

# PERANCANGAN DAN ANALISIS PENGUJIAN EFEKTIVITAS SISTEM MONITORING TEGANGAN PADA BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DENGAN BATERAI LITHIUM IRON PHOSPHATE PADA PURWARUPA MOBIL LISTRIK

Muhammad Andrul Persada Ginting\*), Muhammad Thoriq Arrayan, Aldion Ramadhan, Denis, dan Iwan Setiawan

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

\*)Email: [andrulpersada@students.undip.ac.id](mailto:andrulpersada@students.undip.ac.id)

## Abstrak

Perkembangan kendaraan listrik sedang pesat di dunia, menggunakan motor listrik yang dioperasikan oleh baterai, termasuk baterai lithium iron phosphate. Namun, penggunaan baterai ini memerlukan proteksi yang andal untuk mencegah kerusakan akibat perlakuan tidak tepat. Battery Management Systems (BMS) hadir untuk memantau dan melindungi sel baterai dengan mengamati kondisi tegangan, arus, dan temperatur, serta menjaga keseimbangan sel baterai. Pada penelitian ini, akan dirancang sistem monitoring pada BMS Pengujian yang dilakukan adalah terkait dengan monitoring kondisi tegangan tanpa beban, pengujian sistem balancing, serta pengujian sistem proteksi. Hasil pengujian monitoring tegangan menunjukkan bahwa performa *smart* BMS untuk monitoring tegangan memiliki nilai akurasi lebih dari 95%. Hasil pengujian sistem *balancing*, fitur balancing aktif pada saat sel baterai melebihi nilai 0,5 V. Pada pengujian sistem proteksi, *smart* BMS konvensional dapat bekerja dengan optimal sesuai dengan batas maksimal tegangan dan batas minimal tegangan yang telah diatur.

Kata Kunci: Kendaraan Listrik, Battery Management Systems, Monitoring Tegangan, Balancing, Proteksi

## Abstract

*The development of electric vehicles is rapidly advancing worldwide, utilizing electric motors powered by batteries, including lithium iron phosphate batteries. However, the use of these batteries requires reliable protection. Battery Management Systems (BMS) are designed to monitor and protect battery cells by observing voltage, current, and temperature conditions, as well as maintaining battery cell balance. This Final Project will design a monitoring system for the BMS. The testing conducted is related to monitoring the open-circuit voltage, balancing system testing, and protection system testing. The results of the voltage monitoring test show that the commercial smart BMS performance for voltage monitoring has an accuracy value of over 95%. The results of the balancing system testing show that the active balancing feature operates when the battery cell exceeds a 0.5V threshold. In the protection system testing, the conventional smart BMS can work optimally according to the set maximum and minimum voltage limits.*

*Keywords: Electric Vehicles, Battery Management Systems, Voltage Monitoring, Balancing, Protection.*

## 1. Pendahuluan

Pengembangan kendaraan listrik menjadi *trend* dalam pengembangan otomotif dunia. Hal ini didasari atas banyaknya penggunaan bahan bakar fosil yang akan menimbulkan banyak permasalahan mengenai pencemaran lingkungan. Sehingga salah satu cara untuk mengurangi pencemaran tersebut adalah dengan dikembangkannya kendaraan dengan menggunakan energi listrik. Selain itu,

penggunaan kendaraan listrik dapat menjadi alternatif dalam mengurangi pemanasan global karena rendah emisi dan dapat mengurangi penggunaan mesin berbahan bakar fosil sehingga dapat mengurangi jumlah gas karbon dioksida yang dibuang ke atmosfer [Amjad, Neelakrishnan, & R. Rudramoorthy, 2010]. Komponen penting dan utama dalam kendaraan listrik adalah baterai yang digunakan sebagai perangkat

penyimpanan energi. *National Energy Resilience Agency* (NREL), lembaga riset yang mengembangkan teknologi

baterai di Amerika Serikat merekomendasikan baterai harus dapat bertahan untuk 10 sampai 20 tahun dalam pemakaian normal agar dapat diterima oleh konsumen secara luas [Gamatika, 2013]. Jika hal tersebut tidak dapat diwujudkan maka dikhawatirkan pemakaian mobil listrik akan mengalami saturasi permintaan.

Saat ini, Indonesia tengah mengembangkan kendaraan listrik dengan beberapa jenis baterai diantaranya baterai *lithium iron phosphate*. Baterai *lithium iron phosphate* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baterai jenis lain, diantaranya *life cycle* yang panjang (lebih dari 1000 siklus pemakaian), memiliki kestabilan yang baik pada tegangan kerja tinggi (kurva tegangan mendekati linear 3,4 V, kapasitas spesifik tinggi (170 mAh/g dibandingkan 100 mAh/g pada LiCoO<sub>2</sub>), dan ramah lingkungan. Baterai *lithium iron phosphate* memiliki karakteristik stabilitas termal yang baik, dalam arti lain baterai *lithium iron phosphate* pada kinerja tinggi, baterai tetap dingin. Namun tegangan pada baterai *lithium iron phosphate* mengalami lonjakan tegangan pada saat *discharge* dan *charging* dan pada baterai litium memiliki batas tegangan maksimal dan minimal yang apabila melebihi batas tegangan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada baterai [2], sehingga dibutuhkan suatu alat yang dapat memantau dan menyeimbangkan untuk menjaga agar baterai tetap berada pada tegangan aman. Karena pada dasarnya, penggunaan baterai yang disusun seri maupun paralel dapat menyebabkan ketidakseimbangan antar sel. Karena ada proses dimana akan dilakukan *charging* dan *discharging* saat penggunaan baterai. Hal ini menyebabkan menurunnya kapasitas energi yang dapat digunakan oleh baterai tersebut, salah satunya dengan menggunakan BMS (*Battery Management System*). BMS adalah perangkat elektronik yang mengelola pengisian ulang baterai (sel atau baterai pak), serta memantau keadaan baterai, menghitung data sekunder, melaporkan data baterai, melindungi baterai, mengatur kondisi sekitar baterai, dan/ atau menjaga keseimbangan baterai [Xing dkk., 2011]. BMS yang baik akan mengoptimalkan pengoperasian kendaraan yang efisien dan aman dan menjamin terjaganya baterai sehingga berumur lebih lama. Pada penelitian ini akan dibuat rancang bangun yang bersifat eksperimental untuk melakukan monitoring dari sistem *balancing* di BMS konvensional pada tiap cell baterai LFP, dengan menggunakan sensor tegangan yang dihubungkan dengan baterai dan arduino due dengan harapan dapat melakukan monitoring guna melihat optimalisasi kinerja pada BMS konvensional pada sistem *balancing* di tiap cell dan sistem proteksi di tiap cell [8].

