

## RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN BATTERY PACK LITHIUM UNTUK KENDARAAN LISTRIK KONVERSI (BEATRIX)

Muh. Firdan Nurdin<sup>1</sup>, Sudirman<sup>2</sup>, Andi Erwin Eka Putra<sup>3</sup>, Novriany Amaliyah<sup>4</sup>, Dela Seviana<sup>5</sup>, Yulius Markus Molan<sup>6</sup>

<sup>1,2,5,6</sup>Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>3,4</sup>Universitas Hasanuddin, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

<sup>1</sup>firdan@borneo.ac.id

<sup>2</sup>sudirman\_dhuha@borneo.ac.id

<sup>3</sup>erwinep@eng.unhas.ac.id

<sup>4</sup>novriany@unhas.ac.id

<sup>5</sup>delaseviana4@gmail.com

<sup>6</sup>molanmolan06@gmail.com

**Abstract**—The use of electric vehicles (EVs) has been rapidly growing, encompassing both fully electric and converted models. A key component of EVs is the battery. This study focused on designing and testing a battery pack for a converted EV named BEATRIX, employing both analytical and experimental methods. The battery, constructed with lithium-ion cells and equipped with a smart management system, achieves a capacity of approximately 72-83V and 19.2Ah. It measures roughly 120mm x 120mm x 330mm and weighs about 5 kg. Testing results indicate that during the discharging process, the voltage and capacity decrease to 75V and 11.5Ah, respectively, while the electric current remains stable at around 4.83A and the temperature is held constant at 32°C. During the charging process, the voltage and capacity increase to 82.2V and 17Ah. Initially, the electric current stabilizes at around 4.38A for 10 to 70 minutes, then gradually decreases to 1.8A at the 100-minute mark, with the temperature remaining steady at 33°C.

**Keywords**—Battery Pack, Electric Vehicle, Lithium, Performance.

**Intisari**—Penggunaan kendaraan listrik terus meningkat mulai dari jenis kendaraan listrik murni hingga kendaraan bahan bakar fosil yang dikonversi menjadi kendaraan listrik. Pada umumnya, kendaraan listrik memiliki beberapa komponen utama salah satunya adalah baterai. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun battery pack untuk kendaraan listrik konversi (BEATRIX) dan mengujinya pada kondisi discharging dan charging. Metode yang digunakan adalah metode analitis dan eksperimen untuk membuat dan menguji performa baterai. Berdasarkan hasil penelitian ini, battery pack telah dibuat dengan spesifikasi kapasitas sekitar 72~83V 19,2Ah yang terdiri dari sel baterai lithium-ion dan dilengkapi dengan Smart Battery Management System. Baterai ini memiliki dimensi sekitar 120×120×330 mm dengan bobot sekitar 5 kg. Hasil pengujian baterai ini menunjukkan karakteristik performa yang baik selama proses discharging dimana tegangan dan kapasitasnya turun hingga mencapai 75V dan 11,5Ah, sementara arus listriknya stabil sekitar 4,83A dan temperatur baterai konstan di 32°C. Kemudian, baterai ini juga menunjukkan karakteristik performa yang baik selama proses charging dimana tegangan dan kapasitasnya naik hingga mencapai 82,2 V dan 17 Ah, sementara arus listriknya stabil sekitar 4,38A pada 10 – 70 menit dan turun hingga 1,8 A pada 100 menit sementara temperatur baterai konstan di 33°C.

**Kata Kunci**—Battery Pack, Kendaraan Listrik, Lithium, Performa.

### I. PENDAHULUAN

Saat ini, kendaraan listrik telah banyak digunakan sebagai kendaraan alternatif yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang kendaraan. Akan tetapi, kendaraan listrik masih memiliki harga jual yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kendaraan motor bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan konversi kendaraan motor bakar menjadi kendaraan listrik (kendaraan listrik konversi) dengan memodifikasi atau mengganti beberapa komponen kendaraan seperti motor bakar, tangki bahan bakar dan transmisi dengan komponen kendaraan listrik seperti motor listrik, baterai, dan controller [1].

Pada tahun 2023, Silalahi, dkk. telah membuat kendaraan listrik konversi dari sepeda motor matic Honda Beat Karbu 100cc menjadi sepeda motor listrik 2 kW yang dinamai BEATRIX [2]. Salah satu kendala yang dihadapi dari kendaraan listrik konversi BEATRIX adalah baterai yang mana harganya masih mahal dan masih sulit didapatkan di Kota Tarakan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian atau penelitian dalam membuat baterai kendaraan sepeda motor listrik. Seperti yang diketahui, salah satu komponen utama yang penting pada kendaraan listrik adalah baterai yang mana merupakan sumber penyimpanan energi listrik yang akan disuplai ke motor penggerak. Terdapat 2 (dua) jenis baterai yang biasanya digunakan pada kendaraan listrik, yakni baterai primer yaitu baterai sekali pakai (tidak dapat diisi ulang), dan Baterai sekunder yaitu baterai yang dapat dipakai berkali-kali (dapat diisi ulang) [3].

Untuk jenis baterai sekunder, dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis yang berbasis lithium ion yang mana sering digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik, diantaranya Baterai Lithium-ion (LIBs), dan Baterai Lithium Polymer (Li-Po). Kedua jenis baterai sekunder berbahan dasar lithium tersebut memiliki banyak kelebihan yaitu memiliki densitas energi dan densitas daya yang lebih tinggi, self discharge yang rendah, fast

charging, tidak ada efek memori dan siklus hidup yang lebih lama. Namun, baterai berbahan dasar lithium juga memiliki kekurangan yaitu sensitif terhadap temperatur.

