



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN KESELAMATAN PERALATAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

Andrea Pramaditya Perwira Putra
NRP 0711144000096

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN
KESELAMATAN PERALATAN BATTERY
MANAGEMENT SYSTEM**

Andrea Pramaditya Perwira Putra
NRP 0711144000096

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**PREPARATION OF STANDARD FOR PERFORMANCE
AND SAFETY TESTING OF BATTERY MANAGEMENT
SYSTEM EQUIPMENT**

Andrea Pramaditya Perwira Putra
NRP 07111440000096

Supervisors
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN KESELAMATAN PERALATAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2019

Andrea Pramaditya Perwira Putra
0711144000096

Halaman ini sengaja dikosongkan

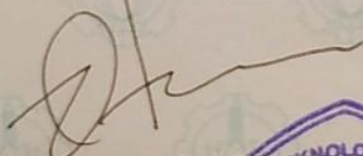
**PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN
KESELAMATAN PERALATAN BATTERY
MANAGEMENT SYSTEM**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

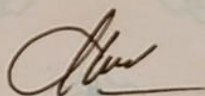
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP. 198109052005011002

Dosen Pembimbing II



Heri Suryatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 195512071980031004



Halaman ini sengaja dikosongkan

PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN KESELAMATAN PERALATAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

Nama mahasiswa : Andrea Pramaditya Perwira Putra
Dosen Pembimbing I : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

Abstrak:

Perkembangan kendaraan listrik saat ini sedang berjalan pesat dalam industri transportasi di dunia. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai komponen penggerak. Motor listrik tersebut mendapatkan suplai daya dari baterai. Oleh karena itu, peran baterai sangat penting guna mengoperasikan kendaraan listrik. *Battery Management System* merupakan sebuah komponen yang terdapat pada *battery pack* berfungsi untuk memonitor kondisi baterai serta menjaga baterai agar dapat beroperasi secara optimal dan aman.

Battery Management System memiliki tiga fungsi utama, yaitu monitor guna mengamati kondisi arus, tegangan, dan temperatur dari baterai. Kedua, *Battery Management System* juga memiliki fungsi proteksi untuk melindungi dari gangguan yang terjadi pada sistem baterai agar tidak berdampak lebih lanjut terhadap kendaraan dan pengguna. Selain itu, *Battery Management System* juga memiliki fungsi *cell balancing* guna menjaga sel baterai pada *battery pack* tetap seimbang ketika dioperasikan.

Ketiga fungsi utama yang dimiliki oleh *Battery Management System* tersebut sangat berperan penting bagi keselamatan maupun masa pakai baterai dan kendaraan listrik. Oleh karena itu, diperlukan pengujian terhadap performa dan keselamatan alat dari *Battery Management System* agar nantinya dapat dipastikan bahwa BMS tersebut dapat dioperasikan sebagaimana mestinya. Dalam tugas akhir ini akan disampaikan penyusunan standar bagi BMS beserta analisis terkait hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar yang sudah ada.

Kata kunci: *Battery Management System* (BMS), keandalan, performa, sistem monitoring, sistem proteksi, standarisasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PREPARATION OF STANDARD FOR PERFORMANCE AND SAFETY TESTING OF BATTERY MANAGEMENT SYSTEM EQUIPMENT

Student Name : Andrea Pramaditya Perwira Putra
Supervisor I : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
Supervisor II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

Abstract:

The development of electric vehicles is currently running rapidly in the transportation industry in the world. Electric vehicles are vehicles that use an electric motor as a driving component. The electric motor gets a power supply from the battery. Therefore, the role of batteries is very important to operate electric vehicles. Battery Management System is a component contained in the battery pack that serves to monitor and maintain the condition of the battery so that it can operate optimally and safely.

The Battery Management System has three main functions, namely the monitor to observe the conditions of the current, voltage, and temperature of the battery. Second, the Battery Management System also has a protection function to protect against interference that occurs on the battery system so that it does not have a further impact on the vehicle and the user. In addition, the Battery Management System also has a cell balancing function to keep the battery cells in balance condition when operated.

The three main functions possessed by the Battery Management System are very important for the safety and lifetime of batteries and electric vehicles. Therefore, testing of the performance and safety of the equipment from the Battery Management System is needed so that later it can be ascertained that the BMS can be operated properly. In this final assignment, the standard preparation for BMS and the analysis related to the test results will be presented compared to the existing standards.

Key Words: *Battery Management System (BMS), keandalan, performa, sistem monitoring, sistem proteksi, standarisasi.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENYUSUNAN STANDAR UJI PERFORMA DAN KESELAMATAN PERALATAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di sisi-Nya.
3. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T. dan Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Tim baterai *workshop* Molina ITS yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian.
6. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha secara maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas bagi para pembacanya.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Battery Management System</i>	5
2.1.1 Sistem Monitoring <i>Battery Management System</i>	7
2.1.2 Sistem Proteksi Baterai.....	9
2.2 Pengujian <i>Battery Management System</i>	12
BAB 3 STANDAR UJI <i>BATTERY MANAGEMENT SYSTEM</i>	13
3.1 Ruang Lingkup.....	13
3.2 Acuan Normatif.....	13
3.3 Istilah dan Definisi.....	14
3.4 Persyaratan <i>Battery Management System</i>	15
3.5 Pengujian <i>Battery Management System</i>	15
3.5.1 Pengujian Umum.....	16
3.5.1.1 <i>Preconditioning Cycle</i>	16
3.5.1.2 <i>Standard Cycle</i>	17
3.5.2 Uji Gangguan.....	17
3.5.2.1 Proteksi Hubung Singkat.....	18
3.5.2.2 Proteksi <i>Overcharge</i>	19
3.5.2.3 Proteksi <i>Overdischarge</i>	21
3.5.2.4 Proteksi <i>Over Temperature</i>	22
3.5.3 Uji Keandalan.....	23
3.5.3.1 <i>Dewing</i> -Perubahan Temperatur dan Kelembapan.....	24

3.5.3.2 Siklus Temperatur	26
3.5.3.3 Getaran	27
3.5.3.4 Kejut Mekanik	31
3.5.3.5 Uji Jatuh	33
3.5.4 Uji Performa	34
3.5.4.1 <i>Cell Balancing</i>	35
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS	37
4.1 Uji Gangguan	37
4.1.1 Proteksi Hubung Singkat	37
4.1.2 Proteksi <i>Overcharge</i>	38
4.1.3 Proteksi <i>Overdischarge</i>	40
4.1.4 Proteksi <i>Over Temperature</i>	43
4.2 Uji Keandalan	47
4.2.1 <i>Dewing</i> -Perubahan Temperatur dan Kelembapan	47
4.2.2 Siklus Temperatur	47
4.2.3 Getaran	52
4.2.4 Kejut Mekanik	58
4.2.5 Uji Jatuh	63
4.3 Uji Performa	67
4.3.1 <i>Cell Balancing</i>	67
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
6.1 Kesimpulan	71
6.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75
INDEKS	107
BIODATA PENULIS	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Battery Management System</i> Molina ITS.....	6
Gambar 2.2 Suplai Tegangan 12 Volt.....	7
Gambar 2.3 USB To CAN Molina ITS.....	8
Gambar 2.4 Tampilan Hasil Monitoring BMS.....	9
Gambar 2.5 <i>Handling Current</i> Molina ITS.....	10
Gambar 2.6 Relay.....	10
Gambar 2.7 Kontaktor Utama.....	11
Gambar 3.1 Ilustrasi Pengujian Proteksi Hubung Singkat.....	19
Gambar 3.2 Ilustrasi Pengujian Proteksi <i>Overcharge</i>	20
Gambar 3.3 Ilustrasi Pengujian Proteksi <i>Overdischarge</i>	21
Gambar 3.4 Ilustrasi Pengujian Proteksi <i>Over Temperature</i>	23
Gambar 3.5 Ilustrasi Pengujian <i>Dewing</i>	24
Gambar 3.6 Nilai Kelembapan Terhadap Waktu.....	25
Gambar 3.7 Nilai Temperatur Terhadap Waktu.....	25
Gambar 3.8 Ilustrasi Pengujian Siklus Temperatur.....	26
Gambar 3.9 Ilustrasi Pengujian Getaran.....	28
Gambar 3.10 Ilustrasi Pengujian Kejut Mekanik.....	32
Gambar 3.11 Ilustrasi Uji Jatuh.....	34
Gambar 3.12 Ilustrasi Pengujian <i>Cell Balancing</i>	35
Gambar 4.1 Pengisi Daya Baterai.....	38
Gambar 4.2 Instalasi Pengujian <i>Overcharge</i>	39
Gambar 4.3 Monitoring Pengujian Proteksi <i>Overcharge</i>	40
Gambar 4.4 Megger Torkel 860 dan Suplai Tegangan 12 v.....	41
Gambar 4.5 Instalasi Pengujian <i>Overdischarge</i>	42
Gambar 4.6 Monitoring Pengujian Proteksi <i>Overdischarge</i>	43
Gambar 4.7 Blower Quick SMD Rework Station 857D.....	44
Gambar 4.8 Megger Torkel 860 dan Suplai Tegangan 12 v.....	45
Gambar 4.9 Instalasi Pengujian Proteksi <i>Over Temperature</i>	45
Gambar 4.10 Proses Meningkatkan Temperatur.....	46
Gambar 4.11 Monitoring Pengujian Proteksi <i>Over Temperature</i>	47
Gambar 4.12 Thermal Chamber Pengujian.....	48
Gambar 4.13 Instalasi Pengujian Siklus Temperatur.....	49
Gambar 4.14 Pengaturan Temperatur 60°C pada Alat.....	50
Gambar 4.15 Pengaturan Temperatur -40°C pada Alat.....	50
Gambar 4.16 Fungsi Monitoring BMS Setelah Pengujian.....	52
Gambar 4.17 Vibration Control pada Uji Getaran.....	53
Gambar 4.18 Pemasangan <i>Battery Pack</i> pada Alat.....	54

Gambar 4.19 Pemasangan Vibration Control pada Komputer.....	54
Gambar 4.20 Pengaturan Sinyal Getaran.....	55
Gambar 4.21 Fungsi Monitoring BMS Setelah Pengujian.....	57
Gambar 4.22 Pengamatan Koneksi Elektrik BMS.....	57
Gambar 4.23 Pengamatan Koneksi Elektrik BMS.....	58
Gambar 4.24 Vibration Control pada Uji Kejut Mekanik.....	59
Gambar 4.25 Pemasangan <i>Battery Pack</i> pada Alat.....	60
Gambar 4.26 Pemasangan Vibration Control pada Komputer.....	60
Gambar 4.27 Pengaturan Sinyal Kejut Mekanik	61
Gambar 4.28 Fungsi Monitoring BMS Setelah Pengujian.....	62
Gambar 4.29 Pengamatan Visual BMS Setelah Pengujian.....	63
Gambar 4.30 Uji Jatuh <i>Battery Pack</i> dan BMS	64
Gambar 4.31 Fungsi Monitoring BMS Setelah Pengujian.....	66
Gambar 4.32 Pengamatan Visual BMS Setelah Pengujian.....	66
Gambar 4.33 Sumber Tegangan 12 Volt	68
Gambar 4.34 Instalasi Pengujian <i>Cell Balancing</i>	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Pengujian BMS	12
Tabel 3.1 Nilai PSD Arah Getaran Sumbu x	28
Tabel 3.2 Nilai PSD Arah Getaran Sumbu y	29
Tabel 3.3 Nilai PSD Posisi Baterai di Bawah Penumpang	29
Tabel 3.4 Nilai PSD Arah Getaran Sumbu z.....	29
Tabel 3.5 Durasi dan Temperatur Pengujian Getaran	30
Tabel 3.6 Frekuensi dan Percepatan untuk Massa < 12 kg	31
Tabel 3.7 Frekuensi dan Percepatan untuk Massa \geq 12 kg	31
Tabel 3.8 Parameter Pengujian Kejut Mekanik.....	32
Tabel 3.9 Parameter Pengujian untuk Massa < 12 kg	33
Tabel 3.10 Parameter Pengujian untuk Massa \geq 12 kg	33
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Siklus Temperatur BMS	51
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Getaran BMS	56
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kejut Mekanik BMS	61
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Jatuh BMS	65
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Cell Balancing</i> BMS.....	69

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini industri transportasi khususnya kendaraan listrik telah berkembang sangat pesat. Hal ini dipengaruhi oleh menipisnya ketersediaan sumber energi fosil di dunia. Baterai merupakan komponen utama sebagai pengganti fungsi bahan bakar fosil yang selama ini digunakan pada kendaraan. Guna menjaga performa dan keamanan dari baterai kendaraan listrik, diperlukan perangkat *Battery Management System* (BMS). BMS mempunyai fungsi monitor dan sistem proteksi terhadap *battery pack* kendaraan listrik, BMS akan memonitor kondisi tegangan, arus, dan temperatur baterai serta sebagai sistem proteksi ketika terjadi gangguan pada sistem baterai [1].

Beberapa kasus menunjukkan bahwa kerusakan maupun kecelakaan operasional terhadap kendaraan listrik diakibatkan karena adanya gangguan pada sistem baterai. Sebagai contoh masih adanya kasus mobil listrik terbakar atau meledak akibat pengisian daya yang berlebihan ataupun pengoperasian pada temperatur yang terlalu tinggi, selain itu baterai juga dapat mengalami penurunan performa dari akibat seringnya pengoperasian yang berlebihan [2]. Jika kita lihat dari fungsi BMS yang telah disebutkan di atas, kasus-kasus tersebut seharusnya tidak akan terjadi karena adanya sistem proteksi. Oleh sebab itu, diperlukannya pengujian terhadap BMS sebelum dioperasikan pada kendaraan listrik. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa BMS tersebut telah aman dan sesuai standar untuk dioperasikan pada kendaraan listrik.

Standarisasi peralatan sangat penting dilakukan sebagai acuan dari pengujian yang akan dilakukan. Hal ini bertujuan agar dapat mencapai kesamaan kualitas maupun performa bagi *battery management system*. Dengan adanya standarisasi, maka prosedur pengujian dan penentuan peralatan guna pengujian menjadi lebih mudah dan efisien dilakukan.

1.2 Permasalahan

1. Bagaimana standar pengujian untuk menentukan performa *Battery Management System*?

2. Bagaimana standar pengujian untuk menentukan keamanan *Battery Management System*?
3. Bagaimana kesesuaian hasil pengujian dengan standar yang digunakan?

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Menyusun standar pengujian performa dan keselamatan peralatan *Battery Management System*.
2. Menguji performa dan keselamatan peralatan *Battery Management System* sesuai dengan prosedur pada standar.
3. Mendapatkan perbandingan antara hasil pengujian dengan standar yang digunakan.
4. Menjadi acuan bagi *workshop* MOLINA ITS dalam mengembangkan *Battery Management System* yang diproduksi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Penyusunan standar mengacu pada ISO 12405-1 dan UN-R136.
2. Pengujian dilakukan di *workshop* MOLINA ITS.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Studi Literatur
Persiapan awal dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah mengumpulkan dan mempelajari literatur yang telah ada dan relevan untuk dijadikan referensi. Literatur dapat berupa standar nasional, standar internasional, regulasi, jurnal, buku, atau materi kuliah yang berhubungan dengan topik penelitian.
- b. Penyusunan standar uji
Standar uji disusun dengan mengacu pada ISO 12405-1 dan UN-R136. Standar uji mencakup ketentuan berupa prosedur pengujian, ilustrasi pengujian, kelengkapan peralatan, dan batas kondisi untuk hasil pengujian.

- c. Pengujian *Battery Management System*
 Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dan keselamatan peralatan *Battery Management System* yang diproduksi oleh *workshop* MOLINA ITS. Pengujian dilakukan di *workshop* MOLINA ITS. Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini meliputi persyaratan sistem proteksi, persyaratan keandalan alat dalam beberapa kondisi lingkungan yang diberikan, dan parameter lain yang berhubungan dengan penentuan performa dan keselamatan peralatan BMS.
- d. Analisa data
 Setelah pengujian selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan menganalisis terhadap hasil data yang didapat selama pengujian. Hasil pengujian dari setiap parameter yang diberikan akan dibandingkan dengan standar yang ada.
- e. Kesimpulan dan Penulisan Tugas Akhir
 Setelah melakukan analisis terhadap data yang didapat dari serangkaian pengujian yang telah diberikan, maka akan dilakukan penarikan kesimpulan. Kesimpulan dari penelitian ini berupa jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Kesimpulan tersebut akan disusun ke dalam sebuah buku tugas akhir. Buku ini juga berisi saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk penelitian lebih lanjut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang dasar teori peralatan *battery management system* dan peralatan pendukungnya selama dioperasikan dalam pengujian, serta parameter pengujian yang digunakan.

BAB 3 : Penyusunan standar uji

Bab ini membahas mengenai prosedur pengujian *battery management system* dan nilai dari hasil pengujian yang

diharapkan dari standar yang relevan untuk mengetahui kesesuaian peralatan dengan standar.

BAB 4 : Pengujian dan Analisis

Bab ini menjelaskan tentang proses selama pengujian dan hasil yang didapat dari pengujian performa dan keselamatan *battery management system* yang mengacu pada standar yang telah disusun. Hasil yang diperoleh dari pengujian akan dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan pada standar.

BAB 5 : Penutup

Bab ini membahas mengenai kesimpulan dan saran yang bisa diambil dari penyusunan standar uji dan pengujian yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi dalam dunia industri kendaraan listrik terutama dalam bidang pengembangan *battery management system*.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa untuk melakukan penelitian yang berhubungan dengan *battery management system* kendaraan listrik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

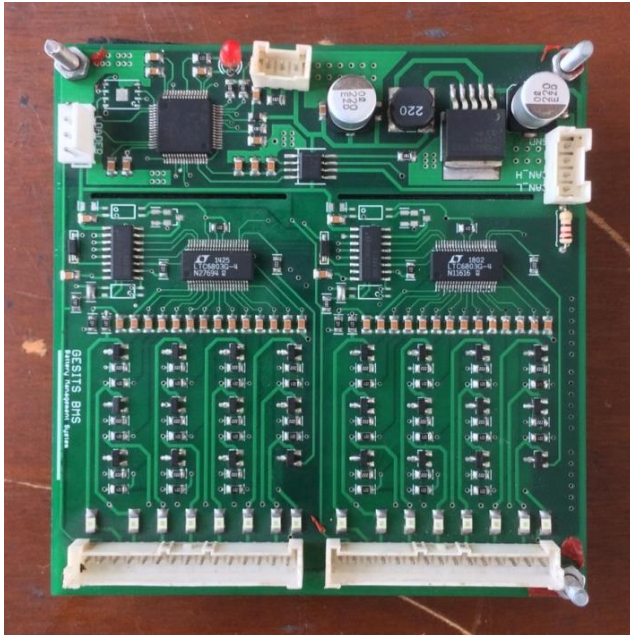
2.1 *Battery Management System*

Battery Management System merupakan komponen yang tersusun atas rangkaian elektronik yang terintegrasi dengan algoritma pemrograman untuk memonitor kondisi baterai dan sebagai sistem proteksi dengan mengirim perintah dengan memutus kontaktor utama ketika terjadi gangguan maupun ketika baterai beroperasi pada keadaan yang tidak direkomendasikan.

Battery Management System juga dapat meningkatkan performa dan masa pakai dari baterai [1]. Selain kedua fungsi utama yang telah disebutkan di atas, BMS juga memiliki fungsi tambahan yaitu *cell balancing*. Fungsi *cell balancing* pada BMS tersebut berperan agar sel baterai yang tersusun dalam *battery pack* memiliki kapasitas yang seimbang. Dengan kondisi sel baterai yang seimbang maka masa penggunaan pada setiap sel baterai juga akan semakin baik. Kapasitas yang berbeda-beda pada setiap sel baterai dapat mengakibatkan kapasitas total *battery pack* tidak terisi dengan maksimal [3].