Maka, Pada penelitian ini akan dirancang sistem pengamanan baterai dengan menggunakan BMS (Battery Management System) dan sistem monitoring keandalan BMS di Baterai *Lithium Iron Phosphate* dengan menggunakan mikrokontroler pada purwarupa mobil listrik. Pengamanan baterai dapat dilakukan dengan pemasangan sistem BMS pada baterai.

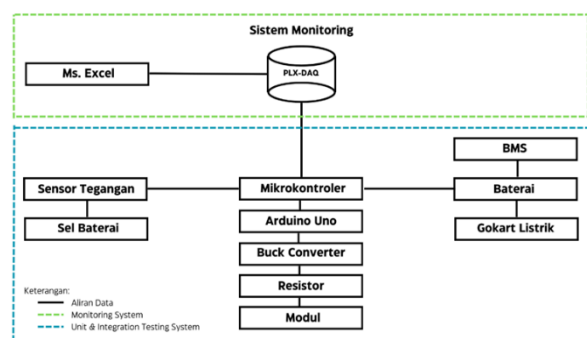
## 2. Metode

### 2.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Metode sistem penyetimbangan pada *smart* BMS yang digunakan adalah dengan meninjau dan melakukan perumusan masalah-masalah yang muncul. Perlunya modifikasi algoritma sistem *monitoring* tegangan saat penyetimbangan dengan metode analisis perbandingan tegangan setiap sel baterai sebagai strategi *monitoring* efektivitas penyetimbangan [1]. Untuk melakukan perbandingan dibutuhkan variabel input dan output dengan mempertimbangkan data pengukuran pada baterai. Tegangan tiap sel saat sebelum penyetimbangan sebagai input, dan hasil tegangan setiap sel setelah penyetimbangan sebagai output. Kemudian, dilakukan implementasi serta pengujian pemodelan dan algoritma pada prototipe *monitoring* tegangan saat sistem penyetimbangan. Jika tidak ada hasil tegangan terukur saat dilakukan sistem penyetimbangan, maka pengujian akan terus dilakukan hingga nilai tegangan terukur tiap sel baterai muncul. Nilai tegangan tiap sel setelah penyetimbangan menunjukkan hasil efektivitas untuk penyetimbangan. Tahap terakhir, menganalisis distribusi tegangan tiap sel baterai selama penyetimbangan.

### 2.2 Perancangan Umum

Perancangan Monitoring tegangan sel baterai merupakan sistem yang mengamati tegangan pada sel baterai dengan tujuan untuk mengetahui keoptimalan kinerja dan kesehatan pada setiap sel baterai. Perancangan sistem monitoring tegangan sel baterai akan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Tegangan Sel Baterai

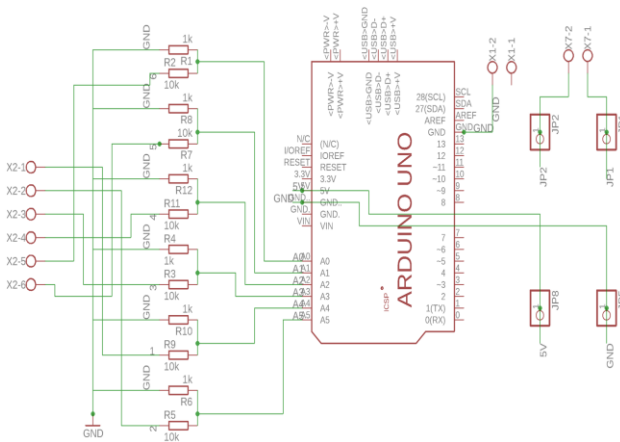
Pembahasan meliputi pembacaan data dari sensor tegangan untuk sel baterai yang terdapat pada baterai LFP; Komunikasi serial mikrokontroler; komunikasi serial mikrokontroler ke Ms Excell dengan *platform* PLX-DAQ; dan pembuatan mikrokontroler untuk monitoring tegangan sel baterai. Data yang terbaca oleh sensor akan diproses menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk menghitung parameter monitoring, dan menghitung nilai

tegangan pada sel baterai. ADC akan berperan sebagai yang menghubungkan perangkat dengan software PLX-

DAQ, sehingga seluruh data yang diterima Arduino Uno dapat dikirimkan dan dihimpun ke dalam *Ms.Excell* untuk memproses keseluruhan sistem monitoring tegangan.

### 2.2.1 Sistematika Diagram Konektivitas

Perancangan ‘Monitoring Tegangan Sel Baterai’ akan berpusat pada miktokontroler Arduino Uno sebagai pembaca sensor, dan pengolahan data sensor. Berikut merupakan susunan konektivitas komponen yang diilustrasikan menggunakan *Software* Autodesk Eagle. Diagram konektivitas dapat dilihat pada Gambar 2.



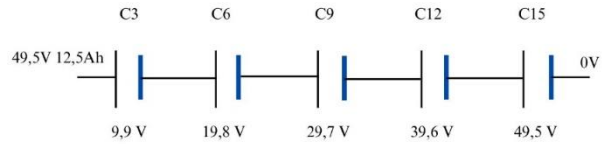
Gambar 2. Diagram Konektivitas Komponen Arduino Uno

Tabel 1. Hubungan Konektivitas Komponen Mikrokontroler

No	Komponen	Pin Arduino Uno	Kode Komponen Eagle
1	Sensor Tegangan Bat 3	Analog 0 (A0)	VBAT3
2	Sensor Tegangan Bat 6	Analog 2 (A2)	VBAT6
3	Sensor Tegangan Bat 9	Analog 3 (A3)	VBAT9
4	Sensor Tegangan Bat 12	Analog 4 (A4)	VBAT12
5	Sensor Tegangan Bat 15	Analog 5 (A5)	VBAT15
7	USB type B	USB V+	

### 2.2.2 Perancangan Pembacaan Tegangan Sel Baterai

Pada perancangan sistem pembacaan nilai tegangan sel baterai digunakan metode pembagi tegangan dengan metode pembagi per 3 sel baterai. Maka dari pembacaan sel keenam akan didapatkan hasil 19,8 lalu akan dikurangi dengan sel ketiga maka nilainya adalah 9,9. Dengan asumsi bahwa nilai tegangan setiap sel sama maka nilai tegangan pada satu sel baterai merupakan 3,3 V. Skema pembacaan tegangan sel baterai dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pembacaan Tegangan Sel Baterai

Pada perancangan sistem pembacaan nilai tegangan sel baterai digunakan metode pembagi tegangan dengan metode pembagi per 3 sel baterai. Maka dari pembacaan sel keenam akan didapatkan hasil 19,8 lalu akan dikurangi dengan sel ke tiga maka nilainya adalah 9,9. Dengan asumsi bahwa nilai tegangan setiap sel sama maka nilai tegangan pada satu sel baterai merupakan 3,2 – 3,3 V.