Baterai berbasis lithium jenis LIBs yang banyak digunakan untuk keperluan kendaraan listrik adalah baterai tipe 18650 dan 21700. Kedua tipe baterai LIBs tersebut berbentuk tabung dan memiliki spesifikasi, yaitu tegangan sebesar 3.7V dan kapasitas sekitar 1500 - 3000 mAh (tipe 18650), dan 4800 – 5000 mAh (tipe 21700) [4], [5]. Dengan spesifikasi tersebut, baterai lithium jenis LIBs banyak digunakan dalam penelitian mengenai rancang bangun atau merakit battery pack untuk keperluan pembangkit listrik tenaga surya ataupun kendaraan listrik.

Ariyanto, dkk telah melakukan penelitian mengenai rancang bangun battery pack 48 V 50 Ah sebagai sumber energi untuk menggerakkan motor listrik BLDC 2000 Watt yang digunakan pada kendaraan listrik. Battery pack tersebut terdiri dari 32 buah baterai tipe 18650 dengan spesifikasi tegangan 3,7 V dan kapasitas 3000 mAh yang dirangkai secara seri (12 buah) dan paralel (19 buah) sehingga dapat digunakan selama 13 jam. Sama halnya dengan Wiguna, dkk juga telah melakukan penelitian terkait merakit battery pack dengan kapasitas 12 V 60 Ah menggunakan baterai tipe 18650. Sebanyak 36 buah baterai tipe 18650 yang mana terdiri dari 24 buah baterai 1200 mAh dan 12 buah baterai 2800 mAh dirangkai secara seri dan paralel sehingga mampu menghasilkan energi sebesar 720 Wh [6]. Dari beberapa penelitian tersebut, mayoritas masih menggunakan baterai LIBs tipe 18650, sementara tipe 21700 yang memiliki kapasitas lebih baik dibanding tipe 18650 masih jarang digunakan.

Mengacu pada penjelasan tersebut, maka pada penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun battery pack lithium menggunakan baterai LIBs tipe 21700 dan melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik performanya. Pemilihan baterai LIBs tipe 21700 didasari oleh spesifikasi kapasitas yang cukup baik untuk menghasilkan baterai kendaraan listrik yang cukup untuk menjangkau jarak tempuh sejauh kurang lebih 30 km.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Baterai Lithium-ion

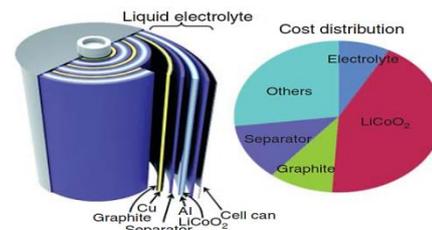
Lithium merupakan unsur logam ringan di alam, dengan berat atom 6,94, densitas  $0,534 \text{ g cm}^{-3}$ , dan potensial elektroda standar  $-3,045 \text{ V}$ , yang merupakan potensial terendah di antara semua elektroda logam. Pada tahun 1970-an, baterai logam lithium pertama dibuat dengan menggunakan sulfida titanium sebagai katoda dan logam lithium sebagai anoda. Namun, dendrit lithium yang disebabkan oleh pengendapan dan distribusi lithium yang tidak merata selama pengisian akan menyebabkan hilangnya lithium aktif yang besar secara permanen, dan bahkan korsleting baterai, sehingga baterai jenis ini dilarang untuk diisi ulang. Pada tahun 1980-an, ditemukan bahwa ion lithium dapat secara bebas dan bolak-balik masuk ke dalam material grafit, dan selanjutnya, baterai berhasil dibuat dengan menggunakan grafit sebagai bahan anoda. Ion lithium dapat keluar dan masuk secara bebas dan bolak-balik antara katoda dan

anoda, yang kemudian diberi nama "baterai lithium ion" [7].

Saat ini, baterai lithium-ion komersial menggunakan garam lithium logam transisi sebagai elektroda positif  $\text{Li}_x\text{M}_2$  (M mewakili logam transisi seperti Co, Mn, Ni, Fe, dll.), dan grafit berpori konduktif yang murah dan sangat baik sebagai elektroda negatif. Baterai lithium-ion tersebut banyak digunakan dalam produk digital, penyimpanan energi jaringan, kendaraan listrik (EV), kendaraan listrik hibrida (HEV), dan lain-lain.

### B. Struktur Dasar Baterai Lithium-ion

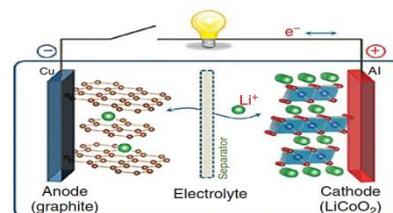
Komposisi baterai lithium-ion (Gambar 1) terdiri dari empat bagian berikut: katoda, anoda, elektrolit, dan separator. Fungsi utama bahan katoda adalah menyediakan ion lithium untuk keseluruhan sistem baterai. Saat ini, bahan utama elektroda positif adalah  $\text{Li}_2\text{M}$  (M = Co, Ni, Mn, dan logam transisi lainnya) dengan struktur berlapis, bahan terner ( $\text{Li}[\text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}]_2$ ),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , dan  $\text{LiMPO}_4$  (M = Fe, Co, Ni, Mn, dan lainnya) dengan struktur spinel. Bahan katoda komersial utama baterai lithium-ion adalah  $\text{LiCoO}_2$ . Biaya bahan ini dapat mencapai setengah dari total biaya baterai lithium-ion. Kapasitas teoritisnya sebesar  $274 \text{ mAh g}^{-1}$ , dan tegangan pelepasan sebesar  $3.6 \text{ V}$  [7].



