak/using [10].

- 3) Refurbish/rekondisi, untuk membawa kualitas produk bekas ke tingkat yang ditentukan dengan pembongkaran ke tingkat modul, inspeksi dan penggantian modul yang rusak atau usang dengan kualitas hasil tidak sebaik remanufaktur [10].
- 4) Repurposing atau reuse, memiliki proses yang hampir sama dengan remanufaktur. Namun, dalam penggunaan ulang, aplikasi akhir paket baterai berubah dari aplikasi aslinya. Aplikasi masa kedua dapat berupa energi storage system, forklift listrik atau EV kecepatan rendah.
- 5) Recycling adalah proses daur ulang atau pembongkaran battery hingga ke tingkat sel dan ekstraksi bahan yang digunakan untuk membuat sel. Setiap operasi pemulihan dimana bahan limbah diproses kembali menjadi produk, bahan atau zat baik untuk tujuan asli atau lainnya.

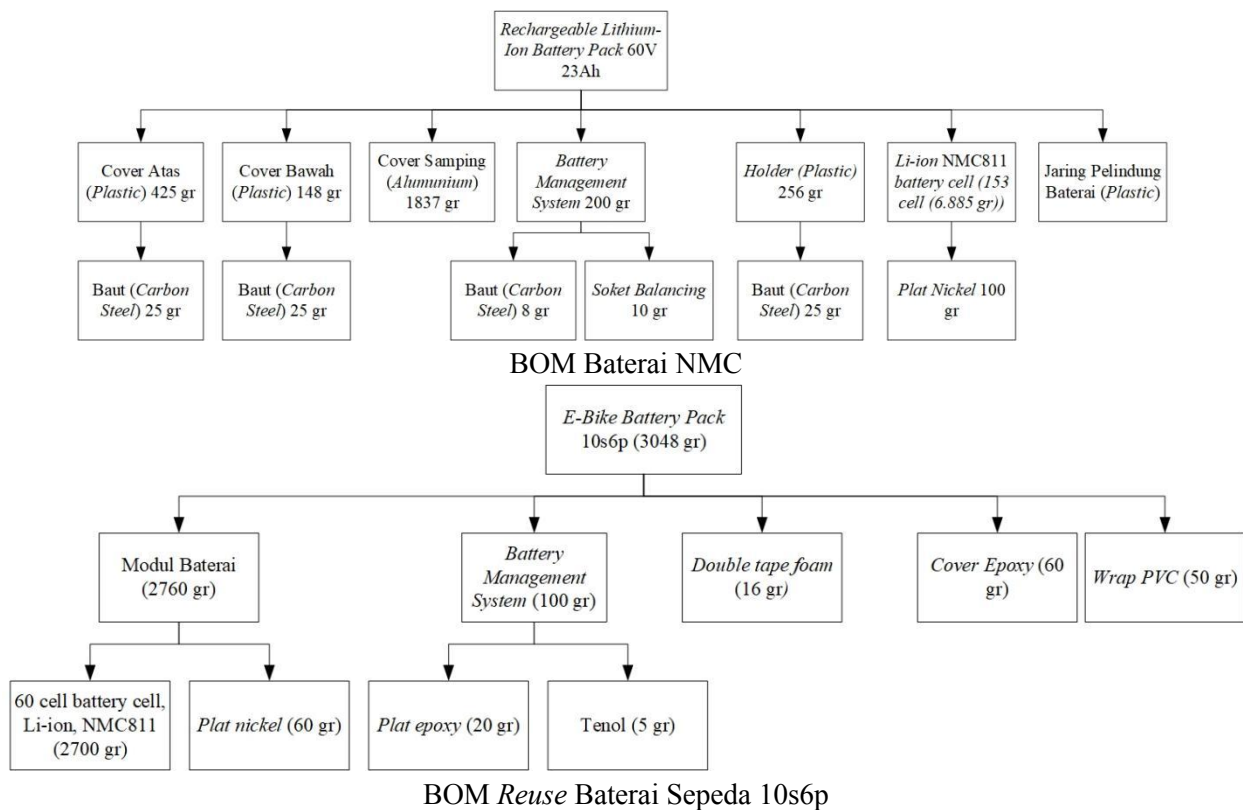
Tabel 1. Layanan Bengkel Kendaraan Listrik di Daerah Istimewa Yogyakarta

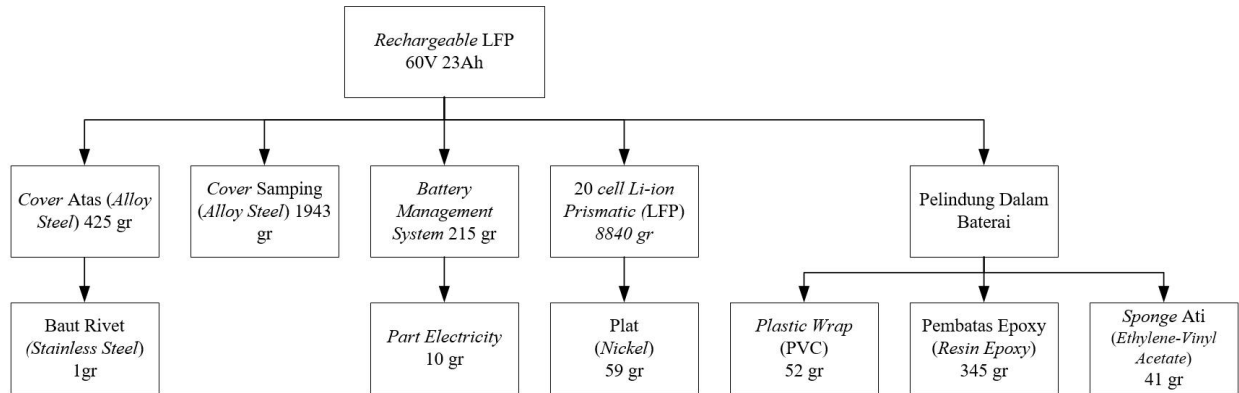
| No | Kab.              | Nama Bengkel/Dealer                                    | Jenis Layanan                                                           | Penanganan Baterai Bekas/Rusak                                                                                        | <i>Additional</i>                                                                       |
|----|-------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <b>Sleman</b>     | Servis Sepeda Listrik/Motor Listrik Yogyakarta         | Servis sepeda listrik dan motor listrik                                 | Tidak Melayani <i>Repair</i> Baterai                                                                                  | -                                                                                       |
| 2  |                   | Dealer Gesits                                          | Jual Motor Listrik dan Garansi Motor Listrik                            | Melayani <i>Repair</i> Baterai melalui garansi resmi dealer                                                           | Baterai menjadi hak milik pembeli dan tidak tersedia <i>swap station</i> khusus Gesits  |
| 3  |                   | Pool TPI Jogja ( <i>Battery-Swap Station</i> Grab)     | <i>Swapping</i> Baterai Molis dan <i>Repair</i> Molis khusus Grap       | <i>Repair</i> untuk baterai masih layak pakai dan dikembalikan ke <i>vendor</i> untuk baterai sudah tidak layak pakai | Baterai menjadi hak penyewa molis Grab ( <i>swap</i> )                                  |
| 4  |                   | Elders Electrico                                       | Konversi Vespa Listrik                                                  | Melayani <i>Repair</i> Baterai Vespa                                                                                  | -                                                                                       |
| 5  | <b>Kota Jogja</b> | Mobil Ijo Custom Service Mobil Motor Listrik Golf Cart | Custom Mobil Listrik dan Servis Motor Listrik                           | Melayani <i>Repair</i> Baterai                                                                                        | Menyarankan ke E-Clont                                                                  |
| 6  |                   | Southbike                                              | Modif, konversi, dan menjual sparepart kendaraan listrik                | Melayani <i>Repair</i> Baterai                                                                                        | Menyarankan ke E-Clont                                                                  |
| 7  |                   | Dealer Uwinfly                                         | Jual Motor dan Sepeda Listrik                                           | Melayani <i>Repair</i> Baterai melalui garansi resmi dealer                                                           | Baterai menjadi hak milik pembeli ( <i>non swap</i> )                                   |
| 8  |                   | EV Studio                                              | Dealer Motor Listrik                                                    | Melayani <i>Repair</i> Baterai melalui garansi resmi dealer                                                           | Baterai menjadi hak milik pembeli dan tersedia <i>swap station</i> khusus <i>Smooth</i> |
| 9  | <b>Bantul</b>     | E-Clont                                                | Custom Baterai, Konversi Motor Listrik, dan Pelatihan Kendaraan Listrik | Melayani <i>Repair</i> , <i>Refurbish</i> , <i>Reuse</i> Baterai Bekas                                                | -                                                                                       |
| 10 |                   | Satuso                                                 | Servis dan Konversi Motor Listrik                                       | Melayani <i>Repair</i> Baterai                                                                                        | -                                                                                       |
| 11 |                   | Banz                                                   | Dealer Motor Listrik                                                    | Melayani <i>Repair</i> Baterai melalui garansi resmi dealer                                                           |                                                                                         |



Gambar 1. Lokasi Beberapa Bengkel Potensial Praktek Pengelolaan Baterai Bekas

Praktek pengelolaan baterai bekas yang telah dilakukan adalah praktek pembongkaran untuk baterai NMC dan LFP, praktek repair, praktek refurbish dan praktek reuse.

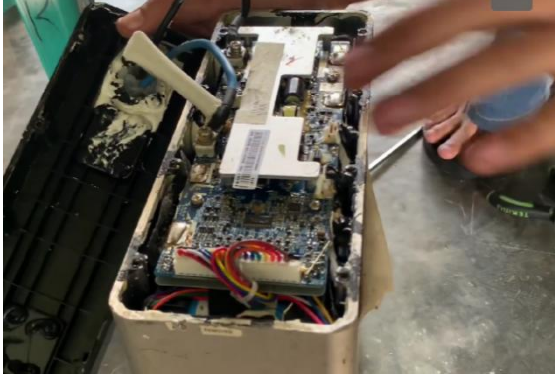
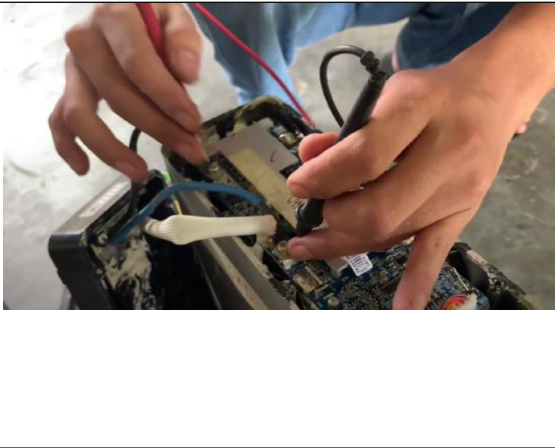
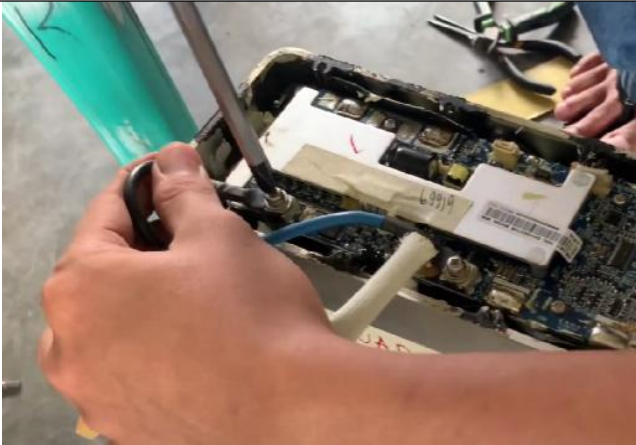


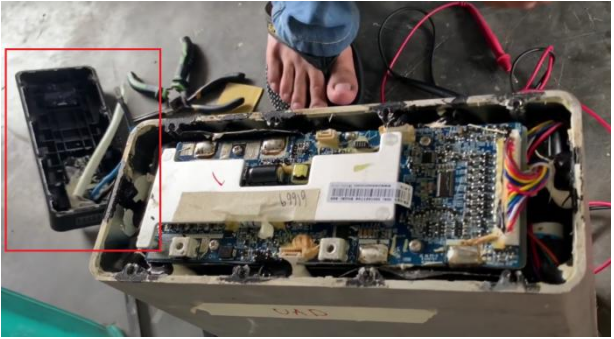


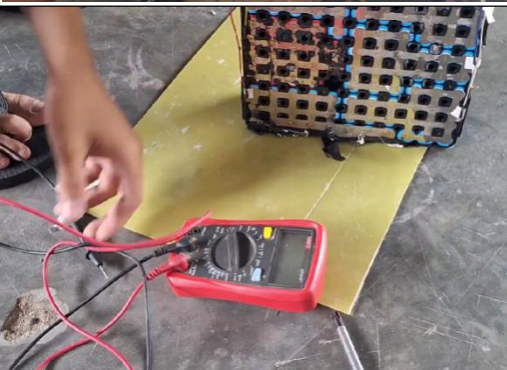
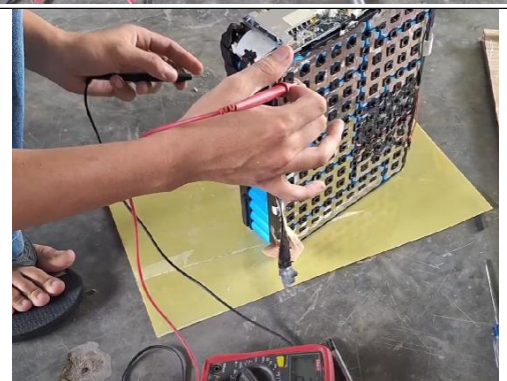
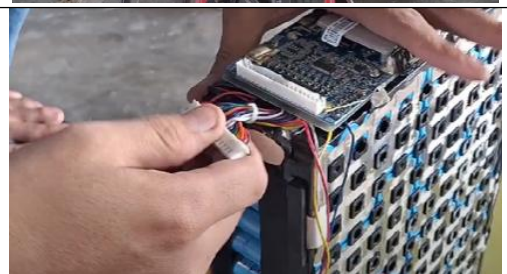
BOM Baterai LFP

