

PEMODELAN BATERAI MANAJEMEN SISTEM (BMS) BALANCING PADA BATERAI LI-ION

MODELING BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) BALANCING ON LI-ION BATTERIES

Gilang Ahmad Ramadhan
Program Studi D3 Teknologi Komputer
Telkom University
Bandung, Indonesia

GilangAhmad@student.telkomuniversity.ac.id

Dr. Nina Hendrarini, S.T.,M.T.
Program Studi D3 Teknologi Komputer
Telkom University
Bandung, Indonesia

ninahendrarini@staff.telkomuniversity.ac.id

Dr. Prajna Deshanta Ibnugraha S.T., M.T.
Program Studi D3 Teknologi Komputer
Telkom University
Bandung Indonesia

prajna@staff.telkomuniversity.ac.id

Abstract— Proyek Akhir ini membahas tentang pemodelan teknik balancing untuk Battery Management System (BMS) yang difokuskan pada jenis baterai Li-ion Teknik balancing yang digunakan adalah passive balancing dimana pengisian baterai diupayakan sama Hal ini ditujukan untuk menghindari kerusakan baterai akibat ketidakseimbangan dalam proses keseimbangan Pendeteksian tingkat pengisian baterai menggunakan sensor tegangan dan sensor arus, sedangkan untuk validasi menggunakan multimeter. Pengujian pada sistem yang dibangun menunjukkan tingkat keseimbangan dalam pengisian daya dengan berbagai kondisi baterai. Untuk validasi pengukuran terjadi deviasi berupa galat antara pengukuran dengan sensor dan multimeter.

Keywords— Battery Management System, Li-ion, Balancing, Sistem Manajemen Baterai

I. PENDAHULUAN.

Baterai Li-ion (Lithium-Ion) telah menjadi komponen vital dalam mendukung kehidupan sehari-hari dan teknologi modern. Kegunaan baterai ini meliputi berbagai perangkat elektronik, mulai dari ponsel pintar hingga kendaraan listrik. Keberlanjutan operasional dan kinerja optimal baterai Li-ion sangat tergantung pada pemahaman mendalam terhadap dinamika internalnya, termasuk fenomena internal yang mempengaruhi siklus hidup dan kapasitas baterai. Ketidakseimbangan dalam baterai juga dapat menyebabkan potensi short circuit. Jika sel-sel baterai memiliki kapasitas yang berbeda, maka saat baterai digunakan, beban listrik tidak akan didistribusikan secara merata di seluruh baterai. Ini dapat menyebabkan arus yang berlebihan melalui sel-sel yang kurang terisi, yang dapat menyebabkan short circuit dan akhirnya mengakibatkan terbakarnya baterai atau ledakan. Pada Proyek Akhir ini salah satu tantangan utama dalam pengelolaan baterai Li-Ion adalah sistem balancing. Sistem balancing yang digunakan yaitu metode passive balancing bertujuan untuk meratakan distribusi daya di antara sel-sel baterai individu, sehingga mencegah ketidakseimbangan yang dapat mengakibatkan degradasi kinerja dan kehilangan kapasitas. Ketidak seimbangan ini dapat terjadi sebagai akibat dari perbedaan resistansi internal, perbedaan dalam karakteristik, atau variasi selama proses pengisian dan pengosongan.

TINJAUAN PUSTAKA

Battery management system merupakan suatu sistem elektronik yang berfungsi untuk mengatur, memonitoring dan menjaga baterai dari suatu kondisi yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai. Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fan Zhang [1]

tentang desain dan pengujian hybrid balancing dengan aktif balancing untuk tiap module dan pasif untuk tiap sel. Adapun pengujian dilakukan dengan menjalankan uji kecepatan balancing, uji akurasi SOC, dan uji akurasi balancing. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem penyeimbang baterai berjalan namun sangat lamban. Sistem penyeimbang membutuhkan waktu 12 jam 54 menit untuk menyeimbangkan baterai dengan perbedaan tegangan 0.9V.

