

Rancang Bangun Battery Pack Lithiu 144V/220Ah untuk Mobil Listrik

Egi Sunardi^{1*)}, Maria Bestarina Laili²⁾, Jelita Permatasari³⁾, Hanopa Abdul Hidayah⁴⁾, Diky Zakaria⁵⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro - Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

²⁾Hidtech Group

Kp tambakan, RT.01 RW01, Rancamanyar, Kec. Baleendah, Bandung 40375

³⁾Mekatronika dan Kecerdasan Buatan, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Veteran No.8, Nagri Kaler, Kec. Purwakarta, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat 41115

^{*}Korespondensi : egi.sunardi@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) semakin pesat dalam berbagai aspek, didorong oleh kebutuhan akan solusi transportasi yang ramah lingkungan dan efisien. Kendaraan listrik digerakkan oleh motor listrik, yang membutuhkan sumber energi berupa baterai yang disusun dalam bentuk battery pack. Battery pack adalah rangkaian sel baterai yang diatur secara seri dan paralel untuk memenuhi spesifikasi energi yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik. Saat ini, baterai lithium dianggap sebagai pilihan terbaik untuk kendaraan listrik karena memiliki keunggulan dalam hal kepadatan energi dan biaya per siklus dibandingkan jenis baterai lainnya. Pada perancangan battery pack ini, spesifikasi kendaraan memerlukan tegangan 144V untuk menggerakkan motor listrik, dengan target penggunaan selama 5 jam, sehingga kapasitas yang dirancang adalah 220Ah. Baterai yang digunakan adalah jenis Lithium Ferro Phosphate (LFP) dengan spesifikasi 3.2V dan 22Ah. Berdasarkan perhitungan matematis, desain battery pack ini menggunakan 10 baterai pada rangkaian paralel dan 48 rangkaian seri untuk mencapai spesifikasi yang dibutuhkan. Perancangan juga mempertimbangkan ruang maksimum di dalam kendaraan, dengan battery pack dibagi menjadi dua bank yang ditempatkan di bagian depan dan belakang kendaraan untuk menjaga pusat gravitasi yang seimbang. Setelah perakitan, pengukuran tegangan menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang dicapai adalah 153,6 V. Pengujian dilakukan setelah baterai dipasang pada kendaraan, yang menunjukkan bahwa kendaraan dapat digunakan selama 19 jam dengan kuat arus rata-rata 11,5A. Maka dari hasil pengujian dapat dihitung kapasitas baterai sekitar 218.5Ah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa baterai tidak sepenuhnya sesuai dengan perhitungan teoritis, karena adanya faktor seperti karakteristik baterai dan kehilangan energi pada sistem kendaraan.

Kata kunci : Baterai Pak, Energi, Kapasitas, Kendaraan Listrik, Lithium, Seri Pararel,

Abstract

The development of electric vehicle (EV) technology is advancing rapidly in various aspects, driven by the need for environmentally friendly and efficient transportation solutions. Electric vehicles are powered by electric motors, which require an energy source in the form of a battery arranged into a battery pack. A battery pack consists of battery cells arranged in series and parallel to meet the energy specifications required by the electric vehicle. Currently, lithium batteries are considered the best choice for electric vehicles due to their advantages in energy density and cost per cycle compared to other types of batteries. In the design of this battery pack, the vehicle's specifications require a voltage of 144V to power the electric motor, with a target usage time of 5 hours, leading to a designed capacity of 220Ah. The battery used is a Lithium Ferro Phosphate (LFP) type with specifications of 3.2V and 22Ah. Based on mathematical calculations, the battery pack design utilizes 10 batteries in parallel and 48 in series to achieve the required specifications. The design also takes into account the maximum space inside the vehicle, with the battery pack divided into two banks placed in the front and rear of the vehicle to maintain a balanced center of gravity. After assembly, voltage measurements showed that the maximum voltage achieved was 153.6V. Testing was conducted after the batteries were installed in the vehicle, which showed that the vehicle could be operated for 19 hours with an average current of 11.5A. From the test results, the battery capacity was calculated to be approximately 218.5Ah. The test results indicate that the battery performance does not fully match the theoretical calculations, due to factors such as battery characteristics and energy losses in the vehicle system.

Keywords : Battery Pack, Energy, Capacity, Electric Vehicle, Lithium, Series Parallel

I. PENDAHULUAN

Info Makalah:

Dikirim : 05-25-2025;
Revisi 1 : 06-27-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +6281294118384
e-mail : egi.sunardi@ft.unsika.ac.id

Saat ini akibat dari isu pemanasan global dan lingkungan menyebabkan Masyarakat dunia lebih peka terhadap penggunaan energi ramah lingkungan dan efisien. Hal ini menyebabkan meningkatnya popularitas kendaraan Listrik atau Electric Vehicle (EV) untuk mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Namun demikian EV sebelumnya sudah dikembangkan di abad ke-19 hanya saja tergeser oleh kendaraan pembakaran dalam (ICE) karena harga minyak yang rendah[1], [2]. Namun saat ini dengan kesadaran lingkungan dan didukung regulasi pemerintah serta perkembangan teknologi salah satunya perkembangan teknologi

baterai maka EV mulai dikembangkan dan digunakan[3].