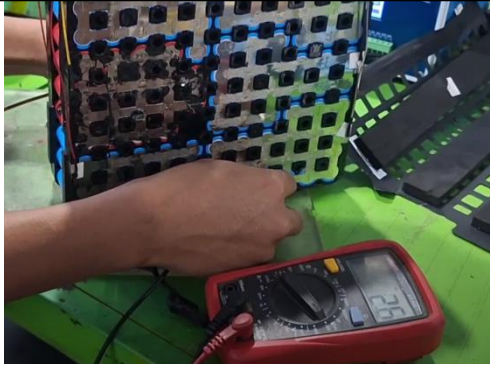
Tabel 3. Proses Praktik Pembongkaran Baterai NMC

| No                              | Langkah-Langkah                                                                                  | Keterangan                                        | Gambar                                                                               |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Tahap Pembongkaran Baterai Viar |                                                                                                  |                                                   |                                                                                      |
| 1                               | Lepas <i>cover</i> atas baterai dengan mencungkil lubang kecil dengan bantuan obeng              |                                                   |   |
| 2                               | Setelah samping dari <i>cover</i> atas terlepas, gunakan obeng untuk melepas baut <i>cover</i> . | Jumlah baut pada <i>cover</i> atas sejumlah 8 pcs |  |

|   |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                      |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | <p>Jika <i>cover</i> atas sudah sepenuhnya terlepas, maka akan tampak BMS bawaan Viar di dalamnya</p>          |                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
| 4 | <p>Cek voltase BMS untuk mengetahui apakah BMS masih dapat digunakan atau tidak dengan bantuan multimeter.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
| 5 | <p>Arahkan multimeter pada kabel <i>output</i> dan <i>input</i> untuk mengecek BMS</p>                         | <p>BMS dikatakan masih berfungsi dengan baik apabila dapat menunjukkan angka yang tidak berbeda jauh dengan spesifikasi voltase baterai. Misal, baterai memiliki kapasitas 60 v, maka multimeter akan menunjukkan angka yang tidak berbeda jauh.</p> |   |
| 6 | <p>Lepas kabel <i>input-output</i> yang masih terhubung.</p>                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                      |  |

|    |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 7  | Manfaatkan <i>paper tape</i> untuk melapisi kabel <i>input-output</i> yang telah dilepas untuk menghindari kemungkinan kabel menempel, sebab baterai masih memiliki arus. |                                                                                                                                                                                       |    |
| 8  | Jika kabel sudah terlepas, maka <i>cover</i> atas dapat dilepas dengan sempurna dari rangkaian BMS                                                                        | Manfaatkan kembali <i>paper tape</i> untuk menutup kutub positif dan negatif yang ada pada BMS.<br> |    |
| 9  | Jika sudah, bongkar <i>cover</i> bawah baterai dengan bantuan obeng untuk membuka 8 baut.                                                                                 |                                                                                                                                                                                       |  |
| 10 | Lepaskan <i>sealant</i> yang menempel pada <i>battery pack</i> dengan <i>cover</i> samping supaya <i>battery pack</i> dapat ditarik ke luar cover                         |                                                                                                                                                                                       |  |

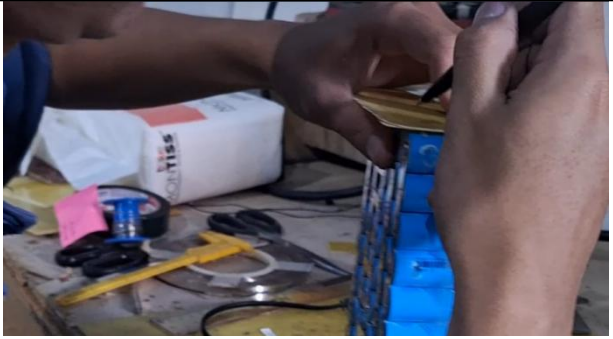
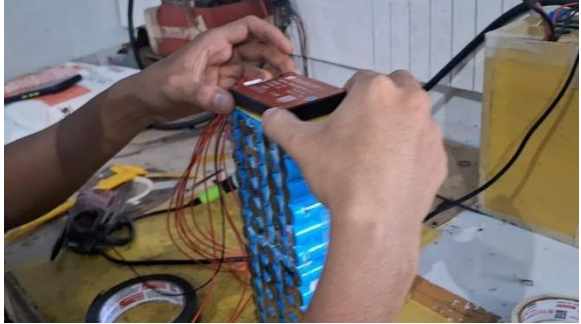
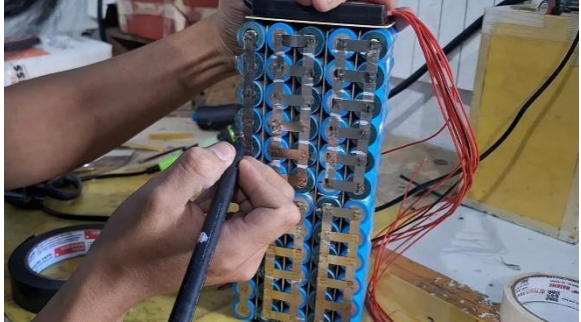
|    |                                                                                                                             |                                                                  |                                                                                      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Tempatkan <i>battery pack</i> yang sudah terlepas pada seluruh <i>cover</i> pada kardus atau media yang relatif tidak keras |                                                                  |    |
| 12 | Lepaskan jaring pelindung, sponge ati, dan <i>sealent</i> yang melapisi rangkaian sel baterai                               |                                                                  |    |
| 13 | Setelah jaring terlepas, lakukan pengecekan sel awal dengan menggunakan multimeter untuk mengecek rangkaian seri            |                                                                  |   |
| 14 | Untuk mengecek, urutkan sel dari B- sampai dengan B+                                                                        | Rangkaian Sel dinyatakan normal apabila didapatkan 3.65 V (3:50) |  |
| 15 | Lepas kabel soket <i>balancing</i> yang terhubung dengan BMS                                                                |                                                                  |  |

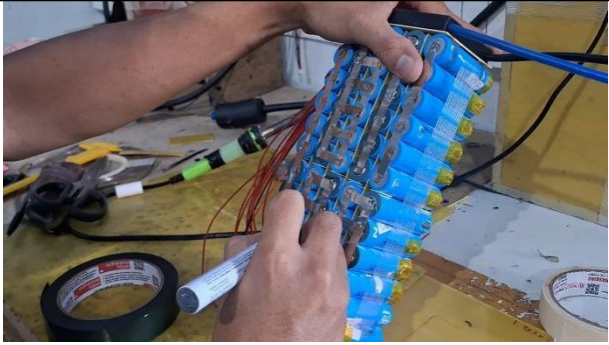
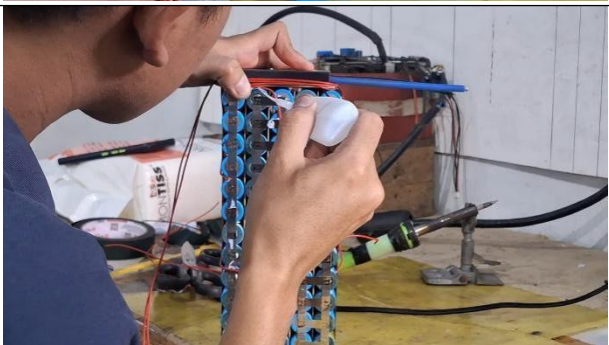
|    |                                                                                                       |                                                |                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 16 | Cek masing-masing sel satu per satu dengan menggunakan multimeter                                     |                                                |    |
| 17 | Bongkar seluruh nikel yang terhubung pada rangkaian untuk mendapatkan satuan cell dengan bantuan tang |                                                |    |
| 18 | Setelah semua nikel terlepas, gunakan obeng untuk melepas baut <i>holder</i>                          | Jumlah baut pada <i>holder</i> sejumlah 8 baut |   |
| 19 | Lepas <i>holder</i> pada sel baterai                                                                  |                                                |  |

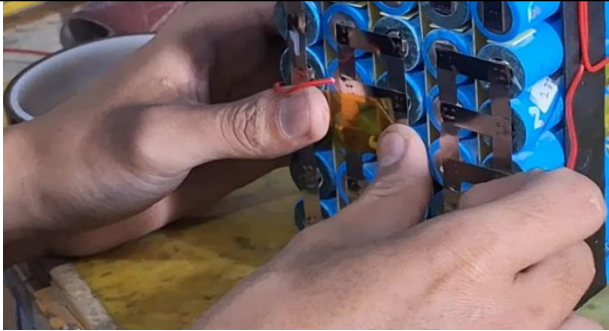
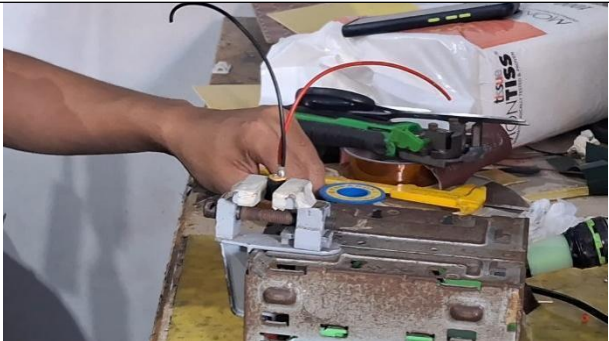
|    |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                             |                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 20 | Ratakan permukaan sel baterai yang memiliki bekas <i>welding</i> dengan menggunakan tang                                                                                                                   | Kumpulkan dan lepaskan sel baterai dari <i>holder</i> -nya satu per satu dan simpan sel yang permukaannya sudah rata pada wadah yang besar. |    |
| 21 | <i>Charge</i> seluruh sel baterai sebelum dinaikkan ke litokala                                                                                                                                            |                                                                                                                                             |    |
| 22 | Pasang sel baterai pada litokala untuk mengetahui kapasitas riil dari masing-masing sel baterai                                                                                                            |                                                                                                                                             |   |
| 23 | Setting mesin litokala pada mode <i>nor test</i> dengan <i>current</i> 1000 mA (2:55), kemudian klik tombol baterai 1, 2, 3, dan 4 untuk memastikan sel baterai sudah terpasang pada litokala dengan baik. |                                                                                                                                             |  |

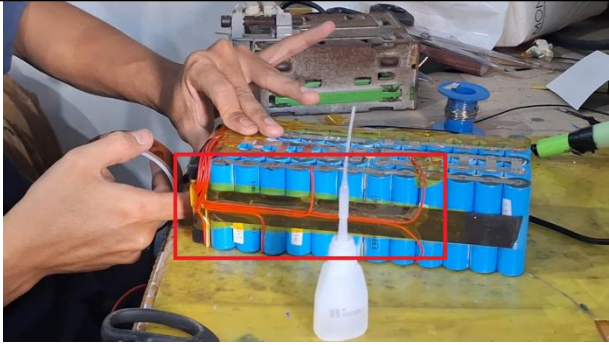
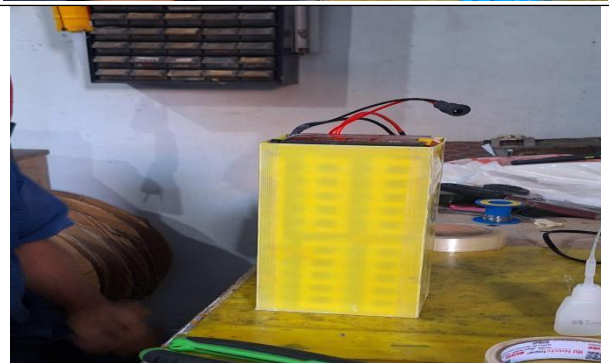
|                     |                                                                                                                    |                                                                                      |                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 24                  | Pasang <i>charger</i> litokala pada mesin litokala                                                                 | Proses litokala berlangsung cukup lama dengan estimasi 6 jam untuk satu kali siklus. |    |
| 25                  | Setelah mesin selesai melakukan pengecekan, catat kapasitas riil baterai dengan label di masing-masing sel baterai |                                                                                      |    |
| 26                  | Simpan baterai yang sudah dicek pada kardus khusus penyimpan sel baterai                                           |                                                                                      |   |
| <b>Tahap Re-use</b> |                                                                                                                    |                                                                                      |                                                                                      |
| 27                  | Buat desain rangkaian baterai seri-paralel pada kertas.                                                            |                                                                                      |  |

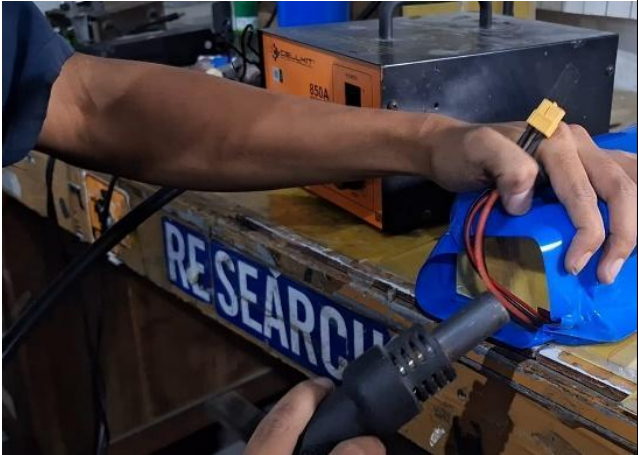
|    |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 28 | Susun sel baterai untuk dilakukan <i>spot welding</i> dengan rangkaian paralel terlebih dahulu. Gunakan plat nikel untuk menghubungkan antar-baterai | <p>a. anfaatkan kertas gasket yang berbentuk <i>ring</i> untuk melapisi sel bagian atas sebagai isolator listrik, mencegah antar-sel bersentuhan.</p>  <p>b. anjang plat nikel untuk rangkaian paralel antara 9,3–10,4 cm</p>                                                                                                                                                                           |    |
| 29 | Setelah rangkaian paralel sudah tersambung, lakukan penyatuan sel baterai untuk rangkaian seri                                                       | <p>a. Panjang plat nikel untuk rangkaian seri ialah 2,7 cm</p> <p>b. Manfaatkan <i>paper tape</i> sebagai <i>guide</i> untuk memasang plat nikel</p>  <p>c. Gunakan isolasi serat <i>fiber</i> di seluruh samping susunan <i>battery pack</i> untuk semakin merekatkan susunan sebagai pengganti <i>holder</i></p>  |   |
| 30 | Ukur dan catat dimensi <i>battery pack</i> untuk membuat <i>cover</i> luar                                                                           | Manfaatkan jangka sorong untuk mengukur baterai agar lebih presisi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |

