

## Analisis Kapasitas Dan Pengisian Baterai Pada Mobil Listrik *Ponecar*

**Dwi Harjono<sup>1</sup>, Wahyu Widodo<sup>2</sup>, Hadi Sugiarto<sup>3</sup>, Abu Bakar<sup>4</sup>**

Politeknik Negeri Pontianak; Jl. Jend. Ahmad Yani, Bansir Laut, Kota Pontianak

Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: \*<sup>1</sup>dwi\_hjrn@yahoo.co.id, <sup>2</sup>wahyu.widodo75@gmail.com.

### **Abstrak**

*Ketersediaan bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batubara semakin hari semakin menipis, sementara kebutuhan manusia akan energi dalam bentuk bahan bakar semakin meningkat. Hal ini diakibatkan cepatnya pertumbuhan penggunaan kendaraan untuk transportasi. Salah satu upaya penggunaan energi alternatif adalah penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Mobil listrik merupakan kendaraan yang digerakkan dengan menggunakan motor listrik DC, sehingga bahan bakarnya tidak menggunakan energi fosil tetapi menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan Analisis Kapasitas Dan Pengisian Baterai Pada Mobil Listrik PonECar. Dimana PonECar adalah penamaan mobil listrik yang akan dibuat yang merupakan kependekan dari Pontianak Electric Car.*

*Hasil yang diperoleh adalah untuk menggerakkan motor listrik BLDC pada mobil listrik menggunakan sumber tegangan sebesar 48 Volt, sehingga untuk sumber listrik motor BLDC yang berasal dari baterai LiPo adalah 54.6 volt 40 Ah. Artinya baterai LiPo yang dipilih ini memiliki kapasitas sebesar  $\pm 2.184$  Wh untuk penggunaan selama 1 jam terus menerus. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dari SOC 33% ke 99 % adalah selama 5 jam 20 menit. Temperatur yang diakibatkan proses pengisian (Charging) baterai paling rendah adalah 28.2 °C dan paling tinggi adalah 41.6 °C. Dengan terjadi penurunan kapasitas (SOC) baterai akibat pembebanan maka akan mengakibatkan adanya penurunan tegangan dari baterai.*

**Kata kunci :** *Baterai Lipo, Temperatur, Mobil Listrik,*

### **Abstract**

*The availability of fossil fuels such as oil, natural gas, and coal is dwindling day by day, while the human need for energy in the form of fuel is increasing. This is due to the rapid growth in the use of vehicles for transportation. One of the efforts to use alternative energy is the use of battery-based electric motor vehicles. An electric car is a vehicle that is driven by a DC electric motor, so the fuel does not use fossil energy but uses electrical energy stored in batteries or energy storage areas. So that in this research, capacity analysis and battery charging in PonECar electric cars will be carried out. Where PonECar is the name of the electric car that will be made which is short for Pontianak Electric Car.*

*The results obtained are to drive a BLDC electric motor in an electric car using a voltage source of 48 Volts, so that the BLDC motor power source from a LiPo battery is 54.6 volts 40 Ah. This means that the selected LiPo battery has a capacity of + 2,184 Wh for 1 hour continuous use. The time it takes to charge from 33% SOC to 99% is 5 hours 20 minutes. The lowest temperature caused by the battery charging process is 28.2 0C and the highest is 41.6 0C. With a decrease in the capacity (SOC) of the battery due to loading, it will result in a decrease in the voltage of the battery.*

**Keywords :** *Lipo Battery, Temperature, Electric Car*

## 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batubara semakin hari semakin menipis, sementara kebutuhan manusia akan energi dalam bentuk bahan bakar semakin meningkat. Persediaan cadangan minyak bumi semakin menipis yang diakibatkan penggunaan bahan bakar yang tidak terkendali terutama diakibatkan dengan cepatnya pertumbuhan penggunaan kendaraan untuk transportasi. Dampak dari penggunaan bahan bakar minyak ini menimbulkan akibat berupa polusi udara yang diakibatkan emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan. Upaya yang dilakukan saat ini salah satunya berupa penggunaan energi alternatif sebagai bahan bakar untuk alat transportasi.