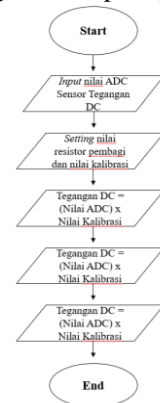
### 2.2.3 Pembacaan ADC Sensor Tegangan

Output tegangan tiap *cell* memiliki sifat *analog* menjadi *input* pada ADC (*Analog to Digital Converter*) pada arduino dan diolah menjadi nilai keluaran yang mempunyai sifat *digital* pada sistem monitoring *software* PLX-DAQ. Dalam pembacaan tegangan digunakan rangkaian pembagi tegangan menggunakan trimpot atau *variable resistor* yang berjumlah 5 buah dengan nilai hambatan maksimal sebesar 11 k ohm.

## 2.3 Perancangan Sistem

### 2.3.1 Perancangan Sensor Tegangan

Proses pembacaan tegangan pada masing – masing sel baterai dilakukan algoritma seperti pada Gambar 2.

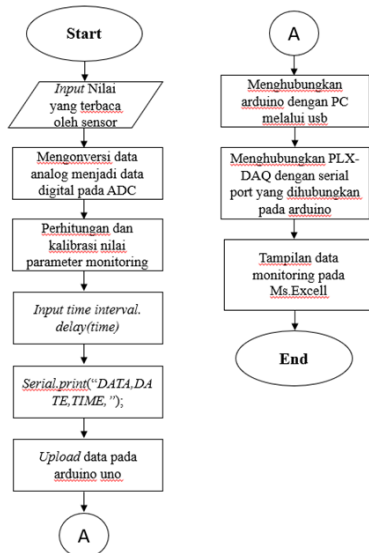


Gambar 4. Diagram Alir Proses Pembacaan Sensor Tegangan DC

Berdasarkan flowchart pada Gambar 3.9 proses pembacaan sensor tegangan DC digunakan dengan melakukan sample data ADC. Nilai rata – rata ADC akan dihitung berdasarkan nilai kalibrasi menggunakan metode trimmed mean sehingga diperoleh nilai tegangan DC yang akurat untuk melakukan monitoring tegangan pada sel baterai.

### 2.3.2 Perancangan Komunikasi Data

Diagram alir dari perancangan komunikasi data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Komunikasi Data

Setelah nilai tegangan terbaca lalu akan ditampilkan pada *Microsoft Excel* yang sudah terintegrasi dengan PLX-DAQ. Pada algoritma sistem monitoring bermula pada pembacaan tegangan yang sudah diproses oleh mikrokontroler. Sel baterai yang akan dimonitor merupakan sel ke 3, sel ke 6, sel ke 9, sel ke 12, dan sel ke 15. Kemudian pada sistem *balancing* akan aktif jika tegangan pada salah satu baterai berada pada posisi yang lebih rendah dari 3,2 V maka sistem *Smart BMS* akan aktif dan melakukan *balancing*. Pada mekanisme sistem proteksi dilakukan dengan nilai batasan dari tegangan maksimal dan tegangan minimal.

### 2.4 Skenario Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan analisis perbandingan nilai tegangan pada *Smart BMS* dan prototipe sistem monitoring tegangan tiap sel. Aspek yang akan diuji yaitu efektivitas monitoring sel tegangan baterai pada *smart BMS*, efektivitas sistem penyetimbang setiap sel baterai yang dilakukan pada *Smart BMS*, dan efektivitas sistem proteksi / *Cut off* pada *smart BMS*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Skenario dan Sasaran Pengujian

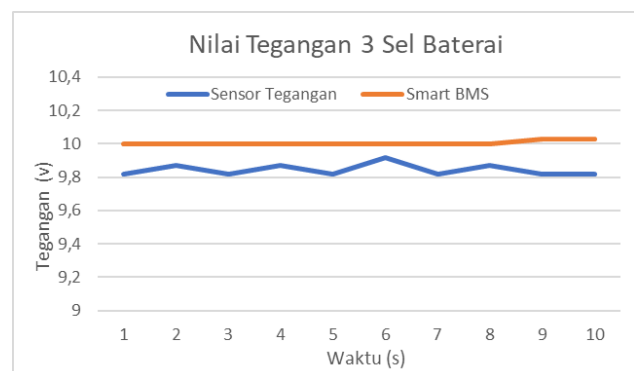
No	Skenario Pengujian	Sasaran
1	Perbandingan nilai tegangan	Mengetahui margin error pada monitoring <i>Smart BMS</i>
2	Penyetimbangan dengan mekanisme pengisian	Mengetahui efektifitas sistem penyetimbang pada <i>smart BMS</i> saat pengisian
3	Sistem Proteksi / <i>Cutoff</i>	Mengetahui efektifitas dan kinerja sistem proteksi pada <i>smart BMS</i>

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengujian Tegangan Sel Baterai dan Efektivitas *Smart BMS*

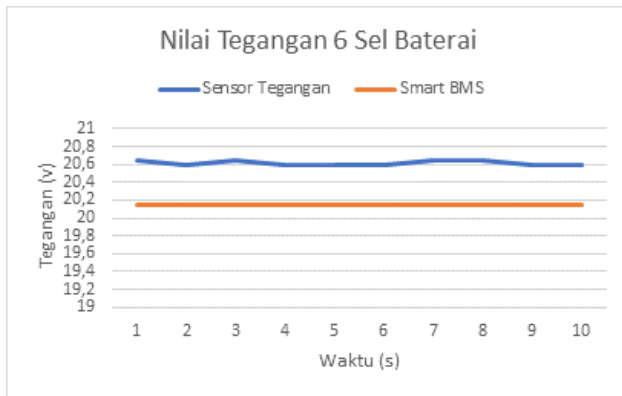
#### 3.1.1. Hasil Analisis Data Rangkaian Monitoring Tegangan tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan menggunakan data pengujian sensor tegangan pada mikrokontroler untuk monitoring tegangan sel baterai, serta dilakukan dengan kondisi SoC pada nilai 100% dengan nilai tegangan sel tertinggi pada angka 3,49 V dan nilai sel terendah pada angka 3,39 V. Hasil dari pengukuran akan ditunjukkan pada Gambar 6 sampai Gambar 10.