EV sendiri merupakan kendaraan dengan sumber penggerak motor Listrik untuk memutarakan rodanya, yang memerlukan sumber energi Listrik yang disimpan pada media penyimpanan berupa baterai, lalu energi dikendalikan oleh controller agar dapat memutarakan motor dengan baik [4] Penggunaan motor listrik sebagai penggerak utama maupun penggerak tambahan pada kendaraan efektif untuk mningkatkan efisiensi energi pada kendaraan dan mengurangi dampak polusi udara [5] .

Kendaraan listrik membutuhkan baterai sebagai sumber tenaga utama untuk mengoperasikan motor listrik, sistem pencahayaan, klakson, serta berbagai perangkat elektronik lainnya. Baterai ini dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu baterai primer, yang dirancang untuk sekali pakai dan tidak dapat diisi ulang, dan baterai sekunder, yang memiliki kemampuan untuk digunakan berulang kali karena bisa diisi ulang. Baterai sekunder bekerja melalui reaksi elektrokimia, di mana proses reaksinya dapat dibalik (reversible), sehingga memungkinkan penyimpanan dan pengeluaran energi berulang kali selama siklus penggunaan baterai tersebut. Baterai sekunder menjadi pilihan utama dalam kendaraan listrik karena sifatnya yang efisien dan ramah lingkungan dalam jangka Panjang [5].

Dalam pengembangan sistem penyimpanan energi untuk kendaraan listrik, ada berbagai jenis baterai sekunder yang bisa digunakan, di antaranya: (1) Baterai Lead Acid (Aki), (2) Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH), (3) Baterai Nickel-Cadmium (Ni-Cd), (4) Baterai Lithium-ion (LIBs), (5) Baterai Lithium Polymer (Li-Po), dan Lithium Iron Phosphate Battery (LiFePO4)[5].

Penelitian ini, fokus diarahkan pada penggunaan baterai Lithium. Lithium merupakan jenis baterai yang paling layak digunakan untuk kendaraan listrik roda empat di Indonesia dibanginkan jenis baterai lain seperti *Nickel Metal Hydride* (NiMH) dan *Lead Acid*. Penilaian tersebut berdasarkan beberapa kriteria diantaranya kepadatan energi, emisi proses produksi, energi proses manufacturing, ketersediaan bahan baku kritical, fasilitas daur ulang, serta biaya[6]. Secara spesifik Lithium Iron Phosphate (LiFePO4) Memiliki kelebihan dibandingkan jenis baterai lithium lainnya, termasuk stabilitas termal yang lebih baik, siklus hidup yang lebih panjang, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi, menjadikannya pilihan yang ideal untuk kendaraan listrik. Meskipun demikian, seperti halnya baterai berbasis lithium lainnya, LiFePO4 tetap memiliki sensitivitas terhadap suhu dan membutuhkan pengelolaan temperatur yang baik[7]. Baterai ini banyak digunakan pada kendaraan listrik jenis mobil, termasuk electric vehicle (EV) dan hybrid electric vehicle (HEV), serta sistem penyimpanan energi (ESS). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan battery pack dengan spesifikasi sesuai kebutuhan kendaraan listrik, Dimana kebutuhan yang diperlukan adalah tegangan 144V dengan kapasitass 220Ah untuk mengoperasikan kendaraan listrik dengan penggerak Motor Listrik 20KW.

II. STUDI LITERATUR

Kendaraan listrik merupakan solusi masa depan yang semakin diminati untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Di Indonesia kendaraan Listrik mulai dikenal dan dikembangkan di tahun 2012 yang diprakarsai oleh Menteri BUMN. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan kendaraan listrik, khususnya pada proses konversi dari kendaraan berbahan bakar bensin menjadi listrik, adalah penyediaan sistem penyimpanan energi yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem battery pack untuk berbagai jenis kendaraan listrik, tetapi masih ditemukan keterbatasan dalam hal kesesuaian dimensi baterai

Rancang Bangun Battery Pack Lithium 144V/220Ah untuk Mobil Listrik (Egi Sunardi, Maria Bestarina Laili, Jelita Permatasari, Hanopa Abdul Hidayah, Diky Zakaria: Halaman 11 - 22)

dengan ruang kendaraan, efisiensi pengisian dan pemakaian energi, serta optimalisasi konfigurasi rangkaian baterai dalam sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun battery pack lithium dengan tegangan 144V dan kapasitas 220Ah yang tidak hanya sesuai dengan kebutuhan daya motor listrik 20kW, tetapi juga menyesuaikan dengan keterbatasan ruang pada kendaraan hasil konversi. Perancangan ini diharapkan mampu menghasilkan konfigurasi battery pack yang optimal baik dari sisi performa kelistrikan maupun keamanan penggunaan. Penelitian ini juga melakukan pengujian terhadap hasil perancangan untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas aktual dengan perhitungan teoritis, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penyimpanan energi yang efisien dan aplikatif pada kendaraan listrik.

