

PERANCANGAN MODULAR BATERAI LITHIUM ION(LI-ION) UNTUK BEBAN LAMPU LED

Muhammad Otong¹, Didik Aribowo², Rizky Wahyudi³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

¹Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 1 Desember 2019

Direvisi : 11 Desember 2019

Disetujui : 20 Desember 2019

***Korespondensi Penulis:**

muhamad.otong@untirta.ac.id,

Graphical abstract



Abstract

The battery is an energy storage device that is able to transform chemical energy into electrical energy. Lithium ion batteries can generate energy and power density were great, other advantages are high efficiency, no memory effect and a relatively long life cycle. The weakness of lithium ion batteries are very sensitive to temperature. Battery management system or commonly called BMS (Battery Management System) Li-ion is used as a solution to keep the Li-ion cells remain in a safe area of operation (safety operation area). The design of the hardware in this study is the lithium ion battery module module function in order to obtain a battery module in accordance with the needs and the design of the module battery management system (BMS) Lithium Ion battery that serves for battery monitoring and protection. The monitoring system runs well, with an average error of testing on the 0.005% voltage sensors, temperature sensors 0.0326%, 0.284% and a current sensor. Testing by the method of constant current charging and constant voltage using current 0,8A and voltage 42V goes well with the average increase persel voltage of 0,46V with charging time of 120 minutes. Discharging testing with 36V 0,6A LED load goes well with a drop in average voltage of 0,56V. State of charge (soc) by the method of open circuit voltage (OCV) in the test charging experience any difference in cell-cell Li-ion battery with an average hike of 27% of cells. State of charge (soc) by the method of open circuit voltage (OCV) in discharging testing experience any difference in cell-cell Li-ion battery with an average decrease of 35.75% of cells.

Keywords: Battery, Lithium Cells, Battery Management System, *current* sensor temperature sensor, *voltage* sensor.

Baterai adalah sebuah perangkat penyimpanan energi yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai lithium ion dapat menghasikan energi dan daya densitas yang besar, kelebihan lainnya yaitu efisiensi tinggi, tanpa efek memori dan siklus hidup yang relatif lama. Kelemahan baterai lithium ion sangat sensitif terhadap temperatur. Sistem manajemen baterai atau yang biasa disebut dengan BMS (*Battery Management System*)Li-ion digunakan sebagai solusi untuk menjaga agar sel Li-ion tetap berada pada daerah aman operasinya (*safety operation area*).Perancangan perangkat keras di penelitian ini adalah modul *modul* baterai lithium ion berfungsi agar mendapatkan *modul* baterai sesuai dengan kebutuhan dan perancangan modul *battery management system* (BMS) Lithium Ion yang berfungsi untuk *monitoring* dan proteksi baterai. Sistem *monitoring* berjalan dengan baik, dengan rata-rata *error* pengujian pada sensor tegangan 0,005%, sensor suhu 0,0326%, dan sensor arus 0,284%. Pengujian *charging* dengan metode *constant current* dan *constant voltage* menggunakan arus 0,8A dan tegangan 42V berjalan dengan baik dengan rata-rata kenaikan tegangan persel sebesar 0,46V dengan waktu *charging* 120 menit. Pengujian *discharging* dengan beban LED 36V 0,6A berjalan dengan baik dengan penurunan tegangan rata-rata sebesar 0,56V. *State of charge (soc)* dengan metode *open circuit voltage (ocv)* pada pengujian *charging* mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan kenaikan rata-rata sel sebesar 27%. *State of charge (soc)* dengan metode *open circuit voltage (ocv)* pada pengujian *discharging* mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan penurunan rata-rata sel sebesar 35,75%.

Kata Kunci : Baterai, Lithium Ion, Sistem Manajemen, *State of Charge*, Monitoring, *Battery Management System* (BMS).

1. PENDAHULUAN

Perangkat elektronik *portable* merupakan perangkat elektronik yang dapat dibawa kemana-mana dan dapat digunakan tanpa harus terhubung dengan sumber listrik secara langsung. Perangkat *portable* menggunakan media penyimpanan energi listrik sebagai sumber. Salah satu media penyimpanan energi listrik yang digunakan adalah baterai. Seiring dengan perkembangan teknologi penggunaan baterai saat ini digunakan sebagai sumber utama pada kendaraan listrik. Perangkat penyimpanan harus memiliki kemampuan yang baik agar energi listrik yang tersimpan dapat digunakan secara maksimal dan efisien.

Baterai merupakan perangkat penyimpan energi listrik, dan merupakan bagian paling penting perangkat elektronik *portable*. Baterai berbasis lithium memiliki keunggulan karena terbuat dari bahan logam lithium yang merupakan logam paling ringan diantara logam lainnya sehingga dapat menghasilkan energi densitas yang besar dan memiliki siklus hidup yang panjang [1]. Keunggulan lainnya yaitu *fast charging*, rasio massa ke energi yang tinggi dan tidak ada efek memori sehingga dapat menghasilkan daya densitas yang besar [2]. Namun baterai berbasis lithium juga memiliki kekurangan yaitu sangat sensitif terhadap temperatur, untuk mengatasi kekurangan baterai berbasis lithium harus memiliki perangkat tambahan lain yaitu *Battery management system (BMS)*. BMS adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai pemantau dan pengaman baterai agar dapat berumur panjang dan performanya tidak menurun [3].