Salah satu upaya penggunaan energi alternatif adalah penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Pemerintah melalui Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan mendorong Perguruan Tinggi untuk melakukan Penelitian, pengembangan dan inovasi untuk kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang bekerjanya digerakkan oleh motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai. [1]

Komponen utama yang digunakan oleh sebuah mobil listrik agar dapat bergerak adalah motor listrik. Motor listrik yang digunakan adalah motor arus searah (DC). Salah satu jenis motor DC yang berkembang saat ini adalah motor Brushless Direct Current (BLDC). Untuk mengoperasikan mobil listrik ini dibutuhkan sumber listrik yang bersifat mobile yaitu baterai. Baterai yang ada saat ini banyak jenis dan ragamnya. Pada penelitian tahun 2020 [2], telah dibuatlah rangka dan penggerak dari mobil listrik *Pontianak Electric Car* (PonECar). Pada saat itu untuk menjalan *PonECar* tersebut menggunakan aki jenis *Starting, Lighting and Ignition* (SLI). Aki jenis ini dirancang hanya untuk untuk menghidupkan, penerangan dan pengapian. Aki jenis ini memiliki kekurangan berupa kemampuan pengisian yang lambat, mengeluarkan arus listrik yang cepat juga serta memiliki kemasan yang berat maka menjadi beban yang besar dari mobil listrik. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan Analisis Pemilihan, Kapasitas Dan Pengisian Baterai Pada Mobil Listrik *Ponecar*.

## 2. METODE

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan selama 5 bulan (Juni – Oktober 2021). Tempat penelitian ini dilakukan di Bengkel Listrik Prodi Teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak.

### Prosedur penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut dan ditampilkan pada *flowchart* tahapan penelitian gambar 1.

#### 1. Studi literatur.

Studi literatur ini dipelajari tentang tentang baterai, daya motor, kapasitas baterai dan cara pengisiannya. Hasil dari studi literatur adalah dapat menentukan jenis baterai yang dipilih, menentukan kapasitas dan sistem pengisian dari baterai tersebut.

#### 2. Pemilihan jenis baterai

Pemilihan jenis baterai didasari pada kapasitas, berat dari baterai, biaya/harga dari baterai dan dimensinya.



Gambar 1 Diagram alir prosedur penelitian.

3. Menghitung Kapasitas baterai

Kapasitas baterai dihitung dengan menjumlahkan semua daya beban yang dipakai di mobil listrik, maka dengan menggunakan persamaan berikut:

1. Perhitungan total Daya beban

$P = \text{daya motor} + \text{kontroler} + \text{kelistrikan}$

2. Perhitungan total arus beban

$I = P / V$

3. Perhitungan jumlah sel baterai

Setiap 1 cell baterai lithium mempunyai kapasitas hingga 2200mah - 2,300 mah (2,3ah)  
 Tegangan beban

Jumlah cell = -----  
 1 cell tegangan baterai

4. Perhitungan kapasitas daya baterai

$Wh = V \times Ah$

5. Menentukan waktu pengisian

Untuk menentukan waktu pengisian digunakan persamaan sebagai berikut:

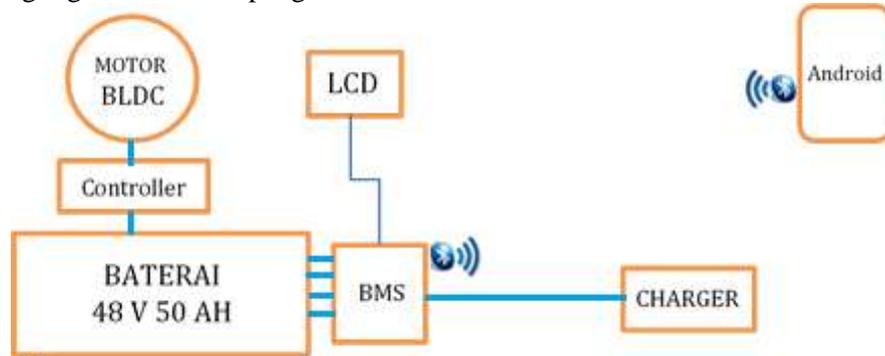
$H = \frac{MaH}{Ma}$

Keterangan:

- I : Arus (A)
- P : Daya (W)
- V : Tegangan (V)
- Wh : Watthour (Daya yang digunakan)
- Ah : AmpereHour (Arus yang digunakan)
- H : lama waktu pengisian
- Mah : kapasitas baterai
- Ma : kapasitas charger

#### 4. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian yang dilakukan adalah mengujian terhadap kemampuan baterai memikul beban. Selain itu pengujian yang dilakukan adalah mobil dioperasikan jalan dengan memikul beban. Data yang diambil berupa konsumsi energy, waktu pemakaian, waktu pengisian baterai dan arus yang digunakan untuk pengisian.