III. METODE

A. Road Map Penelitian

Road Map penelitian ini memiliki tujuan akhir yaitu perancangan Konversi kendaraan dengan bahan bakar bensin menjadi kendaraan listrik.



Gambar 1 Road Map Penelitian Konversi Kendaraan Listrik

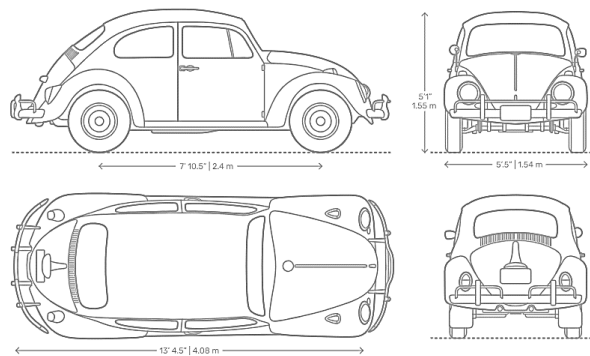
Berdasarkan Road Map tersebut, penelitian ini terletak pada Perancangan Battery Pack, dimana perancangan ini bertujuan untuk memenuhi spesifikasi kebutuhan energy pada kendaraan dan sesuai dengan dimensi yang tersedia pada kendaraan dan project dengan hasil akhir berupa Rancang bangun Mobil Listrik 20kw 144 VDC, dengan kebutuhan battery pack untuk memenuhi energy yang diperlukan kendaraan listrik tersebut maka penelitian ini berjudul “Rancang Bangun Battery Pack Lithium 144V/220Ah Untuk Mobil Listrik”. Maka luaran dari penelitian ini berupa battery pack untuk digunakan pada Mobil Listrik sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan yaitu 144V/220Ah.

- 1) Basic Kendaraan
- 2) Jenis Baterai

Basic Kendaraan ini adalah Volkswagen Beetle Tipe 1 memiliki ruang mesin di bagian belakang kendaraan, dengan rincian dimensi kendaraan pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1 Spesifikasi kendaraan

Parameter	Nilai
Panjang	13' 4,5" (4,08 m),
Jarak Sumbu Roda	7' 10,5" (2,4 m),
Lebar	5' .5" (1,54 m),
Tinggi	5'1" (1,55 m).
Berat	800Kg



Gambar 2 Dimensi Basic Kendaraan Listrik Volkswagen Beetle Tipe 1[8].

Tabel 1 menampilkan dimensi utama kendaraan dasar yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Volkswagen Beetle Tipe 1. Dimensi tersebut menjadi acuan penting dalam menentukan ukuran dan tata letak battery pack yang akan dirancang. Kendaraan ini memiliki ruang mesin di bagian belakang dan struktur sasis yang relatif kompak, sehingga menuntut perancangan battery pack yang efisien dan presisi agar tidak mengganggu kestabilan kendaraan. Gambar 1 memberikan visualisasi terhadap dimensi kendaraan tersebut, yang memperkuat pemahaman akan keterbatasan ruang yang tersedia, terutama dalam perencanaan penempatan dua bank baterai secara terpisah di bagian depan dan belakang kendaraan untuk menjaga keseimbangan distribusi massa. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan desain fisik battery pack yang sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan ruang kendaraan hasil konversi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa untuk merancang dan membangun battery pack lithium 144V/220Ah yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan listrik hasil konversi. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

- 1) Identifikasi Kebutuhan Energi Kendaraan
Menganalisis spesifikasi teknis kendaraan listrik, termasuk motor listrik 20kW dan durasi operasi 5 jam, untuk menentukan kebutuhan tegangan dan kapasitas baterai.
- 2) Perancangan Konfigurasi Battery Pack
Menentukan jenis sel baterai yang digunakan (LiFePO4 3.2V/22Ah), kemudian menghitung jumlah rangkaian seri dan paralel untuk mencapai spesifikasi 144V dan 220Ah. Pertimbangan desain juga meliputi efisiensi ruang, kestabilan tegangan, dan pusat gravitasi kendaraan.
- 3) Proses Perakitan dan Integrasi
Merakit 480 sel baterai ke dalam dua bank, masing-masing terdiri dari 24 seri dan 10 paralel, dilengkapi dengan sistem manajemen baterai (BMS) 24S 350A pada setiap bank. Koneksi antarsel menggunakan busbar tembaga sesuai kebutuhan arus.
- 4) Pengujian Kinerja Battery Pack
Melakukan pengujian discharging dan charging untuk mengevaluasi tegangan, arus, dan kapasitas aktual battery pack selama digunakan pada kendaraan. Data pengujian dikumpulkan dengan interval 30 menit.
- 5) Analisis Data Hasil Pengujian
Membandingkan hasil pengujian aktual dengan perhitungan teoritis untuk menilai efektivitas desain serta mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi akibat faktor teknis seperti resistansi internal sel dan distribusi beban.