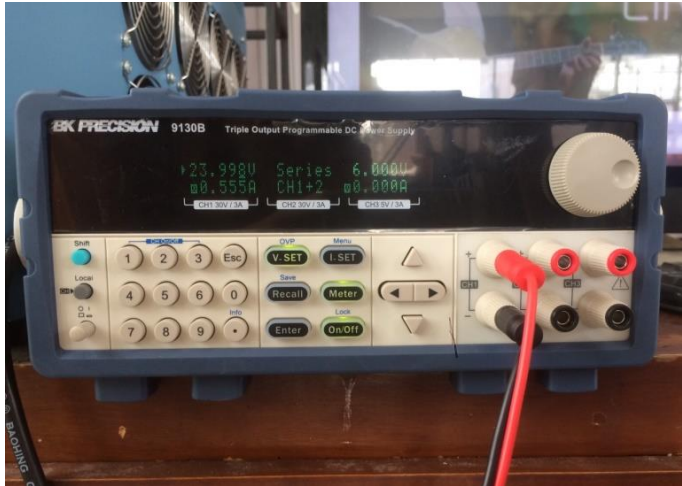
Battery Management System memerlukan suplai tegangan DC 12 volt agar dapat dioperasikan pada baterai kendaraan listrik. BMS akan mengirimkan data-data kondisi sistem baterai ke monitor sehingga pengguna kendaraan listrik mampu mengetahui kondisi baterai yang digunakan dengan mudah. Pengguna kendaraan listrik harus dapat mengoperasikan baterai di dalam batas yang telah ditentukan oleh suplier agar baterai tersebut dapat digunakan sebagai mana mestinya. Selain itu, BMS juga harus mampu berkomunikasi dengan komponen lain guna menjaga *battery pack* tetap aman ketika terjadi gangguan yang dapat membahayakan.

Dengan adanya BMS, maka kerusakan terhadap baterai maupun kendaraan listrik dapat diminimalisir dengan baik dan lebih efisien. Berikut BMS yang telah diproduksi oleh pihak *workshop* Molina ITS akan ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Battery Management System* produksi Molina ITS

Suplai tegangan 12 volt yang digunakan selama pengujian di *workshop* Molina ITS akan ditampilkan pada Gambar 2.2.



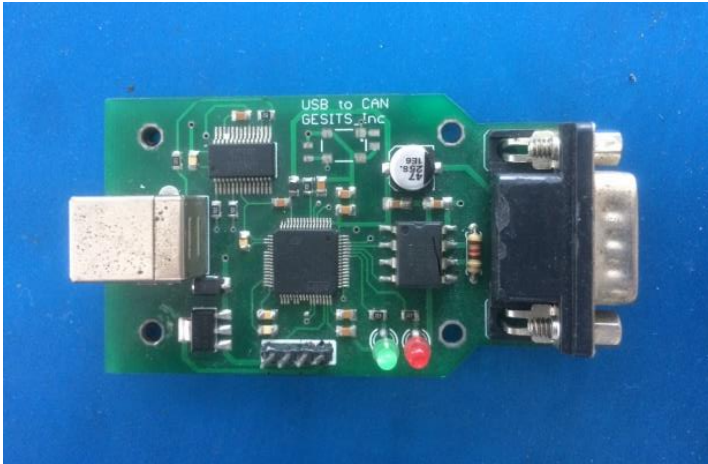
Gambar 2.2 Suplai tegangan 12 volt

BMS akan terhubung dengan komponen elektronik lain dan harus mampu berkomunikasi terhadap komponen-komponen tersebut agar dapat menjalankan fungsi yang dimiliki. Menurut fungsi yang dimiliki oleh *battery management system*, BMS tersebut harus mampu berkomunikasi dengan komponen-komponen sistem monitoring baterai dan juga sistem proteksi baterai kendaraan listrik.

2.1.1 Sistem Monitoring *Battery Management System*

Salah satu fungsi utama dari *battery management system* adalah memonitor kondisi sistem baterai. Pada fungsi monitoring ini, BMS yang digunakan selama pengujian membutuhkan dua komponen lain yang berguna untuk menampilkan hasil monitoring ke pengguna. Kedua komponen ini antara lain USB to CAN dan layar untuk menampilkan data tersebut.

USB to CAN merupakan komponen elektronik yang menghubungkan antara BMS dengan layar penampil data. USB to CAN akan mengirimkan data dari BMS ke layar agar dapat dibaca oleh pengguna kendaraan listrik dengan mudah. USB to CAN yang digunakan selama pengujian di *workshop* MOLINA ITS akan ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 USB to CAN *workshop* MOLINA ITS.

Setelah data dari BMS dikirimkan oleh USB to CAN ke komputer atau telepon genggam yang digunakan, data tersebut akan ditampilkan menggunakan *software* tertentu agar dapat dibaca dengan mudah oleh pengguna. *Software* yang digunakan di *workshop* Molina ITS untuk menampilkan hasil monitoring BMS adalah QT dengan program yang dibuat sendiri oleh tim baterai Molina ITS. Tampilan data hasil monitoring kondisi sistem baterai akan ditampilkan pada Gambar 2.4.

Highest Cell Volt	3.668 [cell 8]	Average Cell Volt	3.662	Delta Cell Volt Now	0.016	Discharge Max (A)	52.0
Lowest Cell Volt	3.651 [cell 12]	Number of Cells	24	Target Delta Cell Volt	4.200	Charging Max (A)	10.0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3.663	3.661	3.664	3.663	3.664	3.663	3.664	3.668	3.661	3.663
2	3.663	3.651	3.660	3.660	3.663	3.660	3.664	3.661	3.660	3.661
3	3.658	3.661	3.660	3.658						
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

*RED cell background indicates cell is balancing

Temperature Pack 1	30.67	Pack Capacity (mAh)	1830	Pack Current (A)	-999
Temperature Pack 2	32.12	Total Pack Capacity (mAh)	36000	Pack Voltage (V)	8788
Temperature Pack 3	0.00	Pack SOC (%)	546	Power (Watt)	878
Temperature Pack 4	0.00				
Temperature Heatsink	0.00				

Gambar 2.4 Contoh tampilan hasil monitoring baterai

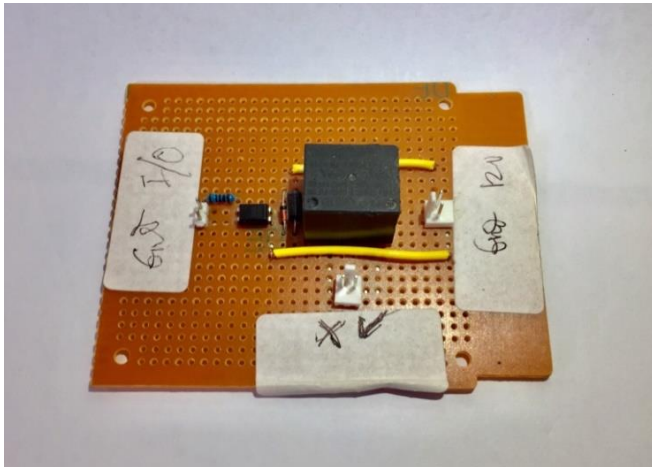
Dari gambar di atas, dapat kita lihat kondisi sistem baterai dengan jelas dan mudah. Beberapa data sistem baterai yang ditampilkan pada layar tersebut antara lain:

- Tegangan pada masing-masing sel baterai.
- Tegangan total sel baterai.
- Nilai SOC baterai.
- Arus yang mengalir masuk maupun keluar pada baterai ketika dioperasikan.
- Temperatur di dalam *battery pack*.
- Kapasitas baterai.
- Daya yang dihasilkan oleh baterai.

2.1.2 Sistem Proteksi Baterai

Selain sistem monitoring, BMS juga memiliki fungsi utama proteksi terhadap baterai kendaraan listrik. Pada sistem proteksi ini, BMS yang diproduksi *workshop* Molina ITS memerlukan tiga komponen elektronik maupun mekanik untuk melindungi baterai dari gangguan yang ada. Tiga komponen yang digunakan pada sistem proteksi baterai antara lain *handling current*, relay, dan kontaktor. Komponen-komponen ini terhubung dan beroperasi berdasarkan perintah dari *battery management system*. Ketiga komponen tersebut

berfungsi untuk memutus arus apabila terjadi gangguan yang dapat membahayakan *battery pack*. Komponen-komponen proteksi yang digunakan untuk melindungi *battery pack* produksi *workshop* Molina ITS akan ditampilkan pada Gambar 2.5 sampai Gambar 2.7.



Gambar 2.5 *Handling current*



Gambar 2.6 Relay arus



Gambar 2.7 Kontaktor utama

Ketiga komponen di atas disuplai dengan tegangan dc 12 volt agar dapat dioperasikan. Komponen *handling current* yang didesain dan diproduksi oleh *workshop* Molina ITS berfungsi mengirimkan perintah dari BMS ke relay sehingga dapat mengatur *switching* mekanik pada kontaktor utama untuk memutuskan arus yang mengalir masuk maupun keluar pada baterai.

Berikut spesifikasi dari kemampuan BMS yang telah didesain oleh pihak *workshop* Molina ITS:

Tegangan suplai BMS	: 12 vdc
Batas tegangan <i>charge</i>	: 100 volt
Batas tegangan <i>discharge</i>	: 60 volt
Batas temperatur operasi	: 45 ⁰ C
Batas arus <i>charge</i>	: 10 ampere
Batas arus <i>discharge</i>	: 52 ampere
Batas <i>delta voltage</i>	: 0,1 volt

2.2 Pengujian *Battery Management System*

Battery Management System memiliki peranan penting bagi keselamatan dan optimalisasi bagi baterai kendaraan listrik. BMS dapat mengamati kondisi *real time* baterai yang nantinya akan menjadi acuan pengguna dalam pengoperasian baterai kendaraan listrik. Dengan adanya BMS, pengguna kendaraan listrik dapat mengatur penggunaan baterai agar tidak beroperasi di luar batas kemampuan yang telah ditetapkan. Oleh sebab itu, BMS dituntut mampu beroperasi dalam berbagai kondisi yang ada. Untuk mengetahui apakah BMS mampu tetap beroperasi dengan baik dalam berbagai kondisi tersebut, diperlukan pengujian terhadap BMS itu sendiri. Ada empat parameter yang perlu diperhatikan dalam pengujian, antara lain performa, keamanan, diagnosis kegagalan, dan sistem pengujian [1]. Pengujian yang dilakukan harus mengacu pada standar maupun regulasi yang sudah ada dan relevan.

ISO 12405-1 dan UN-R136 merupakan standar dan regulasi internasional yang dapat dijadikan acuan untuk melakukan pengujian terhadap BMS. Berikut akan ditampilkan beberapa metode pengujian terhadap peralatan BMS yang akan dioperasikan pada kendaraan mobil listrik dan kendaraan motor listrik [4][5]. Pengujian yang akan diterapkan pada *battery management system* terbagi menjadi empat bagian, daftar pengujian tersebut akan ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar pengujian *Battery Management System*

Uji Umum	Uji Performa	Uji Keandalan	Uji Gangguan
- <i>Preconditioning cycle</i> - <i>Standard Cycle</i>	- <i>Cell balancing</i>	- <i>Dewing test</i> - <i>Thermal shock cycling</i> - Uji getaran - Uji kejutan mekanik - Uji jatuh	- Proteksi hubung singkat - Proteksi <i>overcharge</i> - Proteksi <i>overdischarge</i> - Proteksi <i>over temperature</i>

BAB 3

STANDAR UJI BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

3.1 Ruang Lingkup

Standarisasi ini merupakan penetapan prosedur pengujian untuk performa dan keselamatan peralatan *battery management system* sebagai komponen yang memonitor kondisi baterai dan juga sistem proteksi baterai kendaraan listrik.

Tujuan dari standarisasi ini setelah penyusunan prosedur pengujian peralatan diharapkan mampu mendapatkan karakteristik dari peralatan *battery management system* sehingga diketahui performa dan tingkat keselamatan dari BMS tersebut.

Standar ini memberikan persyaratan yang harus dipenuhi oleh peralatan *battery management system*, maka perlu dilampirkan prosedur pengujian yang baku serta nilai yang harus dicapai dari hasil pengujian pada setiap parameter yang ada. Standar sangat diperlukan guna mendapatkan data dari setiap parameter yang diuji dan pemenuhan persyaratan dari BMS yang digunakan.

Standar ini disusun untuk peralatan BMS yang digunakan pada kendaraan mobil maupun kendaraan motor listrik. Adapun beberapa parameter yang akan digunakan pada standar ini antara lain:

- a. Sistem proteksi.
- b. Keandalan peralatan dalam berbagai kondisi lingkungan yang ada.
- c. Performa peralatan.

3.2 Acuan Normatif

Dokumen-dokumen berikut dijadikan referensi karena dianggap sangat diperlukan untuk penyusunan tugas akhir ini. Untuk referensi yang tidak berlaku lagi, hanya edisi yang dikutip yang berlaku. Untuk referensi yang berlaku, digunakan edisi terbaru dari dokumen yang dijadikan referensi.

ISO 12405-1 : 2011, *Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion traction battery packs and system - Part 1: High-power applications.*

Addendum 135 – Regulation No. 136, *Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions.*

3.3 Istilah dan definisi

Dalam buku ini terdapat beberapa istilah yang mungkin jarang kita temui dari buku-buku yang biasa kita baca. Untuk mempermudah pemahaman selama membaca buku tugas akhir ini, maka diberikan beberapa definisi mengenai istilah-istilah tersebut. Berikut adalah istilah dan definisi yang terdapat dalam buku:

a. *Battery Management System* (BMS)

Perangkat elektronik yang berfungsi memonitor nilai tegangan, arus, dan temperatur dari sistem baterai. Selain itu BMS juga berfungsi untuk sistem komunikasi dengan sistem kontrol lain yang berhubungan dengan baterai dari kendaraan listrik sebagai sistem keamanan.

b. Sistem baterai (*battery system*)

Komponen penyimpanan energi yang terdiri atas sel baterai dan perangkat rangkaian elektrik termasuk BMS yang terdapat pada *battery pack* kendaraan listrik.

c. *Battery Pack*

Baterai yang digunakan sebagai suplai daya untuk kendaraan listrik.

d. *State Of Charge* (SOC)

Kapasitas yang tersisa dalam sistem baterai. SOC dipresentasikan dalam persentase (%).

e. Tegangan kelas A

Klasifikasi tegangan untuk komponen atau rangkaian elektronik dengan tegangan kerja maksimal 30 Vac atau 60 Vdc.

f. Tegangan kelas B

Klasifikasi tegangan untuk komponen atau rangkaian elektronik dengan tegangan kerja antara 30 hingga 1000 Vac atau 60 hingga 1500 Vdc.

g. Kesetimbangan temperatur (*thermal equilibration*)

Kondisi di mana temperatur peralatan yang diuji dan temperatur lingkungan tidak berbeda hingga 2 K selama 1 jam tanpa sistem pendingin.

h. Temperatur ruangan (*room temperature*)

Temperatur lingkungan di sekitar peralatan uji dengan nilai $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ untuk acuan ISO 12405-1 dan $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$ untuk acuan UN-R136.

i. Kapasitas arus (C)

Nilai kapasitas arus yang mengalir sesuai dengan spesifikasi kapasitas baterai (Ah) yang digunakan.

3.4 Persyaratan *Battery Management System* [4]

Battery management system harus mampu beroperasi selama pengujian masih dalam batas operasional. BMS harus mampu memonitor dan menjaga baterai agar tetap aman selama pengujian dilaksanakan. Sistem baterai harus memiliki sistem proteksi yang berfungsi memutus aliran arus apabila terjadi kondisi yang tidak direkomendasikan terhadap baterai selama dioperasikan. Jika tidak ditentukan dalam prosedur pengujian, sistem baterai dihubungkan dengan tegangan kelas A, dan peralatan pengujian dihubungkan dengan tegangan kelas B.

Sebelum melakukan pengujian, temperatur baterai harus disetimbangkan dengan temperatur uji yang ditentukan. Temperatur baterai dapat dianggap setimbang ketika perbedaan temperatur antara baterai dan lingkungan tidak lebih dari 2 K selama satu jam tanpa menggunakan sistem pendingin (*thermal equilibration*).

Apabila dilakukan perubahan nilai SOC pada sistem baterai selama pengujian, baterai tersebut perlu didiamkan selama 30 menit setelah perubahan nilai SOC dilakukan. Hal ini diperlukan agar baterai mencapai kondisi stabil sebelum dilanjutkan ke langkah pengujian selanjutnya.

3.5 Pengujian *Battery Management System*

Pengujian BMS dilakukan sesuai pada Tabel 2.1 yang telah ditampilkan sebelumnya. Urutan pengujian dapat disesuaikan dengan

kondisi yang ada di lokasi. [4] Nilai toleransi akurasi untuk pengukuran pada BMS selama pengujian sebagai berikut:

Tegangan	: ± 1 %
Arus	: ± 1 %
Temperatur	: ± 2 K

Hasil yang didapat selama pengujian akan menentukan apakah *battery management system* tersebut sudah sesuai dengan standar atau perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut sebelum dioperasikan pada kendaraan listrik. Kondisi yang harus dipenuhi oleh *battery management system* selama pengujian akan ditampilkan pada standar yang disusun. Peralatan yang digunakan selama pengujian juga akan ditampilkan pada dokumen tugas akhir ini.

3.5.1 Pengujian Umum [4]

3.5.1.1 Preconditioning Cycle

Tujuan dari *preconditioning cycle* adalah untuk memastikan kestabilan sistem baterai sebelum memasuki tahap pengujian yang sesungguhnya. *Preconditioning cycle* perlu dilakukan agar didapatkan kondisi kestabilan yang seragam pada setiap akan melakukan pengujian yang berhubungan dengan baterai kendaraan listrik.

Preconditioning cycle dilakukan pada temperatur ruangan. Pertama kita perlu melakukan *discharge* baterai dengan arus konstan 2C atau dengan arus yang direkomendasikan oleh suplier hingga batas SOC minimum yang diperbolehkan. Lanjutkan dengan pengisian daya baterai sesuai dengan ketentuan dari suplier. Ulangi langkah tersebut hingga lima siklus proses *discharge-charge*. Sistem baterai dapat dianggap "*preconditioned*" atau stabil apabila kapasitas baterai yang terbuang setelah dua kali proses *discharge* tidak lebih dari 3% dari kapasitas rating baterai. Apabila kapasitas arus *discharge* yang digunakan dalam proses ini sama dengan kapasitas arus *discharge* yang digunakan suplier pada saat pengujian pabrik, maka cukup melakukan *preconditioning cycle* hingga siklus kedua.

3.5.1.2 *Standard Cycle (SC)*

Tujuan dari *standard cycle* pada pengujian baterai kendaraan listrik adalah untuk menstabilkan kondisi sistem baterai setiap akan melanjutkan ke pengujian berikutnya. *Standard cycle* dilakukan pada temperatur ruangan. *Standard cycle* terdiri atas dua langkah pengujian, Pertama lakukan *standard discharge* (SDCH) yaitu dengan *discharge* baterai dengan arus konstan 1C atau nilai arus yang disarankan oleh suplier hingga batas SOC minimum yang diperbolehkan, diikuti dengan periode istirahat selama 30 menit atau hingga temperatur sistem baterai setimbang dengan temperatur ruangan. Kemudian lakukan *standard charge* (SCH) yaitu dengan mengisi daya baterai sesuai dengan rekomendasi dari suplier, diikuti dengan periode istirahat selama 30 menit atau hingga temperatur sistem baterai setimbang dengan temperatur ruangan.

3.5.2 Uji Gangguan

Uji gangguan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem proteksi yang ada pada sistem baterai dapat berfungsi dengan baik sebelum terjadi kerusakan pada komponen yang ada. Sistem proteksi ini dapat dikatakan berfungsi dengan baik ketika *battery management system* dapat berkomunikasi dengan komponen proteksi lain untuk memutus kontaktor utama ketika terjadi gangguan atau kondisi yang tidak direkomendasikan terhadap baterai sebelum terjadi kerusakan yang lebih buruk, gangguan yang diberikan pada parameter pengujian ini antara lain berupa gangguan hubung singkat (*short-circuit*), pengisian berlebih (*overcharge*), *overdischarge*, dan *over temperature*.