Pada tahun 2019, Hongbin Ren, Yuzhuang Zhao, Sizhong Chen, Taipeng Wang membahas tentang strategi keseimbangan muatan aktif dan strategi pengisian cepat. Tegangan pengoperasian baterai dicapai dengan menghubungkan beberapa sel secara seri potensi tegangan setiap sel ditambahkan untuk mencapai tegangan terminal yang lebih tinggi, Untuk meningkatkan efisiensi total paket baterai, sistem penyeimbangan energi aktif untuk paket baterai Lithium-Ion telah diusulkan dikombinasikan dengan estimasi status pengisian daya (SOC) dan status kesehatan (SOH) online [2].

Pada tahun 2019, Muhammad Umair Ali, Ahmad Zahar, Sarvar Hussain Nengroo, Sadam Husain, Muhammad Junaid Alvi, hee-Je Kim membahas tentang Sistem manajemen baterai yang efisien (BMS) adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan listrik untuk menjamin pengoperasian baterai Li-ion yang aman, andal, efisien, dan tahan lama saat berhadapan dengan jaringan listrik dan kondisi berkendara yang menantang. Selain itu, BMS yang efisien juga memberikan informasi tentang status baterai, seperti status daya yang tersedia (SOP), status pengisian daya (SOC), status masa pakai (SOL), dan status kesehatan (SOH). BMS dapat merasakan tegangan baterai, arus baterai, dan suhu untuk menghindari kondisi pengisian berlebih dan pengosongan berlebih. Parameter yang diukur ini dapat digunakan untuk memperkirakan keadaan baterai Li-ion [3].

Sistem baterai berdaya tinggi terdiri dari sejumlah besar sel tunggal yang terhubung secara seri. Alasan utama peningkatan tegangan baterai adalah untuk meningkatkan daya dengan menurunkan arus dan meningkatkan efisiensi. Untuk mengontrol muatan dan tegangan setiap sel diperlukan BMS dengan sistem penyeimbang [4]. Dengan perancangan passive balacing ini yang menggunakan resistor disipatif tetap untuk menghilangkan muatan tambahan dari sel yang terisi daya berlebih untuk menyeimbangkan muatan di semua sel secara merata. Salah satu perhatian utama tentang penyeimbang pasif adalah waktu penyeimbangan [5].

Ada dua jenis metode penyeimbangan tegangan sel metode penyeimbangan tegangan sel pasif dan aktif. Dalam metode penyeimbangan tegangan sel pasif, tegangan sel yang

tidak seimbang dibuang melalui komponen pasif (Resistor shunt tetap atau Resistor shunt yang diaktifkan) dalam bentuk panas untuk menyamakan tegangan sel di antara semua sel dalam paket baterai. Namun, karena adanya resistor shunt, kehilangan energi akan selalu terjadi bahkan setelah tegangan sel baterai seimbang [6]. Sedangkan pada metode penyeimbangan tegangan sel aktif, kelebihan energi akan disimpan pada elemen penyimpan energi melalui komponen aktif dan akan ditransfer ke sel bertegangan rendah di dalam baterai untuk menyamakan tegangan sel. Dalam metode penyeimbangan kapasitor aktif, kapasitor dialihkan untuk mentransfer energi dari satu sel ke sel lain dalam baterai melalui sakelar [7].

DASAR TEORI

Arduino Uno Wifi R3

Arduino Ini adalah versi kustom dari Arduino Uno R3 klasik pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 Memiliki Integrasi penuh antarmikrokontroler Atmel ATmega328P dan IC Wi-Fi ESP8266 dengan memori flash 32 MB dan konverter USB-TTL CH340G yang berada dalam satu papan (Board), dimana semua modul dapat bekerja sama atau berdiri sendiri Dan Memiliki tempat sakelar untuk memiliki 8 posisi mode [8].