B. Perancangan Battery Pack

Dalam rangka memenuhi kebutuhan spesifikasi 144V/220Ah, battery pack ini dirancang dengan cell baterai LifePO4 3.2V 22Ah.



Gambar 3 cell baterai LiFePo4 3.2V 22Ah

Tabel 2 Spesifikasi Baterai Lifepo4

Parameter	Nilai Besaran
Model	LiFePO4 3.2V 22Ah
Rated Capacity	22 Ah
Max Discharge Current	110 A
Cut-off Discharge Current	220 A
Nominal Voltage	3.2 V
Max Instant Discharge Current	220 A
Max Charge Voltage	3.65 V
AC Impedance Resistance	$\leq 3.0m\Omega$
Charging Temperature	0 - 45 ° C
Discharging Temperature	-20 - 60 ° C
Weight	570 ± 10g
Size	178 x 46mm

Dengan memanfaatkan rangkaian serie-pararel, Dimana Ketika baterai dirangkai secara series akan bertambah tegangannya (V) dan Ketika baterai dirangkai secara pararel akan bertambah kapasitasnya (Ah)[9].

Untuk memenuhi kebutuhan tegangan (V) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{bp} = V_c \cdot x \quad (1)$$

$$144V = 3.2V \cdot x$$

$$x = \frac{144V}{3.2V}$$

$$x = 45$$

Dimana :

V_{bp} = Tegangan Battery Pack

V_c = Tegangan Cell Baterai

x = jumlah rangkaian series

Untuk memenuhi kebutuhan kapasitas (Ah) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$A_{hbp} = A_{hc} \cdot y \quad (2)$$

$$220Ah = 22Ah \cdot y$$

$$y = \frac{220Ah}{22Ah}$$

$$y = 10$$

Dimana :

A_{hbp} = Tegangan Battery Pack

A_{hc} = Tegangan Cell Baterai

y = jumlah baterai pada rangkaian pararel

berdasarkan perhitungan tersebut untuk memenuhi spesifikasi kendaraan dibutuhkan 10 baterai pada tiap rangkaian paralel dan 45 rangkaian paralel yang diserikan.

Namun, ada beberapa hal yang harus diperhitungkan antara lain :

1) Overhead tegangan (Voltage Headroom)

Tujuan menjaga tegangan stabil: Menambahkan beberapa sel ekstra dalam rangkaian seri dapat memberikan tegangan tambahan yang berguna untuk memastikan tegangan sistem tetap stabil selama siklus pengosongan. Dengan 48 sel, tegangan nominal sistem akan menjadi sekitar 153.6V (48 x 3.2V), memberikan buffer terhadap penurunan tegangan karena beban atau penurunan kapasitas baterai seiring waktu.

2) Degradasi Baterai terhadap waktu

Menambahkan lebih banyak sel dalam rangkaian seri memberi margin ekstra untuk mengkompensasi penurunan tegangan di masa depan, sehingga umur pakai baterai secara keseluruhan bisa lebih lama sebelum performanya turun di bawah standar yang dapat diterima.

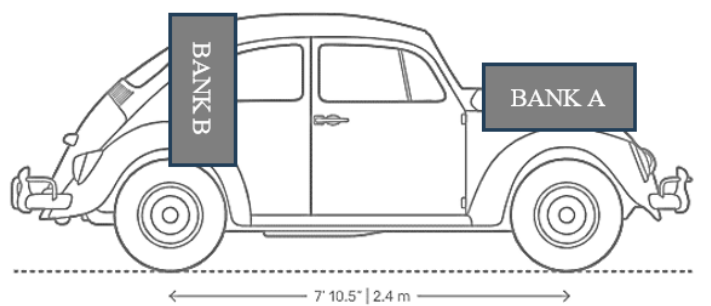
3) Cell Balancing

Meminimalkan efek dari sel yang performanya lebih rendah, sehingga sistem secara keseluruhan masih bisa berfungsi dengan baik meskipun ada sedikit perbedaan antar sel.

4) Keamanan dan Perlindungan baterai

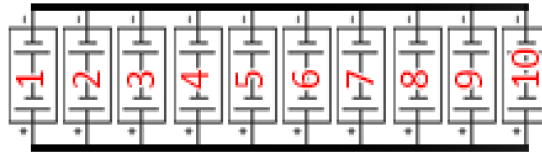
BMS (Battery Management System) pada kendaraan listrik sering kali memiliki proteksi terhadap tegangan rendah. Dengan menggunakan lebih banyak sel dalam seri, memastikan bahwa sistem tidak mencapai batas tegangan minimum terlalu cepat, yang dapat memperpanjang waktu operasi sebelum BMS mematikan sistem untuk melindungi baterai.