Gambar 1. Ilustrasi struktur baterai lithium-ion dan biaya relatif tiap komponennya [7]

### C. Prinsip Kerja Baterai Lithium-ion

Prinsip kerja baterai lithium-ion (Gambar 2) merupakan proses sederhana di mana ion lithium secara terus menerus tertanam dan terlepas antara katoda dan anoda. Intinya, ini adalah sejenis baterai konsentrasi. Selama proses pengisian, terjadi reaksi oksidasi pada bahan katoda dan ion lithium berpindah dari katoda ke anoda. Ion lithium tertanam dalam bahan anoda setelah melewati elektrolit dan separator. Bersamaan dengan itu, elektron mencapai anoda melalui sirkuit eksternal. Selama pengosongan, ion lithium dilepaskan dari anoda dan dipindahkan ke katoda serta tertanam dalam bahan katoda, disertai dengan perpindahan elektron dalam sirkuit eksternal.

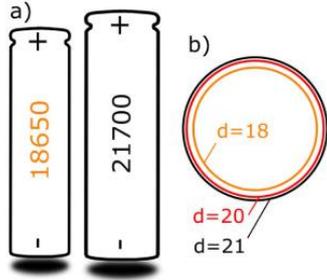


Gambar 2. Prinsip kerja baterai lithium ion [7]

### D. Baterai Lithium-ion tipe 18650 dan 21700

Sejak diluncurkan ke pasar pada tahun 1994, baterai tipe 18650 menjadi standar populer untuk sel Li-ion di

seluruh industri baterai. Dengan melakukan penambahan diameter sebesar 3 mm dan tinggi 5 mm, maka dapat menghasilkan baterai tipe yang baru yaitu tipe 21700 (Gambar 3). Melalui evaluasi sel komersial, baterai tipe 21700 dapat menghasilkan jumlah energi sekitar 50% lebih banyak per sel untuk pengosongan 0,5C dibandingkan dengan baterai tipe 18650. Ini berpotensi mengurangi biaya produksi, karena 33% lebih sedikit sel yang harus diproduksi untuk jumlah energi yang serupa [8]. Beberapa spesifikasi baterai tipe 18650 dan 21700 dari hasil penelitian untuk variasi 3 produsen baterai menunjukkan berbagai parameter seperti energi, densitas energi, energi spesifik, data dimensi, dan voltase masing-masing tipe baterai.



Gambar 3. Perbandingan ukuran baterai lithium-ion tipe 18650 (t = 65mm, d = 18mm), dan 21700 (t = 70mm, d = 21mm) [5]

E. Perancangan Battery Pack

Dalam proses perakitan battery pack, hal yang perlu dipertimbangkan terlebih dahulu adalah besar kapasitas baterai yang akan digunakan untuk kendaraan listrik. Menurut Hasbillah, kapasitas baterai pada kendaraan listrik sangat penting diperhitungkan, karena dengan memperhitungkan kapasitas baterai, nantinya dapat mengetahui lama pemakaian pada kendaraan listrik tersebut [9].

Kapasitas baterai pada kendaraan listrik dapat dihitung dengan menentukan beberapa parameter yakni jarak dan waktu tempuh maksimum yang ditargetkan, asumsi tegangan baterai, dan kapasitas daya motor listrik. Berdasarkan beberapa parameter tersebut, maka kapasitas baterai dan arus baterai yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

a. Rumus kapasitas daya yang dibutuhkan ( $P_c$ )

$$P_c = P_m \times t \tag{1}$$

Dimana :

$P_c$  : Kapasitas daya baterai yang dibutuhkan (Wh)

$P_m$  : Daya motor listrik (Watt)

$t$  : Waktu pemakaian baterai (hour)

b. Rumus arus baterai yang dibutuhkan (I)

$$I_c = \frac{P_c}{V} \tag{2}$$

Dimana :

$I_c$  : Kapasitas arus baterai (Ah)

$V$  : Tegangan baterai (Volt)

Setelah menentukan kapasitas daya dan arus yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan pememilihan jenis dan

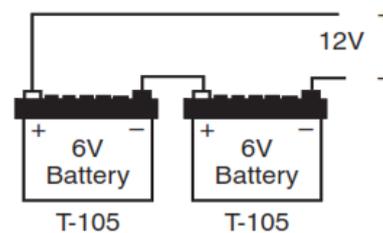
tipe baterai. Baterai lithium-ion (Li-ion) merupakan jenis baterai yang banyak digunakan dalam kendaraan listrik dan kendaraan listrik hibrida. Baterai Li-ion merupakan baterai dengan tingkat self-discharge yang rendah, tegangan operasi yang tinggi, densitas energi yang tinggi, umur pakai yang lebih lama dibandingkan dengan baterai berbasis nikel dan lead-acid dan juga pengisian cepat dapat diterapkan pada baterai Li-ion. Baterai lithium-ion memiliki beberapa tipe yang umum di pasaran yakni tipe 18650 dan 21700 yang mana memiliki spesifikasi masing-masing (tabel 1). Baterai lithium-ion tipe 21700 sering digunakan dalam merancang bangun battery pack karena memiliki kapasitas yang lebih baik dibandingkan tipe 18650 [6].