Gambar 1. 1 Sistem Kendali

Sensor Arus

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh IC Hall terintegrasi dan diubah menjadi tegangan proporsional. Akurasi dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan memasang komponen di dalam antara konduktor yang menghasilkan medan magnet dan aula transduser secara berdekatan [9].

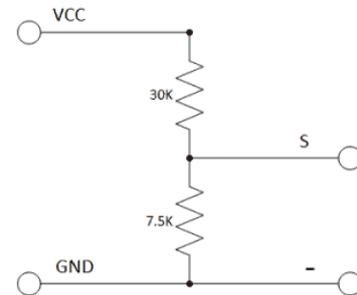


Gambar 1. 2 Sensor Arus

Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Potensial listrik merupakan besaran yang menunjukkan beda energi

listrik pada dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Berdasarkan diagram Sensor Tegangan terdiri dari dua resistor dengan resistansi 30 K Ω dan 7,5 K Ω yang masing - masing sesuai dengan Banding 1 dan 5 band Hasilnya untuk setiap tegangan masukan, tegangan keluaran dikurangi dengan faktor 5 [10].



Gambar 1. 3 Sensor Tegangan

adaptor 15v

Adaptor adalah sebuah perangkat elektronik yang berguna untuk dapat mengubah tegangan arus AC (arus bolak-balik) yang tinggi menjadi DC (arus searah) yang rendah. adaptor merupakan suatu alternatif pengganti dari tegangan DC yaitu seperti baterai, Aki dan lain sebagainya, sebab penggunaan tegangan AC lebih lama dan setiap orang dapat menggunakannya asalkan ada aliran listrik di tempat tersebut [11].



Gambar 1. 4 Adaptor

Balancer Equalizer

Modul ini merupakan Aktif balancer menyeimbangkan perbedaan tegangan antara sel baterai, meningkatkan efisiensi penggunaan baterai hingga 99%, memberikan masa pakai baterai lebih lama. Modul ini memiliki tegangan nominal pada baterai 3,2v dan maksimal arus 100A [12].



Gambar 1. 5 Balancer Equalizer

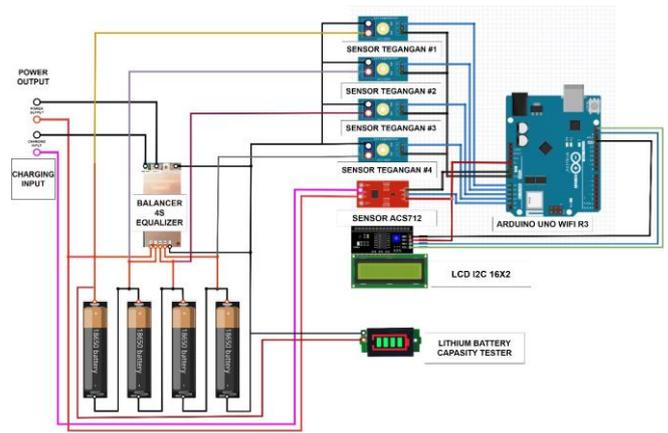
Baterai

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna

untuk mengedit, membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan memprogram program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan library C/C++(wiring), yang membuat operasi input/output lebih mudah[10].



Gambar 1. 6 Baterai



Gambar 2. 1 Gambaran sistem

LCD (Liquid Crystal Display) 16x2 I2C

Liquid Crystal Display (LCD) adalah jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Karena banyaknya titik cahaya (Piksel) yang terdiri dari satu kristal cair sebagai titik cahaya, LCD dapat menampilkan gambar atau karakter. Meskipun disebut sebagai titik cahaya, kristal ini tidak mengeluarkan cahaya. LCD 16x2 dapat menampilkan 32 karakter dalam dua baris, dengan 16 karakter per baris. Pada umumnya, LCD 16x2 menggunakan 16 pin sebagai kontrol, dan tentunya akan sangat boros jika menggunakan 16 pin tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan driver khusus agar LCD dapat dikontrol dengan modul Inter-Integrated Circuit atau I2C. Dengan modul I2C, LCD 16x2 hanya memerlukan dua pin untuk pemasok tegangan dan dua pin untuk mengirimkan data [15].