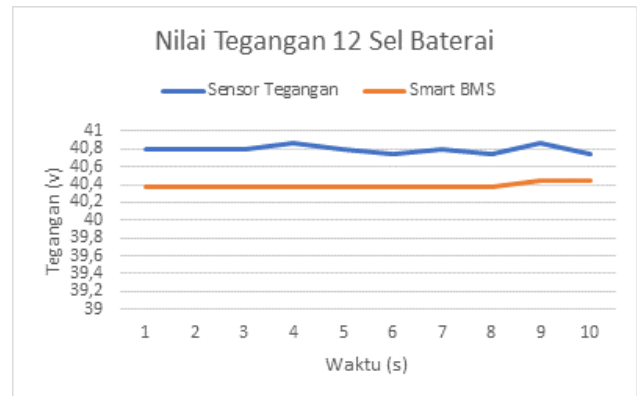


Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Monitoring Tegangan 3 Sel Baterai

Gambar 6. Menunjukkan hasil pengujian monitoring tegangan 3 sel baterai yang dibandingkan dengan nilai terbaca di *smart BMS*. Pengujian sensor tegangan pada interval waktu 10 detik percobaan dapat diamati bahwa nilai tertinggi yang dibaca pada sensor tegangan adalah 9,87 V dan nilai terendah yang terbaca adalah 9,82 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan adalah 9,84 V. Sementara pada hasil pembacaan tegangan di *smart BMS* nilai tertinggi yang ditampilkan adalah 10,03 V dan nilai terendahnya adalah 10 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang ditampilkan adalah 10,00 V.



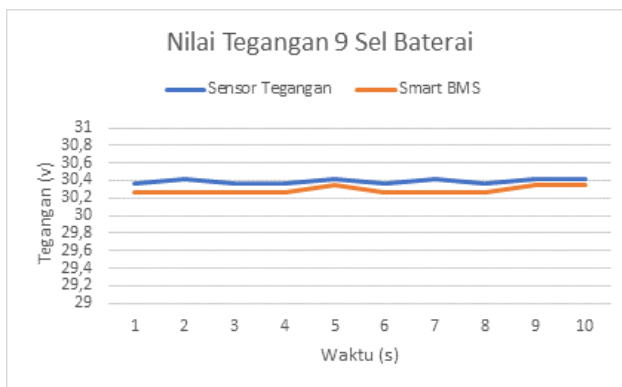
Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Monitoring Tegangan 6 Sel Baterai



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Monitoring Tegangan 12 Sel Baterai

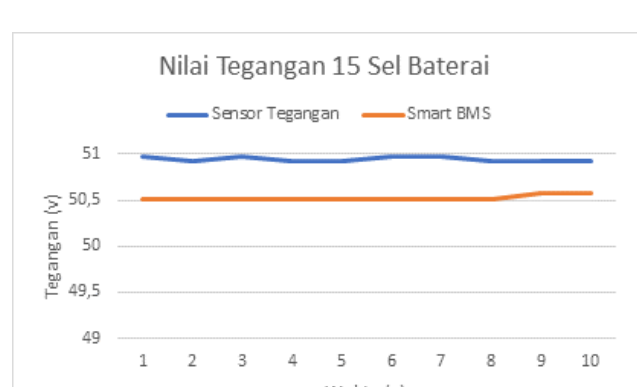
Pada Gambar 7 merupakan hasil pengujian alat monitoring tegangan 6 sel baterai dengan, yang dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada smart BMS. Pada pengujian sensor tegangan pada interval waktu 10 detik percobaan dapat diamati bahwa nilai tertinggi yang dibaca pada sensor tegangan adalah 20,65 V dan nilai terendah yang terbaca adalah 20,59 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan adalah 20,62 V. Sementara pada hasil pembacaan tegangan di smart BMS nilai tertinggi yang ditampilkan adalah 20,14 V dan nilai terendahnya adalah 20,14 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang ditampilkan adalah 20,14 V.

Pada Gambar 9 merupakan hasil pengujian alat monitoring tegangan 12 sel baterai dengan, yang dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada smart BMS. Pada pengujian sensor tegangan pada interval waktu 10 detik percobaan dapat diamati bahwa nilai tertinggi yang dibaca pada sensor tegangan adalah 40,86 V dan nilai terendah yang terbaca adalah 40,65 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan adalah 40,77 V. Sementara pada hasil pembacaan tegangan di smart BMS nilai tertinggi yang ditampilkan adalah 40,44 V dan nilai terendahnya adalah 40,38 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang ditampilkan adalah 40,41 V.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Monitoring Tegangan 9 Sel Baterai

Pada Gambar 8 merupakan hasil pengujian alat monitoring tegangan 9 sel baterai dengan, yang dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada smart BMS. Pada pengujian sensor tegangan pada interval waktu 10 detik percobaan dapat diamati bahwa nilai tertinggi yang dibaca pada sensor tegangan adalah 30,42 V dan nilai terendah yang terbaca adalah 30,37 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan adalah 30,39 V. Sementara pada hasil pembacaan tegangan di smart BMS nilai tertinggi yang ditampilkan adalah 30,35 V dan nilai terendahnya adalah 30,26 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang ditampilkan adalah 30,30 V.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai Monitoring Tegangan 15 Sel Baterai

Pada Gambar 10 merupakan hasil pengujian alat monitoring tegangan 15 sel baterai dengan, yang dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada smart BMS. Pada pengujian sensor tegangan pada interval waktu 10 detik percobaan dapat diamati bahwa nilai tertinggi yang dibaca pada sensor tegangan adalah 50,93 V dan nilai terendah yang terbaca adalah 50,98 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan adalah 50,95 V. Sementara pada hasil pembacaan tegangan di smart BMS nilai tertinggi yang ditampilkan adalah 50,57

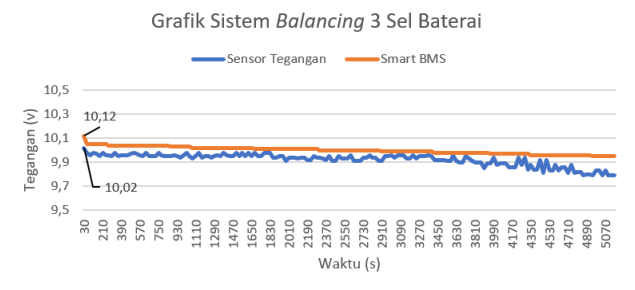
V dan nilai terendahnya adalah 50,51 V, Untuk rata – rata nilai tegangan yang ditampilkan adalah 50,54 V.