Tabel I.

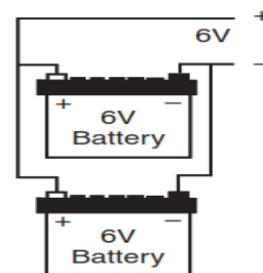
Spesifikasi baterai lithium-ion tipe 18650 dan 21700 [5]

Tipe sel baterai	Energi per sel (Wh)	Densitas energi (Wh/l)	Energi spesifik (Wh/kg)
18650-A1	5.13	314.4	114.0
18650-B1	9.13	538.7	206.2
18650-C1	11.23	670.0	231.5
21700-E1	13.15	519.1	207.1
21700-G1	16.77	684.2	239.5
21700-H1	16.32	672.1	236.5

Setelah kapasitas dan jenis baterai ditentukan, selanjutnya ditentukan konfigurasi baterai yang mana digunakan dalam membuat battery pack yang terdiri dari beberapa sel baterai. Konfigurasi baterai terdiri dari 2 (dua), yaitu konfigurasi seri dan paralel. Ketika empat baterai 6-V, 50-Ah dihubungkan secara seri, tegangannya menjadi dua kali lipat sebesar 12 V, tetapi kapasitas ampere-jam tetap 50 Ah dan menghasilkan daya total sebesar  $50 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 600 \text{ Wh}$  (Gambar 4). Konfigurasi baterai secara seri digunakan untuk meningkatkan tegangan baterai pack (Carl, 2009). Jika menghubungkan dua baterai 6-V, 50-Ah secara paralel, maka akan menghasilkan total kapasitas penyimpanan 100 Ah pada 6 V atau daya sebesar 600 Wh (Gambar 5).

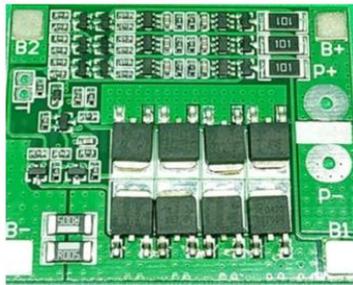


Gambar 4. Konfigurasi baterai seri [10]



Gambar 5. Konfigurasi baterai paralel [10]

Dalam merancang bangun battery pack dibutuhkan juga bahan pendukung baterai seperti battery management system (BMS). BMS (Gambar 6) merupakan suatu perangkat/komponen battery pack yang penting pada kendaraan listrik dan listrik hibrida. Tujuan BMS adalah untuk menjamin keamanan dan keandalan operasional baterai. Untuk menjaga keamanan dan keandalan baterai, fungsi-fungsi yang telah diterapkan dalam BMS adalah pemantauan dan evaluasi kondisi, kontrol pengisian daya, dan penyeimbangan sel [11].



Gambar 6. Battery Management System (BMS) [6]

#### F. Pengujian Battery Pack

Battery pack yang telah dirancang dan dibuat harus dilakukan pengujian untuk mengetahui performanya. Untuk menguji performa battery pack, parameter tegangan, kapasitas, arus, dan temperatur diukur secara aktual. Beberapa parameter tersebut diukur pada kondisi pengujian discharging (pengurasan energi) dan charging (pengisian energi). Pada penelitian Ariyanto, dkk tahun 2022 melakukan pengujian discharging battery pack menggunakan motor BLDC 2000W pada putaran 2600 – 3000 rpm (Gambar 7). Data yang diambil adalah tegangan keluaran battery pack dan kuat arus dengan durasi pengambilan data setiap 30 menit hingga tegangan luaran battery pack mencapai 39 volt.



Gambar 7. Rangkaian pengujian battery pack [4]

Pada penelitian Mauriraya, K tahun 2022 melakukan pengujian charging baterai lithium-ion untuk menganalisis karakteristiknya. Pada proses charging, terdapat 2 dua jenis pengaturan yaitu *constant current* dan *constant voltage* dan. *Constant current* digunakan untuk menaikkan tegangan secara continue dengan waktu yang lebih cepat, sementara *constant voltage* digunakan ketika tegangan telah mencapai batas yang ditentukan dan arus listrik akan berubah semakin menurun hingga baterai terisi penuh. Hasil pengujian tersebut menunjukkan karakteristik baterai pada parameter tegangan, kapasitas dan arus saat proses charging hingga mencapai durasi sebesar 9500 sekon atau hingga baterai terisi penuh [12].