Gambar 2 Blok diagram pengujian pengisian dan pembebanan.

##### 1. Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis baterai lithium polymer dengan rating tegangan total adalah 48 volt. Baterai ini dirakit dari 13 buah baterai lithium polymer 4.2 volt dengan kapasitas 40 Ah.

##### 2. Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) adalah sistem yang berfungsi manajemen sebuah baterai. BMS ini digunakan untuk mengendalikan pengisian dan pengosongan baterai LiPo agar sesuai dengan setingannya.

##### 3. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD berfungsi untuk menampilkan tegangan baterai dan arus dari baterai.

##### 4. Bluetooth

Bluetooth adalah suatu perangkat media komunikasi yang dapat digunakan untuk menghubungkan sebuah perangkat komunikasi dengan perangkat komunikasi lainnya, bluetooth umumnya digunakan di handphone, komputer, tablet, dan android. Fungsi bluetooth adalah untuk mempermudah berbagi atau sharing file, audio, video yang menggantikan penggunaan kabel dan lain-lain.

##### 5. Motor BLDC

Motor BLDC disebut juga dengan motor PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) merupakan motor listrik sinkron 3 fasa. Sinkron berarti medan magnet yang dibangkitkan oleh stator dan medan magnet yang dibangkitkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama.

##### 6. Controller

Controller adalah peralatan yang digunakan untuk mengendalikan kerja dari motor BLDC.

##### 7. Charger

Charger digunakan untuk pengisian baterai, dengan rating tegangan 54,6 volt.

##### 8. Android

Android adalah sebuah kumpulan perangkat lunak untuk perangkat mobile yang mencakup sistem operasi, middleware dan aplikasi utama mobile. Pada penelitian ini digunakan aplikasi *Dark Horse* BMS. Data yang diambil dengan android ini yaitu Tegangan per baterai, tegangan baterai keseluruhan, Temperatur baterai, arus pengisian dan pembebanan, kapasitas baterai, daya yang digunakan maupun daya pengisian dan *State of Charge* (SOC).

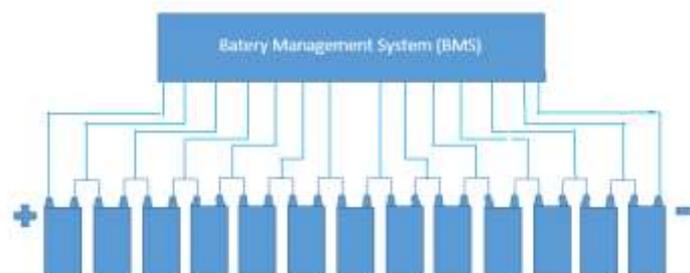
### 5. Analisa Data

Melakukan analisis dari hasil data yang diperoleh dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada dan data hasil pengukuran.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dipilih baterai jenis Lithium Polimer, daya pada baterai tergantung dari berapa banyak energi yang dapat disimpan, energi yang tersimpan dalam sebuah baterai dalam satuan Ah (Ampere hour) atau daya per jam, sehingga dapat mengetahui total kapasitas arus dengan tegangan kerja baterai. Baterai yang digunakan sebagai sumber tenaga untuk penggerak mobil listrik adalah baterai Lithium Polimer (LiPo) 4.2 V 40 Ah.

Susunan instalasi baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan topologi terpusat. Adapun gambar 3 Topologi dari instalasi baterai Lithium Polimer yang digunakan.



Gambar 3 Topologi dari instalasi baterai Lithium Polimer yang digunakan.

Untuk menggerakkan motor listrik BLDC pada mobil listrik menggunakan sumber tegangan sebesar 48 Volt, sehingga untuk sumber listrik motor BLDC dibutuhkan baterai LiPo sebanyak 13 buah yang dihubungkan secara seri. Maka sumber listrik motor BLDC yang berasal dari baterai LiPo adalah 54.6 volt 40 Ah. Artinya baterai LiPo yang dipilih ini memiliki kapasitas sebesar  $\pm 2.184$  Wh untuk penggunaan selama 1 jam terus menerus.