### 3.2 Pengujian Sistem Balancing

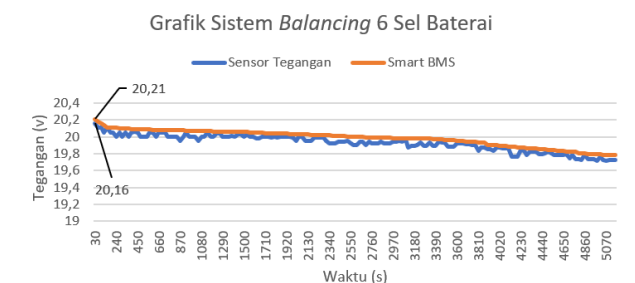
#### 3.3.1 Hasil Analisis dan Pengujian Sistem Balancing pada Sel Baterai

Setelah dilakukan proses *charging* selama 50 Menit maka didapatkan nilai tegangan sel yang meningkat dan berbeda pada setiap sel nya, untuk proses *balancing* di *set* aktif pada saat salah satu tegangan pada sel baterai sudah menyentuh nilai 3,35 V dan maksimal deviasi tegangan antar sel baterai sudah melebihi 0,50 V. Karena salah satu sel baterai sudah menyentuh nominal lebih dari 3,35 V dan deviasi antar sel baterai sudah melebihi 0,5 V maka sistem *balancing* aktif dengan otomatis lalu terjadi penyetimbangan tegangan sel baterai seperti yang dapat dilihat pada grafik Gambar 11 sampai Gambar 15.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Nilai *Balancing* Tegangan 3 Sel Baterai

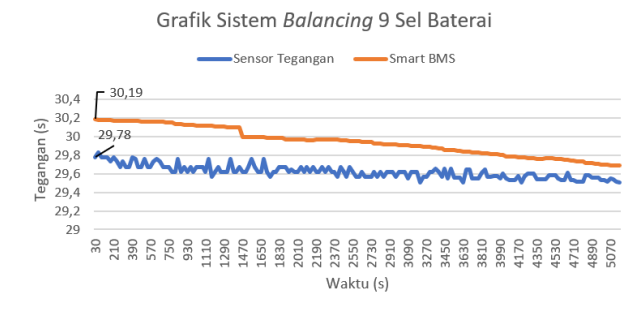
Pada Gambar 11. menunjukkan terjadi penurunan dari tegangan awal yang terbaca pada sensor tegangan sebesar 10,02 V turun 0,23V menjadi 9,79 V dan yang ditampilkan pada *smart* BMS sebesar 10,12 turun 0,17 V menjadi 9,95 V. Saat proses *balancing* terjadi nilai arus *balancing* yang diukur pada saat akhir pengujian menggunakan multimeter sebesar 0,37 A dan menurun sampai deviasi tegangan antar sel tidak melebihi 0,08 V sehingga sistem *balancing* berhenti.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai *Balancing* Tegangan 6 Sel Baterai

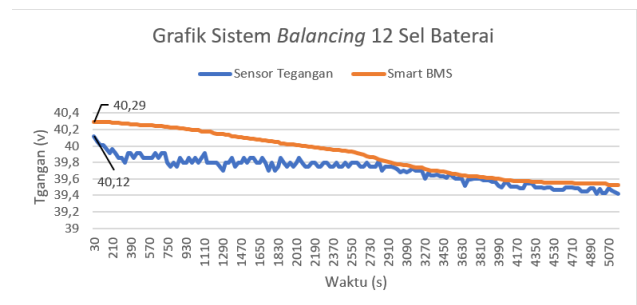
Pada Gambar 12. Menunjukkan terjadi penurunan dari tegangan awal yang terbaca pada sensor tegangan sebesar 20,16 V turun 0,43V menjadi 19,73 V dan yang

ditampilkan pada *smart* BMS sebesar 20,21 turun 0,42 V menjadi 19,79 V. Saat proses *balancing* terjadi nilai arus *balancing* yang diukur pada saat akhir pengujian menggunakan multimeter sebesar 0,37 A dan menurun sampai deviasi tegangan antar sel tidak melebihi 0,08 V sehingga sistem *balancing* berhenti.



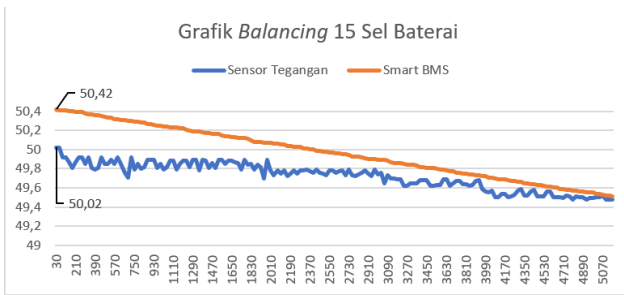
Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai *Balancing* Tegangan 9 Sel Baterai

Pada Gambar 13. menunjukkan terjadi penurunan dari tegangan awal yang terbaca pada sensor tegangan sebesar 29,78 V turun 0,27 V menjadi 29,51 V dan yang ditampilkan pada *smart* BMS sebesar 30,19 turun 0,5 V menjadi 29,69 V. Saat proses *balancing* terjadi nilai arus *balancing* yang diukur pada saat akhir pengujian menggunakan multimeter sebesar 0,37 A dan menurun sampai deviasi tegangan antar sel tidak melebihi 0,08 V sehingga sistem *balancing* berhenti.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Nilai *Balancing* Tegangan 12 Sel Baterai

Pada Gambar 14. menunjukkan terjadi penurunan dari tegangan awal yang terbaca pada sensor tegangan sebesar 40,12 V turun 0,7 V menjadi 39,42 V dan yang ditampilkan pada *smart* BMS sebesar 40,29 turun 0,76 V menjadi 39,53 V. Saat proses *balancing* terjadi nilai arus *balancing* yang diukur pada saat akhir pengujian menggunakan multimeter sebesar 0,37 A dan menurun sampai deviasi tegangan antar sel tidak melebihi 0,08 V sehingga sistem *balancing* berhenti.