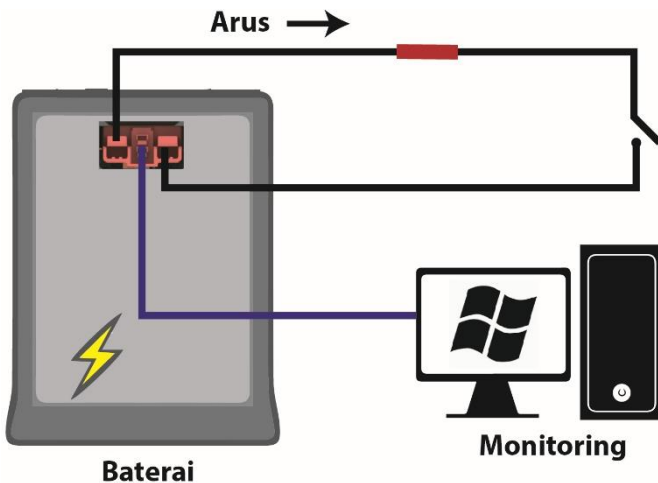
Kondisi-kondisi tersebut dapat menyebabkan baterai mengalami kerusakan atau bahkan membahayakan bagi kendaraan listrik dan pengguna, sehingga BMS harus mampu menghindarinya dengan memutus kontaktor utama sebelum terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Ketika kontaktor utama terputus, maka baterai akan terlepas dari koneksi elektrik sehingga dapat berhenti beroperasi dengan aman.

Pada pengujian ini, sistem baterai harus diisi penuh hingga SOC 100% untuk baterai kendaraan mobil listrik atau di atas SOC 50% untuk baterai kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan. Apabila terdapat sistem kontrol termal pada sistem baterai, sistem kontrol termal tersebut harus mampu beroperasi dengan optimal.

Setelah pengujian dilakukan, amati fungsional *battery management system* selama satu jam atau hingga kondisi sistem baterai stabil. Fungsional BMS harus dapat beroperasi sebagaimana mestinya setelah pengujian dilakukan.

3.5.2.1 Proteksi Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Pada pengujian ini, *battery management system* harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan oleh arus hubung singkat. Ilustrasi pengujian proteksi hubung singkat ini akan ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi pengujian proteksi hubung singkat

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$. Konduktor yang digunakan untuk pengujian ini adalah konduktor resistansi maksimal $100 \text{ m}\Omega$ untuk mengaplikasikan hubung singkat dengan menghubungkan terminal positif dan terminal negatif *battery pack*. Perangkat proteksi hubung singkat pasif dan aktif harus dapat beroperasi dengan baik ketika pengujian dilakukan.

BMS harus mampu memutus arus hubung singkat dengan membuka kontaktor utama sebelum terjadi kerusakan. Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 0.1 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus dan arus puncak hubung singkat.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional *battery management system* selama 2 jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

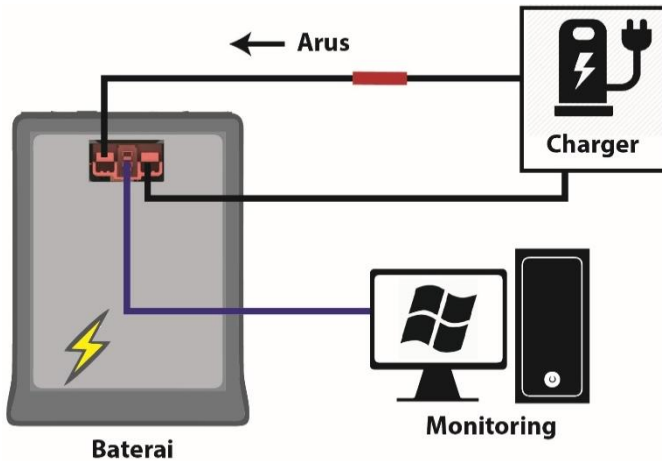
b. UN-R136 [5]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$. Konduktor yang digunakan untuk mengaplikasikan hubung singkat pada pengujian ini adalah konduktor resistansi maksimal $5\text{ m}\Omega$ dengan menghubungkan terminal positif dan terminal negatif *battery pack*. Lakukan pengujian dengan kondisi kapasitas SOC baterai di atas 50%.

BMS harus mampu memutus arus hubung singkat dengan membuka kontaktor utama sebelum terjadi kerusakan. Hentikan pengujian hubung singkat secara manual apabila temperatur baterai tidak berubah hingga 4°C selama satu jam. Lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

3.5.2.2 Proteksi Overcharge

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena pengisian daya yang berlebih. Kontrol aktif pengisian daya pada peralatan uji harus dimatikan, pengujian hanya menggunakan sistem proteksi yang ada pada sistem baterai. Ilustrasi pengujian proteksi *overcharge* ini akan ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ilustrasi pengujian proteksi *overcharge*

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$. Batas tegangan atas dari suplai daya yang digunakan pada pengujian tidak boleh melebihi 20% dari tegangan maksimum sistem baterai.

Isi daya baterai dengan arus konstan 5C . Lanjutkan pengisian baterai hingga arus pengisian terputus karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila temperatur sistem baterai mencapai 55°C . Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 100 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus gangguan.

Setelah pengisian berhenti, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional BMS selama 1 jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

b. UN-R136 [5]

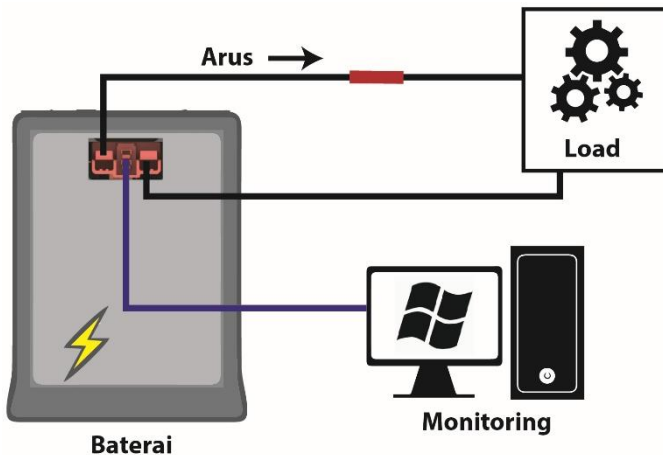
Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$. Isi daya baterai dengan arus konstan $1/3\text{C}$. Lanjutkan pengisian daya baterai

hingga arus pengisian terputus karena perintah dari *battery management system*. Hentikan pengisian secara manual setelah kapasitas baterai mencapai dua kali lipat dari kapasitas rating sistem baterai.

Setelah pengisian berhenti, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

3.5.2.3 Proteksi *Overdischarge*

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena pengoperasian baterai yang berlebihan. Kontrol aktif *discharge* pada peralatan uji harus dimatikan, pengujian hanya menggunakan sistem proteksi yang ada pada sistem baterai. Ilustrasi pengujian proteksi *overdischarge* ini akan ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi pengujian proteksi *overdischarge*

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan (25 ± 2)°C. *Discharge*

baterai dengan arus konstan 1C hingga kontaktor utama terbuka karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila SOC baterai mencapai 25% dari level tegangan nominal baterai atau 30 menit setelah melewati batas bawah SOC. Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 100 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus gangguan.

Setelah *discharge* berhenti, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional *battery management system* selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

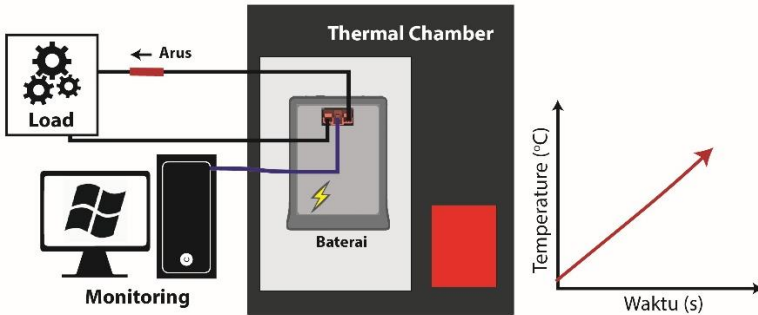
b. UN-R136 [5]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$. *Discharge* baterai dengan arus konstan $1/3\text{ C}$ hingga kontaktor utama terbuka karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila SOC baterai mencapai 25% dari level tegangan nominal.

Setelah *discharge* berhenti, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional *battery management system* selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

3.5.2.4 Proteksi Over Temperature

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena pengoperasian baterai pada kondisi temperatur lingkungan yang terlalu tinggi. Kondisi tersebut dapat memicu ledakan maupun baterai terbakar. Temperatur yang baik untuk baterai jenis Li Ion beroperasi dengan optimal ada antara 25°C dan 55°C [6]. Apabila terdapat sistem pendingin pada sistem baterai, sistem pendingin tersebut harus dimatikan selama pengujian dilaksanakan. Ilustrasi pengujian proteksi *over temperature* ini akan ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi pengujian proteksi *over temperature*

a. UN-R136 [5]

Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Pengujian dilakukan dengan meningkatkan temperatur lingkungan baterai seiring berjalannya waktu. Lanjutkan pengujian hingga *battery management system* memutus kontaktor utama karena adanya temperatur yang berlebih pada sistem baterai. Hentikan pengujian secara manual apabila temperatur baterai tidak berubah hingga 4°C selama 2 jam.

Setelah pengujian selesai, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

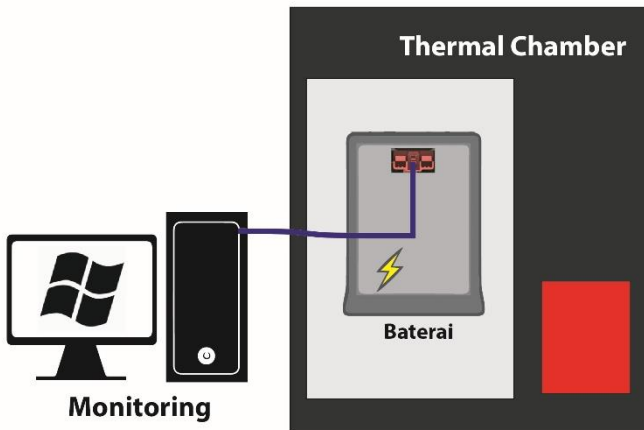
3.5.3 Uji Keandalan

Uji keandalan bertujuan untuk memastikan bahwa *battery management system* mampu tetap beroperasi di berbagai kondisi lingkungan yang ada. Parameter lingkungan yang diberikan untuk pengujian keandalan BMS antara lain tingkat kelembapan yang tinggi, perubahan temperatur ekstrem, getaran, kejutan mekanik, dan uji jatuh.

Pada serangkaian pengujian yang ada pada parameter uji keandalan ini, *battery management system* yang dioperasikan pada baterai harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur baterai dengan baik ketika berada pada berbagai kondisi lingkungan yang diberikan maupun setelah pengujian dilaksanakan.

3.5.3.1 Dewing - Perubahan Temperatur dan Kelembapan

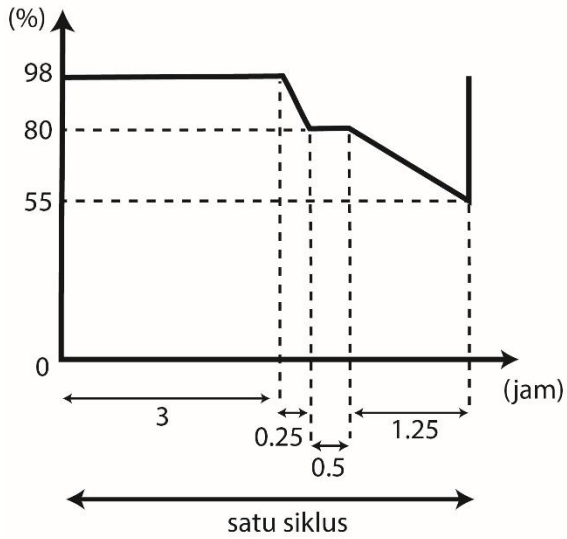
Pengujian ini mensimulasikan penggunaan kendaraan listrik pada lingkungan dengan tingkat kelembapan udara yang tinggi. *Battery management system* harus mampu memonitor kondisi sistem baterai selama pengujian dan setelah pengujian dilaksanakan. Kerusakan yang mungkin timbul pada pengujian ini antara lain kerusakan fungsional pada sistem kelistrikan yang ada pada BMS. Ilustrasi pengujian *dewing* ini akan ditampilkan pada Gambar 3.5.



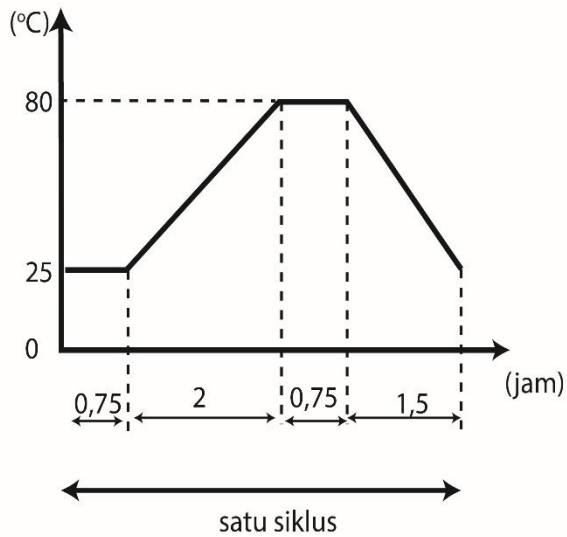
Gambar 3.5 Ilustrasi pengujian *dewing*

a. ISO 12405-1 [4]

Pengujian dimulai pada temperatur $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ dengan sistem proteksi termal pada sistem baterai dimatikan. Lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* sistem baterai dengan arus konstan 1C atau sesuai dengan kesepakatan suplier ke SOC 50%. Pengaturan tingkat kelembapan dan temperatur di lingkungan sekitar baterai selama pengujian akan ditampilkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3. 6 Nilai kelembapan terhadap waktu

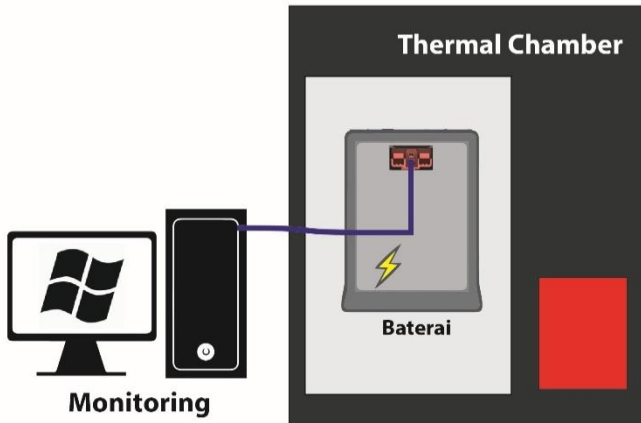


Gambar 3. 7 Nilai temperatur terhadap waktu

Pengujian dilakukan sebanyak lima siklus dengan durasi untuk satu siklus pengujian adalah lima jam. Setelah semua siklus selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali dan pengamatan fungsional BMS selama 1 jam.

3.5.3.2 Siklus Temperatur

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan monitoring BMS ketika berada pada lingkungan dengan temperatur yang ekstrem. BMS harus mampu memonitor kondisi tegangan dan temperatur sel baterai selama pengujian berlangsung maupun setelah pengujian dilaksanakan. Ilustrasi pengujian siklus temperatur ini akan ditampilkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Ilustrasi pengujian siklus temperatur

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dimulai pada temperatur $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ dengan sistem proteksi termal pada baterai dimatikan. Lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* sistem baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%.

Temperatur uji yang digunakan pada pengujian ini adalah 85°C dan -40°C. Waktu baterai dan BMS berada pada masing-masing temperatur uji adalah 1 jam, sedangkan waktu untuk menuju masing-masing temperatur uji adalah 30 menit. Lakukan pengujian sebanyak lima siklus.

Setelah semua siklus selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali dan pengamatan fungsional BMS selama 1 jam.

b. UN-R136 [5]

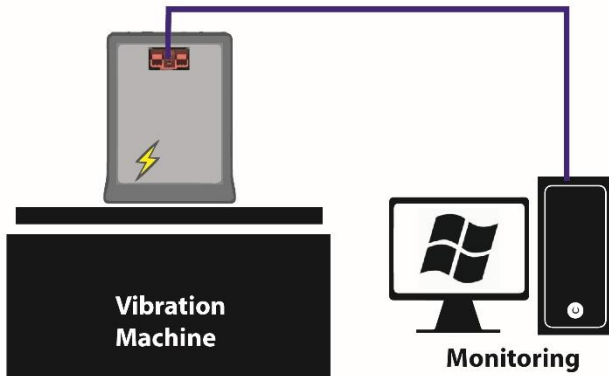
Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%.

Temperatur uji yang digunakan pada pengujian ini adalah 60°C dan -40°C. Waktu baterai dan BMS berada pada masing-masing temperatur uji adalah 6 jam, sedangkan waktu untuk menuju masing-masing temperatur uji adalah 30 menit. Lakukan pengujian sebanyak lima siklus.

Setelah semua siklus selesai dilakukan, simpan baterai pada temperatur lingkungan (20±10)°C selama 24 jam. Kemudian lakukan *standard cycle* dan amati fungsional BMS selama 1 jam.

3.5.3.3 Getaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional dan koneksi elektrik pada *battery management system* ketika menerima gangguan getaran dari luar. Ilustrasi pengujian getaran ini akan ditampilkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Ilustrasi pengujian getaran

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian getaran diterapkan untuk *battery pack* dan sistem baterai dengan frekuensi maksimal 200 Hz untuk tiga arah spasial (sumbu x, sumbu y, dan sumbu z). Penempatan baterai pada alat uji disesuaikan dengan posisi penempatan baterai pada kendaraan mobil listrik.

Parameter pengujian mengikuti nilai-nilai yang ditampilkan pada Tabel 3.1 sampai Tabel 3.4. Getaran diterapkan untuk 3 arah spasial dengan durasi dan temperatur pengujian pada setiap arah spasial sesuai ketentuan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 1 Nilai PSD untuk arah sumbu x

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2}{Hz}\right)$
5	1.2
10	2.89
20	2.89
200	0.02

Tabel 3. 2 Nilai PSD untuk arah sumbu y

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{(m/s^2)^2}{Hz}\right)$
5	3.85
20	3.85
200	0.08

Tabel 3. 3 Nilai PSD untuk arah sumbu y untuk posisi baterai di bawah penumpang

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{(m/s^2)^2}{Hz}\right)$
5	0.96
10	1.44
20	1.44
50	0.96
200	0.04

Tabel 3. 4 Nilai PSD untuk arah sumbu z

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{(m/s^2)^2}{Hz}\right)$
5	4.81
10	5.77
20	5.77
200	0.08

Tabel 3. 5 Durasi dan temperatur pengujian berdasarkan jumlah sampel baterai yang digunakan

1 sampel (menit)	2 sampel (menit)	3 sampel (menit)	Temperatur uji (°C)
0	0	0	T ruangan
105	75	60	-40
420	300	240	-40
525	375	300	T ruangan
700	500	400	75
1085	775	620	75
1260	900	720	T ruangan
Total: 21 jam	Total: 15 jam	Total: 12 jam	

Sebelum pengujian getaran dimulai, lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%. BMS harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur sel baterai selama pengujian getaran berlangsung maupun setelah pengujian selesai dilaksanakan.