Baterai

Baterai adalah sebuah perangkat penyimpanan energi yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi pada perangkat elektronik [4]. Penggunaan baterai sebagai perangkat penyimpanan energi hampir digunakan pada semua perangkat elektronik. Dengan adanya baterai, penggunaan perangkat elektronik dapat lebih efisien karena tidak harus menghubungkan perangkat ke sumber listrik untuk mengaktifkannya sehingga perangkat elektronik dapat digunakan dimana-mana. Baterai harus memiliki *energy density* dan *power density* yang besar [5]. Baterai lithium ion merupakan teknologi penyimpanan energi yang paling banyak digunakan saat ini terutama untuk perangkat yang menggunakan baterai sebagai sumber utamanya. Baterai lithium ion dapat menghasilkan energi dan daya densitas yang besar, kelebihan lainnya yaitu efisiensi tinggi, tanpa efek memori dan siklus hidup yang relatif lama.

Sel Lithium Ion (Li-Ion Cell)

Perancangan sebuah *pack* baterai lithiumion dalam penelitian ini meliputi komponen-komponen dari pembentukan baterai. Sel lithiumion merupakan elemen paling dasar dari baterai dalam lithium ion sel menghasilkan tegangan 3V sampai 4V, baterai merupakan kumpulan sel yang terhubung untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi dan *pack* merupakan kombinasi dari baterai yang disusun secara seri atau paralel untuk mendapatkan tegangan dan kapasitas yang diharapkan. Sel lithium ion isi ulang (*rechargeable*) memiliki energi densitas dan daya densitas yang tinggi sehingga menjadi pilihan utama untuk perangkat penyimpanan energi pada mobil listrik. Dibawah ini merupakan grafik perbandingan *power density* dan *energy density* baterai lithiumion dan lainnya [2].

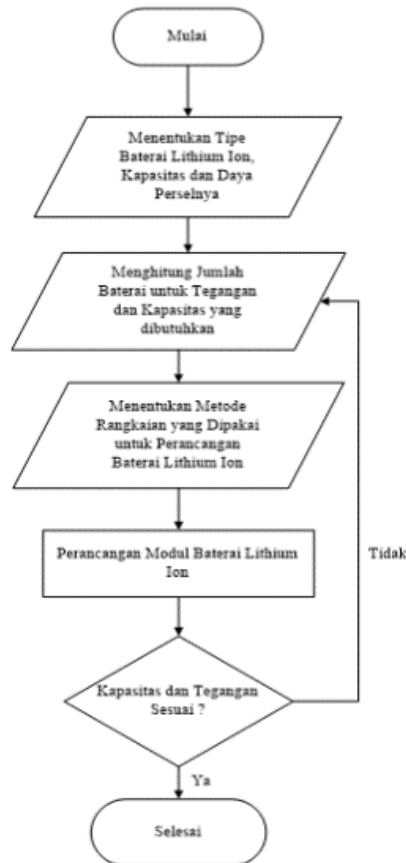
State of Charge (SoC)

State of charge (SoC) adalah kapasitas yang tersisa pada baterai dan dinyatakan dalam persentase (%) [16]. Dengan kemampuan ini pengguna dapat menentukan kapan waktu yang tepat untuk pengisian baterai (*charging*) dan berhenti mengisi baterai (*discharging*). Estimasi nilai SoC adalah yang paling penting dalam penelitian dan pembuatan sistem BMS ini, nilai SoC menjadi titik tersulit karena nilai harus di perkirakan secara akurat dan memiliki dampak langsung terhadap baterai lithium. Banyak faktor yang membuat penentuan nilai SoC tepat waktu pada baterai lithium menjadi sulit yaitu suhu baterai, efek polaritas dan masa pakai baterai [14]. Terdapat dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan nilai SOC yaitu metode OCV (*Open Circuit Voltage*) dan Perhitungan *Coloumb* (*Coloumb Counting*). Metode OCV merupakan metode yang paling sederhana untuk menentukan nilai SOC, metode OCV dirumuskan sebagai berikut [15]:

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini perancangan dan pembuatan alat terbagi dua tahap perancangan yaitu perancangan modul *pack* baterai lithium ion dan perancangan *battery management system*. Perancangan dan pembuatan sistem BMS meliputi beberapa parameter yang dikelompokkan menjadi empat bagian perancangan sebagai berikut :

- Perancangan Sistem Pengukuran (*Measurement*).
- Perancangan Sistem Pengelolaan (*Management*).
- Perancangan Sistem Monitoring.
- Perancangan Sistem Evaluasi (*State Of Charge*).



Gambar 4 *FlowchartPack* Baterai dan BMS

Perancangan Modul *Pack* Baterai Lithium Ion

Baterai adalah penyimpanan energi listrik yang digunakan untuk menyuplai motor listrik sebagai penggerak untuk mobil listrik. *Pack* baterai lithium ion yang dirancang dengan tegangan sebesar 36V. Tipe baterai yang digunakan yaitu Panasonic NCR18650B 3,6V, 3250mAh.

$$V_{bat} = 3,6V$$

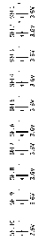
$$V_{tot} = 36V$$

$$\Sigma bat = \frac{V_{tot}}{V_{bat}}$$

$$= \frac{36V}{3,6V}$$

$$= 10 \text{ Sel Li - Ion}$$

Jadi untuk mendapatkan tegangan sebesar 36V dibutuhkan 10 baterai Li-Ion Panasonic NCR18650B yang dihubungkan secara seri. Konfigurasi susunan sel *Lithium Ion* adalah sebagai berikut :



Gambar 5 Konfigurasi Sel Li-ion.