### Analisis waktu pengisian baterai

Pada penelitian ini menggunakan 13 buah sel baterai, yang artinya baterai ini menggunakan multisel. Sistem multisel ini memerlukan perhatian khusus dalam sistem pengisian daya. Pengisian baterai pada system ini menggunakan system penyeimbang antar sel baterai agar tidak terjadi *over charging* pada salah satu sel yang dapat mengakibatkan sel rusak yang diakibatkan ledakan.

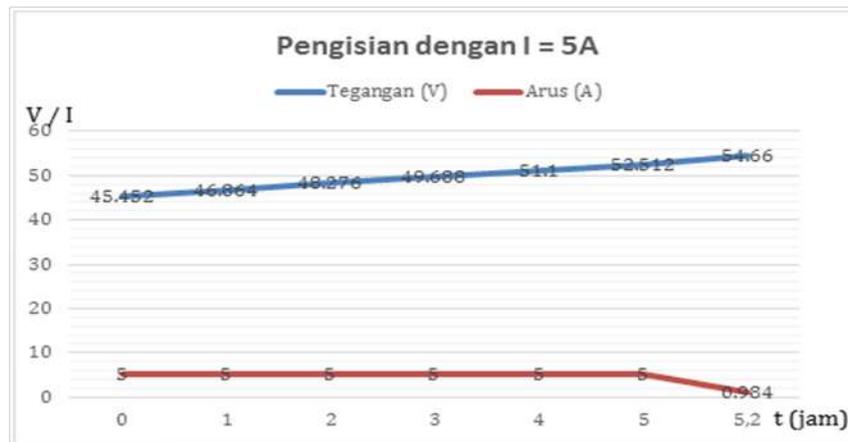
Hasil proses pengisian baterai tertera di tabel 5.1 berikut ini. Pengambilan data dilakukan setiap 1 jam. Dengan kondisi awal baterai pada SOC sebesar 33 % dengan tegangan awal sebesar 45.45 volt. Arus yang digunakan untuk proses pengisian baterai adalah sebesar 5 A.

Tabel 1. Hasil proses pengisian baterai.

Waktu (jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	% SOC
0	45.45	5	33
1	46.86	5	41
2	48.28	5	51
3	49.69	5	61
4	51.1	5	71
5	52.51	5	81
5 + 20 menit	54.66	0.984	99

Teramati bahwa dengan pengisian dengan arus sebesar 5A, bahwa setelah 4 jam pengisian dan mencapai SOC = 99 %, tegangan dari baterai telah mencapai maksimum yaitu sebesar 54.66 volt.

Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dari SOC 33% ke 99 % adalah selama 5 jam 20 menit. Berdasarkan kapasitas baterai yang 40 Ah, dengan arus pengisian sebesar 5 A, akan dibutuhkan waktu selama 8 jam. Karena saat pengujian pengisian baterai tidak dalam kondisi kosong, tetapi ada sekitar 33 % dari kapasitas. Maka pada kondisi tersebut hanya dibutuhkan waktu 5 jam 20 menit untuk pengisian.



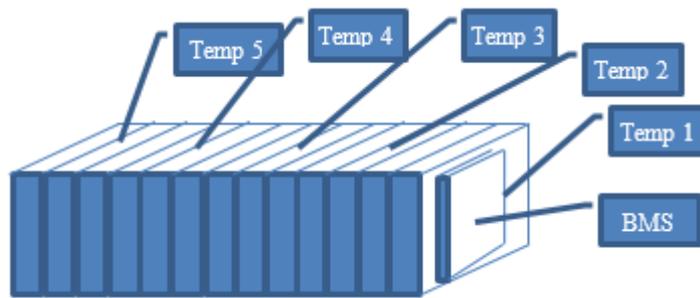
Gambar 4 Grafik Tegangan dan arus fungsi waktu.

Dari grafik teramati dengan arus pengisian sebesar 5 A, bahwa tegangan baterai akan meningkat seiring berjalannya waktu. Pada kondisi awal waktu tegangan baterai sebesar 45.452 A tetapi setelah waktu pengisi berlangsung selama 5 jam tegangan meningkat menjadi 52.512 volt. Dan pada saat waktu memasuki 5 jam ke atas terjadi penurunan arus pengisian menjadi sebesar 0.984 A sehingga tegangan baterai pada kondisi maksimum yaitu 54.66 volt.