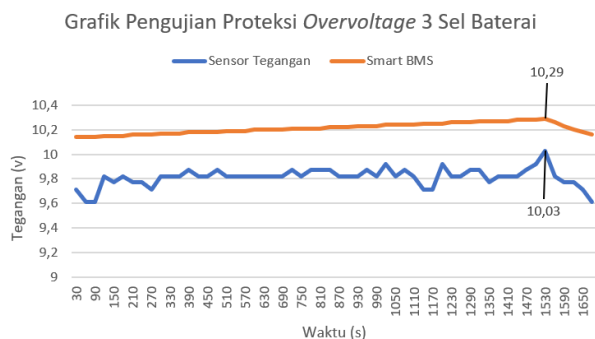
Gambar 15. Grafik Perbandingan Nilai *Balancing* Tegangan 15 Sel Baterai

Pada Gambar 15. menunjukkan terjadi penurunan dari tegangan total awal yang terbaca pada sensor tegangan sebesar 50,02 V turun 0,54 V menjadi 49,48 V dan yang ditampilkan pada *smart* BMS sebesar 50,42 turun 0,91 V menjadi 49,51 V. Saat proses *balancing* terjadi nilai arus *balancing* yang diukur menggunakan multimeter sebesar 0,37 A dan menurun sampai deviasi tegangan antar sel tidak melebihi 0,08 V sehingga sistem *balancing* berhenti.

### 3.3 Pengujian Sistem Proteksi / *Cutoff*

#### 3.3.1. Pengujian Sistem Proteksi *Overvoltage*

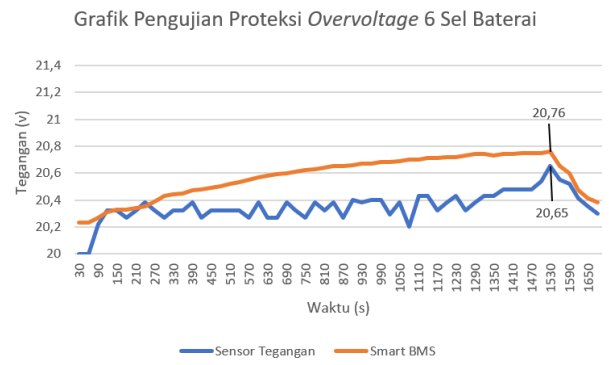
Pengujian dimulai dengan proses *charging* dengan *input current* 9 – 10 A, dengan tegangan total dari sel baterai yang terukur pada sensor tegangan adalah 49,2 V, dan tegangan *cutoff* diset pada total tegangan 51,5 V. Dengan asumsi bahwa nilai tegangan setiap *cell* memiliki perbedaan yang kecil maka sistem *cutoff* akan aktif saat salah satu *cell* baterai menyentuh angka 3,35 V, pengujian sistem proteksi *overvoltage* dilakukan pada saat nilai SoC baterai pada nilai < 85%. Berikut merupakan hasil pengujian proteksi *overvoltage* dapat dilihat pada Gambar 16 sampai Gambar 20.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Overvoltage* 3 Sel Baterai

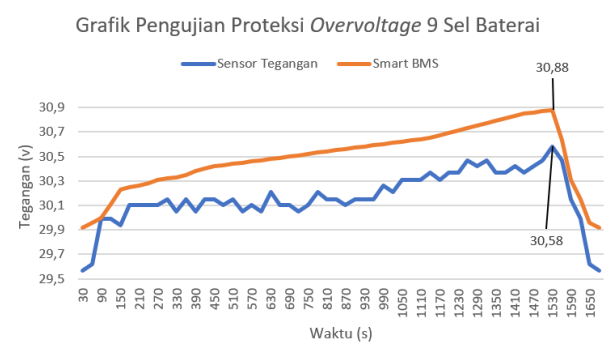
Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil grafik pengujian sistem proteksi *overvoltage* pada 3 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 3 sel baterai

sampai menyentuh batas maksimal tegangan pada detik ke 1530 atau menit ke 25,5 yaitu 10,29 V pada sensor tegangan dan 10,03 pada *smart* BMS, dimana batas maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,35 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *charging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga nilai arus akan menurun hingga menjadi 0 A.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Overvoltage* 6 Sel Baterai

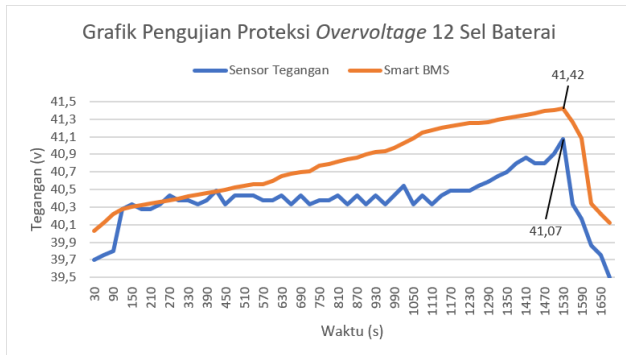
Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil grafik pengujian sistem proteksi *overvoltage* pada 6 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 6 sel baterai sampai menyentuh batas maksimal tegangan pada detik ke 1530 atau menit ke 25,5 yaitu 20,65 V pada sensor tegangan dan 20,76 pada *smart* BMS, dimana batas maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,35 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *charging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga nilai arus akan menurun hingga menjadi 0 A.



Gambar 18. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Overvoltage* 9 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil grafik pengujian sistem proteksi *overvoltage* pada 9 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 9 sel baterai sampai menyentuh batas maksimal tegangan pada detik ke 1530 atau menit ke 25,5 yaitu 30,58 V pada sensor tegangan dan 30,88 pada *smart* BMS, dimana batas

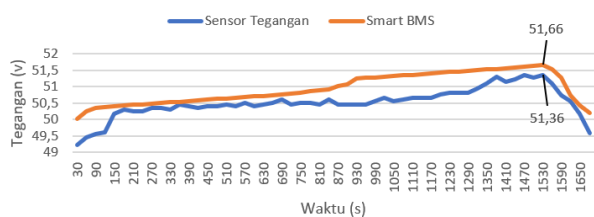
maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,35 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *charging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga nilai arus akan menurun hingga menjadi 0 A.



Gambar 19. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Overvoltage* 12 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil grafik pengujian sistem proteksi *overvoltage* pada 12 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 9 sel baterai sampai menyentuh batas maksimal tegangan pada detik ke 1530 atau menit ke 25,5 yaitu 41,07 V pada sensor tegangan dan 41,42 V pada *smart BMS*, dimana batas maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,35 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *charging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga nilai arus akan menurun hingga menjadi 0 A.