Selain dari menyesuaikan kebutuhan spesifikasi, baterai pack juga menyesuaikan dimensi dan ketersediaan ruang di kendaraan. Dimana dalam hasil observasi ketersediaan ruang maka perancangan baterai pack akan dibagi menjadi dua bank baterai. Bank pertama akan disimpan pada bagian depan mobil atau bagasi mobil, dan bank kedua akan disimpan pada belakang jok penumpang. Selain dari menyesuaikan ketersediaan ruang, perancangan ini juga akan berdampak baik pada Center of Gravity kendaraan yang akan lebih seimbang dimandingkan jika disimpan di salah satu bagian, khususnya jika disimpan di Tengah.

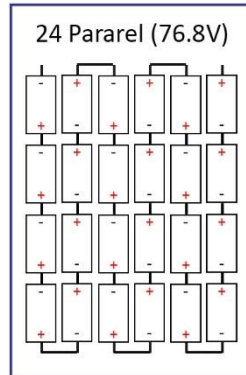


Gambar 4 perancangan bank baterai pack berdasarkan ketersediaan ruang

Berdasarkan beberapa hal yang menjadi pertimbangan, maka baterai pack ini akan ditambah 3 rangkaian serie. Maka secara keseluruhan rancangan baterai pack ini akan terbagi kedalam 2 bank baterai, Dimana setiap bank memiliki 24 rangkaian serie, dan tiap rangkaian serie terdapat 10 baterai yang dipararelkan, maka total cell yang dibutuhkan adalah 480 cell baterai LiFePo4.

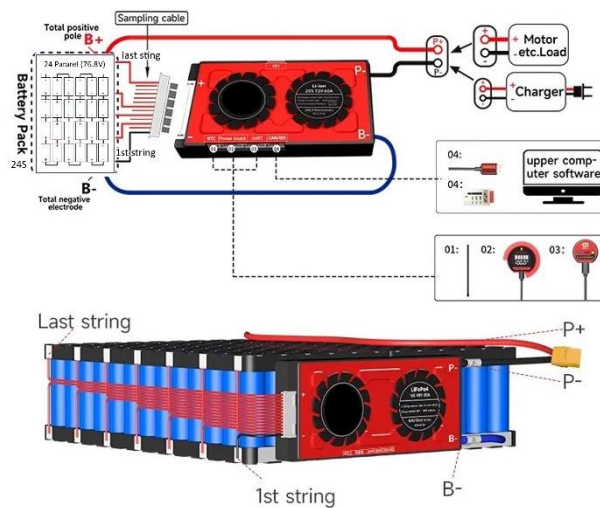


Gambar 5 rangkaian paralel dengan 10 cell baterai 220Ah



Gambar 6 rangkaian serie pada bank baterai

Setiap bank dilengkapi dengan Baterai Management System (BMS) dengan kapasitas 24S 350A untuk mengkontrol dan memonitoring kondisi baterai dan akan dihubungkan secara serie untuk kedua bank baterai tersebut.



Gambar 7 rangkaian BMS pada setiap bank baterai

1. Pengisian Baterai

Charger merupakan alat Pengisian baterai untuk mengisi daya pada baterai dengan mengalirkan arus melaluinya. Sistem Pengisian baterai yang digunakan adalah dengan Constant Current Constant Voltage (CCCV). Selama pengisian baterai akan diisi pada arus maksimum berdasarkan kapasitas baterai, setelah tegangan mencapai tegangan pengisian maksimum, tahap CV dimulai sehingga arus pengisian mulai berkurang. LiFePO4 memiliki toleransi terhadap protokol fast charging[10]. Sehingga Sistem Charging untuk kendaraan listrik ini akan menggunakan tegangan 144V dan Arus 22Ah. maka jika dikalkulasikan lama pengisian baterai adalah

$$\frac{220Ah}{22Ah} = 10jam \quad (3)$$

Maximum waktu pengisian baterai yang diperlukan adalah 10 jam

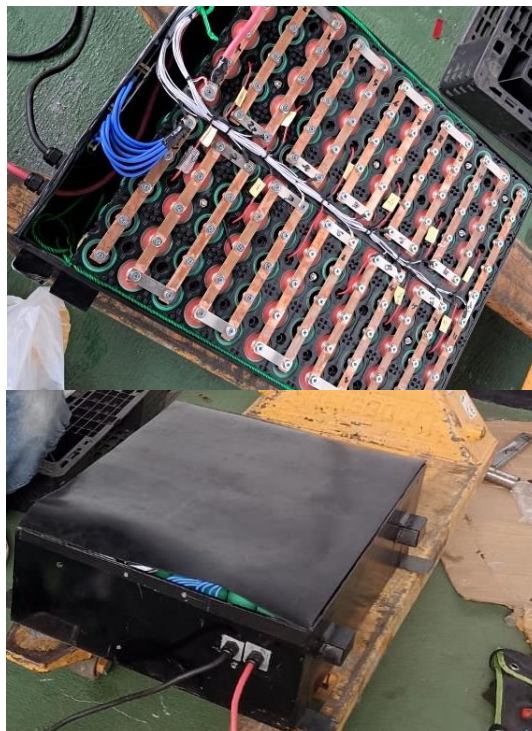
IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil