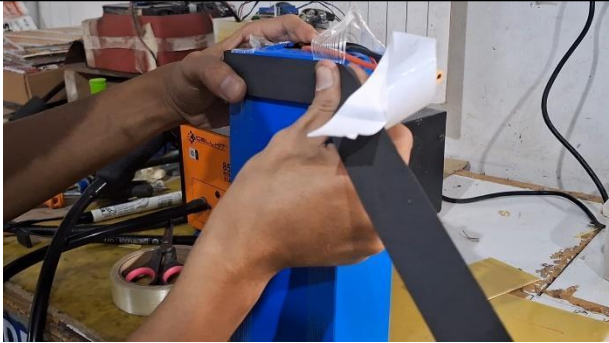
|    |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 31 | Potong resin epoxy sesuai dengan ukuran alas yang akan ditempel BMS           | Resin epoxy digunakan sebagai pemisah antara BMS dengan <i>battery pack</i> supaya tidak menempel secara langsung. Hal ini bertujuan supaya BMS tidak terkena panas tinggi, sebab cover BMS berbahan plastik dan memungkinkan untuk meleleh |    |
| 32 | Rekatkan epoxy dengan <i>double tape foam</i>                                 |                                                                                                                                                                                                                                             |    |
| 33 | jika resin epoxy sudah tertempel, pasang BMS pada <i>battery pack</i> .       | Pasang BMS dekat dengan baterai dengan kutub negatif (B-)                                                                                                                                                                                   |   |
| 34 | Tandai titik-titik yang akan dipasangkan kabel BMS dengan pulpen tebal/spidol |                                                                                                                                                                                                                                             |  |

|    |                                                                                                |                                                                                                                                                                               |                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                |                                                                                                                                                                               |    |
| 35 | Gunakan <i>double tape foam</i> di sepanjang jalur yang dilintasi kabel.                       | <i>Double tape</i> digunakan supaya jalur yang dilintasi kabel tetap rapih, tidak bergerak-gerak, dan kabel tidak bersentuhan langsung dengan permukaan <i>battery pack</i> . |    |
| 36 | Rekatkan kabel pada <i>double tape foam</i> sesuai dengan jalur dan potong kabel yang berlebih | Manfaatkan tang untuk memotong kabel                                                                                                                                          |   |
| 37 | Rekatkan kabel yang menempel langsung pada <i>battery pack</i> samping dengan lem besi         |                                                                                                                                                                               |  |

|    |                                                                   |                                                                      |                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 38 | Gunakan isolasi capton apabila kabel melintang di atas plat nikel |                                                                      |    |
| 39 | Hilangkan <i>coat</i> di ujung kabel                              | Manfaatkan tang untuk membantu melepas <i>coat</i> kabel             |    |
| 40 | Rekatkan ujung kabel dengan plat nikel yang sudah ditandai        | Gunakan solder dan tenol untuk menghubungkan kabel dengan plat nikel |   |
| 41 | Sambungkan kabel pada soket dengan menggunakan solder             |                                                                      |  |
| 42 | Pasang soket yang telah dibuat pada BMS                           |                                                                      |  |

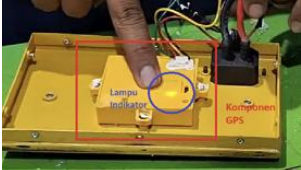
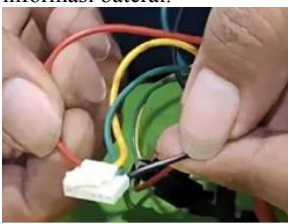
|    |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 43 | Gunakan isolasi capton pada seluruh kabel yang membentang di <i>battery pack</i> hingga seluruh kabel tertutup isolasi <i>capton</i> |                                                                                                                                                                   |    |
| 44 | Gunakan <i>paper tape</i> pada bagian-bagian plat nikel yang memiliki potensi berbahaya jika kabel bergeser pada plat tersebut       |                                                                                                                                                                   |    |
| 45 | Gunakan isolasi serat <i>fiber</i> pada bagian-bagian yang membutuhkan penguat tambahan                                              | Isolasi serat <i>fiber</i> dibutuhkan pada kabel BMS dan rangkaian BMS utama                                                                                      |   |
| 46 | Pindahkan <i>battery pack</i> yang sudah selesai dirancang pada wadah resin <i>epoxy</i> sebagai <i>cover</i> luar                   | Ukuran <i>cover</i> tergantung pada ukuran <i>battery pack</i> yang dirakit dan sesuai dengan perhitungan yang dilakukan sebelumnya dengan bantuan jangka sorong. |  |

|    |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 47 | Lapisi <i>battery pack</i> dengan <i>plastic wrap PVC</i>                     | <p>Ukuran <i>plastic wrap PVC</i> sangat beragam. Pastikan ukuran <i>plastic wrap</i> cukup untuk melapisi seluruh permukaan <i>battery pack</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
| 48 | Lakukan <i>wrapping</i> /pengepresan pada <i>plastic wrap PVC</i> .           | <p>a. Manfaatkan <i>hot gun</i> untuk <i>me-wrapping</i></p> <p>b. Atur <i>air</i> dan <i>heat</i> pada 5,5</p>  <p>c. Pastikan area kerja ketika hendak melakukan <i>wrapping</i> steril dari benda yang mudah meleleh dan terbakar. Akan ideal jika tidak ada bahan/<i>tools</i> sama sekali di area kerja.</p> <p>d. Pastikan <i>plastic wrap</i> sudah <i>ter-wrapping</i> dengan sempurna</p> |   |
| 49 | Gunakan isolasi <i>capton</i> untuk membuat pegangan pada <i>battery pack</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |

|    |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 | Lapisi <i>battery pack</i> yang sudah selesai di- <i>wrapping</i> dengan <i>sponge</i> ati                 | Manfaatkan <i>double tape</i> untuk menempelkan <i>sponge</i> ati pada <i>battery pack</i>                                                                                                                                                                                      |    |
| 51 | Pasang label pada <i>battery pack</i>                                                                      | Label berisi keterangan terkait baterai yang telah dirakit di E-Clont. Adapun keterangan yang dicantumkan seperti: tipe produk (kode baterai dan jenis rangkaian seri-paralelnya), <i>voltase-capacity</i> , <i>max charging</i> , <i>current</i> , dan tanggal selesai dibuat. |    |
| 52 | Berikan <i>sealant</i> pada permukaan <i>battery pack</i> yang tidak tercover oleh <i>plastic wrap PVC</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
| 53 | Tunggu <i>sealant</i> mengering dan <i>battery pack</i> siap digunakan.                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |

Tabel 3. Proses Praktik Pembongkaran Baterai NMC

| No | Langkah-Langkah | Keterangan | Gambar |
|----|-----------------|------------|--------|
|----|-----------------|------------|--------|

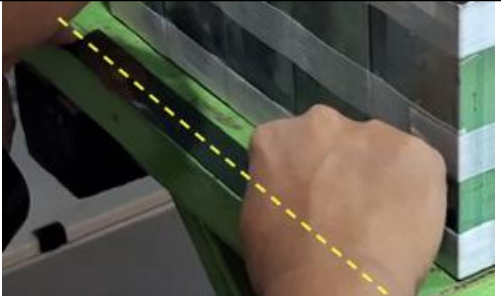
|   |                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Lepaskan baut pada <i>cover</i> baterai                                                  | Manfaatkan bor listrik untuk melepas baut, sebab baut yang digunakan pada baterai volta adalah baut rivet/baut tembak. Baut jenis ini adalah baut yang jika hendak dibongkar harus dirusak dan satu kali pakai.                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                          |
| 2 | Lepas <i>cover</i> atas dengan menarik pegangan atas                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                          |
| 3 | Matikan GPS pada baterai Volta dengan cara melepas soket yang mengarah pada komponen GPS | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. GPS terletak pada <i>cover</i> atas Volta dan akan selalu menyala (<i>standby</i>). Ciri-ciri komponen sedang aktif adalah dilihat dari lampu komponen yang berkedip-kedip</li> <li>2. Berikut keterangan kabel pada soket komponen GPS: kabel merah-hitam adalah <i>power</i> dan kuning-biru pengantar data informasi baterai.</li> </ol> |    |
| 4 | Lepas soket yang terhubung pada BMS supaya <i>cover</i> atas dapat terlepas sempurna.    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                        |

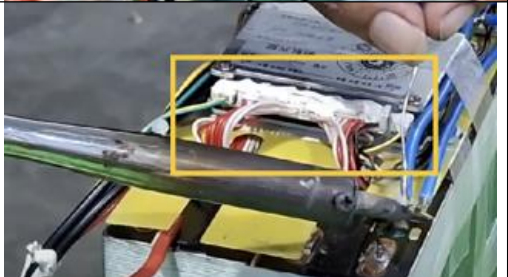
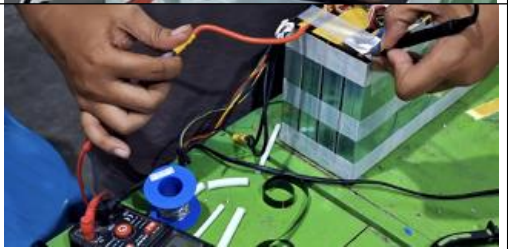
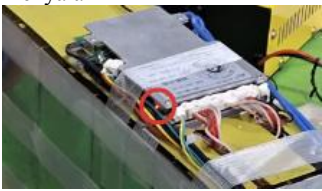
|    |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | Lepaskan <i>sealant</i> yang menempelkan BMS dengan <i>battery pack</i> | Manfaatkan <i>scrap</i> untuk mempermudah dalam melepas <i>sealant</i> yang                                                                                                                                                                               |    |
| 6  | Angkat <i>battery pack</i> dan keluarkan dari <i>cover</i> luar         |                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
| 7  | Lepaskan <i>plastic wrap</i> PVC pada <i>battery pack</i>               | Manfaatkan <i>cutter</i> untuk membantu dalam membuat sayatan pada <i>plastic wrap</i> supaya mudah untuk dilepas.                                                                                                                                        |   |
| 8  | Lepas resin <i>epoxy</i> pada <i>battery pack</i>                       | Manfaatkan <i>cutter</i> untuk membantu melepas resin <i>epoxy</i> dengan cara menyayat siku dari resin.                                                                                                                                                  |  |
| 9  | Lepas <i>sponge</i> atau pada <i>battery pack</i>                       |                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
| 10 | Lepas soket <i>balancing</i> dan lepas BMS dari resin <i>epoxy</i>      | Konsekuensi dari melepas BMS dari baterai Volta adalah BMS tidak dapat digunakan kembali. Hal ini disebabkan BMS Volta dirancang akan masuk ke mode <i>protect</i> ketika BMS dicabut paksa (tidak ada arus listrik). BMS harus diganti dengan yang baru. |  |

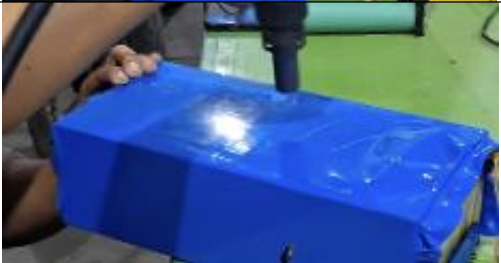
|    |                                                                                                                |                                                                                                                                                                                |                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Lepas resin <i>epoxy</i> pembatas BMS dan <i>battery pack</i> , sehingga plat nikel <i>battery pack</i> tampak |                                                                                                                                                                                |    |
| 12 | Putuskan sambungan kabel <i>balancing</i> yang terhubung langsung dengan <i>battery pack</i>                   | Manfaatkan tang untuk melepas sambungan kabel                                                                                                                                  |    |
| 13 | Lepaskan seluruh plat nikel dari katoda dan anoda pada sel baterai                                             | Manfaatkan tang untuk melepas plat nikel                                                                                                                                       |    |
| 14 | Lepaskan masing-masing sel baterai                                                                             | Di masing-masing sekat baterai terdapat resin <i>epoxy</i> . Pisahkan resin <i>epoxy</i> dari baterai. Pisahkan juga isolasi serat dari baterai                                |   |
| 15 | Susun baterai sebelum dilakukan pengecekan IR dan voltase                                                      |                                                                                                                                                                                |  |
| 16 | Cek IR dan voltase pada semua sel baterai                                                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manfaatkan multimeter untuk mengecek IR dan voltase</li> <li>2. IR dipakai sebagai acuan untuk <i>me-replace</i> baterai.</li> </ol> |  |

|    |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 17 | Catat semua IR dan voltase baterai pada label dan tempel di masing-masing baterai | Gunakan kertas label berukuran kecil                                                                                                                                                                                                     |    |
| 18 | Pilih sel baterai yang masih bagus                                                | Keputusan memilih sel baterai dari IR masing-masing sel                                                                                                                                                                                  |    |
| 19 | Rekatkan sel dengan isolasi serat (4s)                                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Setiap perekatan memakai 4 sel baterai 4s</li> <li>2. Setiap baterai disusun secara bolak-balik (kutub positif dan negatif)</li> <li>3. Lakukan sebanyak 5 kali</li> </ol>                     |   |
| 20 | Rekatkan seluruh sel menjadi 1                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Susun baterai menjadi 20s1p</li> <li>2. Berikan masing-masing susunan dengan <i>resin epoxy</i></li> </ol>  |  |
| 21 | Amplas permukaan kutub positif dan negatif pada bagian bekas <i>spot welding</i>  | Manfaatkan dinamo dengan amplas silinder (rakitan sendiri) untuk menghaluskan permukaan                                                                                                                                                  |  |

|    |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                      |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 22 | Potong tembaga yang akan dihubungkan | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manfaatkan kabel tembaga bekas</li> <li>2. Potong <i>coat</i> kabel dengan menggunakan <i>cutter</i></li> </ol>  <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Ukur jarak antar-kutub yang hendak dihubungkan tembaga</li> </ol>  <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Gunakan tang untuk memotong tembaga</li> <li>5. Panjang tembaga adalah 2x jarak antar-kutub</li> </ol> |    |
| 23 | Tekuk tembaga menjadi 2 lapis        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gunakan tang untuk menekuk tembaga supaya dapat rapat</li> <li>2. Penekukan tembaga digunakan untuk meningkatkan <i>ampere</i> yang mengalir pada setiap kutub. Misalnya, jika satu batang tembaga mengalirkan 30 Ampere, maka dua lapis tembaga dapat mengalirkan 2 kali lipatnya.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
| 24 | Berikan tenol pada seluruh kutub     | Manfaatkan solder untuk melelehkan tenol                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| 25 | Pasang tembaga pada kutub-kutubnya   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gunakan tenol untuk melapisi bagian atas tembaga</li> <li>2. Manfaatkan solder untuk melelehkan tenol</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |

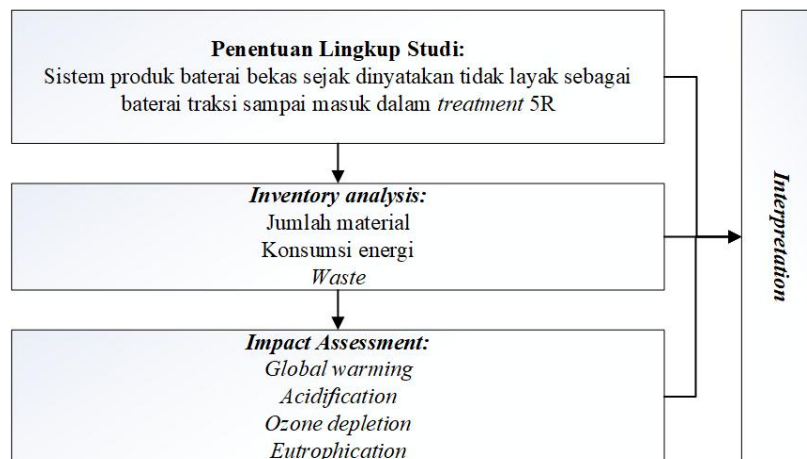
|    |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 26 | Potong <i>double tape foam</i> menjadi dua bagian                                                | Manfaatkan <i>cutter</i> untuk memotong <i>double tape foam</i>                                                                                                                                                                                                            |    |
| 27 | Pasang <i>double tape foam</i>                                                                   | <i>double tape foam</i> digunakan untuk membatasi kabel BMS yang akan dipasang agar tidak bersentuhan langsung dengan <i>battery pack</i> . <i>Double tape foam</i> juga bermanfaat agar kabel tidak mudah bergeser dari jalurnya.                                         |    |
| 28 | Pasang kabel BMS dan rekatkan pada sel-sel <i>battery pack</i>                                   | Gunakan <i>tenol</i> untuk memasang kabel<br>Manfaatkan solder untuk melelehkan tenol                                                                                                                                                                                      |   |
| 29 | Pasang <i>capton</i> pada permukaan atas kabel                                                   | Penggunaan <i>capton</i> adalah untuk mengurangi panas <i>battery pack</i> yang terpapar <i>langsung</i> pada kabel                                                                                                                                                        |  |
| 30 | Jika semua kabel sudah tersambung, pasang plastik resin <i>epoxy</i> pada permukaan atas baterai | <ol style="list-style-type: none"> <li>Hal ini supaya BMS yang hendak dipasang tidak bersentuhan langsung dengan <i>battery pack</i></li> <li>Rekatkan dengan isolasi serat</li> </ol>  |  |

|    |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31 | Pasang komponen BMS di atas plastik resin <i>epoxy</i> | Rekatkan dengan isolasi serat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                            |
| 32 | Pasang soket kabel pada komponen BMS                   | Tutup kutub positif dan negatif komponen BMS dengan isolasi serat                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                           |
| 33 | Cek apakah BMS masih berfungsi dengan baik             | Untuk mengecek apakah BMS dalam kondisi layak pakai, gunakan multimeter. Jika multimeter menunjukkan voltase yang sama antara pada pengecekan antara baterai dengan BMS, artinya BMS masih dapat digunakan. Namun, jika berbeda maka BMS sudah tidak dapat digunakan. Solusi kedua jika BMS tidak menyala ialah dengan <i>men-charge battery pack</i> . |                                                                                                                                                                           |
| 34 | <i>Charge</i> baterai untuk memancing BMS menyala      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Smart</i> BMS dapat dicek apakah masih dapat menyala atau rusak dengan menggunakan aplikasi ANT BMS.</li> <li>2. Tanda lain jika BMS masih berfungsi dengan baik adalah ketika lampu indikator BMS menyala</li> </ol>                                                                                      |    |

|    |                                                                      |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 35 | Lapisi <i>battery pack</i> dengan <i>sponge ati</i>                  |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                           |
| 36 | Lapisi kembali <i>battery pack</i> dengan plastik resin <i>epoxy</i> |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                           |
| 37 | Rekatkat setiap sisi plastik resin <i>epoxy</i>                      | Gunakan isolasi serat                                                                                                                                                                                     |                                                                                          |
| 38 | Potong dan ukur plastik <i>wrapping</i>                              | Gunakan plastik <i>wrapping</i> PVC<br>Manfaatkan penggaris dengan jenis <i>plastic glass</i> dan hindari penggunaan penggaris logam<br>Manfaatkan <i>cutter</i> untuk memotong plastik <i>wrapping</i> . |                                                                                         |
| 39 | Masukkan <i>battery pack</i> ke dalam plastik                        |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                         |
| 40 | Lakukan <i>wrapping</i> /pengepresan pada <i>plastic wrap</i> PVC.   | a. Manfaatkan <i>hot gun</i> untuk me-<br><i>wrapping</i><br>b. Atur <i>air</i> dan <i>heat</i> pada 5                                                                                                    | <br> |

|    |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                            | <p>c. Pastikan area kerja ketika hendak melakukan <i>wrapping</i> steril dari benda yang mudah meleleh dan terbakar. Akan ideal jika tidak ada bahan/<i>tools</i> sama sekali di area kerja.</p> <p>d. Pastikan <i>plastic wrap</i> sudah ter-<i>wrapping</i> dengan sempurna</p> |                                                                                    |
| 41 | Berikan <i>sealant</i> pada permukaan <i>battery pack</i> yang tidak tercover oleh <i>plastic wrap PVC</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| 42 | Masukkan <i>battery pack</i> pada <i>cover</i>                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |

- c. Pengukuran dan penilaian dampak lingkungan *treatment* Repair, Refurbish dan Reuse. Tahap ini dilakukan dengan langkah-langkah sesuai pengukuran dampak lingkungan dari siklus hidup battery mengacu framework ISO 14040 [11]. Pengukuran terdiri dari empat tahap (Gambar 9.).

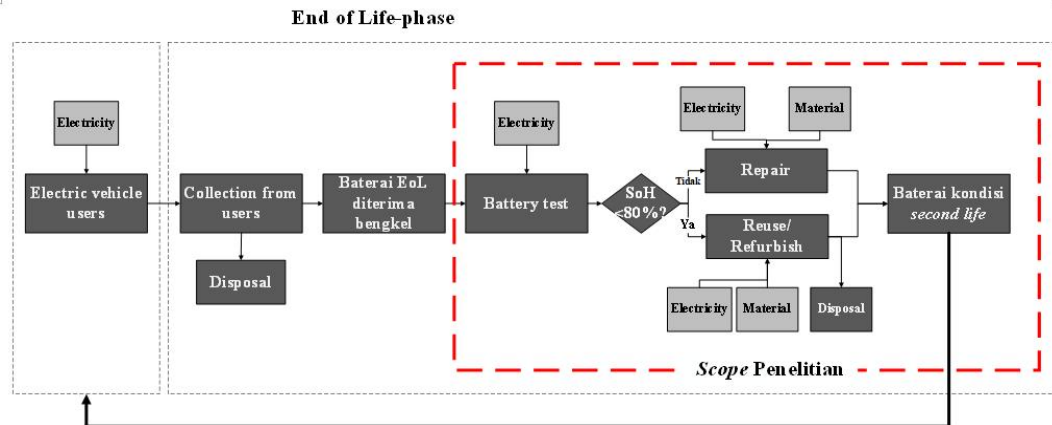


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

- 1) Penentuan tujuan dan lingkup studi
  - a) Tahap awal adalah tahap pendefinisian tujuan dan lingkup studi. Tahap ini merupakan tahap penentu yang akan menjadi salah satu indikator tahap kedua dan ketiga. Tujuan terkait kepada siapa pada akhirnya hasil riset direkomendasikan. Sedangkan ruang

lingkup studi menjadi pertimbangan penggambaran system produk, unit fungsional produk, aliran produk, asumsi dan jenis dampak lingkungan yang akan dikaji.

- b) Tujuan studi LCA pada riset ini adalah mengukur dan menganalisis potensi dampak lingkungan setiap proses “R” baterai swapable bekas pada pelaku informal. Ruang lingkup studi adalah gate to gate, gate dari masa penggunaan menuju gate proses pengelolaan baterai bekas.



Gambar ruang lingkup studi “gate to gate”

- c) Komponen utama yang akan dipertimbangkan pada manufaktur atau perakitan pack battery adalah cell battery, nikel tap, cell holder, partisi BMS dan BMS. Treatment recycling adalah keputusan pengelolaan paling akhir ketika baterai dinyatakan benar-benar rusak. Reuse adalah pengelolaan apabila baterai dinyatakan tidak layak untuk digunakan sebagai baterai traksi, pada riset ini akan dirakit kembali menjadi energy storage system. Sementara repair, refurbish, remanufacture adalah apabila kondisi baterai masih dapat digunakan kembali sebagai baterai traksi, dengan kondisi dan penanganan yang berbeda.

## 2) Life cycle inventory analysis (LCI)

Pemilihan input dan output siklus hidup diawali dari penentuan sistem produk dan aliran material terkait. Penentuan tingkat agregasi dan katagori data harus konsisten dengan tujuan dan lingkup studi. Setelah katagori ditentukan, langkah berikutnya adalah analisis inventaris, yaitu proses kompilasi dan kuantifikasi input dan output dari sistem produk swapable battery bekas. Penentuan katagori dapat menggunakan aturan ISO 14041 dan ISO 14042 sehingga data valid. Proses kompilasi dan kuantifikasi disesuaikan dengan unit fungsi yang telah ditetapkan (pack battery 1,38 KWh). Adapun pada studi swapable battery bekas, input yang akan dikompilasi dan kuantifikasikan adalah jumlah material dan konsumsi energi, sedangkan output adalah waste material dan energi.

**Tabel Inventory Repair NMC**

| No | Langkah-langkah        | Jenis            | I/O | Nama/Komponen             | Jumlah | satuan | Intermediate Product                |
|----|------------------------|------------------|-----|---------------------------|--------|--------|-------------------------------------|
| 1  | Lepas casing atas      | Waste            | O   | Lem sealent bekas         | 0,01   | kg     | Battery pack tanpa casing atas      |
| 2  | Periksa kesesuaian BMS | Support Material | I   | Paper tape                | 0,001  | kg     | Battery pack dengan BMS layak       |
|    |                        |                  |     | Baterai multimeter        | 0,05   | kg     |                                     |
| 3  | Balancing              | Energi           | I   | Zketech                   | 2,534  | kWh    | Battery pack kondisi balance        |
| 4  | Pasang casing atas     | Support Material | I   | Lem sealent               | 0,012  | kg     | Battery pack dengan casing          |
| 5  | Wrapping               | Support Material | I   | Wrap PVC                  | 0,012  | kg     | Battery pack tanpa part electricity |
| 6  | Finishing              | Support Material | I   | Label spesifikasi         | 0,005  | kg     | Battery pack rekondisi              |
|    |                        | Waste            | O   | Lapisan Label spesifikasi | 0,005  | kg     |                                     |