Gambaran Pengujian Proteksi *Overvoltage* 15 Sel Baterai



Gambar 20. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Overvoltage* 15 Sel Baterai

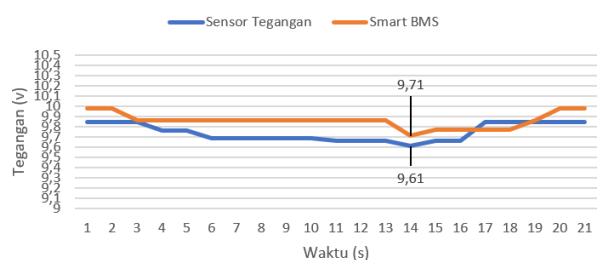
Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi *overvoltage* dimana terjadi kenaikan tegangan pada tiap sel baterai sampai menyentuh batas maksimal tegangan pada detik ke 1530 atau menit ke 25,5 yaitu 51,36 V pada sensor tegangan dan 51,66 pada *smart BMS*, dimana batas maksimal tegangan di set pada nilai 51,5 V dan untuk batas maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,35 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *charging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga nilai arus akan menurun hingga menjadi 0 A. Berdasarkan hasil data pada Gambar 4.11 sampai Gambar

4.16 bahwa rata – rata presentase *error* yang dihasilkan yaitu 1,97%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi pembacaan tegangan yang terdapat pada *smart BMS* konvensional sudah cukup baik dengan batas toleransi  $error \leq 5\%$ .

### 3.3.2. Pengujian Sistem Proteksi Undervoltage

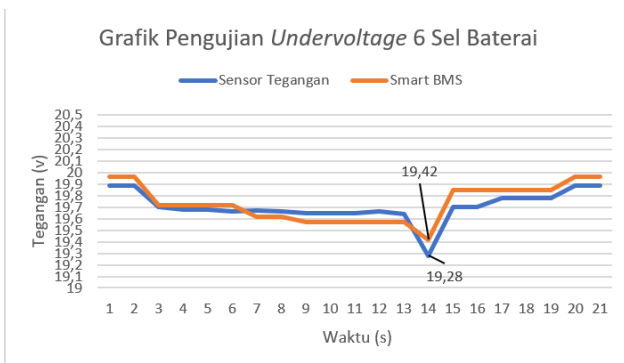
Pengujian dimulai dengan proses *discharging* dengan *input current* maksimal 20 A, dengan tegangan total dari sel baterai yang terukur pada sistem monitoring adalah adalah 49,5 V, dan untuk membuktikan sistem proteksi *overdischarge* tegangan *cutoff* diset pada saat total tegangan kurang dari 48,5 V. Dengan asumsi bahwa nilai tegangan setiap *cell* memiliki perbedaan yang kecil maka sistem *cutoff* akan aktif saat salah satu *cell* baterai menyentuh angka kurang dari 3,22 V, pengujian sistem *overdischarge* dilakukan pada saat nilai SoC baterai pada nilai >70%. Pengujian proteksi *undervoltage* dapat dilihat Gambar 21 - Gambar 25.

Grafik Pengujian Proteksi *Undervoltage* 3 Sel Baterai



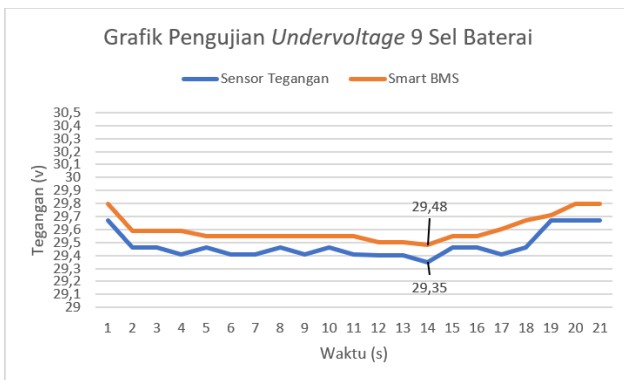
Gambar 21. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi *Undervoltage* 3 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi *undervoltage* pada 3 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 3 sel baterai sampai menyentuh batas minimal tegangan pada detik ke 14 yaitu 9,61 V pada sensor tegangan dan 9,71 V pada *smart BMS*, dimana batas maksimal tegangan tiap sel di *set* pada nilai 3,22 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses *discharging* pada baterai akan di *cutoff* sehingga tidak dapat mengeluarkan arus *discharging* lagi dan nilai tegangan kemudian akan perlahan naik ke nilai tegangan normal seperti yang terlihat pada detik ke 15 sampai 21.



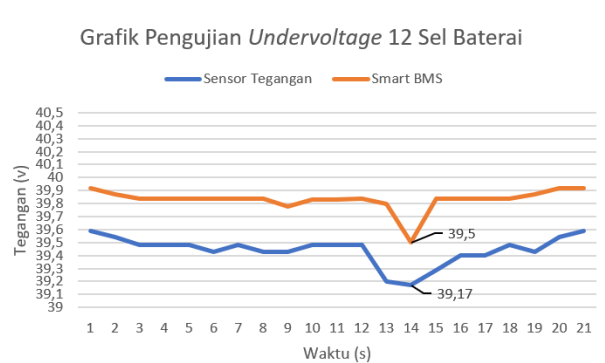
Gambar 22. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi Undervoltage 6 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi undervoltage pada 6 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 6 sel baterai sampai menyentuh batas minimal tegangan pada detik ke 14 yaitu 19,28 V pada sensor tegangan dan 19,42 V pada smart BMS, dimana batas maksimal tegangan tiap sel di set pada nilai 3,22 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses discharging pada baterai akan di cutoff sehingga tidak dapat mengeluarkan arus discharging lagi dan nilai tegangan kemudian akan perlahan naik ke nilai tegangan normal seperti yang terlihat pada detik ke 15 sampai 21.



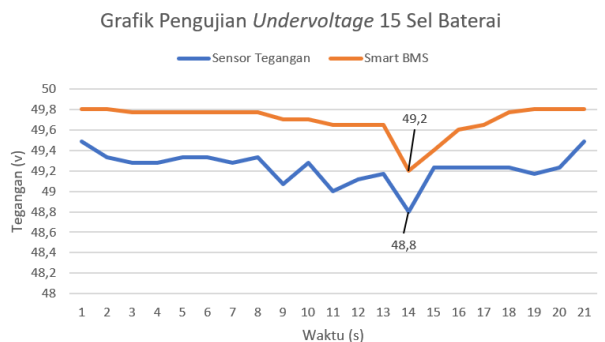
Gambar 23. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi Undervoltage 9 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi undervoltage pada 9 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 9 sel baterai sampai menyentuh batas minimal tegangan pada detik ke 14 yaitu 29,35 V pada sensor tegangan dan 29,48 V pada smart BMS, dimana batas maksimal tegangan tiap sel di set pada nilai 3,22 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses discharging pada baterai akan di cutoff sehingga tidak dapat mengeluarkan arus discharging lagi dan nilai tegangan kemudian akan perlahan naik ke nilai tegangan normal seperti yang terlihat pada detik ke 15 sampai 21.