Setelah pengkabelan BMS, selanjutnya pengepakan pada casing battery pack yang dibuat secara custom berdasarkan dimensi baterai dan ruang yang tersedia pada mobil.



Gambar 8 bank B battery pack (bagian belakang)



Gambar 9 bank A battery pack (bagian depan)

Setelah baterai selesai dipasang pada kendaraan listrik, dan diuji coba sampai bisa dijalankan dengan baik, maka untuk battery pack dilakukan pengujian discharging battery pack. Pengujian dilakukan pada saat mobil berjalan serta battery pack terukur 153.6 V dengan kuat arus 138A.

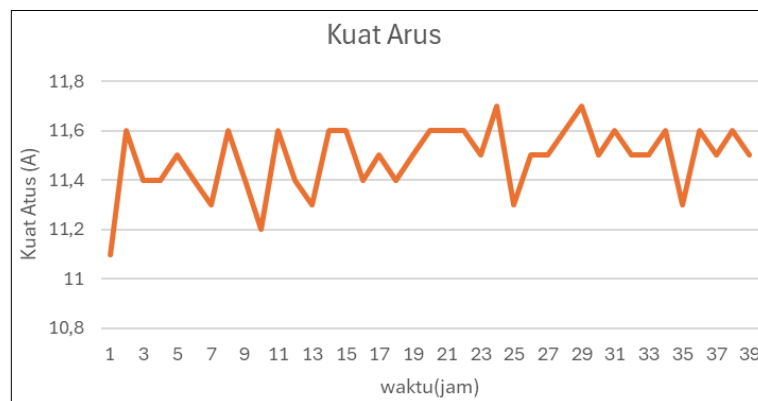
Rancang Bangun Battery Pack Lithiu 144V/220Ah untuk Mobil Listrik (Egi Sunardi, Maria Bestarina Laili, Jelita Permatasari, Hanopa Abdul Hidayah, Diky Zakaria: Halaman 11 - 22)

pengukuran proses discharging dilakukan secara berkala dengan interval waktu 30 menit. Proses berlangsung selama 20 jam pemakaian kendaraan, data yang diambil setiap 30 menit ditampilkan pada table 2.

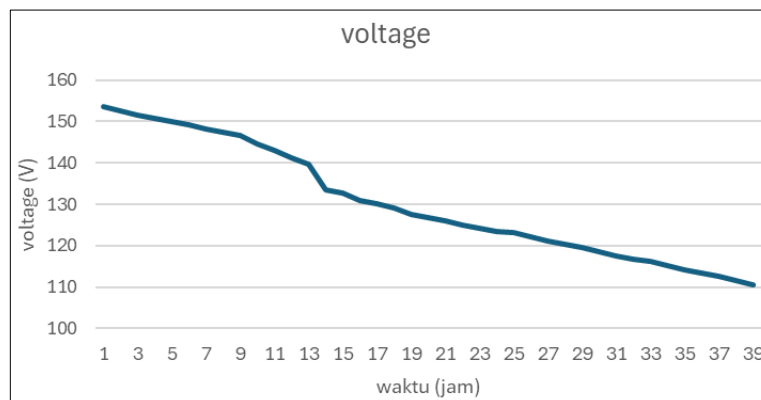
Tabel 3 Data Proses Discharging Battery Pack

Durasi(jam)	Kecepatan(rpm)	Voltase(V)	Arus(A)
0	5122	153,6	11,1
0,5	5111	152,6	11,6
1	5141	151,6	11,4
1,5	4504	150,8	11,4
2	5122	150,1	11,5
2,5	4120	149,1	11,4
3	4157	148,1	11,3
3,5	5095	147,3	11,6
4	5087	146,6	11,4
4,5	4111	144,6	11,2
5	5122	143,1	11,6
5,5	5090	141,3	11,4
6	5008	139,6	11,3
6,5	5900	133,6	11,6
7	5095	132,6	11,6
7,5	4130	130,8	11,4
8	4569	130,1	11,5
8,5	5087	129,1	11,4
9	5900	127,6	11,5