Setelah semua langkah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

b. UN-R136 [5]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan (20±10)°C dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Pengujian menggunakan sinyal getaran sinusoidal dengan logaritma “*sweep*” frekuensi 7 Hz hingga 200 Hz dan amplitudo konstan 0,8 mm. Getaran dimulai dengan frekuensi 7 Hz menuju frekuensi 200 Hz dan kemudian kembali ke frekuensi 7 Hz dengan durasi 15 menit untuk satu siklus getaran. Lakukan pengujian hingga 12 siklus dengan arah getaran vertikal sesuai dengan posisi pemasangan baterai pada kendaraan motor listrik.

Berikut nilai untuk parameter frekuensi dan percepatan getaran yang digunakan berdasarkan massa *battery pack* yang diuji akan ditampilkan pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3. 6 Frekuensi dan percepatan untuk massa kurang dari 12 kg

Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s^2)
7-18	10
18-50	10-80
50-200	80

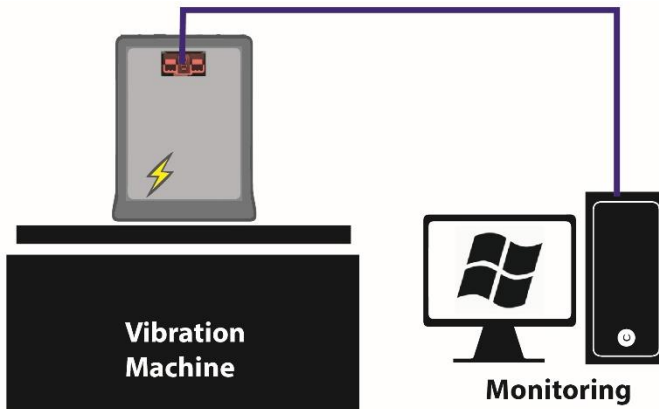
Tabel 3. 7 Frekuensi dan percepatan untuk massa 12 kg atau lebih

Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s^2)
7-18	10
18-25	10-20
25-200	20

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

3.5.3.4 Kejut Mekanik

Pengujian ini mensimulasikan keadaan penggunaan kendaraan listrik pada jalanan yang buruk maupun berbatu dengan kecepatan tinggi. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional dan koneksi elektrik pada *battery management system* selama pengujian maupun setelah pengujian dilakukan. Ilustrasi pengujian kejut mekanik ini akan ditampilkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Ilustrasi pengujian kejut mekanik

a. ISO 12405-1 [4]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian diterapkan pada keenam sisi baterai. Nilai dari parameter yang diterapkan pada pengujian ini akan ditampilkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Parameter pengujian kejut mekanik

Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	500 m/s ²
Durasi	6 ms
Temperatur	(25±2)°C
Jumlah kejut mekanik	10 pada setiap sisi

Sebelum pengujian, lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%. BMS harus mampu tetap memonitor kondisi baterai selama pengujian berlangsung maupun setelah pengujian dilaksanakan.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery*

management system. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

b. UN-R136 [5]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Parameter-parameter pada pengujian ini dibedakan berdasarkan massa *battery pack* yang digunakan. Nilai dari parameter tersebut akan ditampilkan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Parameter pengujian untuk massa baterai kurang dari 12 kg

Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	1500 m/s ²
Durasi	6 ms
Temperatur	(20±10)°C
Jumlah kejut mekanik	3 pada setiap sisi

Tabel 3.10 Parameter pengujian untuk massa baterai 12 kg atau lebih

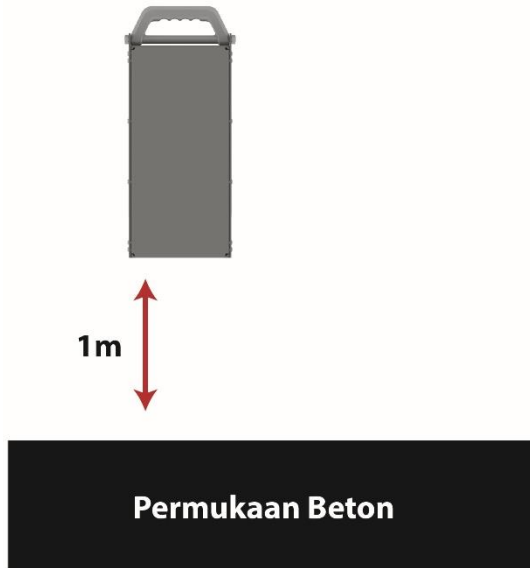
Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	500 m/s ²
Durasi	11 ms
Temperatur	(20±10)°C
Jumlah kejut mekanik	3 pada setiap sisi

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

3.5.3.5 Uji Jatuh

Pengujian ini mensimulasikan keadaan ketika pengguna kendaraan listrik menjatuhkan baterai ketika tidak berada dalam kendaraan listrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional, fisik, maupun koneksi elektrik pada *battery management*

system setelah baterai jatuh dari ketinggian 1 meter. Ilustrasi pengujian jatuh ini akan ditampilkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Ilustrasi uji jatuh

a. UN-R136 [5]

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$. Baterai dijatuhkan dari ketinggian 1 meter dengan enam sisi bawah yang berbeda ke alas datar berbahan beton.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

3.5.4 Uji Performa

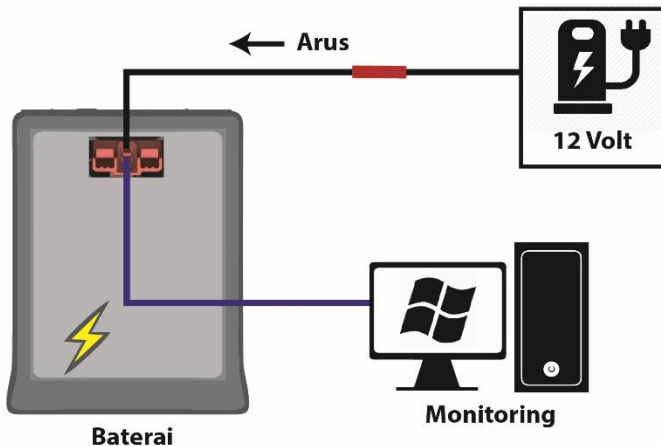
Uji performa bertujuan untuk memastikan bahwa fungsi yang dimiliki *battery management system* dapat beroperasi dengan baik. Selain

fungsi monitoring dan proteksi, BMS juga memiliki fungsi penyeimbang sel baterai (*cell balancing*) yang juga mempunyai peran penting bagi kestabilan maupun masa pakai baterai.

Fungsi penyeimbang sel baterai yang dimiliki oleh *battery management system* bertujuan agar kapasitas pada setiap sel baterai yang digunakan pada *battery pack* selalu dalam kondisi seimbang ketika dioperasikan. Dengan kondisi sel baterai yang seimbang, maka tidak ada kapasitas baterai yang terbuang ketika proses pengisian maupun *discharge*.

3.5.4.1 Cell Balancing

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan fungsi penyeimbang sel baterai pada *battery management system* dapat berfungsi dengan baik. Ilustrasi pengujian *cell balancing* ini akan ditampilkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Ilustrasi pengujian *cell balancing*

a. ISO 12405-1 [4]

Pada pengujian ini BMS disuplai dengan sumber tegangan tambahan yang diperlukan untuk dapat mengontrol tegangan sel baterai selama periode istirahat atau masa penyimpanan. Penyeimbang sel baterai diamati dengan tiga periode istirahat yang berbeda. Periode

istirahat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 24 jam, 168 jam, dan 720 jam. Baterai disimpan selama periode istirahat dengan kondisi temperatur lingkungan $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ dan 40°C .

Pertama setimbangkan baterai pada temperatur ruangan $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$. Lakukan *standard cycle* kemudian diikuti *discharge* baterai ke SOC 80% dengan arus konstan 1C atau sesuai dengan arus yang disepakati dengan supplier. Simpan baterai dengan kondisi BMS disuplai tegangan 12 volt selama 24 jam pada temperatur ruangan $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$. Ulangi langkah tersebut untuk periode istirahat 168 jam dan 720 jam. Amati tegangan pada setiap sel baterai setelah masa penyimpanan. Pastikan perbedaan antara tegangan sel baterai tertinggi dan tegangan sel baterai terendah tidak mencapai 3% [7].

Lakukan pengujian seperti langkah pengujian di atas dengan temperatur penyimpanan baterai 40°C . Amati tegangan pada setiap sel baterai ketika dalam masa penyimpanan. Pastikan perbedaan antara tegangan sel baterai tertinggi dan tegangan sel baterai terendah tidak mencapai 3% [7].

BAB 4

PENGUJIAN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM* DAN ANALISIS TERHADAP PERBANDINGAN NILAI DENGAN KETENTUAN STANDAR

Pada bab ini akan disampaikan mengenai hasil identifikasi peralatan *battery management system* berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sesuai dengan standar acuan. Hasil identifikasi tersebut akan dibandingkan dengan ketentuan pada standar yang telah disusun. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa *battery management system* yang diproduksi oleh *workshop* MOLINA ITS sudah sesuai dengan standar yang ada atau perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut sebelum dioperasikan pada kendaraan listrik.

4.1 Uji Gangguan

Pada pengujian ini, penulis mengamati apakah *battery management system* yang dibuat MOLINA ITS mampu mengirimkan perintah ke sistem proteksi baterai dengan baik apabila diberikan gangguan ke *battery pack*. Peran *battery management system* di sini adalah untuk memastikan bahwa baterai tetap beroperasi pada kondisi yang diperbolehkan.

Apabila kondisi baterai berada di luar batas yang sewajarnya, *battery management system* harus mampu berkomunikasi dengan sistem proteksi dengan memutus kontaktor utama yang ada agar tidak berdampak lebih buruk terhadap baterai maupun kendaraan listrik yang digunakan. Kondisi yang dianggap tidak aman bagi baterai maupun kendaraan listrik antara lain kondisi hubung singkat pada baterai, kondisi pengisian daya baterai yang berlebihan, kondisi penggunaan baterai yang melewati batas bawah SOC, dan kondisi pengoperasian baterai pada temperatur yang terlalu tinggi.

4.1.1 Proteksi Hubung Singkat

Sistem proteksi yang digunakan untuk melindungi *battery pack* produksi *workshop* Molina ITS dari gangguan hubung singkat tidak menggunakan program pada *battery management system*. *Workshop* Molina ITS menggunakan *Circuit Breaker* (CB) dengan rating arus 100 ampere untuk melindungi *battery pack* dari gangguan hubung singkat. Dengan digunakannya *circuit breaker* sebagai pemutus arus apabila

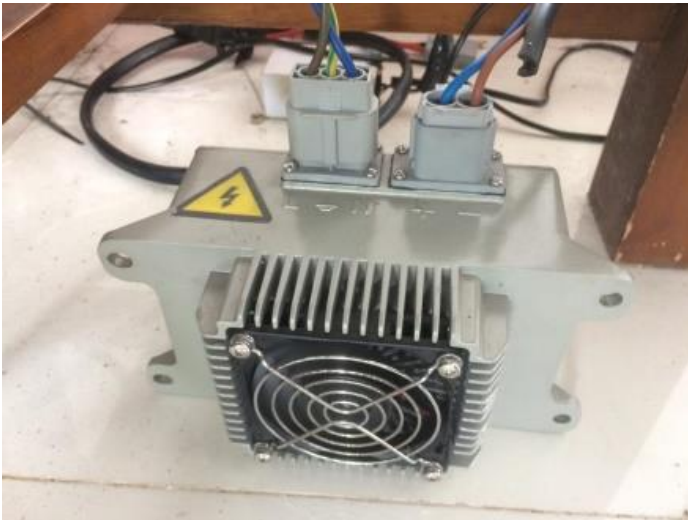
terjadi hubung singkat pada *battery pack*, BMS tersebut tidak dilengkapi dengan program yang berfungsi untuk melindungi *battery pack* dari gangguan hubung singkat.

4.1.2 Proteksi *Overcharge*

Pada pengujian ini BMS harus mampu mengirimkan perintah untuk memutus arus apabila tegangan baterai telah mencapai batas atas yang telah ditetapkan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- a. Pengisi daya baterai/*charger*.
- b. *Battery pack*.
- c. BMS.
- d. USB TO CAN *Module*.
- e. Laptop.

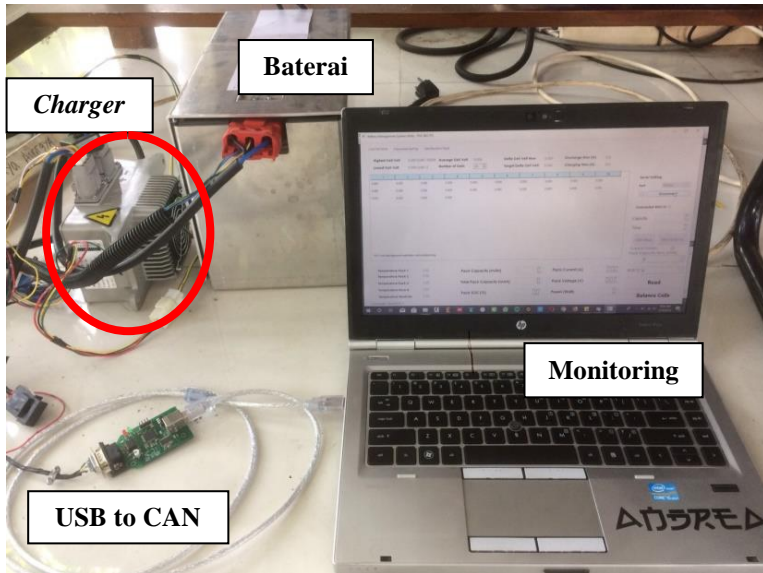
Pengisi daya yang digunakan pada pengujian proteksi *overcharge* akan ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengisi daya baterai

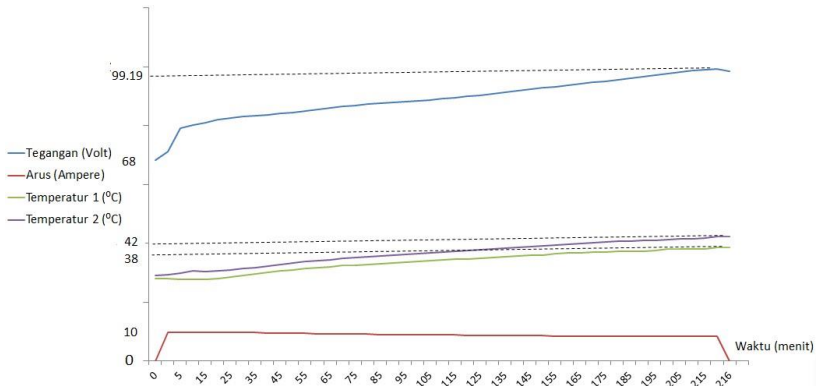
Pengisi daya yang telah ditampilkan di atas memiliki rating tegangan luaran sebesar 132 volt @220 volt AC dengan arus rating 16

ampere. Pada pengujian ini, BMS disuplai tegangan dc 12 volt dari *charger* yang digunakan tersebut. Baterai diisi daya dengan arus konstan hingga BMS mengirimkan perintah untuk memutus arus pengisian ketika tegangan baterai telah mencapai batas atas yang telah diatur pada program BMS. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Instalasi pengujian *overcharge*

Pada pengujian ini, baterai mulai diisi daya pada kondisi tegangan 68.31 volt, kondisi temperatur pada sensor suhu 1 sebesar 27.97°C, dan sensor suhu 2 sebesar 29.09°C. Baterai diisi dengan arus konstan 10 ampere hingga BMS menghentikan pengisian pada tegangan baterai sebesar 99.19 volt. Hasil monitoring selama pengujian dilaksanakan akan ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Monitoring pengujian proteksi *overcharge*

Dari gambar di atas terlihat beberapa perbedaan antara kondisi awal pengujian dengan kondisi akhir ketika BMS telah memutuskan arus pengisian. Terlihat tegangan dan temperatur baterai meningkat berbanding lurus dengan waktu pengisian daya. Terlihat pula bahwa *battery management system* tersebut mampu memutuskan arus secara otomatis ketika tegangan baterai telah mencapai batas atas dari yang telah diatur pada program BMS.

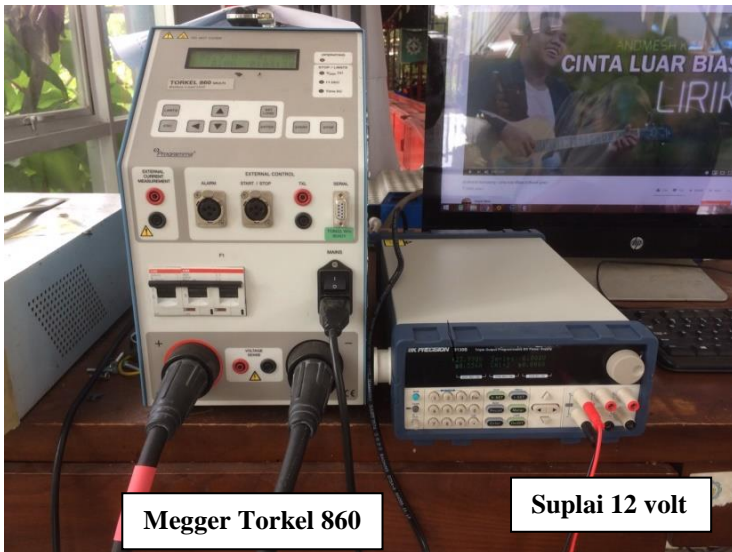
Dari data yang didapatkan pada pengujian proteksi *overcharge* ini, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi *overcharge* pada BMS sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

4.1.3 Proteksi *Overdischarge*

Pada pengujian ini BMS harus mampu mengirimkan perintah kepada kontaktor utama untuk memutuskan arus *discharge* apabila tegangan baterai telah mencapai batas bawah yang telah ditetapkan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

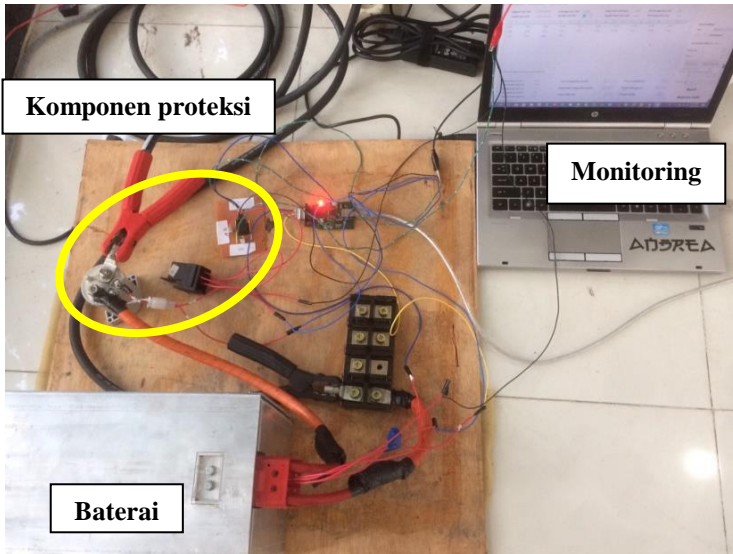
- a. Megger Torkel 860.
- b. Suplai tegangan 12 volt.
- c. Sistem proteksi baterai
- d. *Battery pack*.
- e. BMS.
- f. USB TO CAN *Module*.
- g. Laptop.

Megger Torkel 860 pada pengujian ini digunakan untuk *discharge* baterai dengan arus konstan menuju ke batas bawah tegangan baterai sesuai yang telah diatur pada BMS. Megger Torkel 860 akan ditampilkan pada Gambar 4.4.