Gambar 24. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi Undervoltage 12 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi undervoltage pada 12 sel baterai dimana terjadi kenaikan tegangan pada 12 sel baterai sampai menyentuh batas minimal tegangan pada detik ke 14 yaitu 39,17 V pada sensor tegangan dan 39,5 V pada smart BMS, dimana batas maksimal tegangan tiap sel di set pada nilai 3,22 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses discharging pada baterai akan di cutoff sehingga tidak dapat mengeluarkan arus discharging lagi dan nilai tegangan kemudian akan perlahan naik ke nilai tegangan normal seperti yang terlihat pada detik ke 15 sampai 21.



Gambar 25. Grafik Perbandingan Nilai Proteksi Undervoltage 15 Sel Baterai

Pada data grafik hasil pengujian dapat ditunjukkan hasil pengujian sistem proteksi undervoltage dimana terjadi kenaikan tegangan pada tiap sel baterai sampai menyentuh batas minimal tegangan pada detik ke 14 yaitu 48,8 V pada sensor tegangan dan 49,2 V pada smart BMS, dimana batas maksimal tegangan di set pada nilai 48,5 V dan untuk batas maksimal tegangan tiap sel pada nilai 3,22 V. Saat nilai tegangan sudah melewati batas maksimal nya proses discharging pada baterai akan di cutoff sehingga tidak dapat mengeluarkan arus discharging lagi dan nilai tegangan kemudian akan perlahan naik ke nilai tegangan

normal seperti yang terlihat pada detik ke 15 sampai 21. Berdasarkan hasil data pada Gambar 4.17 sampai Gambar 4.21 bahwa rata – rata presentase *error* yang dihasilkan yaitu 1,06%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi pembacaan tegangan yang terdapat pada *smart* BMS konvensional sudah cukup baik dengan batas toleransi  $error \leq 5\%$ .

#### 4. Kesimpulan

Efektivitas BMS telah diuji dalam kondisi operasi battery pack yang aman dengan memperhatikan variasi tegangan. Rangkaian baterai stabil dapat menjaga kinerja sistem dan umur pakai baterai. Perancangan serial komunikasi dengan PC berjalan baik, serta performa *smart* BMS untuk monitoring tegangan memiliki akurasi lebih dari 95% serta melakukan sistem monitoring secara optimal. Pada hasil pengujian sistem *balancing*, untuk dapat mengaktifkan fitur *balancing* pada saat deviasi antar sel baterai melebihi nilai 0,05 V dan lama waktu *balancing* dipengaruhi oleh besarnya perbedaan tegangan antar sel baterai dan banyaknya baterai yang memiliki tegangan yang bervariasi. Hasil pengujian sistem proteksi, *smart* BMS konvensional dapat bekerja dengan optimal sesuai dengan batas maksimal tegangan dan batas minimal tegangan yang telah diatur. Saat batas maksimal tegangan tercapai *charging* pada baterai akan otomatis terputus dan tegangan sel akan menurun mengikuti tegangan nominalnya. Saat batas minimal tegangan tercapai maka proses *discharging* akan otomatis terputus dan tegangan sel akan perlahan naik mengikuti tegangan nominalnya

#### Referensi

[1] Reza Rahmansyah, "Rancang Bangun Rangkaian Monitoring Tegangan Sel-Sel Baterai Terhubung Seri Pada *Battery Management System*", Laporan Tugas Akhir, Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2022

[2] Laboratorium Manajemen Energi TF ITB dan Pertamina, "Pengembangan Battery Management System Battery Pack Dari Lithium Ion Battery Cells Pertamina," Dec. 2021

[3] D. Andrea, *Lithium-Ion Batteries And Applications*, vol. 1. Norwood, MA: Artech House, 2020.

[4] Z. Zhang, L. Zhang, L. Hu, and C. Huang, "Active cell balancing of lithium-ion battery pack based on average state of charge," *Int J Energy Res*, vol. 44, no. 4, pp. 2535–2548, Mar. 2020, doi: 10.1002/er.4876.

[5] Laboratorium Manajemen Energi TF ITB dan Pertamina, "Pengembangan Battery Management System Battery Pack Dari Lithium Ion Battery Cells Pertamina," Dec. 2021

[6] N. Indriani and I. Garniwa, "Optimasi Battery Energy Storage System Dalam Mengatasi Renewable Energy Intermittency dan Load

Leveling," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 4, no. 1, pp. 11–20, Mar. 2022, doi: 10.32528/elkom.v4i1.7216.

[7] PMFIAS, "Lithium-ion battery, Internal Combustion Engine vs. Electric Vehicles," *Applications Of Science & Technology In Electric Mobility, Science & Technology*, Nov. 08, 2019.

[8] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, Apr. 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v9i2.50082.

[8] S. Mishra, S. C. Swain and R. K. Samantaray, "A Review on Battery Management system and its Application in Electric vehicle," 2021 International Conference on Advances in Computing and Communications (ICACC), Kochi, Kakkannad, India, 2021, pp. 1-6

[9] IAS, "Lithium-ion battery, Internal Combustion Engine vs. Electric Vehicles," *Applications Of Science & Technology In Electric Mobility, Science & Technology*, Nov. 08, 2019.

[10] A. Efendi, J. T. Perawatan, P. Mesin, and P. N. Subang, "RANCANG BANGUN MOBIL LISTRIK SULA POLITEKNIK NEGERI SUBANG," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 17, no. 1, 2020

[12] A. Hauser and R. Kuhn, *High-voltage battery management systems (BMS) for electric vehicles*. Elsevier Ltd., 2019.

[13] E. Loniza, J. Andriano Situmorang, and A. Imam Cahyadi, "Cell Balancing On Three- Cell Lithium Polymer Batteries Connected In Series," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 1, no. 3, 2020

[14] P. Ningrum, N. A. Windarko, and Suhariningsih, "Aplikasi Battery Management System ( BMS ) dengan State of Charge ( SOC ) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting," *Jurnal Inovtek*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2019.

[15] Hilmansyah, R. M. Utomo, A. W. Saputra, and R. F. Alif, "Rancang Bangun Wireless Battery Monitoring System Berbasis Esp32," in Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan, 2020, pp. 194–199