9,5	5122	126,8	11,6
10	4796	126,1	11,6
10,5	5008	125,1	11,6
11	4789	124,1	11,5
11,5	5095	123,3	11,7
12	4990	123,1	11,3
12,5	5567	122,1	11,5
13	5658	121,1	11,5
13,5	5122	120,3	11,6
14	4547	119,6	11,7
14,5	4796	118,6	11,5
15	4208	117,6	11,6
15,5	5995	116,8	11,5
16	5257	116,1	11,5
16,5	4796	115,1	11,6
17	5006	114,1	11,3
17,5	4872	113,3	11,6
18	4796	112,6	11,5
18,5	5122	111,6	11,6
19	4477	110,6	11,5
rata-rata	4961	130,2615	11,487



Gambar 10 Grafik kuat arus saat discharging battery pack

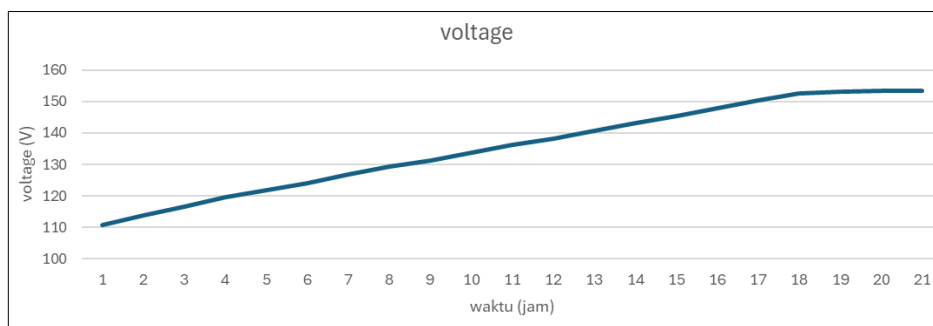


Gambar 11 grafik tegangan saat discharging battery pack

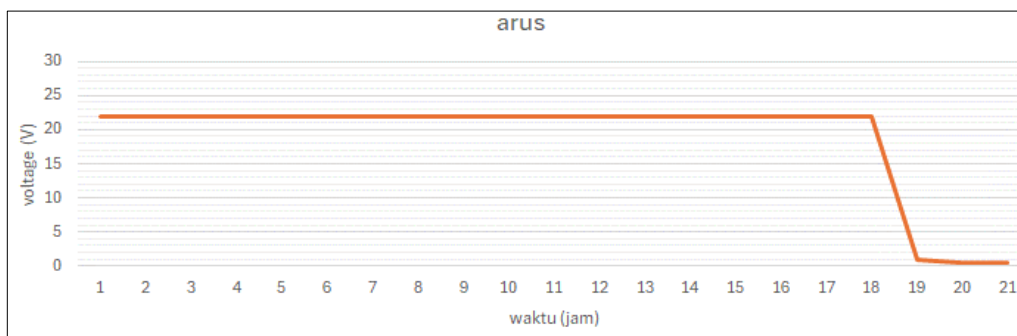
Selain mengukur discharge, dilakukan juga pengukuran charging pada battery pack. Pengukuran dilakukan saat baterai pack terpasang di mobil dimana total waktu pengisian daya berlangsung selama kurang lebih 10 jam sesuai dengan perhitungan matematis saat perancangan. dilakukan pengukuran secara manual dalam interval waktu setiap 30 menit. Berikut ini adalah data pengukuran charging pada battery pack yang ditampilkan pada table 3.

TABEL 3
 DATA PROSES CHARGING BATTERY PACK

Durasi(jam)	Voltase(V)	Arus(A)
0	110,8	22
0,5	113,8	22
1	116,7	22
1,5	119,6	22
2	121,8	22
2,5	124,1	22
3	126,9	22
3,5	129,2	22
4	131,4	22
4,5	133,7	22
5	136,2	22
5,5	138,3	22
6	140,7	22
6,5	143,2	22
7	145,4	22
7,5	147,9	22
8	150,4	22
8,5	152,6	22
9	153	0,9
9,5	153,3	0,6
10	153,5	0,5



Gambar 12 grafik tegangan saat charging battery pack



Gambar 13 grafik arus saat charging battery pack

B. Pembahasan

Secara umum, satu battery pack idealnya dikendalikan oleh satu BMS (Battery Management System) dengan jumlah kanal sesuai konfigurasi sel seri. Namun, karena keterbatasan ketersediaan BMS 48S di pasaran dan mempertimbangkan efisiensi waktu pelaksanaan, maka dipilih solusi teknis menggunakan dua BMS 24S, masing-masing mengelola satu bank baterai. Pemisahan ini mempermudah proses pengkabelan dan tata letak BMS karena setiap unit hanya mengelola satu bagian yang lebih kecil.

Dari sisi kelebihan, konfigurasi dua BMS memberikan keuntungan dalam hal:

- 1) Efisiensi Penempatan dan Instalasi: Dimensi dan jumlah kabel yang dibutuhkan lebih mudah ditata.