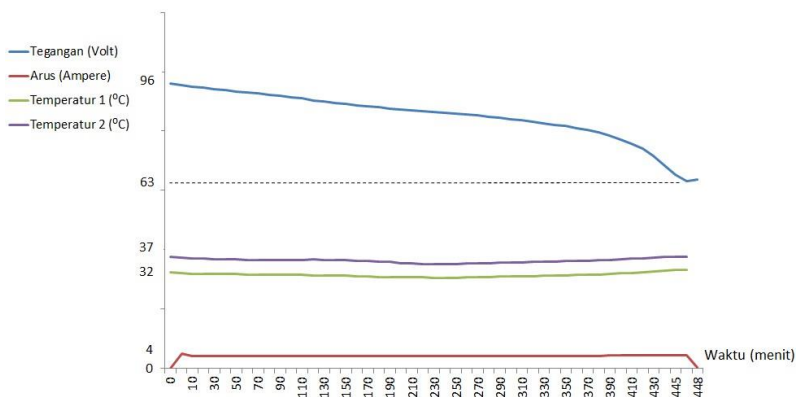
Gambar 4.4 Megger Torkel 860 dan suplai tegangan 12 volt

Megger Torkel 860 pada gambar di atas berfungsi sebagai beban bagi baterai sehingga baterai mengeluarkan arus *discharge* yang diatur sebesar 4 ampere. Sedangkan suplai daya tambahan 12 volt pada pengujian ini digunakan untuk mensuplai tegangan BMS dan perangkat proteksi baterai. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Instalasi pengujian *overdischarge*

Pada pengujian ini, *discharge* dimulai pada kondisi tegangan baterai sebesar 95.98 volt, kondisi temperatur pada sensor suhu 1 sebesar 32.39°C, dan sensor suhu 2 sebesar 37.85°C. Baterai di-*discharge* dengan arus konstan sebesar 4 ampere hingga BMS memutus arus *discharge* pada tegangan baterai sebesar 63.13 volt. Hasil monitoring selama pengujian dilaksanakan akan ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Monitoring pengujian proteksi *overdischarge*

Dari gambar di atas terlihat beberapa perbedaan antara kondisi awal pengujian dengan kondisi akhir ketika BMS telah memutuskan arus *discharge*. Terlihat tegangan baterai berbanding terbalik dengan waktu *discharging*, temperatur pada *battery pack* relatif meningkat berbanding dengan waktu pengujian. Terlihat pula bahwa *battery management system* tersebut mampu memutuskan arus secara otomatis ketika tegangan baterai telah mencapai batas bawah dari yang telah diatur pada program BMS.

Dari data yang didapatkan pada pengujian proteksi *overdischarge* ini, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi *overdischarge* pada BMS sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

4.1.4 Proteksi Over Temperature

Pada pengujian ini, BMS harus mampu mengirimkan perintah kepada kontaktor utama untuk memutuskan arus apabila baterai dioperasikan pada kondisi temperatur lingkungan yang terlalu tinggi. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- Megger Torkel 860.
- Suplai tegangan 12 volt.
- Heater/Blower* Quick SMD Rework Station 857D.
- Sistem proteksi baterai.
- Battery pack*.
- BMS.
- USB TO CAN *Module*.

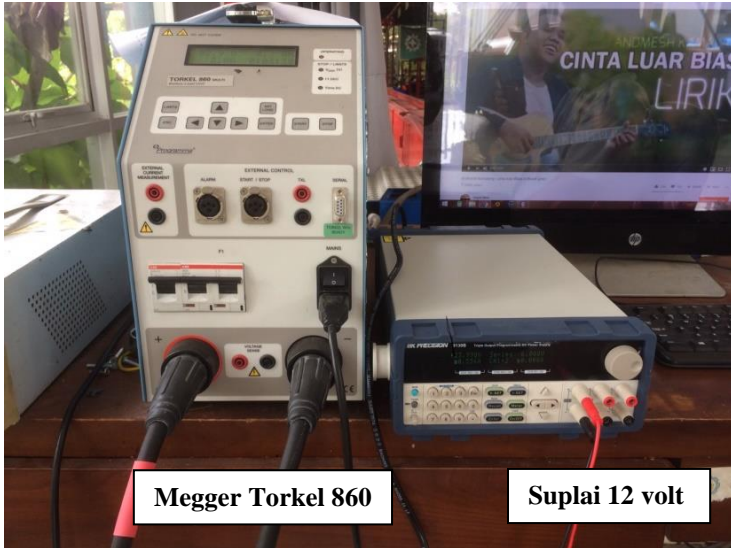
h. Laptop.

Blower Quick SMD Rework Station 857D ini digunakan untuk meningkatkan temperatur pada sensor suhu BMS hingga mencapai batas maksimum temperatur baterai beroperasi. *Blower* Quick SMD Rework Station 857D akan ditampilkan pada Gambar 4.7.

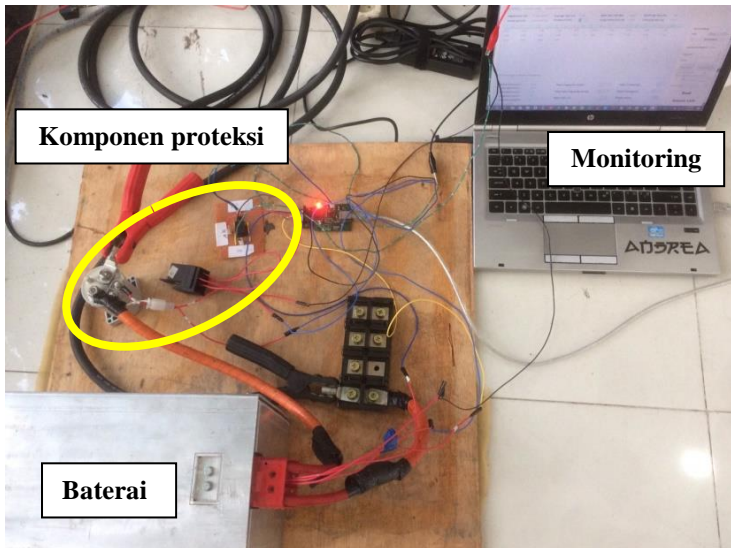


Gambar 4.7 *Blower* yang digunakan untuk meningkatkan temperatur pada sensor suhu BMS

Pada pengujian ini, baterai dioperasikan dengan di-*discharge* menggunakan Megger Torkel 860 untuk memastikan bahwa BMS mampu mengirim perintah memutus arus pada kontaktor utama ketika mencapai batas temperatur maksimum. BMS dan perangkat proteksi baterai disuplai dengan tegangan 12 volt. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

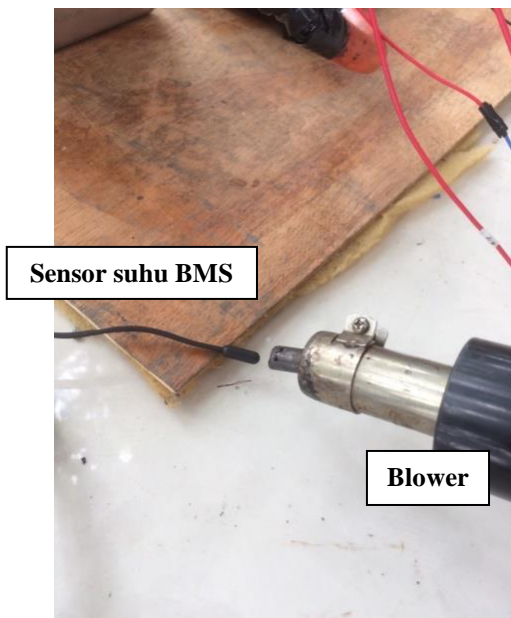


Gambar 4.8 Megger Torkel 860 dan suplai tegangan 12 volt



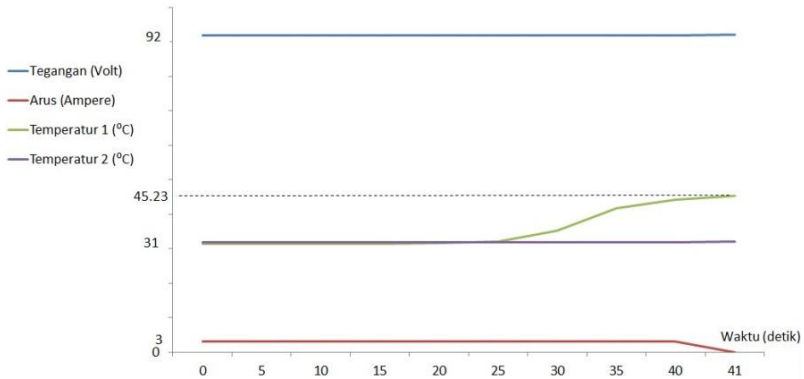
Gambar 4.9 Instalasi pengujian proteksi *over temperature*

Baterai di-*discharge* dengan arus konstan 3 ampere menggunakan Megger Torkel 860 hingga BMS mengirimkan perintah memutus arus pada kontaktor utama karena temperatur maksimum pada baterai. Sensor suhu pada BMS dipanaskan menggunakan *blower* Quick SMD Rework Station 857D dengan temperatur 100°C. Proses meningkatkan temperatur sensor suhu BMS akan ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Proses meningkatkan temperatur pada sensor suhu BMS

Sensor suhu 1 pada BMS mulai dipanaskan pada kondisi tegangan baterai 91.99 volt, arus *discharge* sebesar 3.05 ampere, kondisi temperatur pada sensor suhu 1 sebesar 31.34°C, dan sensor suhu 2 sebesar 31.77°C. Sensor suhu 1 pada BMS dipanaskan dengan temperatur 100°C hingga arus *discharge* terputus pada kondisi temperatur 45.23°C. Hasil monitoring kondisi baterai oleh BMS selama pengujian dilakukan akan ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil monitoring BMS selama pengujian

Dari gambar di atas terlihat bahwa *battery management system* mampu memutus arus secara otomatis ketika temperatur baterai telah mencapai batas maksimum dari yang telah diatur pada program BMS.

4.2 Uji Keandalan

Uji keandalan bertujuan untuk memastikan bahwa *battery management system* mampu tetap beroperasi di berbagai kondisi lingkungan yang ada. Parameter lingkungan yang diberikan untuk pengujian keandalan BMS antara lain tingkat kelembapan yang tinggi, perubahan temperatur ekstrem, getaran, kejutan mekanik, dan uji jatuh.

Pada serangkaian pengujian yang ada pada parameter uji keandalan ini, *battery management system* yang dioperasikan pada baterai harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur baterai dengan baik ketika berada pada berbagai kondisi lingkungan yang diberikan maupun setelah pengujian dilaksanakan.

4.2.1 Dewing - Perubahan Temperatur dan Kelembapan

Pengujian *dewing* tidak dapat dilaksanakan karena keterbatasan kemampuan alat yang tersedia di *workshop* MOLINA ITS. Peralatan yang tidak tersedia tersebut adalah *thermal chamber* yang mampu mengatur tingkat kelembapan pengujian.

4.2.2 Siklus Temperatur

Pada pengujian ini, BMS harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur baterai ketika berada pada lingkungan dengan

temperatur yang ekstrem, maupun setelah pengujian dilaksanakan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- a. *Thermal Chamber*.
- b. Pengisi daya 12 volt.
- c. *Battery pack*.
- d. BMS.
- e. *USB TO CAN Module*.
- f. Laptop.

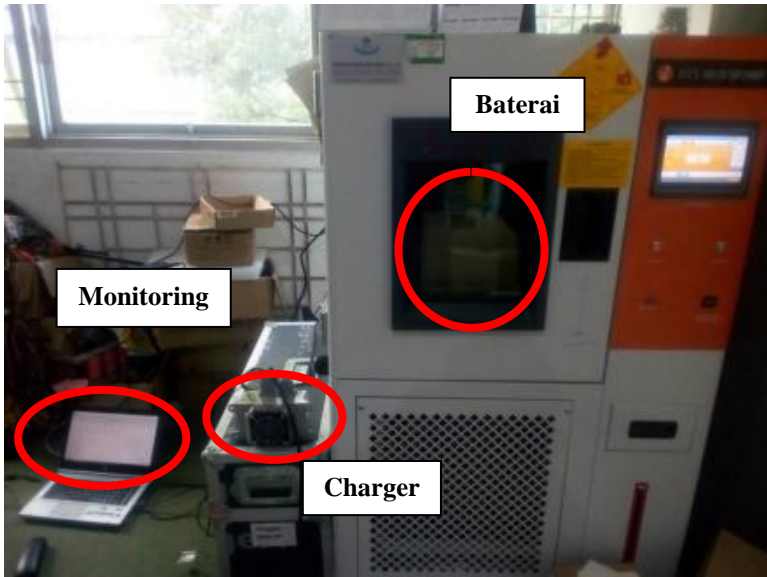
Thermal Chamber pada pengujian ini digunakan untuk mengatur temperatur lingkungan di sekitar baterai sesuai dengan ketentuan pada standar. *Thermal chamber* yang digunakan pada pengujian ini akan ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 *Thermal chamber* pengujian

Pada pengujian ini, baterai diletakkan di dalam *thermal chamber* dengan BMS disuplai menggunakan tegangan 12 volt pada perangkat

pengisi daya. Selama pengujian dilaksanakan, kondisi sel baterai dimonitor oleh BMS dan data tersebut ditampilkan pada layar laptop yang telah disediakan. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Instalasi pengujian siklus temperatur

Pengujian dimulai dengan temperatur lingkungan disesuaikan pada kondisi ruangan penyimpanan baterai. Kemudian temperatur pada *thermal chamber* dinaikkan menjadi 60°C selama 6 jam pengujian dan diikuti dengan periode istirahat selama 30 menit pada temperatur ruangan sebelum dilanjutkan ke temperatur uji -40°C. Setelah baterai diuji pada temperatur -40°C selama 6 jam, diamkan baterai pada temperatur ruangan selama 30 menit. Pengaturan temperatur peralatan *thermal chamber* akan ditampilkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Pengaturan temperatur 60°C pada *thermal chamber*



Gambar 4.15 Pengaturan temperatur -40°C pada *thermal chamber*

Karena pertimbangan waktu dari pihak Molina ITS, pengujian hanya dilakukan sebanyak lima siklus perubahan temperatur dengan total waktu baterai berada pada temperatur uji selama 30 jam. Hasil dari pengujian siklus temperatur untuk menguji keandalan BMS akan ditampilkan pada Tabel 4.1.

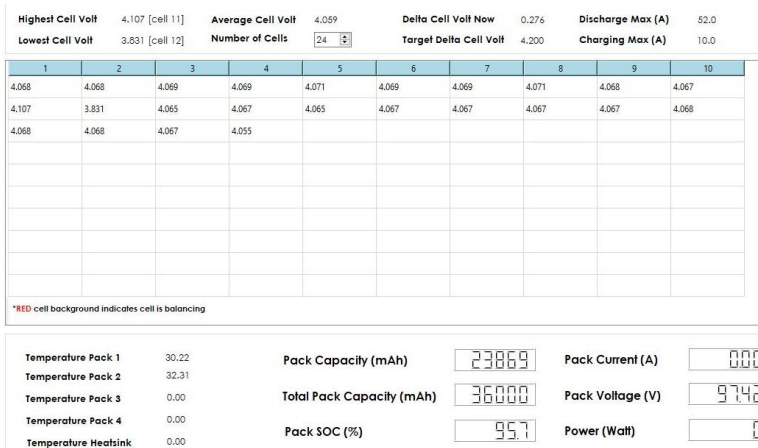
Tabel 4.1 Hasil pengujian siklus temperatur BMS

Parameter	(√ / x)	Keterangan
Fungsi monitoring BMS pada temperatur 60°C.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai dengan baik pada temperatur 60°C.
Fungsi monitoring BMS pada temperatur -40°C.	x	BMS tidak mampu memonitor kondisi sistem baterai pada temperatur di bawah 0°C.
Fungsional BMS setelah pengujian.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai dengan baik setelah pengujian dilakukan.
Kondisi fisik BMS setelah pengujian dilakukan.	√	Tidak ada kerusakan fisik pada BMS akibat pengujian yang diberikan.

Dari data yang didapat pada pengujian siklus temperatur ini, terlihat BMS mampu memonitor kondisi baterai dengan baik pada setiap siklus temperatur 60°C, namun BMS tersebut tidak mampu memonitor kondisi baterai pada temperatur di bawah 0°C. Hal ini tidak menjadi masalah bagi pihak produksi BMS *workshop* Molina ITS dikarenakan BMS tersebut akan dioperasikan di Indonesia. Temperatur lingkungan di wilayah Indonesia tidak mencapai $\pm 0^\circ\text{C}$, sehingga BMS tersebut masih dianggap aman untuk dioperasikan bagi pengguna kendaraan listrik di Indonesia.

Setelah pengujian selesai dilakukan, baterai disimpan pada temperatur ruangan selama 24 jam. Kemudian dilakukan *standard cycle* dan pengamatan terhadap fungsional BMS. Dari hasil pengamatan yang dilakukan, tidak terjadi kerusakan fungsional pada BMS akibat pengujian yang telah diberikan. Hasil pengamatan terhadap fungsi

monitoring dan kondisi fisik maupun koneksi elektrik pada BMS akan ditampilkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Fungsi monitoring BMS setelah pengujian

Dari seluruh data yang didapatkan pada pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa *battery management system* yang diproduksi oleh *workshop* Molina ITS masih aman dan layak untuk dioperasikan pada kendaraan listrik di wilayah Indonesia.

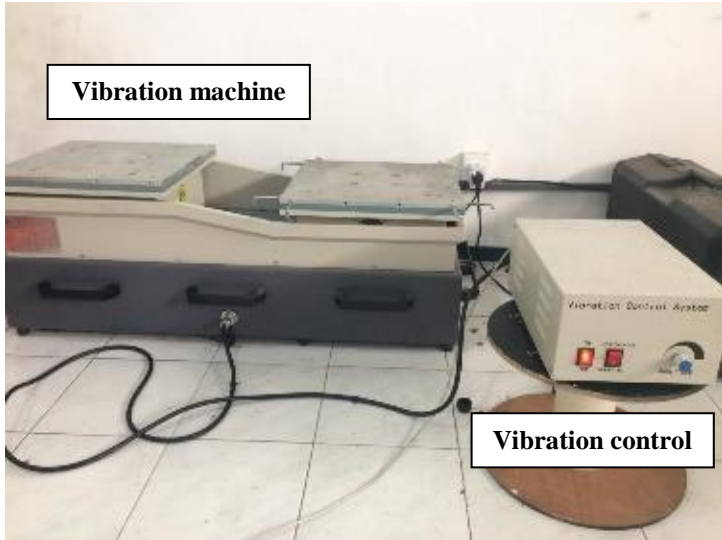
4.2.3 Uji Getaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional dan koneksi elektrik pada *battery management system* ketika menerima gangguan getaran dari luar. BMS harus mampu tetap memonitor kondisi baterai selama pengujian dilaksanakan dan setelah pengujian selesai tanpa ada koneksi elektrik yang terlepas atau rusak akibat getaran yang diberikan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- 1 set *Vibration Control*.
- Pengisi daya baterai/suplai tegangan 12 volt.
- Battery pack*.
- BMS.
- USB TO CAN *Module*.
- 1 set komputer.

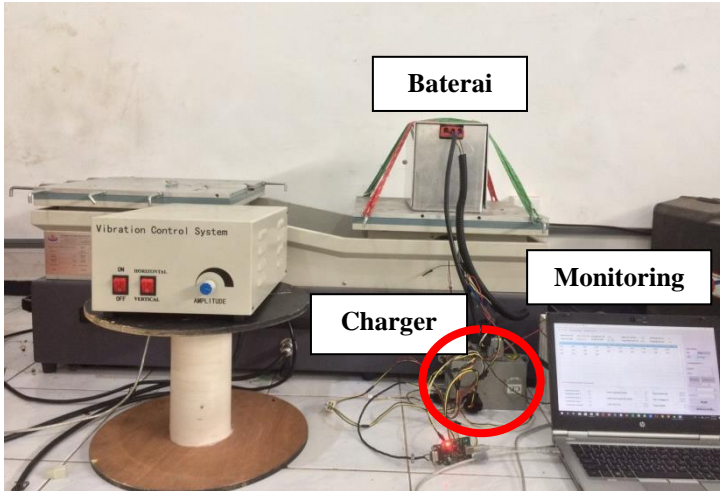
g. Laptop.

Vibration control pada pengujian ini digunakan untuk memberikan gangguan getaran pada baterai sesuai dengan ketentuan standar. *Vibration control* tersebut akan ditampilkan pada Gambar 4.17.