**Tabel Inventory Reuse NMC**

| No | Langkah-langkah              | Jenis            | I/O | Nama/Komponen                                  | Jumlah | satuan | Intermediate Product                  |
|----|------------------------------|------------------|-----|------------------------------------------------|--------|--------|---------------------------------------|
| 1  | Lepas Casing Atas            | Product          | I   | End-of-life Lithium-Ion Battery Pack (NMC 811) | 10     | kg     | Battery pack tanpa casing atas        |
|    |                              | Waste            | O   | Baut (Carbon Steel) bekas                      | 0,025  | kg     |                                       |
| 2  | Pemeriksaan BMS              | Support Material | I   | Paper tape                                     | 0,001  | kg     | Battery pack dengan BMS tidak layak   |
|    |                              |                  |     | Baterai multimeter                             | 0,05   | kg     |                                       |
|    |                              | Waste            | O   | Paper tape bekas                               | 0,001  | kg     |                                       |
| 3  | Pelepasan casing bawah       | Waste            | O   | Casing bawah bekas                             | 0,148  | kg     | Battery pack tanpa casing bawah       |
|    |                              |                  |     | Baut bekas                                     | 0,025  | kg     |                                       |
| 4  | Pelepasan casing samping     | Waste            | O   | Casing samping bekas                           | 1,837  | kg     | Battery pack tanpa casing             |
| 5  | Pelepasan material pelindung | Waste            | O   | Lem Sealent bekas                              | 0,022  | kg     | Battery pack tanpa material pelindung |
|    |                              |                  |     | Sponge ati bekas                               | 0,019  | kg     |                                       |
|    |                              |                  |     | Jaring battery pack bekas                      | 0,03   | kg     |                                       |

|    |                                                            |                  |   |                                           |        |     |                                                               |
|----|------------------------------------------------------------|------------------|---|-------------------------------------------|--------|-----|---------------------------------------------------------------|
| 6  | Pemeriksaan kondisi rangkaian seri                         | Support Material | I | Baterai multimeter                        | 0,05   | kg  | Battery pack informasi kondisi rangkaian seri                 |
| 7  | Pelepasan plat nikel                                       | Waste            | O | Plat nikel bekas                          | 0,1    | kg  | Battery pack tanpa plat nikel                                 |
| 8  | Pelepasan BMS                                              | Waste            | O | BMS bekas                                 | 0,2    | kg  | Modul Battery                                                 |
|    |                                                            |                  |   | Part Electricity bekas                    | 0,075  | kg  |                                                               |
|    |                                                            |                  |   | Baut bekas                                | 0,008  | kg  |                                                               |
| 9  | Pelepasan Holder                                           | Waste            | O | Holder bekas                              | 0,256  | kg  | 153 cell Battery NMC 811                                      |
|    |                                                            |                  |   | Baut bekas                                | 0,025  | kg  |                                                               |
| 10 | Pengecekan kapasitas dan IR cell baterai                   | Energi           | I | Liitokala                                 | 27,924 | kWh | 153 cell battery dengan informasi IR dan kapasitas real       |
| 11 | Pemberian label pada masing-masing cell baterai            | Support Material | I | Label                                     | 0,001  | kg  | 153 cell battery dengan label informasi IR dan kapasitas real |
|    |                                                            | Waste            | O | Kertas Kuning Label bekas                 | 0,001  | kg  |                                                               |
| 12 | Pemilahan 60 cell dengan IR terendah dan kapasitas seragam | Waste            | O | 93 cell battery lithium ion NMC 811 bekas | 4,185  | kg  | 60 cell battery siap rakit                                    |
| 13 | Spot welding untuk rangkaian paralel                       | Support Material | I | 60 cell battery                           | 2,70   | kg  | 6 rangkaian paralel baterai                                   |
|    |                                                            |                  |   | Battery Isolator Ring                     | 0,001  | kg  |                                                               |
|    |                                                            |                  |   | Plat nikel                                | 0,04   | kg  |                                                               |
|    |                                                            |                  |   | Paper tape                                | 0,001  | kg  |                                                               |
|    |                                                            | Energi           | O | Spot welding                              | 0,853  | kWh |                                                               |
|    |                                                            | Waste            |   | Kertas Stiker Battery Isolator Ring bekas | 0,002  | kg  |                                                               |
|    |                                                            |                  |   | Paper tape bekas                          | 0,001  | kg  |                                                               |
| 14 | Spot welding untuk rangkaian resi                          | Support Material | I | Plat nikel                                | 0,02   | kg  | Modul Baterai dengan konfigurasi 10s60p                       |
|    |                                                            |                  |   | Paper tape                                | 0,001  | kg  |                                                               |
|    |                                                            | Energi           |   | Spot welding                              | 0,782  | kWh |                                                               |

**Tabel Inventory Repair LFP**

| No | Langkah-langkah                                   | Jenis            | I/O | Nama/Komponen        | Jumlah   | satuan | <i>Intermediate Product</i>                               |
|----|---------------------------------------------------|------------------|-----|----------------------|----------|--------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | Lepas Cover                                       | Energi           | I   | Energi bor listrik   | 2.89E-05 | kWh    | <i>Battery pack</i> tanpa cover atas                      |
|    |                                                   | Waste            | O   | Baut rivet bekas     | 0.001    | kg     |                                                           |
| 2  | Penonaktifan GPS                                  |                  |     | -                    |          |        | <i>Battery pack</i> dengan GPS nonaktif                   |
| 3  | Pelepasan Soket BMS- <i>Charge</i>                |                  |     | -                    |          |        | <i>Battery pack</i> dengan soket terputus                 |
| 4  | Pengangkatan <i>Battery Pack</i> dari Cover       | Waste            | O   | Sealant bekas        | 0.014    | kg     | <i>Battery pack</i> tanpa cover pelindung                 |
| 5  | Pemutusan Kabel BMS di <i>Battery</i>             |                  |     |                      |          |        | <i>Battery pack</i> tanpa part electricity                |
| 6  | Cek Kelayakan BMS                                 | Energi           | I   | Energi <i>charge</i> | 0.0145   | kWh    | <i>Battery pack</i> dengan BMS layak pakai                |
|    |                                                   | Energi           | I   | Energi multimeter    | 1.73E-05 | kWh    |                                                           |
| 7  | Lakukan <i>Balancing</i> pada <i>Battery Pack</i> | Energi           | I   | Energi ZKETech       | 1.23     | kWh    | <i>Battery pack</i> kondisi balance                       |
| 8  | Pemasangan GPS dan Soket BMS- <i>Charge</i>       |                  | I   | -                    |          |        | <i>Battery pack</i> dengan BMS Terhubung                  |
| 9  | Pemasangan Cover <i>Battery</i> BMS               | Energi           | I   | Energi bor listrik   | 2.89E-05 | kWh    | <i>Battery pack</i> dengan kondisi siap digunakan kembali |
|    |                                                   | Support Material | I   | Baut rivet baru      | 0.001    | kg     |                                                           |

**Tabel Inventory Refurbish LFP**

| No | Unit Proses                                 | Jenis  | I/O | Nama/Komponen      | Jumlah    | Satuan | <i>Intermediate Product</i>               |
|----|---------------------------------------------|--------|-----|--------------------|-----------|--------|-------------------------------------------|
| 1  | Lepas Cover                                 | Energi | I   | Energi bor listrik | 0.0000289 | kWh    | <i>Battery pack</i> tanpa cover atas      |
|    |                                             | Waste  | O   | Baut rivet bekas   | 0.001     | kg     |                                           |
| 2  | Penonaktifan GPS                            |        |     | -                  |           |        | <i>Battery pack</i> dengan GPS nonaktif   |
| 3  | Pelepasan Soket BMS- <i>Charge</i>          |        |     | -                  |           |        | <i>Battery pack</i> dengan soket terputus |
| 4  | Pengangkatan <i>Battery Pack</i> dari Cover | Waste  | O   | Sealant bekas      | 0.014     | kg     | <i>Battery pack</i> tanpa cover pelindung |

| No | Unit Proses                                               | Jenis            | I/O | Nama/Komponen                               | Jumlah                  | Satuan | Intermediate Product                        |
|----|-----------------------------------------------------------|------------------|-----|---------------------------------------------|-------------------------|--------|---------------------------------------------|
| 5  | Pelepasan Komponen BMS- <i>Battery</i>                    | Waste            | O   | Wrap Plastic bekas                          | 0.052                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Waste            | O   | Isolasi serat bekas                         | 0.02                    | kg     |                                             |
| 6  | Pemutusan Kabel BMS di <i>Battery</i>                     |                  |     | -                                           |                         |        | Modul baterai tanpa <i>part electricity</i> |
| 7  | Pelepasan Plat Nikel                                      | Waste            | O   | Plat nikel bekas                            | 0.059                   | kg     | Modul baterai tanpa plat nikel              |
| 8  | Pemisahan Seluruh <i>Cell Battery</i>                     | Waste            | O   | Isolasi serat bekas                         | 0.035                   | kg     | 20 sel baterai prismatic                    |
| 9  | Pengecekan IR <i>Cell Battery</i> dan <i>Labelling</i>    | Energi           | I   | Energi multimeter                           | 0.00019976              | kWh    | 20 sel baterai berlabel                     |
|    |                                                           | Support Material | I   | Kertas label                                | 0.001                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Waste            | O   | Alas kertas label bekas                     | 0.001                   | kg     |                                             |
| 10 | Pemilihan <i>Cell Battery</i> Layak Rakit                 | Support Material | I   | Baterai prismatic LiFePo <sub>4</sub> baru  | 1.2                     | kg     | 20 sel baterai layak rakit                  |
|    |                                                           | Waste            | O   | Baterai prismatic LiFePo <sub>4</sub> bekas | 1.2                     | kg     |                                             |
| 11 | Perekatan Seluruh <i>Cell Battery</i> Layak Rakit         | Support Material | I   | Isolasi serat                               | 0.166                   | kg     | Modul baterai 20s1p                         |
| 12 | Pengamplasan Kutub Positif-Negatif dan Pemasangan Tembaga | Energi           | I   | Energi Dynamo                               | 0.00186267 <sub>7</sub> | kWh    | Modul baterai dengan tembaga                |
|    |                                                           | Energi           | I   | Energi solder                               | 0.04281666 <sub>7</sub> | kWh    |                                             |
|    |                                                           | Support Material | I   | Tembaga kabel                               | 0.03                    | kg     |                                             |
|    |                                                           | Support Material | I   | Tenol                                       | 0.022                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Waste            | O   | Serbuk Tenol bekas                          | 0.001                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Waste            | O   | Coat kabel bekas                            | 0.02                    | kg     |                                             |
| 13 | Pemasangan Komponen <i>Battery</i> -BMS                   | Energi           | I   | Energi solder                               | 0.05348333 <sub>3</sub> | kWh    | <i>Battery pack</i> dengan BMS terhubung    |
|    |                                                           | Support Material | I   | Tenol                                       | 0.002                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Support Material | I   | Isolasi capton                              | 0.001                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Support Material | I   | <i>Double tape foam</i>                     | 0.002                   | kg     |                                             |
|    |                                                           | Support Material | I   | Isolasi serat                               | 0.005                   | kg     |                                             |
| 14 | Cek Kelayakan BMS                                         | Energi           | I   | Energi <i>charge</i> baterai volta          | 0.01453333 <sub>3</sub> | kWh    | <i>Battery pack</i> dengan BMS layak pakai  |
|    |                                                           | Energi           | I   | Energi multimeter                           | 0.0000173               | kWh    |                                             |
| 15 | Pelapisan Baterai Baru                                    | Support Material | I   | Isolasi serat                               | 0.017                   | kg     | <i>Battery pack</i> dengan pelapis          |
| 16 | <i>Wrapping</i>                                           | Energi           | I   | Energi <i>heat gun</i>                      | 0.13155555 <sub>6</sub> | kWh    | <i>Battery pack</i> dengan <i>wrap</i>      |
|    |                                                           | Support Material | I   | Wrap Plastic                                | 0.053                   | kg     |                                             |

| No | Unit Proses                  | Jenis            | I/O | Nama/Komponen      | Jumlah    | Satuan | Intermediate Product                               |
|----|------------------------------|------------------|-----|--------------------|-----------|--------|----------------------------------------------------|
|    |                              | Support Material | I   | Sealant            | 0.015     | kg     |                                                    |
| 17 | Pemasangan Cover Battery BMS | Energi           | I   | Energi bor listrik | 0.0000289 | kWh    | Battery pack dengan cover pelindung                |
|    |                              | Support Material | I   | Baut rivet baru    | 0.001     | kg     |                                                    |
| 18 | Test Load pada Battery Pack  | Energi           | I   | Energi ZKETech     | 1.27741   | kWh    | Battery pack dengan kondisi siap digunakan kembali |

Keterangan: (I) input; (O) output.

### 3) Life cycle impact assessment (LCIA)

Pengukuran dampak lingkungan bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari hasil analisis inventori (LCI). Sebagaimana LCI, LCIA juga harus konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup yang telah ditetapkan. Langkah-langkah LCIA diawali dengan melakukan pemilihan dan pendefinisian katagori dampak, indikator dampak dan model karakterisasi. Hasil LCI akan dikelompokkan dalam katagori impak mengikuti ISO 14042. Pada studi swappable battery pack katagori yang akan digunakan adalah [global warming](#), [acidification](#), [ozon depletion](#) dan [euthrophication](#).

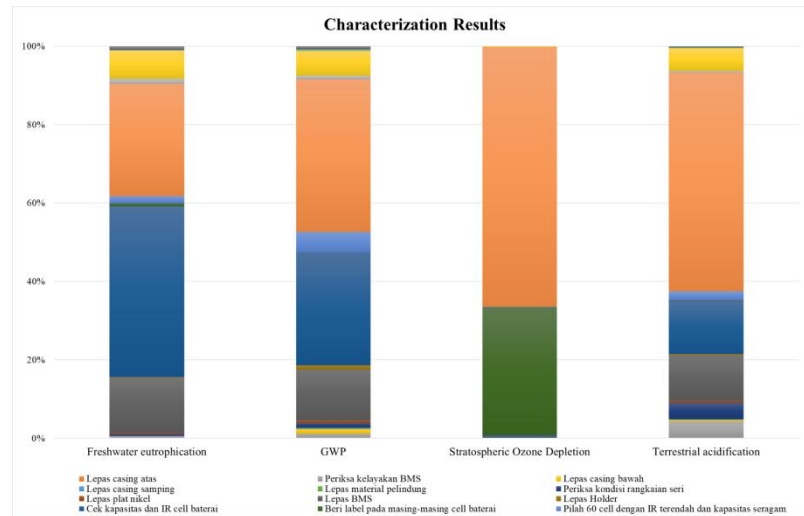
Penentuan indikator dampak dan karakterisasi model akan menggunakan database ReCiPe 2006 dan ecoinvent. Perhitungan menggunakan software open LCA. Hasil dari penentuan katagori dampak dan karakterisasi kemudian di klasifikasi. Hasil klasifikasi dikelompokkan dalam kelompok pemberi dampak tinggi dan kelompok pemberi dampak rendah. Untuk memudahkan intepretasi, hasil tersebut dinormalisasi. Normalisasi dilakukan untuk menjadikan besaran relative dalam suatu skala yang sama.