- 2) Pemantauan Lebih Lokal: Setiap bank memiliki pengawasan tegangan, arus, dan suhu secara mandiri.
- 3) Sistem Proteksi Terdistribusi: Proteksi terhadap over-voltage, under-voltage, dan over-temperature bisa terjadi pada masing-masing bank secara independen.

Namun demikian, penggunaan dua BMS juga memiliki beberapa tantangan teknis, di antaranya:

- 1) Ketidakseimbangan Beban Antar Bank: Saat beban tidak simetris, bank yang lebih dekat secara fisik ke beban akan menghantarkan arus lebih besar, berpotensi mempercepat degradasi sel di bank tersebut.
- 2) Kesulitan Balancing Total: BMS hanya melakukan balancing di dalam bank, sehingga antar bank tidak ada mekanisme penyamaan otomatis jika terjadi selisih kapasitas.
- 3) Ketergantungan pada Active Balancing: Dalam skenario beban lonjakan mendadak atau drop short, sistem sangat bergantung pada kemampuan balancing aktif dari masing-masing BMS untuk mempertahankan stabilitas sistem.

Sampai tahap ini, belum dilakukan pengujian kuantitatif untuk membandingkan performa antara konfigurasi dua BMS 24S dengan satu BMS 48S. Oleh karena itu, pengujian lanjutan diperlukan untuk menilai distribusi arus, efisiensi pengisian dan pemakaian energi, serta tingkat keausan sel pada kedua bank secara terpisah. Analisis komparatif dari aspek biaya, efisiensi manajemen termal, dan keselamatan juga akan sangat membantu dalam menentukan konfigurasi yang paling optimal untuk digunakan di kendaraan listrik jenis konversi.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utama, yaitu merancang dan membangun battery pack Lithium LiFePO₄ dengan spesifikasi 144V/220Ah untuk kendaraan listrik, dengan konfigurasi 2 bank baterai masing-masing 24 seri dan 10 paralel serta dilengkapi BMS 24S. Hasil pengujian menunjukkan bahwa battery pack mampu digunakan selama 19 jam dengan arus rata-rata 11,5A, sehingga kapasitas aktual mencapai 218,5Ah atau hanya berbeda 1,5Ah dari nilai rancangannya. Waktu pengisian daya juga sesuai perhitungan, yaitu sekitar 10 jam. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap kestabilan distribusi arus antar bank serta pengaruh konfigurasi BMS ganda terhadap performa jangka panjang dan keamanan sistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang terlibat pada makalah ini, Universitas Singaperbangsa Karawang, Universitas Pendidikan Indonesia dan Hidtech Group. Atas kerjasama semua pihak hasil penelitian dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Pandya and A. Agrawal, "A Detailed Study on Electric Vehicles," 2021. [Online]. Available: www.ijert.org
- [2] E. Sunardi, H. Hindersah, A. S. Rohman, and D. Zakaria, "Compensator Design for Power Loss Reduction on IGBT Switching," in *ICCoSITE 2023 - International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering: Digital Transformation Strategy in Facing the VUCA and TUNA Era*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 100–105. doi: 10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127822.
- [3] V. Tulus and P. Sidabutar, "Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya," 2020.
- [4] D. Zakaria, H. Hindersah, A. Syaichu-Rohman, and A. G. Abdullah, "PI and PI Antiwindup Speed Control of Switched Reluctance Motor (SRM)," in *Proceedings - 2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Intelligent Systems for the New Normal Era, ISITIA 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2021, pp. 46–51. doi: 10.1109/ISITIA52817.2021.9502255.

- [5] D. A. Seno, "Rancang Bangun Battery Packlithium 48 V 50 Ah," *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 2809–476, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i2.1740.
- [6] R. I. Sulistyowati, D. W. Karmiadji, L. Ode, and M. Firman, "Studi Kelayakan Jenis Baterai Kendaraan Listrik Roda Empat Dengan Metode Weigthed Objective Untuk Program Kendaraan Listrik Di Indonesia."
- [7] M. Khabibul, A. Rachmanto, L. T. Wibowo, and T. Paramitha, "Review : Metode Sintesis Katoda LiFePO 4 Baterai Lithium-Ion," 2019. [Online]. Available: <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- [8] Bryn, "Volkswagen Beetle Type 1." Accessed: Sep. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.dimensions.com/element/volkswagen-beetle-type-1>
- [9] I. Ashari and A. Faisal, "The Analysis Of Voltage Optimization System With Pararel Series Arranger In Solar Cell," *JEEM ECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)*, vol. 3, no. 2, Aug. 2020, doi: 10.26905/jeemecs.v3i2.4731.
- [10] M. Aryo Pradhana, T. Andromeda, and D. Y. Christyono, "PENGISI DAYA BATERAI LiFePO4 SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SEPEDA LISTRIK." [Online]. Available: <http://ejournal3.undip>.