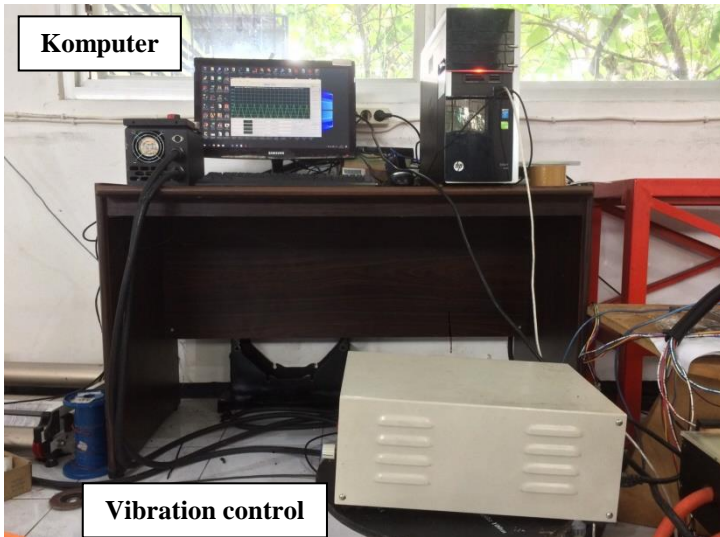


Gambar 4.17 *Vibration control* yang digunakan pada uji getaran

Getaran yang dihasilkan oleh alat *vibration control* di atas diatur pada komputer dengan *software* khusus yang didapat saat pembelian alat tersebut. Pada pengujian ini, BMS disuplai dengan tegangan 12 volt pada perangkat pengisi daya/*charger*. Selama pengujian dilaksanakan, kondisi sel baterai dimonitor oleh BMS dan data tersebut ditampilkan pada layar laptop yang telah disediakan. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

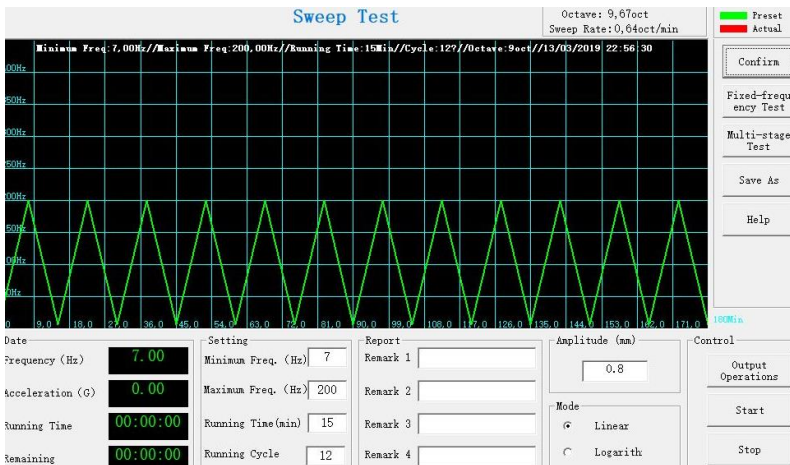


Gambar 4.18 Pemasangan baterai pada alat *vibration control* dan sistem monitoring pada laptop



Gambar 4.19 Pemasangan alat *vibration control* pada komputer untuk mengatur getaran

Pengujian menggunakan sinyal getaran sinusoidal yang diatur pada komputer dengan logaritma “sweep” dengan frekuensi 7 Hz hingga 200 Hz. Getaran dimulai dengan frekuensi 7 Hz menuju frekuensi 200 Hz dan kemudian kembali ke frekuensi 7 Hz dengan durasi 15 menit untuk satu siklus getaran. Pengujian dilakukan hingga 12 siklus dengan arah getaran vertikal. Amplitudo pada pengujian ini tidak dapat diatur konstan sesuai dengan standar karena keterbatasan kemampuan alat yang digunakan. Pengaturan gelombang getaran untuk *vibration control* akan ditampilkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Pengaturan sinyal getaran pada *vibration control*

Pengujian dilakukan sebanyak dua belas siklus getaran dengan total waktu baterai berada pada *vibration control* selama 3 jam. Hasil dari pengujian getaran untuk menguji keandalan BMS akan ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian getaran BMS

Parameter	(√ / x)	Keterangan
Fungsi monitoring BMS selama pengujian getaran.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai selama pengujian getaran.
Fungsional BMS setelah pengujian.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai dengan baik setelah pengujian dilakukan.
Kondisi fisik BMS setelah pengujian dilakukan.	√	Tidak ada kerusakan fisik pada BMS akibat pengujian yang diberikan.
Koneksi elektrik pada BMS dan sistem baterai.	√	Tidak ada koneksi elektrik yang lepas maupun rusak akibat pengujian yang diberikan.

Dari data di atas, terlihat bahwa BMS mampu memonitor kondisi baterai dengan baik selama pengujian maupun setelah pengujian getaran dilaksanakan. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap kondisi koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai. Dari hasil pengamatan yang didapatkan, tidak terlihat adanya kerusakan yang diakibatkan oleh pengujian getaran yang diberikan. Hasil pengamatan terhadap fungsi monitoring dan kondisi fisik maupun koneksi elektrik pada BMS akan ditampilkan pada Gambar 4.21 sampai Gambar 4.23.

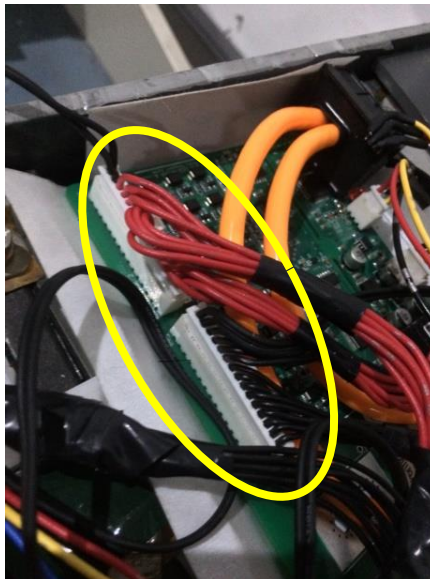
Highest Cell Volt	3.953 [cell 9]	Average Cell Volt	3.948	Delta Cell Volt Now	0.027	Discharge Max (A)	52.0
Lowest Cell Volt	3.925 [cell 24]	Number of Cells	24	Target Delta Cell Volt	4.200	Charging Max (A)	10.0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.948	3.951	3.950	3.950	3.948	3.947	3.951	3.950	3.953	3.950
3.951	3.951	3.951	3.948	3.948	3.948	3.945	3.947	3.951	3.951
3.953	3.948	3.947	3.925						

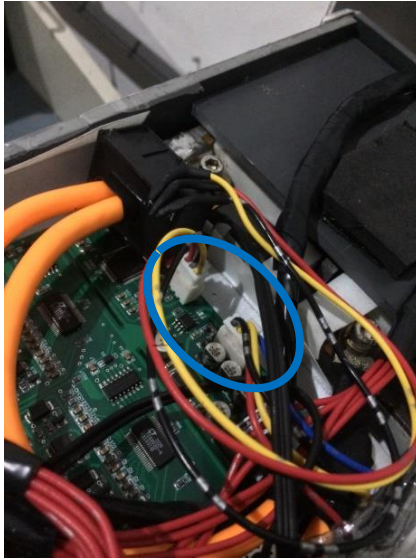
*RED cell background indicates cell is balancing

Temperature Pack 1	30.35	Pack Capacity (mAh)	37239	Pack Current (A)	0.00
Temperature Pack 2	32.09	Total Pack Capacity (mAh)	38000	Pack Voltage (V)	94.76
Temperature Pack 3	0.00	Pack SOC (%)	1000	Power (Watt)	0
Temperature Pack 4	0.00				
Temperature Heatsink	27.80				

Gambar 4.21 Fungsi monitoring BMS setelah pengujian getaran



Gambar 4.22 Pengamatan koneksi elektrik pada BMS



Gambar 4.23 Pengamatan koneksi elektrik pada BMS

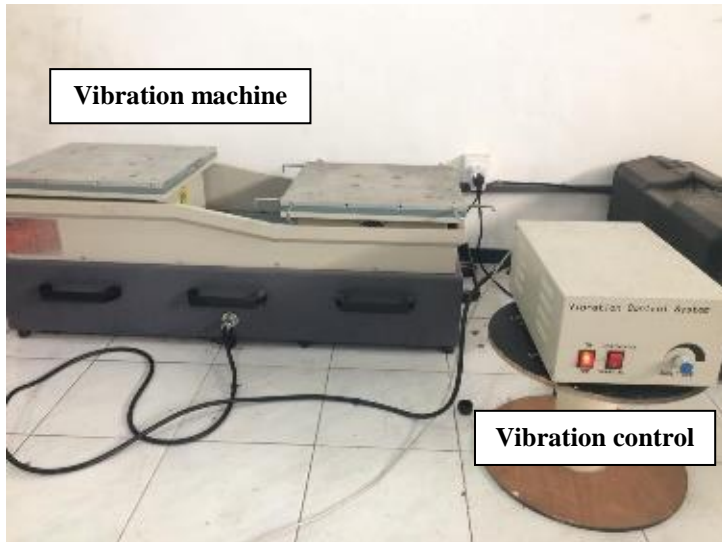
Dari keseluruhan data yang didapat pada pengujian getaran sesuai peralatan yang ada pada *workshop* Molina ITS, BMS tersebut tidak mengalami kerusakan fungsional maupun visual akibat pengujian yang telah diberikan.

4.2.4 Uji Kejut Mekanik

Pengujian ini mensimulasikan keadaan penggunaan kendaraan motor listrik pada jalanan berbatu dengan kecepatan tinggi. Penulis mengamati apakah ada kerusakan fungsional maupun koneksi elektrik pada *battery management system* selama pengujian maupun setelah pengujian dilaksanakan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

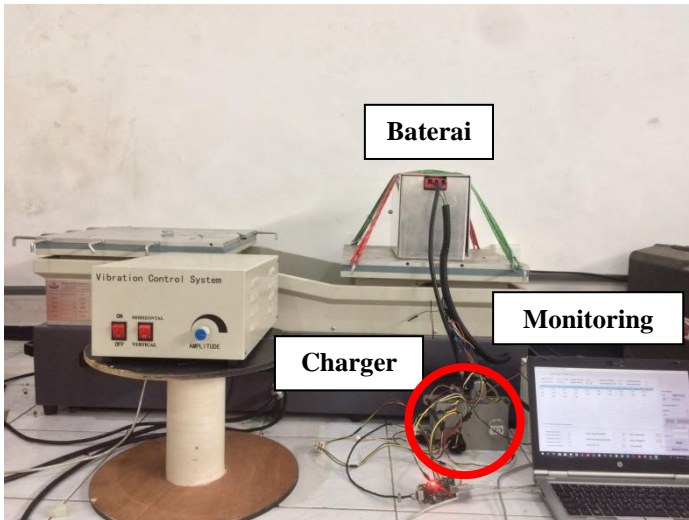
- a. 1 set *Vibration Control*.
- b. Pengisi daya baterai/suplai tegangan 12 volt.
- c. *Battery pack*.
- d. BMS.
- e. *USB TO CAN Module*.
- f. 1 set komputer.
- g. Laptop.

Vibration control pada pengujian ini digunakan untuk memberikan gangguan kejut mekanik pada baterai sesuai dengan ketentuan standar. *Vibration control* tersebut akan ditampilkan pada Gambar 4.24.

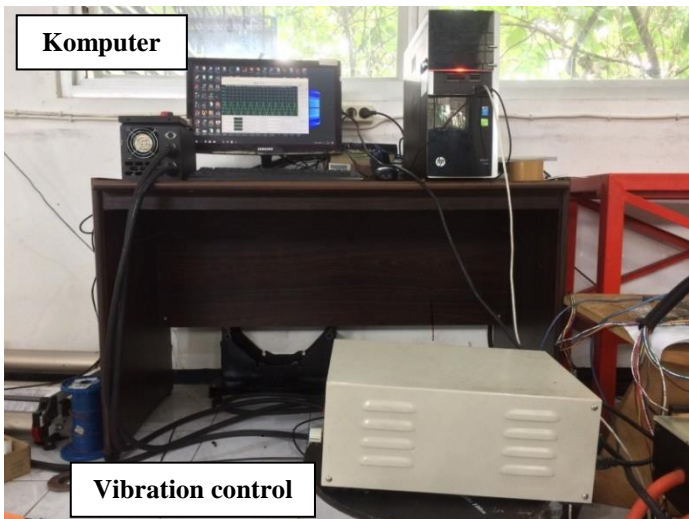


Gambar 4.24 *Vibration control* yang digunakan pada uji kejut mekanik

Kejut mekanik yang dihasilkan oleh alat *vibration control* di atas diatur pada komputer dengan *software* khusus yang didapat saat pembelian alat tersebut. Pada pengujian ini, BMS disuplai menggunakan tegangan 12 volt pada perangkat pengisi daya. Selama pengujian dilaksanakan, kondisi sel baterai dimonitor oleh BMS dan data tersebut ditampilkan pada layar laptop yang telah disediakan. Instalasi pengujian akan ditampilkan pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26.

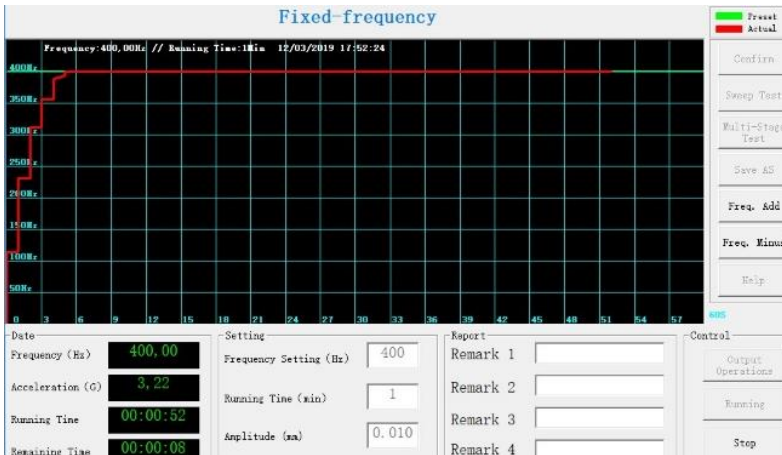


Gambar 4.25 Pemasangan baterai pada alat *vibration control* dan sistem monitoring pada laptop



Gambar 4.26 Pemasangan alat *vibration control* pada komputer untuk mengatur kejut mekanik

Pengujian menggunakan sinyal kejut setengah sinusoidal yang diatur pada komputer dengan frekuensi maksimum 400 Hz dan percepatan 500 m/s^2 selama 11 ms. Kejut mekanik diberikan tiga kali pada keenam sisi *battery pack*. Pengaturan sinyal kejut mekanik untuk *vibration control* akan ditampilkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Pengaturan sinyal kejut mekanik pada *vibration control*

Sinyal kejut tersebut diterapkan pada keenam sisi *battery pack*. Hasil dari pengujian kejut mekanik untuk menguji keandalan BMS akan ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kejut mekanik BMS

Parameter	(√ / x)	Keterangan
Fungsi monitoring BMS selama pengujian kejut mekanik (pada keenam sisi <i>battery pack</i>).	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai selama pengujian kejut mekanik dilakukan.
Fungsional BMS setelah pengujian.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai dengan baik setelah pengujian dilakukan.

Lanjutan Tabel 4.3

Parameter	(√ / x)	Keterangan
Kondisi fisik BMS setelah pengujian dilakukan.	√	Tidak ada kerusakan fisik pada BMS akibat pengujian yang diberikan.
Koneksi elektrik pada BMS dan sistem baterai.	√	Tidak ada koneksi elektrik yang lepas maupun rusak akibat pengujian yang diberikan.

Dari data di atas, terlihat bahwa BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai selama pengujian dilakukan maupun setelah pengujian selesai diberikan. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap fungsi monitoring dan koneksi elektrik yang ada pada BMS. Pengamatan terhadap fungsi monitoring dan koneksi elektrik BMS akan ditampilkan pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.

Highest Cell Volt	3,953 [cell 9]	Average Cell Volt	3,948	Delta Cell Volt Now	0,027	Discharge Max (A)	52,0
Lowest Cell Volt	3,925 [cell 24]	Number of Cells	24 [5]	Target Delta Cell Volt	4,200	Charging Max (A)	10,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,948	3,951	3,950	3,950	3,948	3,947	3,951	3,950	3,953	3,948
3,951	3,951	3,951	3,948	3,950	3,948	3,947	3,947	3,951	3,950
3,953	3,948	3,947	3,925						

*RED cell background indicates cell is balancing

Temperature Pack 1	30,38	Pack Capacity (mAh)	37239	Pack Current (A)	000
Temperature Pack 2	32,12	Total Pack Capacity (mAh)	38000	Pack Voltage (V)	54,76
Temperature Pack 3	0,00	Pack SOC (%)	1000	Power (Watt)	0
Temperature Pack 4	0,00				
Temperature Heatsink	27,90				

Gambar 4.28 Hasil monitoring BMS 1 jam setelah pengujian



Gambar 4.29 Pengamatan kondisi fisik dan koneksi elektrik BMS

Dari gambar di atas terlihat bahwa tidak ada kerusakan pada fisik maupun koneksi elektrik pada BMS yang terlepas. Dari keseluruhan data yang didapat pada pengujian kejut mekanik, BMS tersebut tidak mengalami kerusakan fungsional maupun visual.

4.2.5 Uji Jatuh

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional, fisik, maupun koneksi elektrik pada *battery management system* setelah baterai jatuh dari ketinggian 1 meter. Uji jatuh mensimulasikan keadaan ketika pengguna kendaraan listrik menjatuhkan baterai ketika tidak berada dalam kendaraan listrik. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- a. Alas datar berbahan beton.
- b. Sumber tegangan 12 volt.
- c. *Battery pack*.
- d. BMS.
- e. *USB TO CAN Module*.
- f. Laptop.

Pada pengujian ini, baterai dijatuhkan dari ketinggian 1 meter dengan posisi keenam sisi *battery pack* dihadapkan ke alas beton secara bergantian. Pengujian jatuh ini akan ditampilkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Uji jatuh baterai dan BMS

Battery pack dijatuhkan dari ketinggian 1 meter dengan enam posisi yang berbeda. Hasil dari pengujian jatuh untuk menguji keandalan BMS akan ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian jatuh

Parameter	(√ / x)	Keterangan
Fungsional BMS setelah pengujian.	√	BMS mampu memonitor kondisi sistem baterai dengan baik setelah dijatuhkan dengan 6 posisi yang berbeda.
Kondisi fisik BMS setelah pengujian dilakukan.	√	Tidak ada kerusakan fisik pada BMS akibat pengujian yang diberikan.
Koneksi elektrik pada BMS dan sistem baterai.	√	Tidak ada koneksi elektrik yang lepas maupun rusak akibat pengujian yang diberikan.

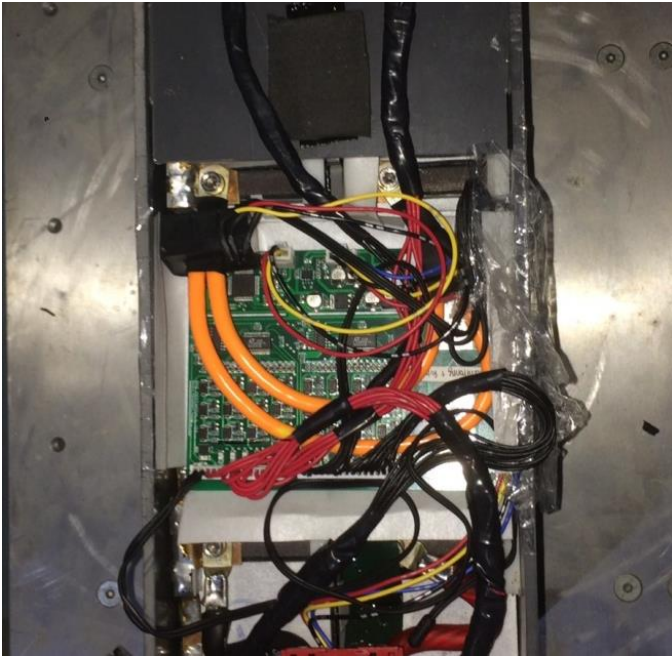
Setelah keenam sisi selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan pengamatan terhadap fungsi monitoring dan kondisi fisik maupun koneksi elektrik yang ada pada BMS. Pengamatan terhadap fungsi monitoring dan kondisi fisik BMS akan ditampilkan pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32.