**Tabel LCIA Baterai NMC dan LFP**

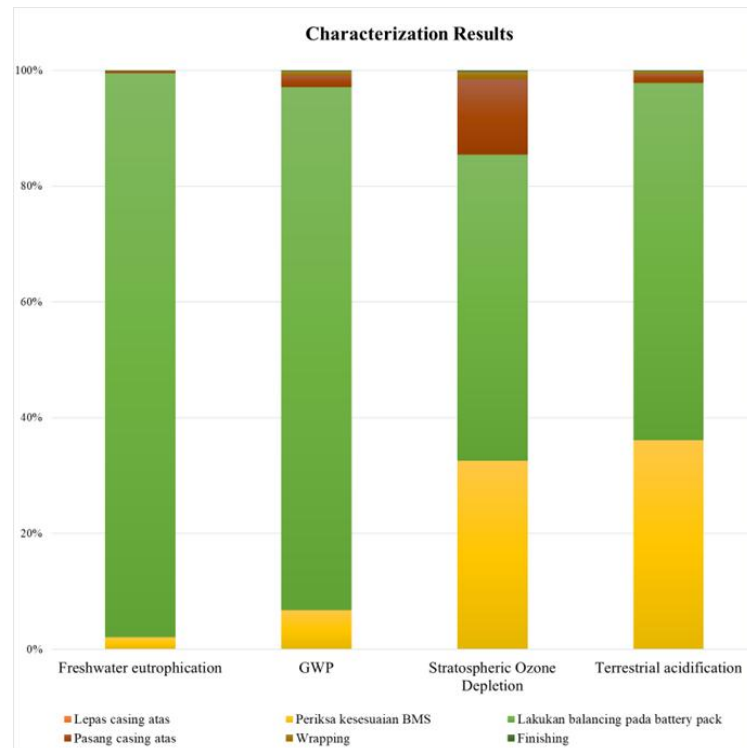
| No | Kategori                      | Reuse NMC | Repair NMC | Refurbished LFP | Repair LFP             | Unit        |
|----|-------------------------------|-----------|------------|-----------------|------------------------|-------------|
| 1  | Global warming                | 117,158   | 3,386      | 13.018          | 1.569                  | kg CO2 eq   |
| 2  | Terrestrial acidification     | 0,856     | 0,017      | 0.149           | $2.198 \times 10^{-5}$ | kg SO2 eq   |
| 3  | Freshwater eutrophication     | 0,138     | 0,005      | 0.674           | 0.006                  | kg P eq     |
| 4  | Stratospheric ozone depletion | 0,003     | 0,000      | 0.005           | 0.004                  | kg CFC11 eq |

Intepretasi

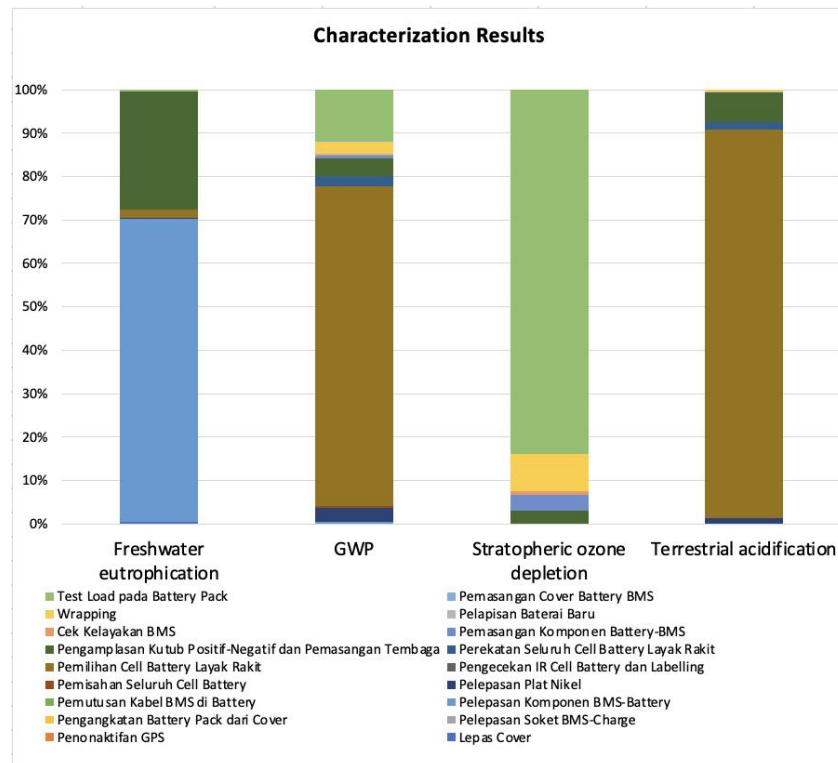
## Masukkan intepretasi untuk NMC dan LFP



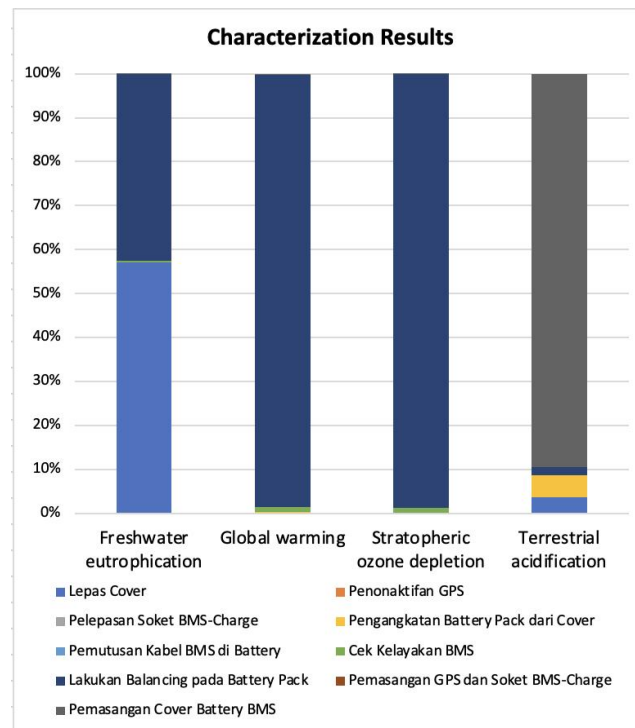
### Characterization Results Reuse NMC



### Characterization Results Repair NMC



### Characterization Results Refurbished LFP



### Characterization Results Repair LFP

**Tabel Interpretasi Reuse NMC Kategori Dampak PROPER**

| No. | Kategori Dampak                      | Nilai             | Unit Proses                                         | Penyebab                                                         | Total                |
|-----|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1   | <i>Global Warming</i>                | 45,59 (39%)       | <i>Spot welding</i><br>untuk rangkaian<br>pararel   | <i>Input material</i> 60<br>cell baterai                         | 117,158 kg CO2<br>eq |
|     |                                      | 33,72 (29%)       | Cek kapasitas<br>dan IR cell<br>baterai             | Penggunaan<br>energi listrik                                     |                      |
|     |                                      | 15,25 (13%)       | Lepas BMS                                           | <i>Output Waste</i><br>BMS bekas                                 |                      |
| 2   | <i>Terrestrial acidification</i>     | 0,48 (56%)        | <i>Spot welding</i><br>untuk rangkaian<br>pararel   | <i>Input material</i> 60<br>cell baterai                         | 0,856 kg SO2 eq      |
|     |                                      | 0,12 (13%)        | Cek kapasitas<br>dan IR cell<br>baterai             | Penggunaan<br>energi listrik                                     |                      |
|     |                                      | 0,10 (12%)        | Lepas BMS                                           | <i>Output Waste</i><br>BMS bekas                                 |                      |
| 3   | <i>Freshwater eutrophication</i>     | 19,86 (29%)       | <i>Spot welding</i><br>untuk rangkaian<br>pararel   | <i>Input material</i> 60<br>cell baterai                         | 0,138 kg P eq        |
|     |                                      | 10,04 (14%)       | Lepas BMS                                           | <i>Output Waste</i><br>BMS bekas                                 |                      |
|     |                                      | 5,05 (7%)         | Pasang BMS<br>dan <i>part</i><br><i>electricity</i> | <i>Input material</i><br>BMS baru                                |                      |
| 4   | <i>Stratospheric ozone depletion</i> | 0,002198<br>(65%) | <i>Spot welding</i><br>untuk rangkaian<br>pararel   | <i>Output waste</i><br>kertas stiker<br>battery isolator<br>ring | 0,003 kg CFC11<br>eq |
|     |                                      | 0,001083<br>(33%) | Beri label pada<br>masing-masing<br>cell baterai    | <i>Output waste</i><br>kertas kuning<br>label bekas              |                      |
|     |                                      | 0,000009          | Cek kapasitas<br>dan IR cell<br>baterai             | Penggunaan<br>energi listrik                                     |                      |

**Tabel Interpretasi *Repair* NMC Kategori Dampak PROPER**

| No. | Kategori Dampak                      | Nilai (pt)      | Unit Proses                               | Penyebab                                         | Total                       |
|-----|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1   | <i>Freshwater eutrophication</i>     | 0,008 (97%)     | <i>balancing</i> pada <i>battery pack</i> | Penggunaan energi listrik                        | 0,0056 kg P eq              |
|     |                                      | 1,83E-04 (2%)   | Periksa kesesuaian BMS                    | <i>Input support material</i> baterai multimeter |                             |
|     |                                      | 1,09E-05 (0,3%) | Pasang casing atas                        | <i>Input material</i> lem <i>sealent</i>         |                             |
| 2   | <i>Global Warming</i>                | 3,83E-04 (90%)  | <i>balancing</i> pada <i>battery pack</i> | Penggunaan energi listrik                        | 3,411 kg CO <sub>2</sub> eq |
|     |                                      | 2,84E-05 (7%)   | Periksa kesesuaian BMS                    | <i>Input support material</i> baterai multimeter |                             |
|     |                                      | 8,48E-06 (2%)   | Pasang casing atas                        | <i>Input material</i> lem <i>sealent</i>         |                             |
| 3   | <i>Terrestrial acidification</i>     | 2,55E-04 (61%)  | <i>balancing</i> pada <i>battery pack</i> | Penggunaan energi listrik                        | 0,017 kg SO <sub>2</sub> eq |
|     |                                      | 1,50E-04 (36%)  | Periksa kesesuaian BMS                    | <i>Input support material</i> baterai multimeter |                             |
|     |                                      | 1,50E-04 (2%)   | Pasang casing atas                        | <i>Input material</i> lem <i>sealent</i>         |                             |
| 4   | <i>Stratospheric ozone depletion</i> | 1,30E-05 (52%)  | <i>balancing</i> pada <i>battery pack</i> | Penggunaan energi listrik                        | 1,50E-06 kg CFC11 eq        |
|     |                                      | 8,04E-06 (32%)  | Periksa kesesuaian BMS                    | <i>Input support material</i> baterai multimeter |                             |
|     |                                      | 3,22E-06 (12%)  | Pasang casing atas                        | <i>Input material</i> lem <i>sealent</i>         |                             |

**Tabel Interpretasi *Repair* LFP Kategori Dampak PROPER**

| No | Kategori Dampak                      | Nilai                          | Unit proses                          | Total                                        |
|----|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1  | <i>Global Warming</i>                | 1.543 (98.3%)                  | Lakukan Balancing pada Battery Pack  | 1.569 kg CO <sub>2</sub> eq                  |
|    |                                      | $1.755 \times 10^{-2}$ (1.1%)  | Cek Kelayakan BMS                    |                                              |
|    |                                      | $5.053 \times 10^{-3}$ (0.3%)  | Pemasangan Cover Battery BMS         |                                              |
| 2  | <i>Terrestrial acidification</i>     | $1.968 \times 10^{-5}$ (89.5%) | Pemasangan Cover Battery BMS         | $2.198 \times 10^{-5}$ kg SO <sub>2</sub> eq |
|    |                                      | $1.097 \times 10^{-6}$ (5%)    | Pengangkatan Battery Pack dari Cover |                                              |
|    |                                      | $8.100 \times 10^{-7}$ (3.7%)  | Lepas Cover                          |                                              |
| 3  | <i>Freshwater eutrophication</i>     | $3.684 \times 10^{-3}$ (57%)   | Lepas Cover                          | $6.463 \times 10^{-3}$ kg P eq               |
|    |                                      | $2.746 \times 10^{-3}$ (42.5%) | Lakukan Balancing pada Battery Pack  |                                              |
|    |                                      | $3.125 \times 10^{-5}$ (0.5%)  | Cek Kelayakan BMS                    |                                              |
| 4  | <i>Stratospheric ozone depletion</i> | $4.088 \times 10^{-3}$ (98.9%) | Lakukan Balancing pada Battery Pack  | $4.134 \times 10^{-3}$ kg CFC11 eq           |
|    |                                      | $4.651 \times 10^{-5}$ (1.1%)  | Cek Kelayakan BMS                    |                                              |
|    |                                      | $9.401 \times 10^{-8}$ (<0.1%) | Pemasangan Cover Battery BMS         |                                              |

**Tabel Interpretasi *Refurbished* LFP Kategori Dampak PROPER**

| No | Kategori Dampak                      | Nilai                             | Unit proses                                               | Total                                |
|----|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1  | <i>Global Warming</i>                | 9.596<br>(74%)                    | Pemilihan <i>Cell Battery</i> Layak Rakit                 | 13.018<br>kg CO <sub>2</sub> eq      |
|    |                                      | 1.542<br>(12%)                    | <i>Test Load</i> pada Battery Pack                        |                                      |
|    |                                      | 0.509<br>(4%)                     | Pengamplasan Kutub Positif-Negatif dan Pemasangan Tembaga |                                      |
| 2  | <i>Terrestrial acidification</i>     | 0.134<br>(89%)                    | Pemilihan <i>Cell Battery</i> Layak Rakit                 | 0.149 kg SO <sub>2</sub> eq          |
|    |                                      | 0.010<br>(7%)                     | Pengamplasan Kutub Positif-Negatif dan Pemasangan Tembaga |                                      |
|    |                                      | 0.002<br>(2%)                     | Perekatan Seluruh <i>Cell Battery</i> Layak Rakit         |                                      |
| 3  | <i>Freshwater eutrophication</i>     | 0.470<br>(70%)                    | Pelepasan Komponen BMS-Battery                            | 0.674 kg P eq                        |
|    |                                      | 0.182<br>(27%)                    | Pengamplasan Kutub Positif-Negatif dan Pemasangan Tembaga |                                      |
|    |                                      | 0.014<br>(2%)                     | Pemilihan <i>Cell Battery</i> Layak Rakit                 |                                      |
| 4  | <i>Stratospheric ozone depletion</i> | 4.088 x 10 <sup>-3</sup><br>(84%) | <i>Test Load</i> pada Battery Pack                        | 4.879 x 10 <sup>-3</sup> kg CFC11 eq |
|    |                                      | 4.211 x 10 <sup>-4</sup><br>(9%)  | <i>Wrapping</i>                                           |                                      |
|    |                                      | 1.712 x 10 <sup>-4</sup><br>(4%)  | Pemasangan Komponen <i>Battery</i> -BMS                   |                                      |