II. ANALISIS DAN PERANCANGAN

A. GAMBARAN SISTEM

perancangan perangkat keras di atas menggambarkan Arduino UNO WIFI R3 yang berfungsi sebagai pusat kontrol sistem kendali. Adapun sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan dan sensor arus. Sementara perangkat pendukung lainnya menggunakan Balancer Equalizer sebagai penyeimbang sel baterai, adaptor 15v, baterai dan kabel jumper. Sistem yang dirancang adalah baterai manajemen menggunakan konsep passive balancing dan sistem kendali Arduino dengan fitur sensor tegangan, sensor arus, dan adaptor daya 15v sebagai sumber listrik. Berikut merupakan uraian dari tiga tahapan sistem kerja :

1. Input, sensor arus dan sensor tegangan untuk mengukur arus yang mengalir dan tegangan pada baterai, balancer equalizer sebagai penyeimbang sel pada baterai.
2. Sistem kendali, peran dari bagian ini sebagai pengambilan nilai sensor yang dilakukan oleh Arduino Uno WIFI R3.
3. Output, Menampilkan status baterai, termasuk tingkat daya, tegangan, dan arus saat ini dan akan ditampilkan di serial monitor.

B. IDENTIFIKSI KEBUTUHAN SISTEM

Tabel 2. 1 Tabel kebutuhan fungsional

NO	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
1	Sistem penyeimbang sel	Passive balancing berfungsi untuk menyeimbang setiap sel-sel baterai saat pengisian daya dengan cara membuang arus yang berlebihan pada baterai agar menyesuaikan tegangan baterai secara otomatis untuk memaksimalkan efisiensi.
2	Pamantauan tegangan	Sistem ini dapat memantau nilai tegangan pada baterai secara terus-menerus melalui serial monitor.
3	Pemantauan arus	Sistem ini dapat memantau arus yang mengalir pada baterai saat pengisian daya.
4	Sistem kendali	Fungsi dari mikrokontroller ini dapat mengintegrasikan

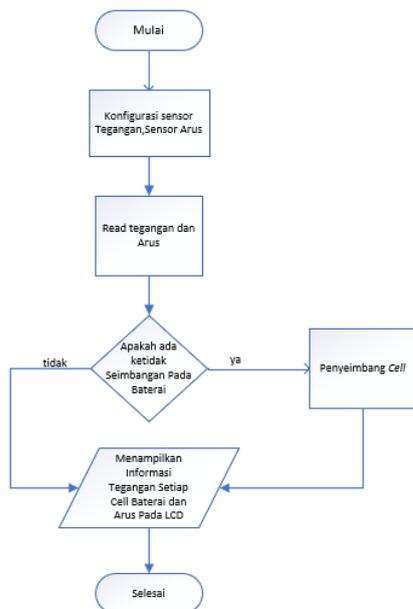
	sensor tegangan dan sensor arus.
--	----------------------------------

Tabel 2. 2 Tabel kebutuhan non fungsional

NO	Kebutuhan Non Fungsional
1	Dibutuhkan BMS 4S Equilizer sebagai penyeimbang sel baterai.
2	Dibutuhkan sensor tegangan sebagai mengukur tegangan beteraai.
3	Dibutuhkan sensor arus sebagai mengukur arus yang saat pada saat pengisian daya baterai.
4	Dibutuhkan arduino uno R3 wifi.