### III. METODE PENELITIAN

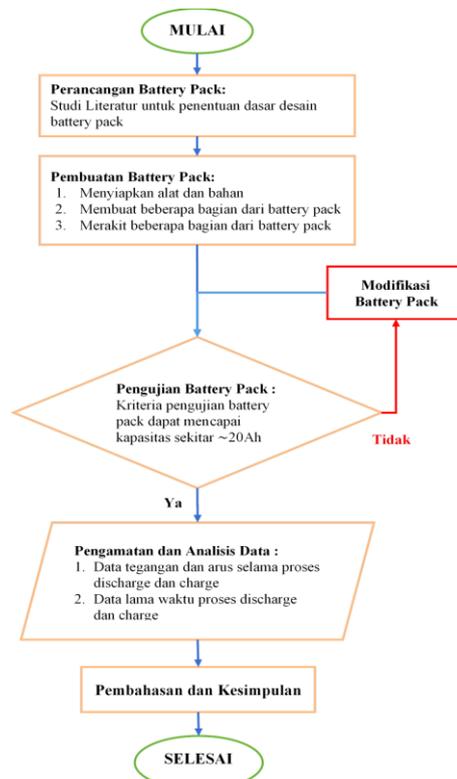
Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk merancang bangun battery pack 72V 20Ah yang akan diuji pada kendaraan listrik konversi (BEATRIX). Adapun beberapa peralatan yang digunakan dalam rancang bangun battery pack ini yaitu:

- 1) Multimeter digital
- 2) Kendaraan listrik konversi (BEATRIX)
- 3) Spot welding
- 4) Solder
- 5) Charger Sel Baterai
- 6) Adaptor charger kendaraan listrik

Sedangkan bahan yang digunakan yaitu:

- 1) Baterai Lithium Ion 21700 + Bracket
- 2) Smart Battery Management System
- 3) Plat nikel
- 4) Isolator
- 5) Kabel

Langkah-langkah dalam penelitian rancang bangun battery pack 72V 20Ah sebagai berikut:



Gambar 8. Diagram alir Penelitian

Berdasarkan gambar 8, langkah utama penelitian ini adalah merancang dan membuat battery pack dan menguji battery pack.

#### A. Perancangan battery pack

Battery pack Li-ion ini terdiri dari beberapa susunan baterai tipe 21700 dengan spesifikasi tegangan 3,7V dan kapasitas 4800 mAh yang mana dirangkai secara seri dan paralel untuk mencapai kapasitas yang ditargetkan yakni 72V 20Ah. Untuk mencapai tegangan 72V, maka digunakan rangkaian seri, sementara untuk mencapai

kapasitas 20Ah, maka digunakan rangkaian paralel. Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan pada rangkaian seri menggunakan kalkulasi sebagai berikut:

$$V_{\text{tot}}(\text{RS}) = N_{\text{baterai}} \times V_{\text{baterai}}$$

$$N_{\text{baterai}}(\text{RS}) = V_{\text{tot}}(\text{RS}) \div V_{\text{baterai}}$$

$$N_{\text{baterai}}(\text{RS}) = 72\text{V} \div 3,7\text{V} = \mathbf{19,45 \text{ buah} \approx 20 \text{ buah}}$$

Sementara untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan pada rangkaian paralel menggunakan kalkulasi sebagai berikut:

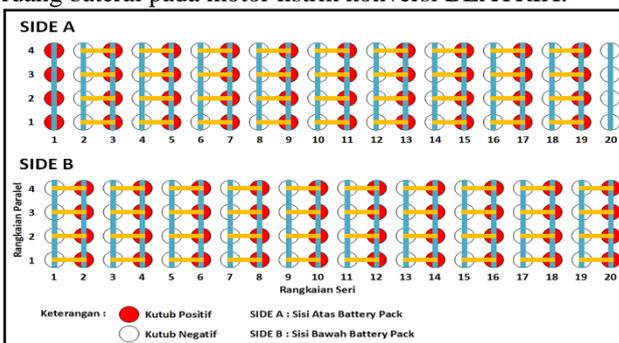
$$W_{\text{tot}}(\text{RP}) = N_{\text{baterai}} \times W_{\text{baterai}}$$

$$N_{\text{baterai}}(\text{RP}) = W_{\text{tot}}(\text{RP}) \div W_{\text{baterai}}$$

$$N_{\text{baterai}}(\text{RP}) = 20 \text{ Ah} \div 4,8 \text{ Ah} = \mathbf{4,167 \text{ buah}}$$

$$\cong \mathbf{4 \text{ buah}}$$

Berdasarkan dari kalkulasi rangkaian seri dan paralel maka jumlah total baterai yang dibutuhkan sekitar:  $N_{\text{tot}} = 20 \times 4 = \mathbf{80 \text{ buah}}$ . Selanjutnya dilakukan desain rangkaian seri dan paralel pada battery pack yang mana hasil desainnya dapat dilihat pada gambar 9. Gambar 9 menampilkan desain rangkaian seri paralel dari tiap cell baterai 21700 yang mana dibagi ke dalam 4 grup yang nantinya disusun secara bertingkat untuk menyesuaikan ruang baterai pada motor listrik konversi BEATRIX.



Gambar 9. Rangkaian Seri dan Paralel Battery Pack Li-ion 72V 20Ah

Selanjutnya dilakukan penentuan battery management system (BMS) dengan menghitung kebutuhan kapasitas charge dan discharge rate untuk battery pack 72V 20 Ah sebagai berikut :

Dengan asumsi/pendekatan:

- Jumlah sel baterai yang disusun seri sekitar 20 buah (20S) dengan spesifikasi kapasitas 3,7V 4800mAh
- Daya beban motor listrik yang dimiliki BEATRIX sebesar 2kW
- Perbandingan kapasitas charge dan discharge rate yakni 0,5 : 1

Maka, kebutuhan kapasitas charge dan discharge rate adalah

$$\text{discharge rate} = \frac{\text{Daya beban Motor}}{\text{Jumlah sel baterai} \times \text{tegangan baterai}}$$

$$\text{discharge rate} = \frac{2000 \text{ Watt}}{20 \times 3,7\text{V}}$$

$$\text{discharge rate} = \mathbf{27\text{A} \approx 40\text{A}}$$

$$\text{Charge rate} = 0,5 \times 40\text{A} = \mathbf{20\text{A}}$$

Berdasarkan hasil kalkulasi kebutuhan di atas, maka spesifikasi BMS yang dibutuhkan adalah tipe 20S 40-60A.