Highest Cell Volt	3.955 [cell 21]	Average Cell Volt	3.951	Delta Cell Volt Now	0.025	Discharge Max (A)	52.0		
Lowest Cell Volt	3.930 [cell 24]	Number of Cells	24	Target Delta Cell Volt	4.200	Charging Max (A)	10.0		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.950	3.954	3.954	3.951	3.951	3.950	3.953	3.953	3.954	3.951
3.954	3.954	3.954	3.951	3.951	3.951	3.950	3.948	3.954	3.954
3.955	3.951	3.950	3.930						

*RED cell background indicates cell is balancing

Temperature Pack 1	28.52	Pack Capacity (mAh)	37239	Pack Current (A)	0.00
Temperature Pack 2	29.77	Total Pack Capacity (mAh)	38000	Pack Voltage (V)	94.83
Temperature Pack 3	0.00	Pack SOC (%)	100	Power (Watt)	0
Temperature Pack 4	0.00				
Temperature Mantrink	27.80				

Gambar 4.31 Hasil monitoring BMS 1 jam setelah pengujian



Gambar 4.32 Kondisi fisik BMS

Dari data yang didapat pada pengujian ini, terlihat bahwa tidak ada kerusakan fisik maupun fungsional pada BMS yang diuji. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa BMS yang diproduksi oleh *workshop* Molina ITS telah sesuai dengan standar yang ada.

4.3 Uji Performa

Uji performa bertujuan untuk memastikan bahwa fungsi yang dimiliki *battery management system* dapat beroperasi dengan baik. Selain fungsi utama monitoring dan proteksi, BMS juga memiliki fungsi penyeimbang sel baterai (*cell balancing*) yang juga berpengaruh penting bagi kestabilan maupun masa pakai baterai. Fungsi penyeimbang sel baterai yang dimiliki oleh *battery management system* bertujuan agar tegangan pada setiap sel baterai yang digunakan pada *battery pack* selalu dalam kondisi seimbang ketika dioperasikan.

4.3.1 Cell Balancing

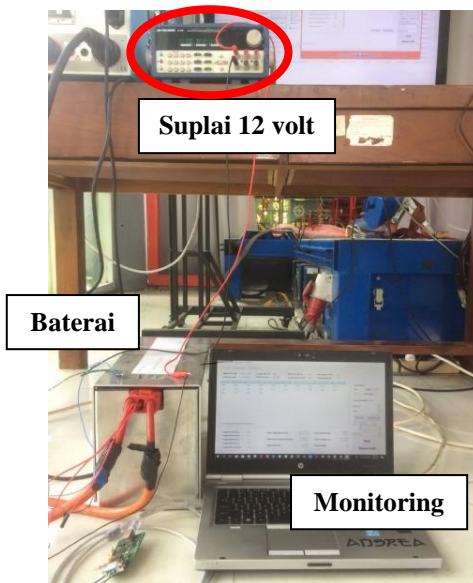
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan fungsi penyeimbang sel baterai pada *battery management system* dapat berfungsi dengan baik. Pada pengujian ini BMS disuplai dengan sumber tegangan 12 volt untuk dapat mengontrol sel baterai selama periode istirahat atau masa penyimpanan. Peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian ini antara lain:

- a. Sumber tegangan 12 volt.
- b. Megger Torkel 860
- c. *Charger*
- d. *Battery pack*.
- e. BMS.
- f. *USB TO CAN Module*.
- g. Laptop.

Pada pengujian ini diperlukan sumber tegangan 12 volt untuk menyuplai BMS selama masa penyimpanan baterai. Sumber tegangan 12 volt dan instalasi pengujian ini akan ditampilkan pada Gambar 4.33 dan Gambar 4.34.



Gambar 4.33 Sumber tegangan 12 volt



Gambar 4.34 Instalasi pengujian *cell balancing*

Pada pengujian ini, tegangan sel baterai dimonitor untuk mengetahui kondisi awal tegangan pada setiap sel baterai, kemudian baterai disimpan dengan BMS tetap disuplai tegangan 12 volt. Kondisi sel baterai diamati setelah masa penyimpanan 24 jam. Setelah kondisi sel baterai diamati, catat perbedaan tegangan sel tertinggi dan tegangan sel terendah pada *battery pack*. Kemudian lakukan *standard cycle* untuk mengembalikan kondisi sel baterai ke keadaan awal. Kembali amati kondisi sel baterai dengan masa penyimpanan selama 168 jam. Kembali lakukan *standard cycle* ke keadaan awal dan simpan baterai dengan masa penyimpanan 720 jam. Hasil dari pengujian *cell balanccking* akan ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian *cell balancing* BMS

Parameter	Nilai	Keterangan
<i>Delta voltage</i> setelah penyimpanan 24 jam.	0.030 volt	<i>Delta voltage</i> sel baterai setelah disimpan selama 24 jam masih di bawah 0.1 volt.
<i>Delta voltage</i> setelah penyimpanan 168 jam.	0.029 volt	<i>Delta voltage</i> sel baterai setelah disimpan selama 168 jam masih di bawah 0.1 volt.
<i>Delta voltage</i> setelah penyimpanan 720 jam.	0.029 volt	<i>Delta voltage</i> sel baterai setelah disimpan selama 720 jam masih di bawah 0.1 volt.

Menurut program yang diberikan pada BMS yang diproduksi oleh *workshop* Molina ITS, batas *delta voltage* untuk *cell balancing* adalah sebesar 0.1 volt. Dari data yang didapatkan pada pengujian ini, terlihat perbedaan tegangan antara sel tertinggi dan sel terendah tidak mencapai 0.1 volt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi *cell balancing* pada BMS telah beroperasi dengan baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan mengenai penyusunan standard uji untuk peralatan *Battery Management System* dan kesesuaian hasil pengujian yang telah dilaksanakan terhadap BMS yang diproduksi oleh tim baterai *workshop* Molina ITS, terdapat beberapa hal penting yang bisa dijadikan kesimpulan:

- a. Penyusunan standard uji untuk BMS kendaraan mobil listrik mengacu pada ISO 12405-1 dengan disesuaikan pada kondisi lingkungan di Indonesia.
- b. Penyusunan standard uji untuk BMS kendaraan mobil listrik mengacu pada UN-R136 dengan disesuaikan pada kondisi lingkungan di Indonesia.
- c. Untuk sistem proteksi hubung singkat, digunakan *circuit breaker* dengan rating arus 100 ampere untuk melindungi *battery pack* dari bahaya arus hubung singkat.
- d. Pada pengujian proteksi *overcharge*, BMS mampu memutus arus pengisian pada tegangan baterai sebesar 99,19 volt.
- e. Pada pengujian proteksi *overdischarge*, BMS mampu memutus arus *discharge* pada tegangan baterai 63,13 volt.
- f. Pada pengujian proteksi *over temperature*, BMS mampu mengaktifkan sistem proteksi ketika temperatur pada sistem baterai mencapai 45,23⁰C.
- g. BMS yang diproduksi oleh *workshop* Molina ITS tidak mampu memonitor kondisi sistem baterai pada temperatur di bawah 0⁰C, namun hal tersebut tidak menjadi masalah bagi tim produksi karena temperatur lingkungan di Indonesia tidak mencapai di bawah 0⁰C.
- h. BMS mampu tetap beroperasi dengan baik ketika diberikan gangguan getaran dengan logaritma “sweep” frekuensi 7-200 Hz sebanyak 12 siklus selama 3 jam pengujian. Pada pengujian ini amplitudo yang dihasilkan pada peralatan berubah berbanding terbalik dengan frekuensi getaran yang diberikan.

- i. BMS mampu beroperasi dengan baik ketika diberikan kejut mekanik dengan percepatan sebesar 500 m/s^2 selama 11 ms pada keenam sisi *battery pack*.
- j. BMS mampu beroperasi dengan baik setelah *battery pack* dijatuhkan dari ketinggian 1 meter dari permukaan beton dengan 6 posisi jatuh yang berbeda.
- k. Terdapat beberapa pengujian yang belum sesuai dengan ketentuan standar karena keterbatasan peralatan uji yang tersedia di *workshop* Molina ITS. Pengujian tersebut meliputi pengujian getaran dan pengujian kelembapan udara.

Demikian hasil penyusunan standar dan kesesuaian peralatan BMS yang diproduksi *workshop* Molina ITS.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang bisa dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya:

- a. BMS produksi Molina ITS perlu dilengkapi dengan sistem proteksi terhadap gangguan hubung singkat baterai.
- b. Perlu menguji beberapa parameter pengujian yang terkendala oleh ketersediaan alat yang ada di *workshop* Molina ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Rahmawatie *et al.*, “Designing framework for standardization and testing requirements of battery management system for electric vehicle application,” *2017 4th Int. Conf. Electr. Veh. Technol.*, pp. 7–12, 2017.
- [2] B. S. Wen, “Cell balancing buys extra run time and battery life,” 2009.
- [3] D. D. Lu, “Review of Battery Cell Balancing Techniques,” no. October, pp. 1–6, 2014.
- [4] "ISO : ISO 12405-1 Electrically propelled road vehicles — Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems. : High Power Applications”, Edition 1.0 2011-08.
- [5] "UN R 136:2016, Uniform provisions concerning the approval of vehicles of category L with regard to specific requirements for the electric power train.", 2016.
- [6] F. Leng, C. M. Tan, and M. Pecht, “Effect of Temperature on the Aging rate of Li Ion Battery Operating above Room Temperature,” *Nat. Publ. Gr.*, pp. 1–12, 2015.
- [7] A. C. Martinez, D. Sorlien, R. Goodrich, L. Chandler, and D. Magnuson, “Using Cell Balancing to Maximize the Capacity of Multi-cell Li-Ion Battery Packs,” pp. 1–8, 2005.

Halaman ini sengaja dikosongkan

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 2019

DRAFT STANDAR NASIONAL INDONESIA BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

Badan Standardisasi Nasional



Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Ruang Lingkup

Standarisasi ini merupakan penetapan prosedur pengujian untuk performa dan keselamatan peralatan *battery management system* sebagai komponen yang memonitor kondisi baterai dan juga sistem proteksi baterai kendaraan listrik.

Tujuan dari standarisasi ini setelah penyusunan prosedur pengujian peralatan diharapkan mampu mendapatkan karakteristik dari peralatan *battery management system* sehingga diketahui performa dan tingkat keselamatan dari BMS tersebut.

Standar ini memberikan persyaratan yang harus dipenuhi oleh peralatan *battery management system*, maka perlu dilampirkan prosedur pengujian yang baku serta nilai yang harus dicapai dari hasil pengujian pada setiap parameter yang ada. Standar sangat diperlukan guna mendapatkan data dari setiap parameter yang diuji dan pemenuhan persyaratan dari BMS yang digunakan.

Standar ini disusun untuk peralatan BMS yang digunakan pada kendaraan mobil maupun kendaraan motor listrik. Adapun beberapa parameter yang akan digunakan pada standar ini antara lain:

- a. Sistem proteksi.
- b. Keandalan peralatan dalam berbagai kondisi lingkungan yang ada.
- c. Performa peralatan.

2. Acuan Normatif

Dokumen-dokumen berikut dijadikan referensi karena dianggap sangat diperlukan untuk penyusunan tugas akhir ini. Untuk referensi yang tidak berlaku lagi, hanya edisi yang dikutip yang berlaku. Untuk referensi yang berlaku,

digunakan edisi terbaru dari dokumen yang dijadikan referensi.

ISO 12405-1:2011, *Electrically propelled road vehicles – Test specification for lithium-ion traction battery packs and system - Part 1: High-power applications.*

Addendum 135 – Regulation No. 136, *Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions.*

3. Istilah dan Definisi

Dalam buku ini terdapat beberapa istilah yang mungkin jarang kita temui dari buku-buku yang biasa kita baca. Untuk mempermudah pemahaman selama membaca buku tugas akhir ini, maka diberikan beberapa definisi mengenai istilah-istilah tersebut. Berikut adalah istilah dan definisi yang terdapat dalam buku:

a. *Battery Management System (BMS)*

Perangkat elektronik yang berfungsi memonitor nilai tegangan, arus, dan temperatur dari sistem baterai. Selain itu BMS juga berfungsi untuk sistem komunikasi dengan sistem kontrol lain yang berhubungan dengan baterai dari kendaraan listrik sebagai sistem keamanan.

b. *Sistem baterai (battery system)*

Komponen penyimpanan energi yang terdiri atas sel baterai dan perangkat rangkaian elektrik termasuk BMS yang terdapat pada *battery pack* kendaraan listrik.

c. *Battery Pack*

Baterai yang digunakan sebagai suplai daya untuk kendaraan listrik.

d. *State Of Charge (SOC)*

Kapasitas yang tersisa dalam sistem baterai. SOC dipresentasikan dalam persentase (%).

e. Tegangan kelas A

Klasifikasi tegangan untuk komponen atau rangkaian elektronik dengan tegangan kerja maksimal 30 Vac atau 60 Vdc.

f. Tegangan kelas B

Klasifikasi tegangan untuk komponen atau rangkaian elektronik dengan tegangan kerja antara 30 hingga 1000 Vac atau 60 hingga 1500 Vdc.

g. Kesetimbangan temperatur (*thermal equilibration*)

Kondisi di mana temperatur peralatan yang diuji dan temperatur lingkungan tidak berbeda hingga 2 K selama 1 jam tanpa sistem pendingin.

h. Temperatur ruangan (*room temperature*)

Temperatur lingkungan di sekitar peralatan uji disesuaikan dengan nilai $(30 \pm 10)^\circ\text{C}$.

i. Kapasitas arus (C)

Nilai kapasitas arus yang mengalir sesuai dengan spesifikasi kapasitas baterai (Ah) yang digunakan.

4. Persyaratan *Battery Management System* [1]

Battery management system harus mampu beroperasi selama pengujian masih dalam batas operasional. BMS harus mampu memonitor dan menjaga baterai agar tetap aman selama pengujian dilaksanakan. Sistem baterai harus memiliki sistem proteksi yang berfungsi memutus aliran arus apabila terjadi kondisi yang tidak direkomendasikan terhadap baterai selama

dioperasikan. Jika tidak ditentukan dalam prosedur pengujian, sistem baterai dihubungkan dengan tegangan kelas A, dan peralatan pengujian dihubungkan dengan tegangan kelas B.

Sebelum melakukan pengujian, temperatur baterai harus disetarakan dengan temperatur uji yang ditentukan. Temperatur baterai dapat dianggap setimbang ketika perbedaan temperatur antara baterai dan lingkungan tidak lebih dari 2 K selama satu jam tanpa menggunakan sistem pendingin (*thermal equilibration*).

Apabila dilakukan perubahan nilai SOC pada sistem baterai selama pengujian, baterai tersebut perlu ditingkatkan selama 30 menit setelah perubahan nilai SOC dilakukan. Hal ini diperlukan agar baterai mencapai kondisi stabil sebelum dilanjutkan ke langkah pengujian selanjutnya.

5. Pengujian *Battery Management System*

Pengujian BMS dilakukan sesuai pada Tabel 2.1 yang telah ditampilkan sebelumnya. Urutan pengujian dapat disesuaikan dengan kondisi yang ada di lokasi. [1] Nilai toleransi akurasi untuk pengukuran pada BMS selama pengujian sebagai berikut:

Tegangan	: ± 1 %
Arus	: ± 1 %
Temperatur	: ± 2 K

Hasil yang didapat selama pengujian akan menentukan apakah *battery management system* tersebut sudah sesuai dengan standar atau perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut sebelum dioperasikan pada kendaraan listrik. Kondisi yang harus dipenuhi oleh *battery management system* selama pengujian akan ditampilkan pada standar yang disusun. Peralatan yang digunakan

selama pengujian juga akan ditampilkan pada dokumen tugas akhir ini.

5.1 Pengujian Umum [1]

5.1.1 *Preconditioning Cycle*

Tujuan dari *preconditioning cycle* adalah untuk memastikan kestabilan sistem baterai sebelum memasuki tahap pengujian yang sesungguhnya. *Preconditioning cycle* perlu dilakukan agar didapatkan kondisi kestabilan yang seragam pada setiap akan melakukan pengujian yang berhubungan dengan baterai kendaraan listrik.

Preconditioning cycle dilakukan pada temperatur ruangan. Pertama kita perlu melakukan *discharge* baterai dengan arus konstan 2C atau dengan arus yang direkomendasikan oleh suplier hingga batas SOC minimum yang diperbolehkan. Lanjutkan dengan pengisian daya baterai sesuai dengan ketentuan dari suplier. Ulangi langkah tersebut hingga lima siklus proses *discharge-charge*. Sistem baterai dapat dianggap "*preconditioned*" atau stabil apabila kapasitas baterai yang terbuang setelah dua kali proses *discharge* tidak lebih dari 3% dari kapasitas rating baterai. Apabila kapasitas arus *discharge* yang digunakan dalam proses ini sama dengan kapasitas arus *discharge* yang digunakan suplier pada saat pengujian pabrik, maka cukup melakukan *preconditioning cycle* hingga siklus kedua.

5.1.2 *Standard Cycle (SC)*

Tujuan dari *standard cycle* pada pengujian baterai kendaraan listrik adalah untuk menstabilkan kondisi sistem baterai setiap akan melanjutkan ke pengujian berikutnya. *Standard cycle* dilakukan pada temperatur ruangan. *Standard cycle* terdiri atas dua langkah pengujian, Pertama lakukan *standard discharge* (SDCH) yaitu dengan *discharge* baterai dengan arus konstan 1C atau nilai arus yang disarankan oleh suplier hingga batas SOC minimum

yang diperbolehkan, diikuti dengan periode istirahat selama 30 menit atau hingga temperatur sistem baterai setimbang dengan temperatur ruangan. Kemudian lakukan *standard charge* (SCH) yaitu dengan mengisi daya baterai baterai sesuai dengan rekomendasi dari supplier, diikuti dengan periode istirahat selama 30 menit atau hingga temperatur sistem baterai setimbang dengan temperatur ruangan.

5.2 Uji Gangguan

Uji gangguan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem proteksi yang ada pada sistem baterai dapat berfungsi dengan baik sebelum terjadi kerusakan pada komponen yang ada. Sistem proteksi ini dapat dikatakan berfungsi dengan baik ketika *battery management system* dapat berkomunikasi dengan komponen proteksi lain untuk memutus kontaktor utama ketika terjadi gangguan atau kondisi yang tidak direkomendasikan terhadap baterai sebelum terjadi kerusakan yang lebih buruk, gangguan yang diberikan pada parameter pengujian ini antara lain berupa gangguan hubung singkat (*short-circuit*), pengisian berlebih (*overcharge*), *overdischarge*, dan *over temperature*.

Kondisi-kondisi tersebut dapat menyebabkan baterai mengalami kerusakan atau bahkan membahayakan bagi kendaraan listrik dan pengguna, sehingga BMS harus mampu menghindarinya dengan memutus kontaktor utama sebelum terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Ketika kontaktor utama terputus, maka baterai akan terlepas dari koneksi elektrik sehingga dapat berhenti beroperasi dengan aman.