Sistem Pengukuran

Perancangan Sensor Tegangan

Perancangan sensor tegangan pada penelitian ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*). Untuk menentukan nilai resistansi yang digunakan menggunakan persamaan 2.10, sensor tegangan dirancang untuk dapat membaca nilai tegangan persel dan *pack* baterai. Agar nilai tegangan dapat terbaca oleh mikrokontroler maka tegangan yang masuk ke mikrokontroler harus $\leq 5V$. Untuk menentukan nilai tegangan dan resistansi pada rangkaian pembagi tegangan menggunakan persamaan 2.10 pada penelitian ini menggunakan nilai R1 100k Ω dan R2 10k Ω .untuk mencari nilai V_o adalah sebagai berikut :

$$V_{in} = 36 \text{ V (tegangan baterai)}$$

$$R1 = 100.000 \Omega$$

$$R2 = 10.000 \Omega$$

$$V_o = \dots? \text{ (analog input)}$$

Penyelesaian :

$$V_o = \frac{R2}{R2 + R1} \times V_i$$

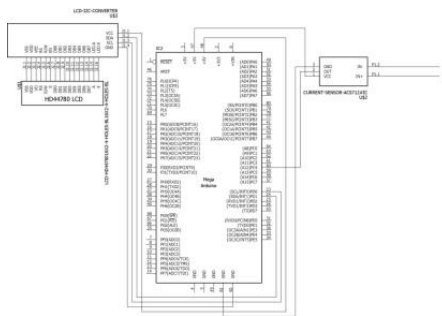
$$V_o = \frac{10.000}{10.000 + 100.000} \times 36$$

$$V_o = \frac{10.000}{110.000} \times 36$$

$$V_o = 3,27 \text{ V}$$

Perancangan Sensor Arus ACS712-30A

Pada penelitian ini sensor arus yang digunakan adalah ACS712-30A. Sensor Arus digunakan untuk mengukur arus yang masuk dari *power supply* dan modul *chargeCC CV* menuju baterai li-ion dan akan ditampilkan pada LCD, keluaran dari sensor arus akan terhubung ke pin ADC pada mikrokontroler. Berikut gambar 6 rancangan dari sensor arus.

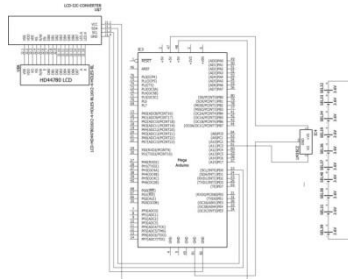


Gambar 6 Perancanagn Sensor Arus

Keterangan pin pada rangkaian ACS712- 30A adalah IP+ pin mendeteksi arus, 3 GND pin *ground*, 2 Vout arus keluar yang menuju pin analog mikrokontroler, dan 1 Vcc input tegangan dari mikrokontroler.

Perancangan Sensor Suhu LM35

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu pada penelitian ini adalah LM35. Sensor ini membutuhkan suplai tegangan DC 5V dan memerlukan Arus DC sebesar $60\mu\text{A}$ saat beroperasi. Sensor Suhu digunakan untuk mengukur suhu *pack* baterai li-ion dan akan ditampilkan pada LCD. Pemantauan suhu harus dilakukan karena baterai Lithium Ion memiliki batas suhu aman beroperasi yaitu $10 - 45\text{ }^\circ\text{C}$. ketika suhu baterai kurang dari batas maka akan merusak susunan sel-sel kimia dan baterai akan drop. Ketika suhu melebihi batas maksimal maka baterai akan rusak dan mengalami *overheat* sehingga akan menyebabkan ledakan pada baterai Li-Ion. Perancangan sensor suhu ditunjukkan oleh gambar 7 dibawah ini.

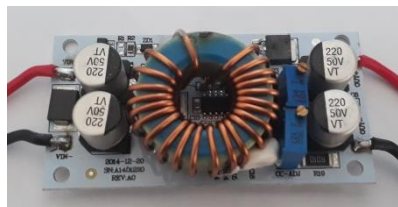


Gambar 7 Perancangan Sensor Suhu

Perancangan Sistem Management

Modul Charge Constant Current Constant Voltage

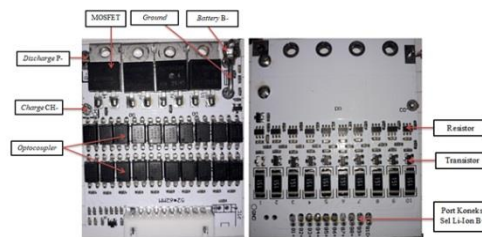
Baterai Panasonic NCR18650B merupakan jenis baterai *rechargeable* yang dapat diisi ulang, pengisian dan pengosongan harus memiliki sistem yang sesuai dengan karakteristik baterai. Dalam proses pengisian (*charge*) pada penelitian ini menggunakan metode CC (*constant current*) dan CV (*constant voltage*). Modul Charge yang digunakan pada penelitian ini adalah Modul CC CV *boost converter* berfungsi untuk menaikkan tegangan dari 24V menjadi 42V dan