## B. Pembuatan Battery Pack

Proses pembuatan battery pack Li-Ion dengan kapasitas 72V 20Ah dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu tahap persiapan sel baterai, tahapan penyambungan antar sel baterai, tahapan pemasangan BMS, tahapan pengujian battery pack, dan tahapan finishing battery pack. Tahapan persiapan diawali dengan mengecek kondisi sel baterai tipe 21700 yang telah dibeli dengan menggunakan Smart Universal Charge Model Lii-500 dari LiitoKala yang mana alat ini memiliki fungsi untuk menguji kondisi dan mengisi ulang kapasitas tiap sel baterai melalui fitur Charge, Fast Test dan Normal Test. Hasil pengujian dan pengisian tiap sel baterai menunjukkan kapasitas rata-rata sekitar 4.2 V 4639 mAh.

Selanjutnya antar tiap sel baterai dihubungkan dengan menggunakan plat nikel yang dilas ke tiap kutub baterai sesuai dengan rancangan hubungan seri-paralel battery pack. BMS kemudian dipasang sesuai dengan wiring diagram pada manual book BMS dengan tipe 20S. Setelah pemasangan BMS, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengecekan hasil pemasangan dan penyetelan battery pack melalui aplikasi BMS 100 Balance yang mana berfungsi untuk mengetahui pembacaan BMS terhadap beberapa parameter baterai seperti kondisi tegangan, temperatur, state of charge (SOC), total kapasitas baterai, dan proses smart balancing tiap sel baterai.

Setelah dilakukan penyetelan baterai pada aplikasi BMS 100Balance, proses pembuatan dilanjutkan pada tahap akhir yaitu dengan memasang connector socket input/output dan cover battery pack. Hasil akhir pembuatan battery pack dapat dilihat pada gambar 10 yang mana memiliki dimensi sebesar 120×120×330 mm dan berat sekitar 5 kg.



Gambar 10. Hasil Akhir Battery Pack 72V 20Ah

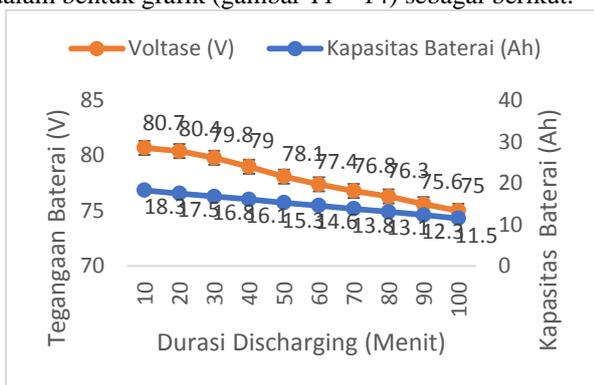
## C. Pengujian Battery Pack

Pada tahap pengujian, battery pack akan aplikasikan ke kendaraan listrik konversi (BEATRIX) dimana pengujian battery pack ini terdiri dari 2 kondisi yaitu pengujian discharging dan charging. Pengujian discharging adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menghubungkan baterai pada sistem kendaraan BEATRIX yang memiliki daya motor listrik sebesar 2kW dengan pembukaan throttle sebesar 100% selama durasi

waktu 0 – 100 menit. Sementara pengujian charging adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menghubungkan battery pack pada sistem charge (pengisian ulang energi) kendaraan BEATRIX menggunakan adaptor 72V 5A selama durasi 0-100 menit. Kedua kondisi pengujian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tegangan, arus, kapasitas dan temperatur dari battery pack selama proses discharging (pengurasan energi) dan charging (pengisian energi).

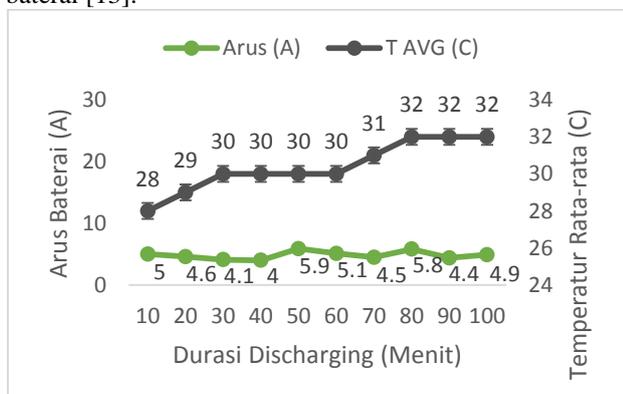
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun data hasil pengujian discharging dan charging battery pack pada kendaraan listrik BEATRIX disajikan dalam bentuk grafik (gambar 11 – 14) sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik tegangan dan kapasitas baterasi selama durasi discharging