C. FLOWCHART

Berdasarkan flowchart sistem dimulai dari start kemudian program akan membaca sensor MPU6050 jika sensor terbaca maka MPU6050 akan membaca data yang kemudian di konversi dari input MPU6050 menjadi pwm. Ketika posisi awal pada lintasan datar kecepatan awal pada motor yaitu 150 rpm lalu Ketika setelah melewati lintasan maka kecepatan awal $150 + \text{nilai ax}$ Ketika turunan nilai ax akan di representasikan sebagai nilai negatif sedangkan Ketika tanjakan nilai ax akan di representasikan sebagai nilai positif sebagai conhoc Ketika motor berada pada lintasan tanjakan 10 derajat dan nilai ax yang di dihasilkan 15 maka kecepatan awal ditambah dengan nilai ax jadi $150 + 15 = 165$ maka kecepatan yang di dihasilkan pada tanjakan dengan kemiringan 10 derajat yaitu 165.

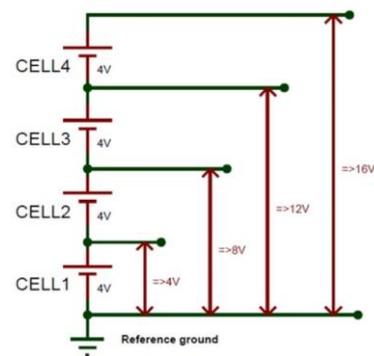


Gambar 2. 2 flowchart

III. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. IMPLEMENTASI

Implementasi pada Proyek ini pembacaan nilai tegangan pada baterai pack, nilai tegangan yang diukur adalah nilai tegangan per sel. Terdapat 4 sel baterai yang disusun secara seri. Baterai yang dipakai sebagai pengujian yaitu baterai li-ion mempunyai spesifikasi kapasitas tegangan 3,7v sampai 4,2v dengan kapasitas miliampare-hour sebesar 1200mAh. Sehingga nilai dari tegangan untuk satu pack baterai sebesar 14.8 sampai 16.8v (Full Charge).



Gambar 3. 1 Skematik Rangkaian Baterai

B. PENGUJIAN

Pengujian ini dilakukan melihat tingkat ke seimbangan baterai melalui sensor tegangan dan sensor arus.

Pengujian Sistem Penyeimbangan Baterai

1. Tujuan

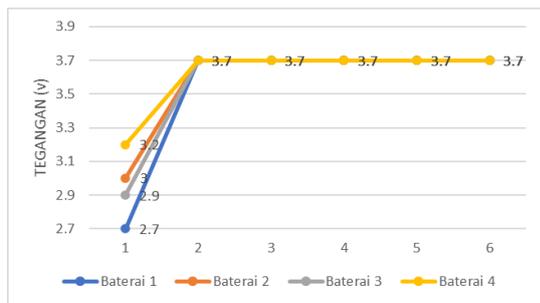
Pengujian bertujuan untuk mengetahui kebesimbangan baterai setelah dilakukan balancing sejauh mana tingkat keseimbangan baterai setelah dilakukan pengisian daya sebelum dan sesudah.

2. Skenario

Pengujian dilakukan 3 kali proses pengisian daya dan baterai dibuat tidak seimbang sebelum proses pengisian daya. Pengujian pertama menggunakan baterai dengan tegangan rendah, pengujian kedua baterai melebihi kapasitas tegangan dan pengujian ketiga menggunakan baterai.

3. Hasil pengujian

a. Pengujian pertama menggunakan baterai tegangan rendah.



Gambar 3. 2 Grafik proses penyeimbangan sel

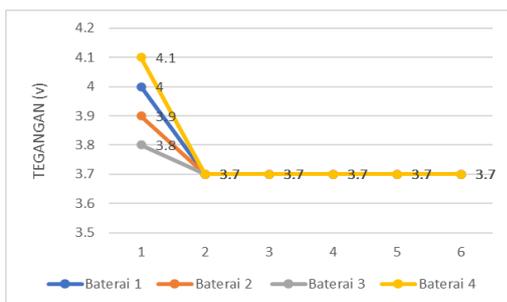
pengujian menggunakan baterai tegangan rendah, setelah proses penyeimbang sel dilakukan baterai mengalami penyeimbangan sel. Pada baterai 1 mencapai full charge di 3,7v. Baterai 2 mencapai full charge di 3,7v. Baterai 2 mencapai full charge di 3,7v, baterai 3 mencapai full charge di 3,7v, baterai 4 mencapai full charge di 3,7v.