Gambar 8 Modul Charge CC CV

Modul Balancing Sel Li-Ion

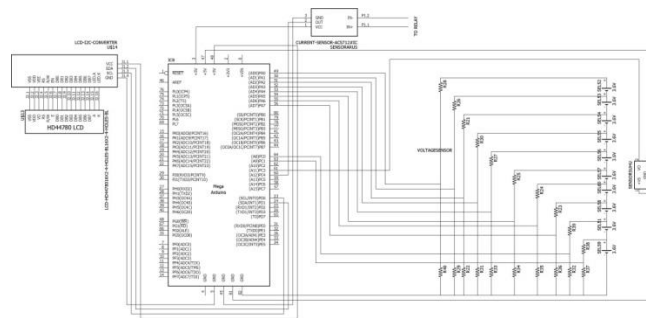
Balancing atau penyeimbang tegangan digunakan untuk menyeimbangkan tegangan pada sel-sel baterai lithium ion yang disusun secara seri pada penelitian ini menggunakan modul *balancing* metode *balancing* pasif. Berikut perancangan *balancing* ditunjukkan oleh dibawah ini.



Gambar 9 Modul pasif Balancing Li Ion 10S

Perancangan Sistem Monitoring BMS *LithiumIon*

Sistem monitoring merupakan sistem yang didesain untuk bisa memeberikan *feedback* ketika program sedang menjalankan fungsinya. *Feedback* dimaksudkan untuk memberikan informasi atau keadaan sistem pada saat itu. Sistem monitoring pada BMS dimaksudkan untuk mendapatkan informasi terkait kondisi baterai diantaranya monitor suhu, arus, dan tegangan baterai. Dalam proses monitoring menggunakan mikrokontroler ATmega 2560 dan parameter akan ditampilkan menggunakan LCD (*liquid crystal dispaly*) 20 x 4. Perancangan LCD menggunakan perangkat tambahan I2C. I2C (*Inter Integrated Circuit*) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengkonversi jalur paralel LCD menjadi seri agar tidak menggunakan pin *port* mikrokontroler terlalu banyak. Pin I2C dihubungkan ke pin SDA (*serial data*) dan pin SCL (*serial clock*). Pin VCC dihubungkan ke pin 5V untuk sumber dan pin GND (*groud*) dihubungkan pada pin GND mikrokontroler. Gambar dibawah ini merupakan rangkaian skematik sistem monitoring penelitian.



Gambar 10 perancangan Sistem Monitoring

Metode Pengujian

Tahapan pengujian ini bertujuan untuk menentukan cara pengujian alat yang akan dilakukan pada Modular *Battery Management System* Lithium Ion untuk *High Power density* pada Mobil Listrik dan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan alat ukur. Ada beberapa pengujian antara lain:

1. Pengujian Pengisian (*Charging*) dengan arus 0,8A dan tegangan 42V.
2. Pengujian pemakaian (*Discharging*) dengan beban LED 36V 0,6A.

Persamaan 3.1 dibawah ini merupakan rumus untuk mencari nilai *error*.

$$Error = \text{hasil multimeter} - \text{hasil sensor}$$

$$Persentase Error = \frac{\text{hasil multi} - \text{hasil sensor}}{\text{hasil multi}} \times 100\%$$

$$Rata - rata Error = \frac{\text{total } \%}{\text{Jumlah hasil pengukuran}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor Tegangan

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan, nilai rata-rata *error* pada pengujian sebesar 0,005% dengan nilai *error* tetinggi pada pembacaan tegangan pada sel 3 dengan perbedaan tegangan sebear 0.06V . Hasil pengujian sensor tegangan menunjukkan nilai *error* dibawah batas nilai *error* maksimal.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan pada Modular BMS Li-Ion.

No.	Nama Sel Li-Ion	Nilai Tegangan pada Multi (V)	Nilai Tegangan pada LCD (V)	Error (V)	Error (%)	
1.	Sel 1	3,56	3,56	0	0	
2.	Sel 2	3,56	3,56	0	0	
3.	Sel 3	3,56	3,62	0,06	0,02	
4.	Sel 4	3,56	3,57	0,01	0	
5.	Sel 5	3,59	3,59	0	0	
6.	Sel 6	3,62	3,67	0,05	0,01	
7.	Sel 7	3,48	3,51	0,03	0,01	
8.	Sel 8	3,58	3,58	0	0	
9.	Sel 9	3,59	3,59	0	0	
10.	Sel 10	3,60	3,63	0,03	0,01	
11.	Jumlah nilai error					0,05
12.	Rata-rata error (%)					0,005

Pengujian Sensor Arus

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712

No.	Waktu Charging (menit)	Nilai Arus pada Multi (A)	Nilai Hasil Pembacaan Sensor ACS712 (A)	Error (A)	Error (%)	
1.	0	0,83	1,04	0,21	0,25	
2.	10	0,82	1,04	0,22	0,27	
3.	20	0,82	1,04	0,22	0,27	
4.	30	0,81	1,04	0,23	0,28	
5.	40	0,81	1,11	0,3	0,37	
6.	50	0,81	1,11	0,3	0,37	
7.	60	0,80	1,11	0,31	0,39	
8.	70	0,81	1,11	0,3	0,37	
9.	80	0,81	0,88	0,07	0,09	
10.	90	0,81	0,96	0,15	0,18	
12.	Jumlah Error %					2,84
13.	Rata-rata Error (%)					0,284

Tabel 2 diatas menunjukkan hasil pengujian sensor arus, nilai rata-rata *error* pada pengujian sebesar 0,284% . dan nilai *error* pada masing-masing arus tidak ada yang melebihi batas maksimal *error*.