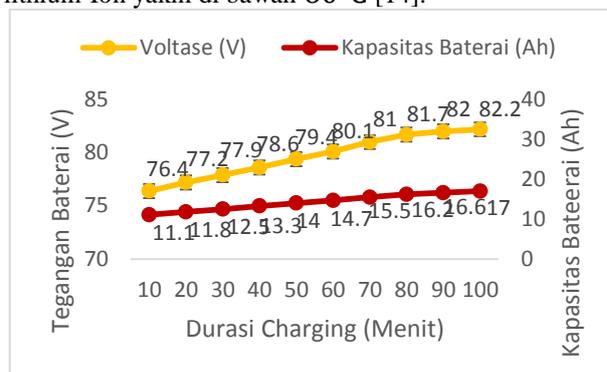
Grafik pada gambar 11 menunjukkan karakteristik tegangan dan kapasitas battery pack selama durasi pengujian discharging dimana trendline dari kedua parameter tersebut adalah turun seiring dengan durasi pemakaian energi dari battery ke sistem kontrol dan motor listrik kendaraan BEATRIX yang semakin lama. Dari grafik tersebut dapat diperkirakan energi listrik battery pack pada kondisi awal sekitar 1,477 kWh dan setelah proses discharging energi listrik yang tersisa sekitar 0,862 kWh. Dari data tersebut, menunjukkan konsumsi energi listrik dari baterai selama durasi discharging sekitar 0,625 kWh. Selain pengaruh dari durasi discharging, parameter beban juga dapat mempengaruhi tegangan dan kapasitas baterai [13].



Gambar 12. Grafik arus dan temperatur rata-rata battery pack selama durasi discharging

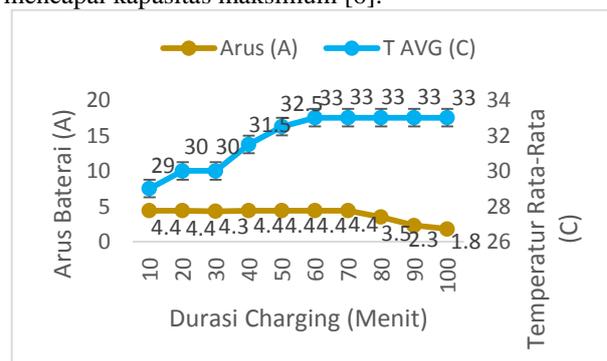
Sementara grafik pada gambar 12 menunjukkan karakteristik arus dan temperatur battery pack selama

durasi pengujian discharging dimana trendline dari arus battery pack adalah konstan dengan rata-rata sekitar 4,38A. Dengan terukurnya nilai arus membuktikan bahwa battery pack dapat bekerja menyuplai energi listrik pada kendaraan BEATRIX pada kondisi arus yang stabil di bukaan throttle 100%. Sementara trendline dari temperatur rata-rata baterai adalah naik dari 28°C hingga 32°C. Hal ini menunjukkan selama proses discharging terjadi peningkatan temperature baterai yang mana masih diambang batas aman dari high temperature dari baterai lithium-Ion yakni di bawah 60°C [14].



Gambar 13. Grafik Tegangan dan Kapasitas Baterai terhadap Durasi Charging

Berbeda dengan hasil dari grafik pada gambar 11, grafik pada gambar 13 menunjukkan karakteristik tegangan dan kapasitas battery pack selama durasi pengujian charging dimana trendline pada kedua parameter tersebut adalah naik seiring dengan proses charging battery (pemasukan energi). Dari grafik tersebut dapat diperkirakan energi listrik battery pack pada kondisi awal sekitar 0,848 kWh dan energi listrik setelah proses charging sekitar 1,397 kWh. Hal ini menunjukkan energi listrik bertambah sekitar 0,549 kWh. Selama proses charging, besarnya arus yang masuk ke battery pack mempengaruhi lama pengisian battery pack hingga mencapai kapasitas maksimum [6].



Gambar 14. Grafik Arus dan Temperatur Rata-Rata Baterai Terhadap Durasi Charging

Sementara, karakteristik temperatur rata-rata baterai selama durasi charging yang disajikan dalam grafik pada gambar 14 sama dengan grafik pada gambar 12 yang mana terjadi peningkatan temperatur mencapai 33°C yang mana lebih tinggi 1°C dibandingkan saat pengujian discharging. Kenaikan temperatur tersebut dipengaruhi oleh besar arus yang masuk dan durasi charging battery

pack [6]. Sementara pada parameter arus charging cenderung stabil sekitar 4,38 A pada menit 10 – 70 menit. Namun pada menit selanjutnya, karakteristik pada parameter arus listrik baterai terjadi penurunan berkisar dari 3,5; 2,3; dan 1,8 A pada durasi charging 80, 90, dan 100 menit, masing-masing. Sedangkan karakteristik arus listrik baterai pada pengujian discharging relatif konstan. Terjadinya penurunan arus listrik tersebut dikarenakan ketika proses charging, sistem pada BMS memberikan arus listrik yang konstan hingga mencapai tegangan maksimum charging baterai kemudian sistem BMS akan menurunkan arus listrik untuk menjaga tegangan agar tidak terjadi overcharging pada tiap sel dari battery pack [15].