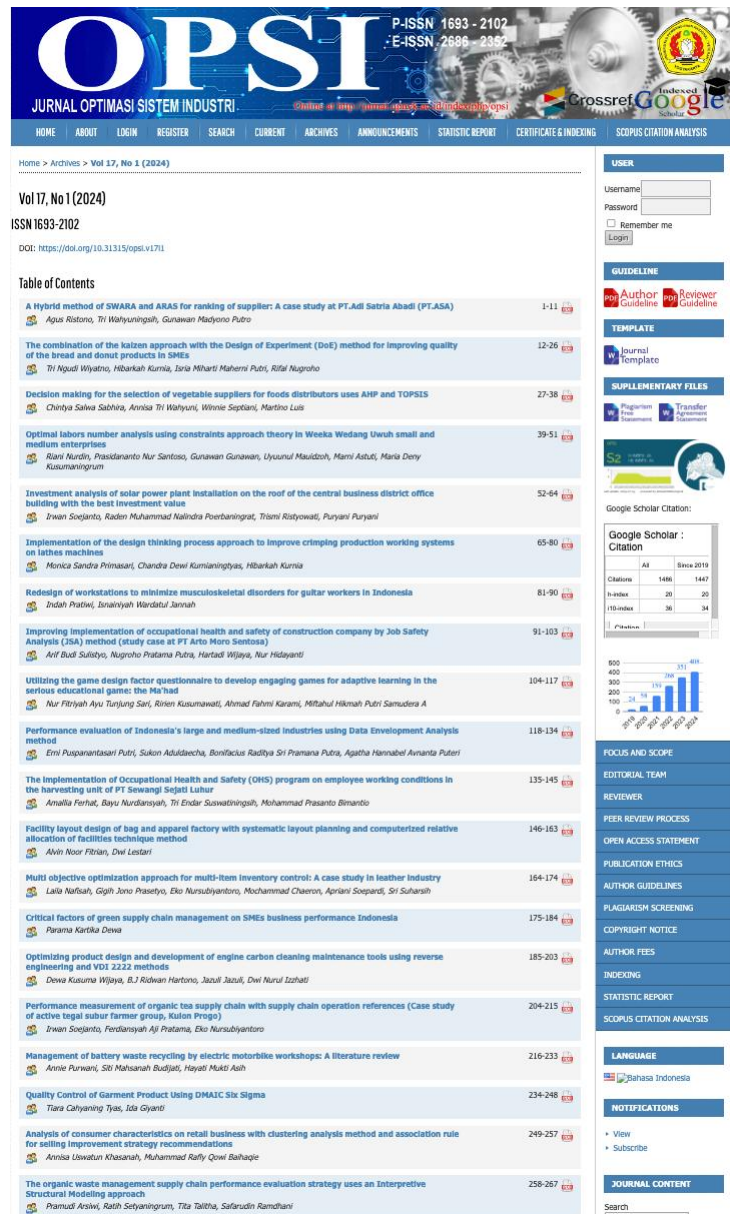
**Tabel Nilai GWP jika Baterai Tidak Dilakukan Perbaikan**

| Jenis Baterai | Nilai GWP                     |
|---------------|-------------------------------|
| NMC           | 132,533 kg CO <sub>2</sub> eq |
| LFP           | 26.52 kg CO <sub>2</sub> eq   |

### 3. Daftar Luaran Wajib dan Tambahan

Jenis luaran wajib adalah artikel yang telah submit pada Jurnal pada Sinta 2, yaitu Jurnal Optimasi Sistem Industri yang dikelola oleh Teknik Industri UPN Yogyakarta.

Artikel berjudul : Management of battery waste recycling by electric motorbike workshops: A literature review. Received : 19 April 2024, Revised: 6 May 2024, Accepted: 15 June 2024, dan Published: 30 June 2024 untuk Vol. 17, No. 1, June 2024, DOI : <https://doi.org/10.31315/opsi.v17i1.12173>. **Gambar 10.** adalah tampilan layar dari OJS Jurnal OPSI.



| OPSI                                                                                                                                                          |                          | P-ISSN 1693 - 2102<br>E-ISSN 2686 - 2362 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
| JURNAL OPTIMASI SISTEM INDUSTRI                                                                                                                               |                          |                                          |
| HOME                                                                                                                                                          | ABOUT                    | LOGIN                                    |
| REGISTER                                                                                                                                                      | SEARCH                   | CURRENT                                  |
| ARCHIVES                                                                                                                                                      | ANNOUNCEMENTS            | STATISTIC REPORT                         |
| CERTIFICATE & INDEXING                                                                                                                                        | SCOPUS CITATION ANALYSIS |                                          |
| Home > Archives > Vol 17, No 1 (2024)                                                                                                                         |                          |                                          |
| Vol 17, No 1 (2024)                                                                                                                                           |                          |                                          |
| ISSN 1693-2102                                                                                                                                                |                          |                                          |
| DOI: <a href="https://doi.org/10.31315/opsi.v17i1">https://doi.org/10.31315/opsi.v17i1</a>                                                                    |                          |                                          |
| Table of Contents                                                                                                                                             |                          |                                          |
| A Hybrid method of SWARA and ARAS for ranking of supplier: A case study at PT.Adi Sabria Abadi (PT.ASA)                                                       | 1-11                     |                                          |
| Apus Ristono, Tri Wahyuningih, Gunawan Madyono Putro                                                                                                          |                          |                                          |
| The combination of the kaizen approach with the Design of Experiment (DoE) method for improving quality of the bread and donut products in SMEs               | 12-26                    |                                          |
| Tri Npudi Wijatno, Hibrah Kurnia, Jaria Mharti Maheni Putri, Rifal Nugroho                                                                                    |                          |                                          |
| Decision making for the selection of vegetable suppliers for food distributors uses ANP and TOPSIS                                                            | 27-38                    |                                          |
| Chinda Salwa Sabhira, Anisa Tri Wahyuni, Winne Septiani, Martina Lusi                                                                                         |                          |                                          |
| Optimal labor number analysis using constraints approach theory in Weeka Wedang Uluh small and medium enterprises                                             | 39-51                    |                                          |
| Rani Rundi, Pradianto Nur Santoso, Gunawan Gunawan, Uyunul Maizidoh, Mami Asbati, Maria Dery Kusumaningrum                                                    |                          |                                          |
| Investment analysis of solar power plant installation on the roof of the central business district office building with the best investment value             | 52-64                    |                                          |
| Iwan Soejanto, Raden Muhammad Nalinda Poerbaningrat, Triani Ristiyawati, Puryani Puryani                                                                      |                          |                                          |
| Implementation of the design thinking process approach to improve crimping production working systems on lathe machines                                       | 65-80                    |                                          |
| Monica Sandra Primasari, Chandra Dewi Kumariyngtyas, Hibrah Kurnia                                                                                            |                          |                                          |
| Redesign of workstations to minimize musculoskeletal disorders for guitar workers in Indonesia                                                                | 81-90                    |                                          |
| Indah Pratwi, Inayyah Wardatul Jannah                                                                                                                         |                          |                                          |
| Improving implementation of occupational health and safety of construction company by Job Safety Analysis (JSA) method (study case at PT Arto Moro Sentosa)   | 91-103                   |                                          |
| Arif Budi Sulisty, Nugroho Pratama Putra, Hartadi Wijaya, Nur Hidayati                                                                                        |                          |                                          |
| Utilizing the game design factor questionnaire to develop engaging games for adaptive learning in the serious educational game: the Ma'had                    | 104-117                  |                                          |
| Nur Fitriyah Ayu Tunjung Sari, Rini Kusumawati, Ahmad Fahmi Karami, Mithul Hikmah Putri Samudera A                                                            |                          |                                          |
| Performance evaluation of Indonesia's large and medium-sized industries using Data Envelopment Analysis method                                                | 118-134                  |                                          |
| Emi Puspantari Putri, Sukon Adidachia, Bonifacius Radhya Sri Pramana Putra, Agatha Hannabel Arianita Putri                                                    |                          |                                          |
| The implementation of Occupational Health and Safety (OHS) program on employee working conditions in the harvesting unit of PT Sewangi Sejati Luthar          | 135-145                  |                                          |
| Amalia Ferhat, Bayu Nurdiansyah, Tri Ender Saswathingsah, Muhammad Prasanto Bimando                                                                           |                          |                                          |
| Facility layout design of bag and apparel factory with systematic layout planning and computerized relative allocation of facilities technique method         | 146-163                  |                                          |
| Alvin Noor Fitriani, Dwi Lestari                                                                                                                              |                          |                                          |
| Multi objective optimization approach for multi-item inventory control: A case study in leather industry                                                      | 164-174                  |                                          |
| Laila Hafiah, Gih Joro Prasetyo, Eko Nursubiyanto, Mohammad Chaeon, Apriani Soepardi, Sri Suharsih                                                            |                          |                                          |
| Critical factors of green supply chain management on SMEs business performance Indonesia                                                                      | 175-184                  |                                          |
| Parama Kartika Deva                                                                                                                                           |                          |                                          |
| Optimizing product design and development of engine carbon cleaning maintenance tools using reverse engineering and VDI 2222 methods                          | 185-203                  |                                          |
| Deva Kusuma Wijaya, B.J Ridwan Hartono, Jazuli Jazuli, Dwi Nurul Izzah                                                                                        |                          |                                          |
| Performance measurement of organic tea supply chain with supply chain operation references (Case study of active legal subur farmer group, Kulon Progo)       | 204-215                  |                                          |
| Iwan Soejanto, Ferdiansyah Aji Pratama, Eko Nursubiyanto                                                                                                      |                          |                                          |
| Management of battery waste recycling by electric motorbike workshops: A literature review                                                                    | 216-233                  |                                          |
| Annie Purwani, Siti Mahsanah Budjati, Hayati Mukti Ash                                                                                                        |                          |                                          |
| Quality Control of Garment Product Using DMAIC Six Sigma                                                                                                      | 234-248                  |                                          |
| Tara Cahyaning Tyas, Ida Giyanti                                                                                                                              |                          |                                          |
| Analysis of consumer characteristics on retail business with clustering analysis method and association rule for selling improvement strategy recommendations | 249-257                  |                                          |
| Anisa Usawatun Khasanah, Muhammad Raffi Qowi Baihaque                                                                                                         |                          |                                          |
| The organic waste management supply chain performance evaluation strategy uses an Interpretive Structural Modeling approach                                   | 258-267                  |                                          |
| Prasadi Aswi, Rati Sojaningrum, Tita Taliba, Saifuddin Ramdhani                                                                                               |                          |                                          |

Gambar 10. Tampilan Table of Content Jurnal OPSI Vol. 17, No. 1, June 2024

#### 4. Kendala

Beberapa kendala yang kami hadapi adalah

- Sistem produk pengelolaan baterai, belum banyak dilakukan bengkel-bengkel dan belum ada standar operasinya. Pengguna motor listrik tidak banyak.
- Ketika belum ada standar operasinya maka kesulitan untuk mendapat pengulangan prosesnya, waktu yang dibutuhkan untuk pengamatan jadi lebih panjang.
- Pembelanjaan membutuhkan dana besar

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] P. Girardi, C. Brambilla, and G. Mela, "Life Cycle Air Emissions External Costs Assessment for Comparing Electric and Traditional Passenger Cars," *Integr Environ Assess Manag*, vol. 16, no. 1, pp. 140–150, 2020, doi: 10.1002/ieam.4211.
- [2] A. Temporelli, M. L. Carvalho, and P. Girardi, "Life cycle assessment of electric vehicle batteries: An overview of recent literature," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 11, 2020, doi: 10.3390/en13112864.
- [3] A. Nordelöf, M. Messagie, A. M. Tillman, M. Ljunggren Söderman, and J. Van Mierlo, "Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 19, no. 11, pp. 1866–1890, 2014, doi: 10.1007/s11367-014-0788-0.
- [4] P. RI, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 Tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (battery electric vehicle) untuk Transportasi Jalan*. 2019, pp. 1–22.
- [5] Menteri Perindustrian RI, *Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No 27 Tahun 2020*. 2020, pp. 1–92.
- [6] Presiden RI, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 1997, pp. 1–59.
- [7] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [8] S. Shokohyar, S. Mansour, and B. Karimi, "A model for integrating services and product EOL management in sustainable product service system (S-PSS)," *J Intell Manuf*, vol. 25, no. 3, pp. 427–440, 2014, doi: 10.1007/s10845-012-0694-x.
- [9] S. Farhad, R. K. Gupta, G. Yasin, and T. A. Nguyen, *Nano Technology for Battery Recycling, Remanufacturing, and Reusing*. Elsevier, 2022. [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- [10] H. Cao and P. Folan, "Product life cycle: The evolution of a paradigm and literature review from 1950-2009," *Production Planning and Control*, vol. 23, no. 8, pp. 641–662, 2012, doi: 10.1080/09537287.2011.577460.
- [11] ISO 14040, "Environmental assessment - Life cycle assessment - Principles and framework," *International Standard Organisation*, vol. 1997, pp. 1–20, 2009.