- b. Pengujian kedua menggunakan baterai yang melebihi kapasitas.

Table 3. 1 Tegangan Sebelum Pengisian Daya

CELL BATERAI	TEGANGAN (v)
1	4
2	3.9
3	3.8
4	4.1

kondisi sebelum penyeimbangan baterai 1 di tegangan 4v. Baterai 2 di tegangan 3,9v. Baterai 3 di tegangan 3,8v. Baterai 4 di tegangan 4,1v.



Gambar 3. 3 Grafik Proses Penyeimbang Sel pada Baterai Melebihi Kapasitas

proses penyeimbangan sel baterai yang sebelumnya melebihi kapasitas tegangan baterai, setelah proses balancing kondisi tegangan baterai mengalami perubahan nilai tegangan pada baterai, baterai 1 sebelumnya di 4v dan sesudah proses penyeimbangan sel di 3,7v. Baterai 2 sebelumnya 3,9v mengalami perubahan di tegangan 3,7v. baterai 3 sebelumnya nya di 3,8v mengalami perubahan di

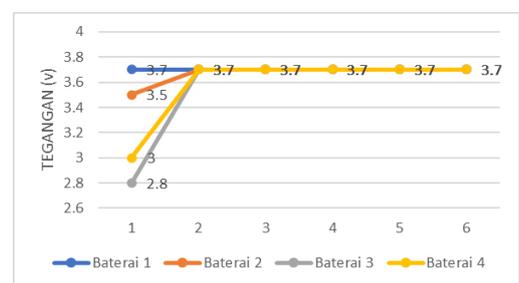
3,7v. Baterai 4 sebelumnya 4,1v mengalami perubahan di 3,7v

- c. Pengujian ketiga menggunakan baterai tegangan full dan tegangan rendah

Table 3. 2 Tegangan Baterai Sebelum Pengisian Daya

SEL BATERAI	TEGANGAN (v)
1	3.7
2	3.5
3	3
4	2.8

data tegangan baterai sebelum pengisian baterai 1 tegangannya 3,7v. Baterai 2 tegangannya 3,5v. Baterai 3 tegangannya 3,8v. Baterai 4 tegangannya 2,8v.



Gambar 3. 4 Grafik setelah Proses Penyeimbangan Sel

menunjukkan kondisi baterai setelah penyeimbangan sel. Pada baterai 1 sebelumnya 3,7v kondisi tetap setelah proses penyeimbangan sel, karena batas maksimal pengisian daya di 3,7v. Baterai 2 sebelumnya 3,5v dan sesudah mengalami perubahan tegangan di 3,7v. Baterai 3 sebelumnya 2,8v sesudah kondisi baterai mengalami perubahan di 3,7v. Baterai 4 sebelumnya 3v sesudah kondisi baterai mengalami perubahan di 3,7v.

4. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil ketiga pengujian di atas, pengujian pertama menggunakan baterai tegangan rendah saat setelah proses penyeimbangan sel baterai secara merata di 3,7v. Pengujian 2 menggunakan baterai yang melebihi kapasitas setelah proses pengisian daya baterai secara merata di 3,7v. Pengujian ke tiga menggunakan baterai full charge dan baterai tegangan rendah setelah proses penyeimbangan sel pada kondisi baterai pertama mengalami full charge balancer otomatis membuang arus pengisian daya hingga pada semua sel tegangan baterai merata di 3,7v.

Pengujian pemantauan tegangan keluaran baterai melalui serial monitor dan MultiTester

1. Tujuan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui bahwa data atau informasi yang diperoleh dari sensor tegangan tersebut akurat.

2. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan mengukur tegangan baterai melalui serial monitor dan divalidasi menggunakan MultiTester.

3. Hasil Pengujian

Table 3. 3 Tegangan Baterai Pada Serial Monitor dan MultiTester

NO	TEGANGAN SEL BATERAI (v)				TEGANGAN YANG TERUKUR PADA MULTITESTER (v)			
	BAT1	BAT 2	BAT3	BAT4	BAT 1	BAT 2	BAT 3	BAT 4
1	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
2	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
3	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
4	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
9	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79
10	3.7	3.7	3.7	3.7	3.73	3.76	3.77	3.79

data pengukuran sensor tegangan pada baterai melalui serial monitor dan divalidasi menggunakan MultiTester dalam 10 kali percobaan.

Table 3. 4 Galat Tegangan Baterai pada Serial Monitor dan MultiTester

GALAT TEGANGAN (v)			
BAT 1	BAT 2	BAT 3	BAT 4
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9
0.3	0.6	0.7	0.9

Data di atas menunjukkan galat pada serial monitor dan Multi tester dalam 10 kali percobaan.

4. Analisis hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian data pengukuran tegangan pada baterai melalui serial monitor dan MultiTester.

Tegangan pada baterai 1 melalui serial monitor dan MultiTester 3,7v dan 3,73 galat 0,3. Tegangan pada baterai 2 melalui serial monitor dan MultiTester 3,7v dan 3,76v galat 0,6. Tegangan pada baterai 3 melalui serial monitor dan MultiTester 3,7v dan 3,77 galat 0,7. Tegangan pada baterai 4 melalui serial monitor dan MultiTester 3,7v dan 3,79 galat 0,9 memiliki galat pada masing-masing sel baterai.

Pengujian Sensor arus untuk mengukur arus pengisian baterai

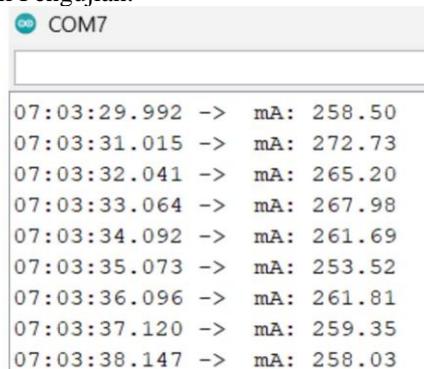
1. Tujuan

Pengujian bertujuan mengukur dan memantau arus pengisian daya baterai.

2. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan mengukur dan memantau arus pengisian daya menggunakan sensor ACS712 dan ditampilkan melalui serial monitor.

3. Hasil Pengujian.



Gambar 3. 5 Data Keluaran Sensor Arus Melalui Serial Monitor

data keluaran arus pada saat pengisian baterai arus yang dikeluarkan 258mA-272mA.

4. Analisis hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian Adaptor yang digunakan untuk pengisian baterai 15v 2A. Arus yang dikeluarkan saat pengisian daya baterai 258mA-272mA dan ditampilkan melalui serial monitor, arus menunjukkan fluktuasi nilai sehingga arus tidak stabil pada saat pengisian daya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan Setelah dilakukan implementasi dan pengujian sistem balancing pada baterai li-ion di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perangkat Keras battery managent system dapat di implementasi dan dapat monitoring setiap sel baterai dan dapat mengetahui tingkat keseimbangan baterai.
2. Hasil pengujian sensor tegangan per sel baterai memberikan data yang ditampilkan pada serial monitor dan dibandingkan dengan multimeter dan

Hasil pengujian sensor ACS712 dapat mengukur dan memantau arus pengisian dan dapat di lihat diserial monitor.