#### **Analisis karakteristik baterai yang dipilih terhadap temperatur akibat pengisian baterai**

Suhu operasi sel baterai lithium-ion harus dikontrol dengan hati-hati karena suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat merusak sel. Terkait suhu kerusakan dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu dampak operasional suhu rendah, tinggi dampak operasional suhu dan pelarian termal.

Gambar 5.3 menunjukkan penempatan sensor suhu, pada penelitian ini digunakan 5 buah sensor suhu yang di tempat diantara baterai yang digunakan. Baterai yang digunakan sebanyak 13 sel dengan tegangan 3,7 volt dan 40 Ah. Salah satu sensor temperatur dipasang pada sisi yang ada Battery Management System (BMS). Hasil pengukuran temperatur terdapat pada tabel 5.2 Pengukuran temperatur pada pengisian baterai. Pengisian dilakukan pada saat kapasitas baterai (SOC) pada kondisi tinggal 33%. Pengujian dilakukan sampai kapasitas baterai mencapai 99 %. *State Of Charge* (SOC) adalah salah satu aspek penting dalam melakukan pengisian dan penyeimbangan daya pada baterai. Estimasi dari SOC untuk menghindari kerusakan internal baterai yang dapat mengakibatkan usia baterai berkurang jika *overdischarged* dan mengakibatkan ledakan jika *overcharged*.

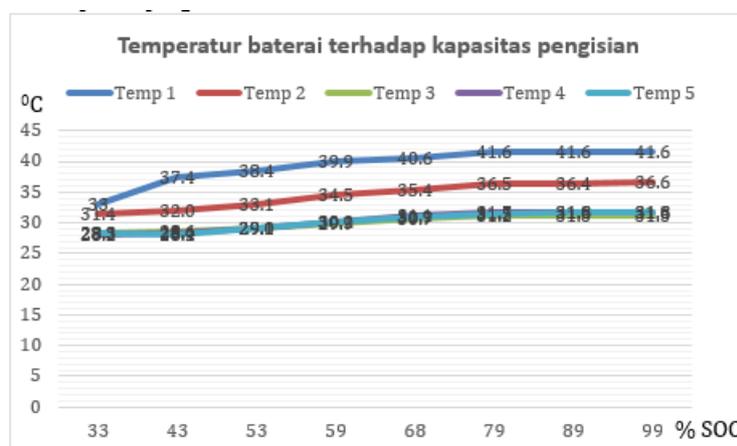


Gambar 6. Penempatan sensor suhu.

Tabel 2 Pengukuran temperatur pada pengisian baterai.

SOC (%)	Temperatur (°C)				
	temp 1	temp 2	temp 3	temp 4	temp 5
33	29.8	31.4	28.6	28.2	28.3
43	37.4	32	28.6	28.4	28.2
53	38.4	33.1	29.1	29.1	29.0
59	39.9	34.5	29.9	30.2	30.1
68	40.6	35.4	30.7	31.1	30.9
79	41.6	36.5	31.2	31.7	31.5
89	41.6	36.4	31.3	31.8	31.6
99	41.6	36.6	31.3	31.8	31.6

Pada sensor temp 1, dipasang menempel dengan BMS hal ini bertujuan agar pengaruh dari temperatur akibat dari penggunaan BMS dapat dideteksi dan diproteksi agar tidak dapat merusak baterai akibat temperatur yang berlebihan. Hasilnya pada SOC = 33 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 29.8 °C, Sedangkan pada saat SOC = 99 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 41.6 °C. Sedangkan pada sensor 2 (temp 2), hasilnya pada SOC = 33 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 31.4 °C, pada saat SOC = 99 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 36.6 °C. Sementara untuk sensor 3 (temp 3), sensor 4 (temp 4), dan sensor 5 (temp 5). Diperoleh data temperatur yang relative hamper sama yaitu SOC = 33 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 28.2 °C, pada saat SOC = 99 % diperoleh temperatur akibat proses pengisian sebesar 31.8 °C.



Gambar 7 Grafik pengisian baterai % SOC terhadap temperatur.