#### 6. Anggaran Terpakai (60%)

Silakan tuliskan anggaran yang telah terpakai sebanyak 60% di logbook akun masing-masing tanpa perlu menyadurnya ke laporan ini.

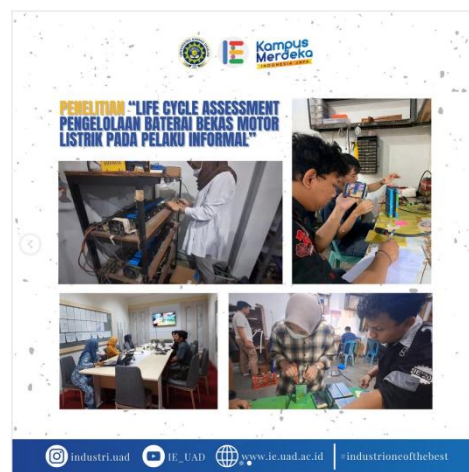
| No | Jenis Pembelanjaan   | Item | Satuan       | Vol | Biaya Satuan | Total     |
|----|----------------------|------|--------------|-----|--------------|-----------|
| 1  | Baterai NMC eks viar | 1    | Pack baterai | 1   | 1,802,500    | 1,802,500 |

|               |                                                      |   |       |   |           |                  |
|---------------|------------------------------------------------------|---|-------|---|-----------|------------------|
| 2             | rakit ulang Li-ion 10S6P biaya 375rb (Reuse)         | 1 | Paket | 1 | 375,000   | 375,000          |
| 3             | BMS Daly 10S harga 390rb                             | 1 | Paket | 1 | 390,000   | 390,000          |
| 4             | Tenaga per jam 50rb: 17 jam x 50rb x 2 orang = 1.7jt | 1 | Paket | 1 | 1,700,000 | 1,700,000        |
| 5             | Baterai LFP 2 eks volta dan ongkir                   | 1 | Paket | 1 | 2,300,000 | 5,225,000        |
| <b>Jumlah</b> |                                                      |   |       |   |           | <b>9,942,500</b> |

## 7. Daftar Lampiran

Bagian ini berisi tentang berbagai dokumentasi yang dilakukan selama penelitian mulai dari foto, video, dan atau dokumentasi lainnya. **Jangan lupa untuk mengunggah foto dan/atau video dokumentasi anda via media sosial kemudian tag akun @diktilitbang dan @risetmu serta beri caption bebas sesuai tema dan tagar #risetmu**

## Dokumentasi



## Logbook

Tahun Pelanggaran: 2023/2024 - Peran: dosen -

Dashboard Penelitian Pengabdian

Judul Kegiatan: Life cycle assessment pengelolaan baterai bekas motor listrik pada pelaku informal

Show 5 entries Search:

| No | Tanggal                  | Kegiatan                                                                                               | Persentase | Total Berkes | Aksi                                                                                                                                                                       |
|----|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Minggu, 04 Februari 2024 | Pengadaan material penelitian (baterai bekas UPP dan NMC) pemeriksaan kesehatan kedua baterai tersebut | 10%        | 0            | <br> |
| 2  | Senin, 04 Maret 2024     | Studi literatur dan menyusun artikel                                                                   | 20%        | 0            | <br> |
| 3  | Senin, 05 Februari 2024  | Pengamatan dan penyusunan Bill of Material proses Repair dan Reuse                                     | 5%         | 0            | <br> |
| 4  | Senin, 12 Februari 2024  | Pengumpulan referensi                                                                                  | 10%        | 0            | <br> |
| 5  | Rabu, 01 Mei 2024        | Pengambilan data remanufaktur untuk UPP                                                                | 10%        | 1            | <br> |

Showing 1 to 5 of 5 entries

Previous 1 Next

BOM's Baterai Viar Q1 untuk Praktik *Reuse* Baterai Sepeda Listrik 10S 6p

| Baterai Viar Q1 untuk Praktik <i>Reuse</i><br>Baterai Sepeda Listrik 10s6p |                    |                          |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Description</i>                                                         | <i>Material</i>    | <i>Quantity</i>          | <i>Unit of Measure</i> | <i>Description</i>                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Baterai Viar Q1                                                            | -                  | 8                        | kg                     | Tahap Pembongkaran                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Cover Atas                                                                 | <i>Plastic</i>     | 425                      | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cover Bawah                                                                | <i>Plastic</i>     | 148                      | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cover Samping                                                              | Alumunium          | 1837                     | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| BMS                                                                        |                    |                          |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Spongati                                                                   |                    | 19                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kertas Gasket                                                              |                    | 15                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Lem Sealant                                                                |                    | 22                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kabel BMS                                                                  |                    | 37                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Baut Cover (16 pcs)                                                        | <i>Alloy Steel</i> | 50                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Soket                                                                      |                    | 38                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Jaring Pelindung Baterai                                                   | <i>Plastic</i>     | 30                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Soket Balancing                                                            |                    |                          |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Baut Kutub + - (2 pcs)                                                     | Aluminium          | 2                        | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Paper Tap                                                                  |                    | 1,4 x 27                 | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Pelindung Baterai                                                          | <i>Epoxy Glass</i> |                          |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Paper Tap                                                                  |                    | 1,4 x 40                 | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Plat Nikel                                                                 | <i>Nickel</i>      | 100                      | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Baut Holder (8 pcs)                                                        | <i>Alloy Steel</i> | 25                       | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Holder (2 pcs)                                                             | <i>Plastic</i>     | 256                      | g                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Label                                                                      | <i>Paper</i>       | 2 x 0,8                  | cm                     | Tahap Litokala                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Kertas Kuning Label                                                        | <i>Paper</i>       | 20 x 15,6                | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 153 cell <i>lithium-ion battery</i>                                        |                    |                          |                        | Hasil Tahap Litokala<br>1. 9 pcs cell 2000 -2199 mAh (IR 24 -26,1 mΩ)<br>2. 108 pcs 2200 2299 mAh (IR – 24 -25,1 mΩ)<br>3. 8 pcs 2200 – 2299 mAh (IR 26,1 mΩ)<br>4. 2 pcs (2200 – 2299 mAh IR 30 - 32 mΩ)<br>5. 14 pcs 2300 – 2500 mAh (IR 32 – 37,1 mΩ)<br>6. 12 pcs cell mati |
| Battery Isolator Ring                                                      | <i>Paper</i>       | 10 x 35                  | cm                     | Tahapan <i>Reuse</i>                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Post It                                                                    | <i>Paper</i>       | 7,5 x 5                  | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Kertas Stiker Battery Isolator Ring                                        | <i>Paper</i>       | 3 Ø                      | mm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Paper Tape                                                                 |                    | 1,4 x 4                  | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Plat Nikel Rangkaian Pararel                                               | <i>Nickel</i>      | 107 x 0,7                | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Plat Nikel Rangkaian Seri                                                  | <i>Nickel</i>      | 2,7 x (jumlah rangkaian) | cm                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                    |                    |          |        |  |
|--------------------|--------------------|----------|--------|--|
|                    |                    | seri)    |        |  |
| Tape Fiberglass    | <i>Fiberglass</i>  | 66 x 2   | cm     |  |
| Cover Cell Baterai | <i>Epoxy Glass</i> | 115      | gram   |  |
| Tenol              | timah              | 3        | gram   |  |
| BMS Baru           |                    | 131      | gram   |  |
| Captone Tap        |                    | 23 x 2   | cm     |  |
| Kertas Gasket      |                    | 2 x 2    | cm     |  |
| Double Tab PE Foam |                    | 46 x 2,5 | cm     |  |
| Lem Sealant        |                    |          |        |  |
| Soket Baru         |                    |          |        |  |
| Cover Luar Baterai | <i>Plastic</i>     | 922      | $cm^2$ |  |

BOM's Baterai Volta untuk Praktik *Refurbish* Baterai Motor Volta 20s1p

| Baterai Volta untuk Praktik <i>Refurbish</i><br>Baterai Motor Volta 20s1p |                    |                 |                        |                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Description</i>                                                        | <i>Material</i>    | <i>Quantity</i> | <i>Unit of Measure</i> | <i>Description</i>                                                               |
| Baterai Volta LifePo4 prismatic 3.7V 23Ah                                 | -                  | 11              | kg                     | Tahap Pembongkaran                                                               |
| Cover Atas                                                                | <i>Alloy steel</i> | 340             | g                      |                                                                                  |
| Cover Samping                                                             | <i>Alloy steel</i> | 1943            | g                      |                                                                                  |
| Wrap plastik                                                              | <i>PVC</i>         | 52              | g                      |                                                                                  |
| BMS dan kabel                                                             |                    | 225             | g                      |                                                                                  |
| Double Tap Foam                                                           |                    | 1               | g                      |                                                                                  |
| Lem Sealent                                                               |                    | 14              | g                      |                                                                                  |
| Cover Cell Baterai                                                        | <i>Epoxy Glass</i> | 348             | g                      |                                                                                  |
| Spongati                                                                  |                    | 41              | g                      |                                                                                  |
| Plat                                                                      | <i>Nickel</i>      | 61              | g                      |                                                                                  |
| Isolasi Serat                                                             | Fiber              | 64              | g                      |                                                                                  |
|                                                                           |                    |                 |                        |                                                                                  |
| Label                                                                     | <i>Paper</i>       | 2 x 0,8         | cm                     | Tahap Pengecekan Kapasitas Cell                                                  |
| Kertas Kuning Label                                                       | <i>Paper</i>       | 20 x 15,6       | cm                     |                                                                                  |
| Energi Multimeter                                                         | -                  | -               | -                      | Hasil Tahap Pengecekan Kapasitas Cell<br>1. 20 cell (IR 3,7- 4,2 mΩ)<br>(3,32 V) |
| Isolasi Serat                                                             | Fiber              | 166             | g                      | Tahapan <i>Refurbish</i>                                                         |
| Amplas Dinamo                                                             |                    | 3 x 12,9        | cm                     |                                                                                  |
| Waste Pelindung                                                           | <i>Plastic</i>     | 20              | g                      |                                                                                  |

|                     |                    |      |   |
|---------------------|--------------------|------|---|
| Kabel               |                    |      |   |
| Tembaga             |                    | 30   | g |
| Tenol               |                    |      | g |
| Captone Tap         |                    |      |   |
| BMS dan kabel       |                    | 25   | g |
| Spongati            |                    | 41   | g |
| Double Tap Foam     |                    | 2    | g |
| <i>Wrap</i> plastik | PVC                | 53   | g |
| Lem Sealent         |                    |      |   |
| Cover Atas          | <i>Alloy steel</i> | 340  | g |
| Cover Samping       | <i>Alloy steel</i> | 1943 | g |

## Formulir Evaluasi Capaian

### BORANG LUARAN RISETMU BATCH VII

**a. Skema Penelitian yang diikuti:**

Penelitian Fundamental Reguler II

**b. Luaran Wajib Penelitian (sesuai panduan):**

1. Satu artikel di jurnal nasional terakreditasi SINTA 2
2. \_\_\_\_\_

**c. Capaian Penelitian/Pengabdian kepada Masyarakat (wajib dipilih salah satu):**

1. <25%
2. 25% - 50%
3. 51% - 75%
4. **>75%**

**d. Target Publikasi Luaran wajib**

1. Jurnal 1

- a. Nama Penulis : Annie Purwani, Siti Mahsanah Budijati dan Hayati Mukti Asih
- b. Nama Jurnal : Jurnal Optimasi Sistem Industri (OPSI)
- c. Penerbit Jurnal : Jurusan Teknik Industri FTI UPN “Veteran” Yogyakarta
- d. Judul Artikel : Management of battery waste recycling by electric motorbike workshops : A literature review
- e. Lembaga Pengindeks : Googlescholar, Crossref, Garuda, Index Copernicus, Dimensions, Indonesia One Search, ROAD, DOAJ, sinta
- f. Quartil : - (sinta 2)
- g. Status : **Published**

*(Draft, Submitted, Under Review, Accepted, Published)*

2. Jurnal 2

- a. Nama Penulis : .....
- b. Nama Jurnal : .....
- c. Penerbit Jurnal : .....
- d. Judul Artikel : .....
- e. Lembaga Pengindeks : .....
- f. Quartil : .....
- g. Status : .....

*(Draft, Submitted, Under Review, Accepted, Published)*

**e. Kendala (apabila luaran wajib belum tercapai):**

Alhamdulillah sudah tercapai.

**f. Luaran Tambahan (diisi jika ada target luaran tambahan)**

Kemajuan pencapaian luaran tambahan:

1. Produk inovasi berupa hasil Kekayaan Intelektual/KI Paten/Paten sederhana/Desain industri

- a. Nama Inventor : .....
- b. Nama Pemilik Paten/Paten sederhana: .....
- c. Nomer Pendaftaran : .....
- d. Tanggal Pendaftaran : .....
- e. Status (*Draft*, Terdaftar) : .....

2. Produk inovasi berupa hasil Kekayaan Intelektual/KI Hak cipta yang bernilai komersial

- a. Nama Pencipta : .....
- b. Nama Pemilik Hak Cipta : .....
- c. Nomer Pendaftaran : .....
- d. Tanggal Pendaftaran : .....
- e. Status (*Draft*, *Granted*) : .....

3. Buku

- a. Nama Penulis : .....
- b. Nama Penerbit Buku : .....
- c. Nomer ISBN : .....
- d. Tanggal terbit : .....
- e. Status : .....

(*Draft*, Terkirim ke Penerbit, *Published*)

4. Publikasi di media massa

Link berita/artikel:

- 1. <https://www.instagram.com/p/C6usdBqviPd/?igsh=MWRrM25yd2NmbW1neQ==>
- 2. ....

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Mengetahui,  
Ketua LPPM

Ketua Peneliti,



(Prof. Ir. Anton Yudhana, S.T., M.T., Ph.D. )  
NIPM 19760808 200108 111 0886951

(Annie Purwani)  
NIPM 19711016 199601 011 0784707