B. SARAN

Setelah Proyek ini dikerjakan terdapat beberapa saran yang dapat diterapkan dalam penelitian berikutnya. Salah satu masukkan yaitu menambahkan sensor suhu pada setiap sel baterai secara real-time. Untuk mencegah overtemperature dan meningkatkan keselamatan baterai. Pada pengukuran sensor tegangan persel baterai dapat menambahkan sirkuit diferensial untuk mengukur tegangan sel individu agar lebih akurat untuk sensor tegang per sel baterai dan pada sensor arus dapat menstabilkan nilai arus yang masuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Maksimović, A, and n Z. M. M. U. R. R. Z. Dragan, "Hybrid balancing in a modular battery management system for electric-drive vehicles," IEEE, 2017.
- [2] T. W. Hongbin Ren, Yuzhuang Zhao, Sizhong Chen, "Design and implementation of a battery management system with active charge balance based on the SOC and SOH online estimation," SciencDirect, 2019.
- [3] hee-J. K. Muhammad Umair Ali, Ahmad Zahar, Sarvar Hussain Nengroo, Sadam Husain, Muhammad Junaid Alvi, "Towards a Smarter Battery Management System for Electric Vehicle Applications: A Critical Review of Lithium-Ion Battery State of Charge Estimation," MDPI, 2019.
- [4] I. G. I. Aizpuru, U. Iraola, J. M. Canales, M. Echeverria, "Passive balancing design for Li-ion battery packs based on single cell experimental tests for a CCCV charging mode," IEEE, 2013.
- [5] K. D. D. Thiruvonasundari, "Optimized Passive Cell Balancing for Fast Charging in Electric Vehicle," IETE J. Res., 2023.
- [6] S. Singirikonda, "NActive cell voltage balancing of Electric vehicle batteries by using an optimized switched capacitor strategyo Title," SciencDirect, 2021.
- [7] Y. Obulesu, "Penyeimbangan tegangan sel aktif baterai kendaraan listrik dengan menggunakan strategi kapasitor aktif yang dioptimalkan," SciencDirect, 2021.
- [8] T. Suryana, "Mengirim Data Hasil Pengukuran Humidity dan Temperature Sensor DHT11 dengan Arduino UNO WiFi R3 ATmega328P ESP8266," 2021, [Online]. Available: <https://robotdyn.com/uno-wifi-r3-atmega328p-esp8266-32mb-flash-usb-ttl-ch340g-micro-usb.html>
- [9] Y. B. Yonanda, "Monitoring Arus Beban yang Tersalurkan Pada Gardu Induk PLTU Gresik Dengan Android Menggunakan Bluetooth HC-O5 Berbasis Mikrokontroler ARM," Gresik, pp. 6–16, 2017, [Online]. Available: <http://digilib.umg.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jipptung--yogabagusy-2574&q=YOGA BAGUS YONANDA>
- [10] Rekomend, "Pengertian dan Jenis Sensor Tegangan," rekomend.id. Accessed: Jan. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.rekomend.id/sensor-tegangan/>
- [11] Abid, "Pengertian Adaptor, Fungsi dan Kegunaan Adaptor Terlengkap 2023," Djo Group. [Online]. Available: <https://djonews.com/pengertian-adaptor-serta-fungsi-dan-kegunaan-adaptor/>
- [12] Amazon, "BMS Battery Equalizer Balancer 4S Smart BMS balancer 12V 100A 120A 150A 200A with UART 485 Port Lithium Battery Protection Board PCM (Color: UART BMS, Size: LFP4 100A Balance)," www.amazon.com. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Battery-Equalizer-Balancer-LiFePo4-Protection/dp/B0CGNKH1HV?th=1>
- [13] N. Publikasi, "Balancing pada baterai lithium polymer dengan topologi shunt resistor secara online," pp. 3–5, 2016.
- [14] D. E. C. Na and C. Hipertensiva, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析 Title".
- [15] S. PROGRAMMING, "Menampilkan Text Pada LCD 16x2 I2C Arduino," SINAU PROHRAMING. Accessed: Jan. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.sinauprogramming.com/2020/10/menampilkan-text-pada-lcd-16x2-arduino.html>