Pengujian Sensor Suhu

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sensor suhu, data pengujian diperoleh dari data pada saat proses *charging*. nilai rata-rata *error* pada pengujian sebesar 0,0326% dengan nilai pembacaan pada masing-masing suhu yang berbeda tidak melebihi batas *error* dan nilai *error* pada masing-masing arus tidak ada yang melebihi batas maksimal *error*.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35

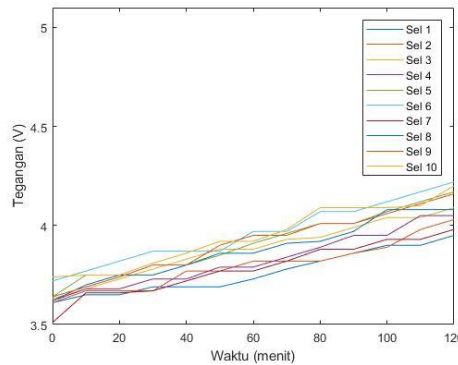
No.	Waktu Charging (menit)	Nilai Suhu pada Termometer Digital (°C)	Nilai Suhu pada LCD Pembacaan Sensor LM35 (°C)	Error (°C)	Error (%)
1.	0	30,4	30,89	0,49	0,016
2.	10	31,9	31,66	0,24	0,007
3.	20	32,5	32,05	0,45	0,014
4.	30	33,2	32,05	1,15	0,035
5.	40	33,6	32,43	1,17	0,034
6.	50	33,6	32,62	0,98	0,029

7.	60	33,6	32,43	1,17	0,035
8.	70	33,6	32,43	1,17	0,035
9.	80	33,6	32,82	0,78	0,023
10.	90	34,0	32,82	1,18	0,035
12.	Jumlah <i>Error</i> %				0,326
13	Rata-rata <i>Error</i> (%)				0,0326

1. Pegujian Pengisian (*Charging*) dengan Arus 0,8A Tegangan 42V

Pengujian *charging* pada penelitian ini menggunakan arus sebesar 0,8A dan tegangan 42V, pengujian *charging* menggunakan sumber dari *power Supply* DC dengan tegangan 24V 3A dengan modul *charge boost converter cc cv* yang akan menaikkan tegangan dari 24V menjadi 42V dan membatasi arus dari 3A menjadi 0,8A.

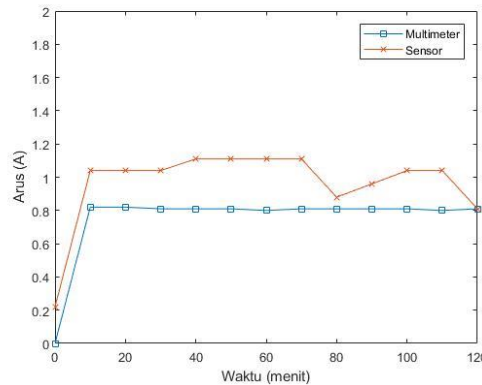
- **Pengukuran Tegangan Sel Lithium Ion pada Proses *Charging*.**



Gambar 11. Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Sel pada Pengujian *Charging*

Kenaikan tegangan paling besar pada sel 5 dengan kenaikan tegangan sebesar 0,53V. Rata-rata kenaikan tegangan persel sebesar 0,46V. Pada pengujian *charging* menggunakan *balancing* pasif, *balancing* pasif akan membaca tegangan yang paling tinggi ketika salah satu sel mengalami penuh maka *balancing* akan memutus proses *charging*. Penyeimbangan sel pada penelitian ini kurang maksimal dikarenakan tegangan awal pada pengujian mengalami perbedaan yang cukup tinggi. Batas beban baterai Li-Ion NCR 18650B adalah 0,5C yaitu sebesar 1.625 mA.

- **Pengukuran Arus Selama Proses Pengujian *Charging*.**

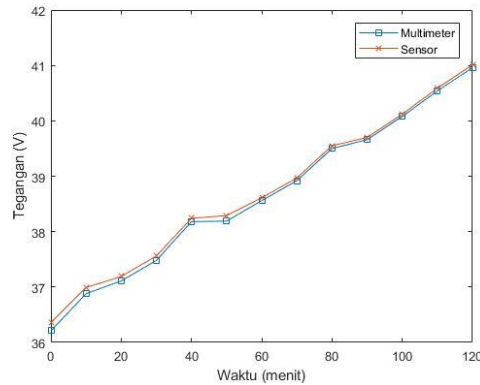


Gambar 12. Hasil Grafik Arus Proses *charging*.

Proses pengukuran dan *monitoring* arus selama pengujian menggunakan multimeter digital dan sensor arus dengan nilai arus akan ditampilkan pada LCD. Hasil pengukuran pada grafik gambar 12 dengan nilai *error* pembacaan sensor sebesar 0,261% masih dibawah batas maksimal nilai *error*. Gambar 12 grafik hasil monitoring arus untuk sumbu x adaah waktu pengisian dan sumbu y

adalah nilai arus, nilai arus selama proses pengisian 120 menit berjalan dengan konstan, sesuai dengan karakteristik pengisian *constant current*.