## V. KESIMPULAN

Hasil rancang bangun battery pack memiliki spesifikasi 72 V 19,2 Ah yang mampu mencapai maksimal tegangan sebesar 82,8 V. Battery pack ini terdiri dari susunan seri-paralel baterai Li-ion tipee 21700 yang mana dilengkapi dengan BMS smart balancing and protection. Dimensi battery pack ini adalah  $120 \times 120 \times 330$  mm. Karakteristik performa battery pack selama proses discharging 100 menit menunjukkan hasil yang cukup baik dimana pada parameter tegangan dan kapasitas arus memiliki trendline turun hingga mencapai 75 V dan 11,5 Ah, sementara pada parameter arus cenderung stabil sekitar 4,83 A dan temperatur baterai konstan sekitar  $32^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan karakteristik performa battery pack selama proses charging 100 menit juga menunjukkan hasil yang cukup baik dimana pada parameter tegangan dan kapasitas arus memiliki trendline naik hingga mencapai 82,2 V dan 17 Ah, sementara pada parameter arus juga cenderung stabil sekitar 4,38 A pada 10-70 menit dan selanjutnya turun hingga 1,8 A pada 100 menit dan temperatur baterai konstan sekitar  $33^{\circ}\text{C}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dukungan materi sehingga penelitian tentang rancang bangun baterai kendaraan listrik dapat terlaksana.

## REFERENSI

- [1] J. T. Santoso, *Sepeda listrik Perencanaan, Perakitan dan Perbaikan*. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik Bersama Universitas STEKOM, 2022.
- [2] P. R. L. Silalahi, "MODIFIKASI SEPEDA MOTOR HONDA BEAT KARBU 110 CC MENJADI ELECTRIC VEHICLE 2 kW," pp. 1–78, 2023.
- [3] G. F. Akmal, "RANCANG BANGUN SEPEDA MOTOR LISTRIK DENGAN MEMAKAI BODY DAN CHASSIS BEAT BEKAS," Surabaya, 2022. [Online]. Available: [http://eprints.polsri.ac.id/13351/%0Ahttp://eprints.polsri.ac.id/13351/1/FILE I COVER - DAFTAR LAMPIRAN.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/13351/%0Ahttp://eprints.polsri.ac.id/13351/1/FILE_I_COVER_-_DAFTAR_LAMPIRAN.pdf).
- [4] N. A. Ariyanto, F. Fatkhurrozak, and D. Prasetyo, "Rancang Bangun Battery Packlithium 48 V 50 Ah," *Eksergi J. Tek. Energi*, vol. 18, no. 01, pp. 1–9, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i02.1740.
- [5] J. B. Quinn, T. Waldmann, K. Richter, M. Kasper, and M. Wohlfahrt-Mehrens, "Energy Density of Cylindrical Li-

- Ion Cells: A Comparison of Commercial 18650 to the 21700 Cells," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, no. 14, pp. A3284–A3291, 2018, doi: 10.1149/2.0281814jes.
- [6] A. R. Wiguna, T. Toha, N. Nadhiroh, S. L. Kusumastuti, and M. Dwiyaniti, "Rancang Bangun Dan Pengujian Battery Pack Lithium Ion," *Electrices*, vol. 3, no. 1, pp. 28–33, 2021, doi: 10.32722/ees.v3i1.4030.
- [7] J. Ma, *Battery Technologies Materials and Components*. Xiyuan Ave West Hi-Tec: WILEY-VCH, 2021.
- [8] T. Waldmann, R. G. Scurtu, K. Richter, and M. Wohlfahrt-Mehrens, "18650 vs. 21700 Li-ion cells – A direct comparison of electrochemical, thermal, and geometrical properties," *J. Power Sources*, vol. 472, no. May, p. 228614, 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228614.
- [9] R. Hasbillah, P. Studi, T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "LAPORAN TUGAS AKHIR / CAPSTONE DESIGN EM-PUS: Elektrik Motor Kampus Sebagai Rancang Bangun Kendaraan Listrik di Wilayah Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia EM-PUS: Elektrik Motor Kampus Sebagai Rancang Bangun Kendaraan Listrik di Wilayah Kampus T," no. 18524079, pp. 1–76, 2021.
- [10] V. Carl, *Build Your Own Electric Motorcycle*, First Edit. New York City: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2009.
- [11] Y. Xing, E. W. M. Ma, K. L. Tsui, and M. Pecht, "Battery management systems in electric and hybrid vehicles," *Energies*, vol. 4, no. 11, pp. 1840–1857, 2011, doi: 10.3390/en4111840.
- [12] K. T. Mauriraya, N. Pasra, A. Fernandez, and Christiono, "ANALISIS KARAKTERISTIK BATERAI LITHIUM-ION PADA KENDARAAN," *Pros. NCIET Vol.3*, vol. 3, pp. 95–102, 2022, [Online]. Available: <https://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/download/319/328>.
- [13] T. P. Cahyono, T. Hardianto, and B. S. Kaloko, "Pengujian Karakteristik Baterai Lithium-Ion Dengan Metode Fuzzy Dengan Beban Bervariasi," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 6, no. 3, p. 82, 2020, doi: 10.19184/jaei.v6i3.19708.
- [14] Y. S. Duh *et al.*, "Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles: A review," *J. Energy Storage*, vol. 41, no. July, p. 102888, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102888.
- [15] Y. Miao, P. Hynan, A. Von Jouanne, and A. Yokochi, "Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements," *Energies*, vol. 12, no. 6, pp. 1–20, 2019, doi: 10.3390/en12061074.