Dari hasil pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa temperatur yang diakibatkan proses pengisian (*Charging*) baterai paling rendah adalah 28.2 °C dan paling tinggi adalah 41.6 °C. Sehingga temperatur yang diakibatkan pengisian baterai tersebut untuk baterai lithium polimer masih diijinkan. Temperatur minimum yang diijinkan adalah - 5 °C dan maksimum yang diijinkan adalah 45 °C. Temperatur maksimum 41.6 °C diakibatkan oleh adanya panas yang diakibatkan oleh kerja dari BMS, BMS bekerja membutuhkan sumber listrik.

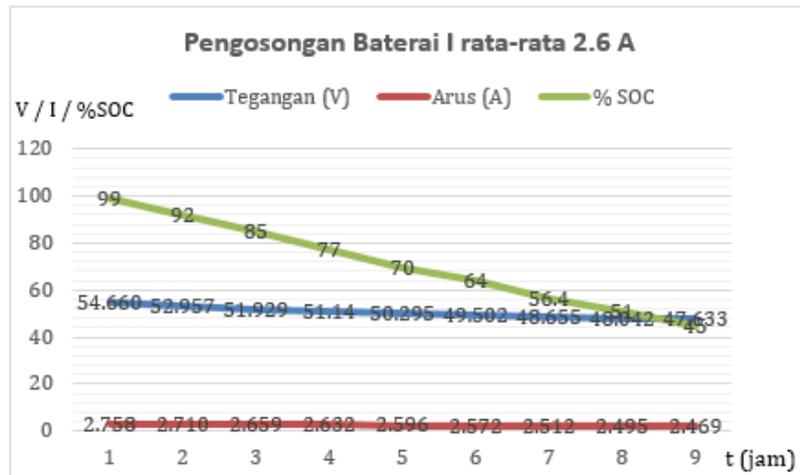
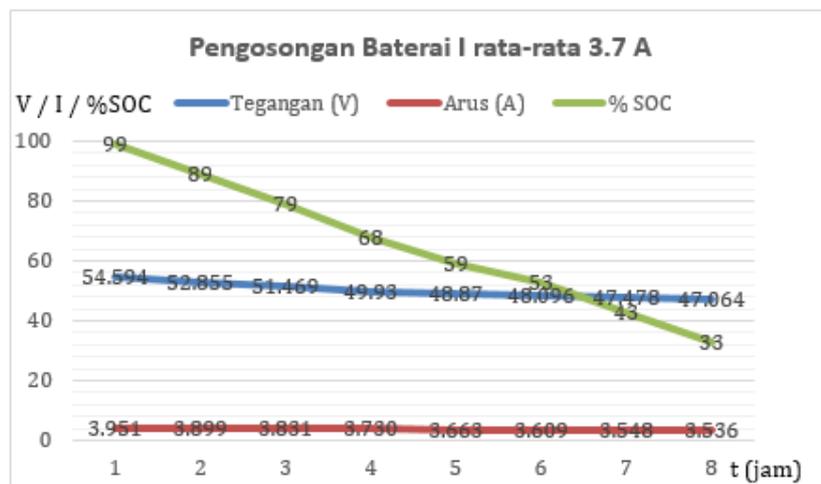
**Analisis karakteristik baterai yang dipilih terhadap pembebanan pada proses pengosongan**

Pada penelitian ini menggunakan beban rata-rata arus sebesar 2,6 A dan 3,7 A. Kondisi untuk keduanya baterai dalam keadaan awal SOC sebesar 99 %.

Tabel 3 Hasil pembebanan baterai

Waktu	% SOC	Arus (A)	Tegangan (V)
Beban I = 2.6 A			
0	99	2.758	54.660
1	92	2.710	52.957
2	85	2.659	51.929
3	77	2.632	51.14
4	70	2.596	50.295
5	64	2.572	49.502
6	56	2.512	48.655
7	51	2.495	48.042
8	45	2.469	47.633
Beban I = 3.7 A			
0	99	3.951	54.594
1	89	3.899	52.855
2	79	3.831	51.469
3	68	3.730	49.93
4	59	3.663	48.87
5	53	3.609	48.096
6	43	3.548	47.478
7	33	3.536	47.064