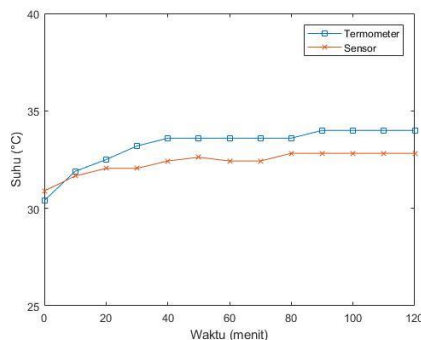
- **Pengukuran Tegangan Total (Vt) Selama Pengujian Charging.**



Gambar 13. Grafik Hasil Pengukuran Vt pada Pengujian Charging

nilai *error* pengukuran sensor sebesar 0,002% dengan nilai perbedaan tegangan yang hampir 0 pada setiap sel. Dengan kenaikan rata-rata setiap 10 menit sebesar 0,47V untuk pengukuran menggunakan multimeter dan 0,418V untuk pengukuran dan pembacaan sensor tegangan

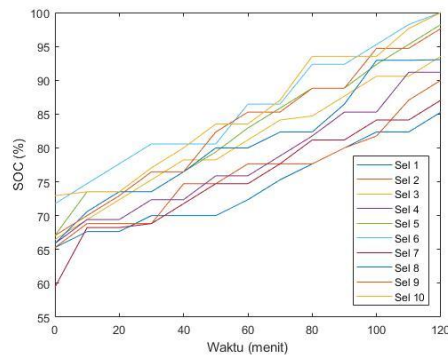
- **Monitoring Suhu pada Proses Pengujian Charging.**



Gambar 14. Grafik Perubahan Suhu Selama Proses Charging

Hasil monitoring suhu nilai *error* rata-rata pada pengukuran sebesar 0,049% dan nilai *error* pada masing masing sel dibawah batas maksimal *error* pengujian. Nilai suhu baterai pada proses pengisian dapat berubah karena pada saat pengisian ada arus yang masuk menuju baterai sehingga baterai mengalami kenaikan suhu. Kenaikan suhu pada grafik 14 menunjukkan kenaikan yang konstan dan suhu pada pengujian *charging* masih dalam batas aman beroperasi.

- **State of Charge pada pengujian Charging.**



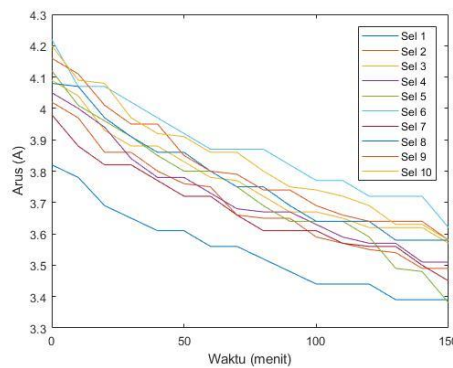
Gambar 15. SOC pada Pengujian *Charging*

grafik *state of charge* pada pengujian *charging* kenaikan terbesar pada sel 5 dengan kenaikan sebesar 31,17% dari nilai awal 67,06% dan pengisian sampai 98,23%. Nilai kenaikan terendah berdasarkan grafik 4.8 yaitu sel 1 dengan kenaikan sebesar 20% dari nilai awal 65,29% mengalami kenaikan sampai 85,29%. Kenaikan rata-rata tegangan sel Li-ion sebesar 27%. Hasil pengolahan *state of charge* menunjukkan karakteristik pengisian pada sel lithium ion yang tersusun seri dengan karakteristik perbedaan tegangan pada tiap-tiap sel lithium ion.

2. Pengujian *Discharging* Menggunakan Beban LED (*Light Emitting Diode*) 36V 0,6A.

Pengujian *discharging* pada penelitian ini menggunakan beban lampu LED 36V 0,6A pada pengujian *discharging* ini dilakukan untuk melihat karakteristik dari baterai lithium ion ketika mendapatkan beban. Waktu pengujian *discharging* pada penelitian ini selama 150 menit dengan menggunakan beban LED 36V, 0,6A.

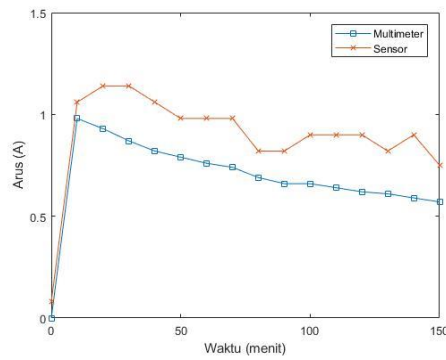
- Pengukuran Tegangan Sel Lithium Ion pada Proses *Discharging*.



Gambar 16. Pengukuran Tegangan Sel Selama Pengujian *Charging*

Hasil pengujian dan pengukuran tegangan sel li-ion pada grafik gambar 16 menunjukkan perbedaan tegangan setelah proses *discharging* dimana penurunan terbesar terjadi pada sel 5 yaitu mengalami penurunan sebesar 0,74V dari tegangan 4,12V mengalami penurunan sampai 3,38V. Sel Li-ion yang mengalami penurunan paling rendah adalah sel 1 dengan penurunan sebesar 0,43V dari 3,82V menjadi 3,39V. Pada pengukuran hasil pengujian ini sesuai dengan karakteristik baterai lithium ion yang disusun secara seri terjadi perbedaan tegangan pada tiap-tiap sel Li-Ion dengan rata-rata penurunan tegangan sebesar 0,56V. Pengujian *discharging* ini dilakukan selama 150 menit untuk menjaga baterai tetap padaSOA nya. Batas arus beban baterai Li-Ion NCR18650B adalah 1C yaitu sebesar 3.250 mAh.

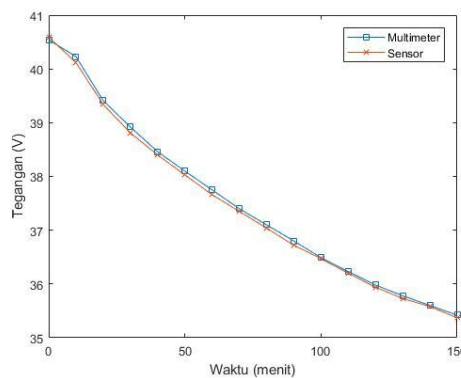
- Pengukuran Arus Selama Proses Pengujian *Discharging*.



Gambar 17. Garfik Hasil Pengukuran Arus Selama Proses Pengujian *Discharging*.

Grafik Gambar 17 saat proses pengujian nilai arus mengalami penurunan yang linier dengan rata-rata penurunan pada pengukuran multi sebesar 0,39A per 10 menit. Pada proses pengukuran menggunakan sensor nilai tidak linier karena pembacaan dipengaruhi oleh nilai arus yang keluar secara terus menerus. Penurunan arus terjadi seiring dengan berkurangnya kapasitas dari baterai lithium ion.

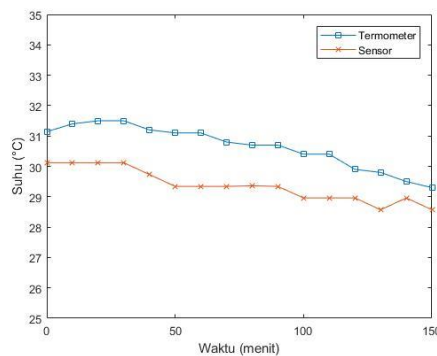
- **Pengukuran Tegangan Total (Vt) Selama Pengujian *discharging*.**



Gambar 18. Grafik Hasil Pengukuran Vt pada Pengujian *Discharging*.

Hasil pengukuran tegangan total (Vt) pada pengujian *discharging* pada Gambar 18 menunjukkan nilai *error* pengukuran sensor sebesar 0,002% dengan nilai perbedaan tegangan yang hampir 0 pada setiap sel. Dengan penurunan rata-rata setiap 10 menit sebesar 0,318V untuk pengukuran menggunakan multimeter dan 0,342V untuk pengukuran dan pembacaan sensor tegangan. Garfik dengan sumbu x waktu *charging* dan y adalah tegangan. dari grafik gambar 18 sesuai dengan karakteristik *dicharging* dengan penurunan yang linier dengan waktu.

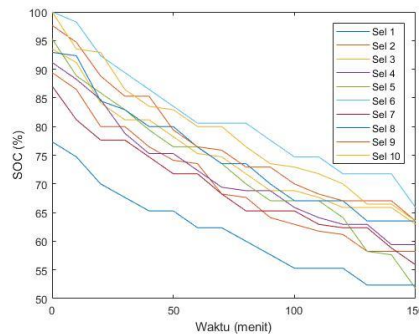
- **Monitoring Suhu pada Proses Pengujian *Discharging***



Gambar 19 Grafik Hasil Monitoring suhu pada Pengujian *Discharging*

Hasil *monitoring* suhu menunjukkan nilai *error* rata-rata pada pengukuran sebesar 0,042% dan nilai *error* pada masing masing sel dibawah batas maksimal *error* pengujian. Nilai suhu baterai pada proses *discharging* dapat berubah karena pada saat *discharging* ada arus yang keluar sehingga kapasitas akan berkurang dan arus dapat menjadi panas ketika arus berkurang maka suhu baterai akan menurun dapat dilihat pada grafik gambar 16 arus akan mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya kapasitas baterai.

- **State of Charge pada pengujian Discharging.**



Gambar 20. Grafik Hasil SOC pada Pengujian *Discharging*.

Hasil pengolahan *state of charge* pada Gambar 20 menggunakan metode OCV pada pengolahan hasil *discharging* menunjukkan perbedaan kapasitas baterai selama pengujian *discharging* 150 menit. Pada grafik gambar 20 sel lithium ion yang mengalami penurunan terendah yaitu sel 5 mengalami penurunan sebesar 43,53% dari 95,29% menjadi 51,76% dan sel Li-ion yang mengalami penurunan paling rendah yaitu pada sel 1 dengan penurunan sebesar 20% dari 77,35% menjadi 52,35%. Rata-rata penuruann tegangan selama proses pengujian *discharging* menggunakan LED 36V 0,6A yaitu sebesar 35,75%.

4. Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Modular baterai lithium ion pada penelitian ini memiliki spesifikasi tegangan 36V dan kapasitas 3.250mAh.
2. Sistem *monitoring* berjalan dengan baik, dengan rata-rata *error* pengujian pada sensor tegangan 0,005%, sensor suhu 0,0326%, dan sensor arus 0,284%.
3. Sistem modular baterai lithium ion mampu memutus proses *charging* ketika tegangan sel Li-ion telah mencapai 4,2V dan mampu memtus proses *discharging* ketika tegangan sel Li-ion telah mencapai 2,5V.
4. *State of charge (soc)* dengan metode *open circuit voltage (ocv)* pada pengujian *charging* mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan kenaikan rata-rata sel sebesar 27%. Kenaikan tegangan terbesar pada sel 5 denagn kenaikan tegangan sebesar 31,17% dan kenaikan terendah pada sel 1 dengan kenaikan 20%.
5. *State of charge (soc)* dengan metode *open circuit voltage (ocv)* pada pengujian *discharging* mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan penurunan rata-rata sel sebesar 35,75%. Penurunan tegangan terbesar pada sel 5 dengan penurunan sebesar 43,53% dan penurunan terendah pada sel 1 sebesar 20%.

4.2 Saran

Ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu

1. Menggunakan metode aktif *balancing* untuk penyeimbang tegangan.
2. Menggunakan metode *coulomb counting* dalam penentuan nilai *State of Charge*.

REFERENSI

- [1] Satriady, Aditya : Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO₄. Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol. 06, No. 02 (2016) 43- 48 Universitas Padjadjaran.
- [2] Lowe, M., Tokuoka, S., Trigg, T., & Gereffi, G. Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles. 2010. Contributing CGGC researcherCenter on Globalization, Governance & Competitiveness Duke University.
- [3] Chen, C., Jin, J. I. N., & Lenian, H. E. A new battery management system for li-ion battery moduls. 2008.The Journal Of IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, Proceedings, APCCAS.pp.1312–1315.
- [4] Junaidi, H. battey and Types of lithium ion batteries. 2016. Tersedia dari : https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. [URL dikunjungi pada 27 Februari 2018]
- [5] Garcia-Valle, R., & Lopes, J. A. P. Electric vehicle integration into modern power networks. 2013. Power Electronics and Power Systems New York : Springer Science+Business.
- [6] Hu, Rui,. Battery Management System For Electric Vehicle Applications. 2011. Electronic Theses and Dissertations. 5007. Tersedia dari : <https://scholar.uwindsor.ca/etd>. [URL dikunjungi pada 05 Maret 2019]
- [7] Teofilo, V. L., Merritt, L. V., & Hollandsworth, R. P. Advanced Lithium Ion Battery Charger ABSTRACT. 1997. The Journal IEEE AES Systems Magazine. pp 30–35.
- [8] Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications. 2018. The Journal of IEEE Access. Vol. 6, (c),pp. 19362–19378.
- [9] Goodenough, J. B., & Park, K. S. The Li-ion rechargeable battery: A perspective. The Journal of the American Chemical Society. 2013. pp. 1167–117.
- [10] Buchmann, I. Series and Parallel Configurations Lithium Ion. 2017. Tersedia dari : https://batteryuniversity.com/serial_and_parallel_battery_configirations. [URL dikunjungi pada 08 maret 2019]
- [11] Arfianto, D. F., Fahmi, D., & Asfani, D. A. Pemantauan, Proteksi, dan Ekualisasi Baterai Lithium-Ion Tersusun Seri Menggunakan Konverter Buck-Boost dan LC Seri dengan Kontrol Synchronous Phase Shift. 2016.Jurnal Teknik ITS. Vol. 6, No. 2, pp. 2301-9171.
- [12] Li, L., Li, Z., Zhao, J., & Guo, W. Lithium-ion battery management system for electric vehicles. 2018.International Journal of Performability Engineering. Vol.14, No. 12, pp. 3184–3194.
- [13] Buccolini, L., Ricci, A., Scavongelli, C., Demaso-Gentile, G., Orcioni, S., & Conti, M. Battery Management System (BMS) simulation environment for electric vehicles. 2016.The Journal Of IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering. pp. 2–7.
- [14] Elias, M. F. M., Nor, K. M., & Arof, A. K. Design of Smart Charger for Series Lithium-Ion Batteries. 2006. The Journal Of IEEE PEDS. pp. 1485–1490.
- [15] Li, J., Wang, S., Fernandez, C., Wang, N., & Xie, H. The battery management system construction method study for the power lithium-ion battery modul. 2018. The Journal Of 2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering, ICRAE. Vol. 2017 pp.285–289.
- [16] Chang, W.-Y. The State of Charge Estimating Methods for Battery. 2013. The Journal Of ISRN Applied Mathematics. Vol.1, pp. 1–7.
- [17] Anggita, Bayu, Dudi, Darmawan , Quthobi Ahmad. Perancangan Dan Implementasi Alat Ukur State Of Charge Sistem Pengawasan Pada Baterai Lead Acid Menggunakan Metode Open Circuit Voltage. 2017. ISSN : 2355-9365 e-Proceeding of Engineering : Vol.4 page 752.
- [18] Andrea, Davide : Battery Management System for Large Lithium Ion Battery Moduls. 2010. Journal Library of Congress ISBN-13.
- [19] Baxter, R., Hastings, N., Law, A., & Glass, E. J. Panduan Praktis Arduino untuk Pemula. 2008. The Journal Of Animal Genetics.
- [20] Nashirul, Irsyad . State of Energi (SOE) Estimation of LiNiCoAlO₂ Battery Module Considering Cell Unbalance and Energy Efficiency. ABS-43 International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT).
- [21] Cecep Mauludin, Suganhi, Ika Sudarmaja, D. Sistem Supply AC/DC. In Pedoman Pemeliharaan Sistem Supply AC/DC. 2014. pp. 1–58.