Dari tabel 3. dapat dianalisis sebagai berikut. Kondisi awal tegangan baterai pada SOC = 99%, dengan  $I_{\text{beban}} = 2,6$  A diperoleh tegangan sebesar 54,66 volt. Dengan berjalannya waktu pembebanan dengan waktu pengoperasian sudah berlangsung selama 8 jam terjadi pengurangan kapasitas menjadi 45 %, maka terjadi juga penurunan dari tegangan baterai. Pada kondisi tersebut baterai pada tegangan 47.633 volt. Demikian juga pada saat dibebani I beban sebesar 3,7 A diperoleh tegangan sebesar 54,594 volt. Dengan berjalannya waktu pembebanan dengan waktu pengoperasian sudah berlangsung selama 7 jam terjadi pengurangan kapasitas menjadi 33 %, maka terjadi juga penurunan dari tegangan baterai menjadi 47.064 volt.

Gambar 8 Grafik proses pengosongan baterai pada saat pembebanan  $I = 2.6$  A.Gambar 9 Grafik proses pengosongan baterai pada saat pembebanan  $I = 3,7$  A.

Dari gambar 8 dan 9 dapat diambil kesimpulan bahwa dengan berjalannya waktu penggunaan arus listrik yang tersedia di baterai maka akan terjadi penurunan kapasitas (SOC) baterai dan hal ini juga akan mengakibatkan adanya penurunan tegangan dari baterai.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk menggerakkan motor listrik BLDC pada mobil listrik menggunakan sumber tegangan sebesar 48 Volt, sehingga untuk sumber listrik motor BLDC dibutuhkan baterai LiPo 4.2 v 40 Ah sebanyak 13 buah yang dihubungkan secara seri. Maka sumber listrik motor BLDC yang berasal dari baterai LiPo adalah 54.6 volt 40 Ah. Artinya baterai LiPo yang dipilih ini memiliki kapasitas sebesar  $\pm 2.184$  Wh untuk penggunaan selama 1 jam terus menerus.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dari SOC 33% ke 99% adalah selama 5 jam 20 menit. Berdasarkan kapasitas baterai yang 40 Ah, dengan arus pengisian sebesar 5 A, akan dibutuhkan waktu selama 8 jam. Karena saat pengujian pengisian baterai tidak dalam kondisi kosong, tetapi ada sekitar 33% dari kapasitas. Maka pada kondisi tersebut hanya dibutuhkan waktu 5 jam 20 menit untuk pengisian.

3. Temperatur yang diakibatkan proses pengisian (*Charging*) baterai paling rendah adalah 28.2 °C dan paling tinggi adalah 41.6 °C. Sehingga temperatur yang diakibatkan pengisian baterai tersebut untuk baterai lithium polimer masih diijinkan. Temperatur minimum yang diijinkan adalah - 5 °C dan maksimum yang diijinkan adalah 45 °C. Temperatur maksimum 41.6 °C diakibatkan oleh adanya panas yang diakibatkan oleh kerja dari BMS membutuhkan sumber listrik.
4. Dengan terjadi penurunan kapasitas (SOC) baterai akibat pembebanan maka akan mengakibatkan adanya penurunan tegangan dari baterai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019*, no. 008553. 2019, pp. 1–6.
- [2] H. S. Dwi Harjono, Wahyu Widodo, “Analisis Rangka Dan Sistem Penggerak Motor Bldc Pada Mobil Listrik Poncar,” Pontianak, 2020.
- [3] I. Susanti, “Analisa Penentuan Kapasitas Baterai dan Pengisiannya Pada Mobil Listrik,” *Elektra*, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, 2019.
- [4] F. Aswardi, Elfizon, “Sistem Pengisian Baterai pada Mobil Listrik,” *Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 56, no. 3, pp. 141–145, 2018.
- [5] R. Syahyuniar, “Pengaplikasian Panel Surya Pada Mobil Listrik,” *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 10–17, 2016, doi: 10.34128/je.v3i1.10.
- [6] D. Nurdin, “Alat Uji Kapasitas Baterai Dengan Tegangan Konstan,” *J. LPKIA*, vol. 12, no. 1, pp. 20–25, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.lpkia.ac.id/index.php/jkb/article/download/227/165/>.
- [7] Omazaki, “Baterai Mobil Listrik dan Karakteristiknya,” 2021. <https://www.omazaki.co.id/baterai-mobil-listrik/> (accessed Apr. 08, 2021).
- [8] T. I. K. A. Wulandari, “Rancang bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2010.