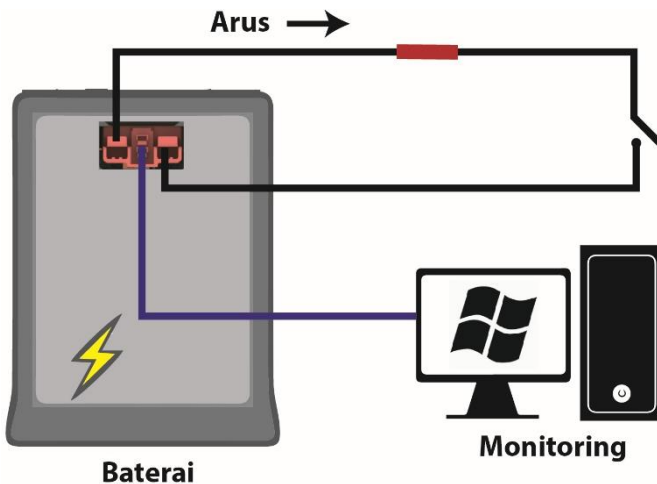
Pada pengujian ini, sistem baterai harus diisi penuh hingga SOC 100% untuk baterai kendaraan mobil listrik atau di atas SOC 50% untuk baterai kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan. Apabila terdapat sistem kontrol termal pada sistem baterai,

sistem kontrol termal tersebut harus mampu beroperasi dengan optimal.

Setelah pengujian dilakukan, amati fungsional *battery management system* selama satu jam atau hingga kondisi sistem baterai stabil. Fungsional BMS harus dapat beroperasi sebagaimana mestinya setelah pengujian dilakukan.

5.2.1 Proteksi Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Pada pengujian ini, *battery management system* harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan oleh arus hubung singkat. Ilustrasi pengujian proteksi hubung singkat ini akan ditampilkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Ilustrasi pengujian proteksi hubung singkat

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack*

kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$. Konduktor yang digunakan untuk pengujian ini adalah konduktor resistansi maksimal $100\text{ m}\Omega$ untuk mengaplikasikan hubung singkat dengan menghubungkan terminal positif dan terminal negatif *battery pack*. Perangkat proteksi hubung singkat pasif dan aktif harus dapat beroperasi dengan baik ketika pengujian dilakukan.

BMS harus mampu memutus arus hubung singkat dengan membuka kontaktor utama sebelum terjadi kerusakan. Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 0.1 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus dan arus puncak hubung singkat.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional *battery management system* selama 2 jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

b. BMS Kendaraan Motor Listrik

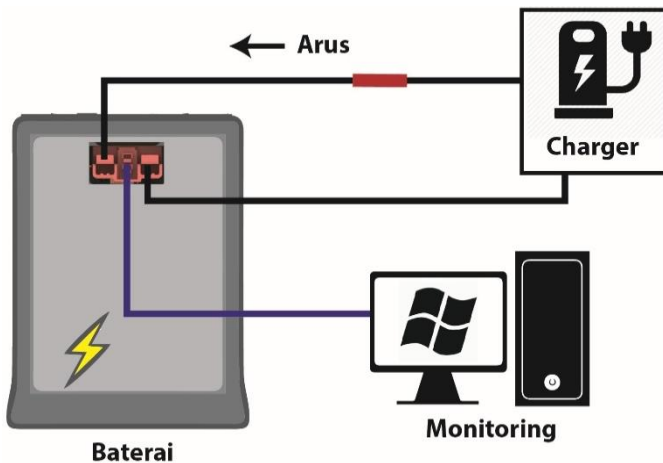
Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$. Konduktor yang digunakan untuk mengaplikasikan hubung singkat pada pengujian ini adalah konduktor resistansi maksimal $5\text{ m}\Omega$ dengan menghubungkan terminal positif dan terminal negatif *battery pack*. Lakukan pengujian dengan kondisi kapasitas SOC baterai di atas 50%.

BMS harus mampu memutus arus hubung singkat dengan membuka kontaktor utama sebelum terjadi kerusakan. Hentikan pengujian hubung singkat secara manual apabila temperatur baterai tidak berubah hingga 4°C selama satu jam. Lakukan *standard cycle* dan

pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

5.2.2 Proteksi *Overcharge*

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena pengisian daya yang berlebih. Kontrol aktif pengisian daya pada peralatan uji harus dimatikan, pengujian hanya menggunakan sistem proteksi yang ada pada sistem baterai. Ilustrasi pengujian proteksi *overcharge* ini akan ditampilkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Ilustrasi pengujian proteksi *overcharge*

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan (30 ± 10)°C. Batas tegangan atas dari

suplai daya yang digunakan pada pengujian tidak boleh melebihi 20% dari tegangan maksimum sistem baterai.

Isi daya baterai dengan arus konstan 5C. Lanjutkan pengisian baterai hingga arus pengisian terputus karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila temperatur sistem baterai mencapai 55°C. Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 100 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus gangguan.

Setelah pengisian berhenti, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional BMS selama 1 jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

b. BMS Kendaraan Motor Listrik

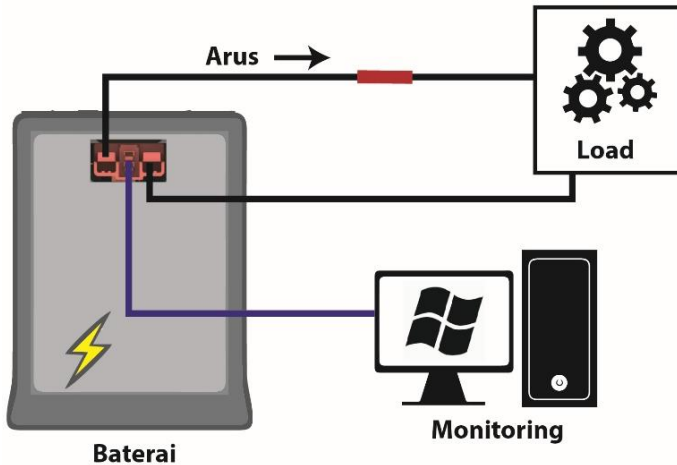
Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan (30±10)°C. Isi daya baterai dengan arus konstan 1/3 C. Lanjutkan pengisian daya baterai hingga arus pengisian terputus karena perintah dari *battery management system*. Hentikan pengisian secara manual setelah kapasitas baterai mencapai dua kali lipat dari kapasitas rating sistem baterai.

Setelah pengisian berhenti, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

5.2.3 Proteksi *Overdischarge*

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena

pengoperasian baterai yang berlebihan. Kontrol aktif *discharge* pada peralatan uji harus dimatikan, pengujian hanya menggunakan sistem proteksi yang ada pada sistem baterai. Ilustrasi pengujian proteksi *overdischarge* ini akan ditampilkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Ilustrasi pengujian proteksi *overdischarge*

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$. *Discharge* baterai dengan arus konstan 1C hingga kontaktor utama terbuka karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila SOC baterai mencapai 25% dari level tegangan nominal baterai atau 30 menit setelah melewati batas bawah SOC. Laju pengambilan data arus dan tegangan sistem baterai 100 ms untuk evaluasi fungsi *shut-off* arus gangguan.

Setelah *discharge* berhenti, lakukan *standard cycle* dan amati fungsional *battery management system* selama

satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

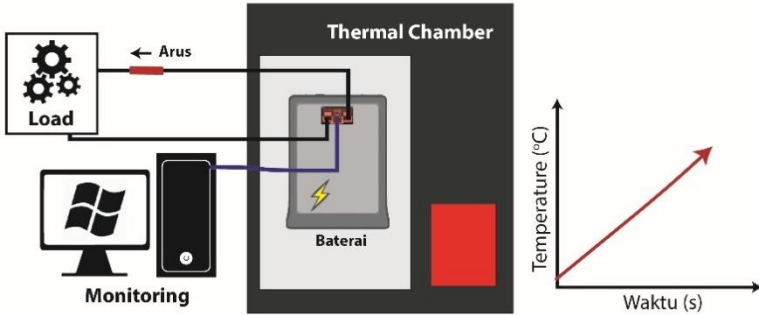
b. BMS Kendaraan Motor Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$. *Discharge* baterai dengan arus konstan $1/3\text{ C}$ hingga kontaktor utama terbuka karena perintah dari *battery management system*. Pengujian dihentikan apabila SOC baterai mencapai 25% dari level tegangan nominal.

Setelah *discharge* berhenti, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional *battery management system* selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

5.2.4 Proteksi *Over Temperature*

Pada pengujian ini, BMS harus mampu melindungi sistem baterai dari gangguan yang diakibatkan karena pengoperasian baterai pada kondisi temperatur lingkungan yang terlalu tinggi. Kondisi tersebut dapat memicu ledakan maupun baterai terbakar. Temperatur yang baik untuk baterai jenis Li-Ion beroperasi dengan optimal ada antara 25°C dan 55°C [2]. Apabila terdapat sistem pendingin pada sistem baterai, sistem pendingin tersebut harus dimatikan selama pengujian dilaksanakan. Ilustrasi pengujian proteksi *over temperature* ini akan ditampilkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Ilustrasi pengujian proteksi *over temperature*

Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Pengujian dilakukan dengan meningkatkan temperatur lingkungan baterai seiring berjalannya waktu. Lanjutkan pengujian hingga *battery management system* memutuskan kontaktor utama karena adanya temperatur yang berlebih pada sistem baterai. Hentikan pengujian secara manual apabila temperatur baterai tidak berubah hingga 4°C selama 2 jam.

Setelah pengujian selesai, lakukan *standard cycle* dan pengamatan fungsional BMS selama satu jam. Data yang perlu dicatat pada pengujian ini antara lain: arus, tegangan, dan temperatur terhadap fungsi waktu. BMS harus mampu beroperasi dengan baik setelah pengujian dilakukan.

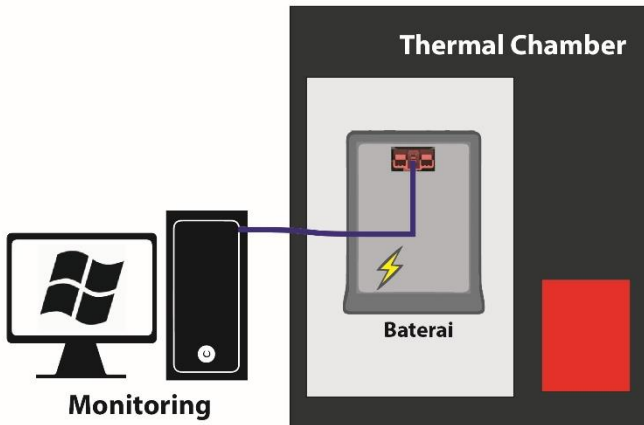
5.3 Uji Keandalan

Uji keandalan bertujuan untuk memastikan bahwa *battery management system* mampu tetap beroperasi di berbagai kondisi lingkungan yang ada. Parameter lingkungan yang diberikan untuk pengujian keandalan BMS antara lain tingkat kelembapan yang tinggi, perubahan temperatur ekstrem, getaran, kejutan mekanik, dan uji jatuh.

Pada serangkaian pengujian yang ada pada parameter uji keandalan ini, *battery management system* yang dioperasikan pada baterai harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur baterai dengan baik ketika berada pada berbagai kondisi lingkungan yang diberikan maupun setelah pengujian dilaksanakan.

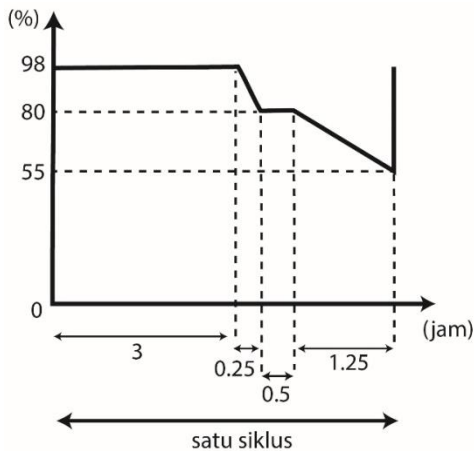
5.3.1 *Dewing* – Perubahan Temperatur dan Kelembapan

Pengujian ini mensimulasikan penggunaan kendaraan listrik pada lingkungan dengan tingkat kelembapan udara yang tinggi. *Battery management system* harus mampu memonitor kondisi sistem baterai selama pengujian dan setelah pengujian dilaksanakan. Kerusakan yang mungkin timbul pada pengujian ini antara lain kerusakan fungsional pada sistem kelistrikan yang ada pada BMS. Ilustrasi pengujian *dewing* ini akan ditampilkan pada Gambar 5.5.

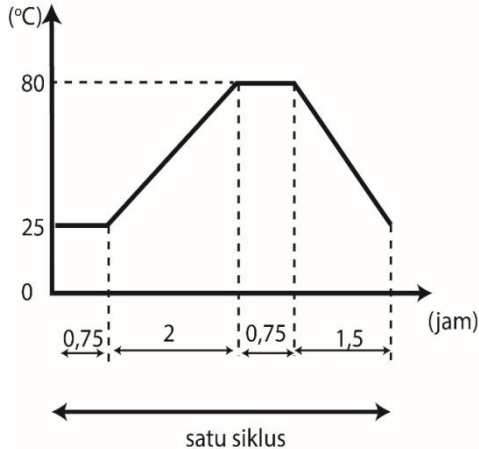


Gambar 5.5 Ilustrasi pengujian *dewing*

Pengujian dimulai pada temperatur $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$ dengan sistem proteksi termal pada sistem baterai dimatikan. Lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* sistem baterai dengan arus konstan 1C atau sesuai dengan kesepakatan suplier ke SOC 50%. Pengaturan tingkat kelembapan dan temperatur di lingkungan sekitar baterai selama pengujian akan ditampilkan pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7.



Gambar 5. 6 Nilai kelembapan terhadap waktu

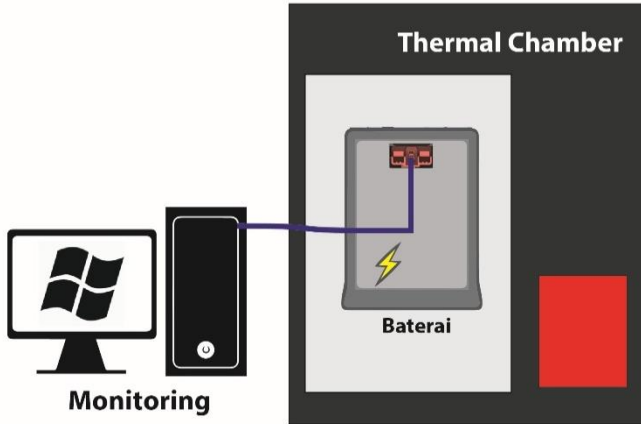


Gambar 5. 7 Nilai temperatur terhadap waktu

Pengujian dilakukan sebanyak lima siklus dengan durasi untuk satu siklus pengujian adalah lima jam. Setelah semua siklus selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali dan pengamatan fungsional BMS selama 1 jam.

5.3.2 Siklus Temperatur

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan monitoring BMS ketika berada pada lingkungan dengan temperatur yang ekstrem. BMS harus mampu memonitor kondisi tegangan dan temperatur sel baterai selama pengujian berlangsung maupun setelah pengujian dilaksanakan. Ilustrasi pengujian siklus temperatur ini akan ditampilkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Ilustrasi pengujian siklus temperatur

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian dimulai pada temperatur $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$ dengan sistem proteksi termal pada baterai dimatikan. Lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* sistem baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%.

Temperatur uji yang digunakan pada pengujian ini adalah 85°C dan -40°C . Waktu baterai dan BMS berada pada masing-masing temperatur uji adalah 1 jam, sedangkan waktu untuk menuju masing-masing temperatur uji adalah 30 menit. Lakukan pengujian sebanyak lima siklus.

Setelah semua siklus selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali dan pengamatan fungsional BMS selama 1 jam.

b. BMS Kendaraan Motor Listrik

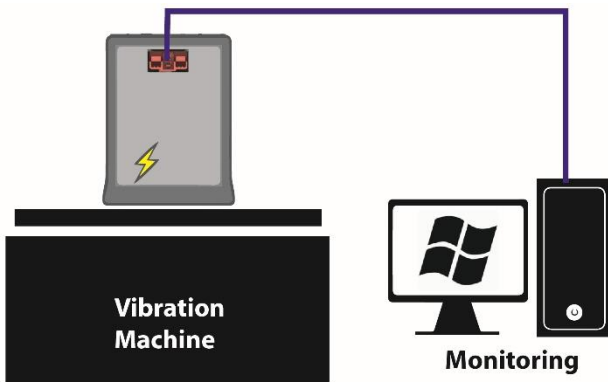
Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%.

Temperatur uji yang digunakan pada pengujian ini adalah 60°C dan -40°C. Waktu baterai dan BMS berada pada masing-masing temperatur uji adalah 6 jam, sedangkan waktu untuk menuju masing-masing temperatur uji adalah 30 menit. Lakukan pengujian sebanyak lima siklus.

Setelah semua siklus selesai dilakukan, simpan baterai pada temperatur lingkungan (30 ± 10)°C selama 24 jam. Kemudian lakukan *standard cycle* dan amati fungsional BMS selama 1 jam.

5.3.3 Getaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional dan koneksi elektrik pada *battery management system* ketika menerima gangguan getaran dari luar. Ilustrasi pengujian getaran ini akan ditampilkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Ilustrasi pengujian getaran

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian getaran diterapkan untuk *battery pack* dan sistem baterai dengan frekuensi maksimal 200 Hz untuk tiga arah spasial (sumbu x, sumbu y, dan sumbu z). Penempatan baterai pada alat uji disesuaikan dengan posisi penempatan baterai pada kendaraan mobil listrik.

Parameter pengujian mengikuti nilai-nilai yang ditampilkan pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.4. Getaran diterapkan untuk 3 arah spasial dengan durasi dan temperatur pengujian pada setiap arah spasial sesuai ketentuan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.1 Nilai PSD untuk arah sumbu x

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2}{Hz}\right)$
5	1.2
10	2.89
20	2.89
200	0.02

Tabel 5.2 Nilai PSD untuk arah sumbu y

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2}{Hz}\right)$
5	3.85
20	3.85
200	0.08

Tabel 5.3 Nilai PSD untuk arah sumbu y untuk posisi baterai di bawah penumpang

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2}{Hz}\right)$
5	0.96
10	1.44
20	1.44
50	0.96
200	0.04

Tabel 5.4 Nilai PSD untuk arah sumbu z

Frekuensi (Hz)	PSD $\left(\frac{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2}{Hz}\right)$
5	4.81
10	5.77
20	5.77
200	0.08

Tabel 5.5 Durasi dan temperatur pengujian berdasarkan jumlah sampel baterai yang digunakan

1 sampel (menit)	2 sampel (menit)	3 sampel (menit)	Temperatur uji (°C)
0	0	0	T ruangan
105	75	60	-40
420	300	240	-40
525	375	300	T ruangan
700	500	400	75
1085	775	620	75
1260	900	720	T ruangan
Total: 21 jam	Total: 15 jam	Total: 12 jam	

Sebelum pengujian getaran dimulai, lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%. BMS harus mampu tetap memonitor kondisi tegangan dan temperatur sel baterai selama pengujian getaran berlangsung maupun setelah pengujian selesai dilaksanakan.

Setelah semua langkah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

b. BMS Kendaraan Motor Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$ dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Pengujian menggunakan sinyal getaran sinusoidal dengan logaritma “sweep” frekuensi 7 Hz hingga 200 Hz dan amplitudo konstan 0,8 mm. Getaran dimulai dengan frekuensi 7 Hz menuju frekuensi 200 Hz dan kemudian kembali ke frekuensi 7 Hz dengan durasi 15 menit untuk satu siklus getaran. Lakukan pengujian hingga 12 siklus dengan arah getaran vertikal sesuai dengan posisi pemasangan baterai pada kendaraan motor listrik.

Berikut nilai untuk parameter frekuensi dan percepatan getaran yang digunakan berdasarkan massa *battery pack* yang diuji akan ditampilkan pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7.

Tabel 5. 6 Frekuensi dan percepatan untuk massa kurang 12 kg

Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s^2)
7-18	10
18-50	10-80
50-200	80

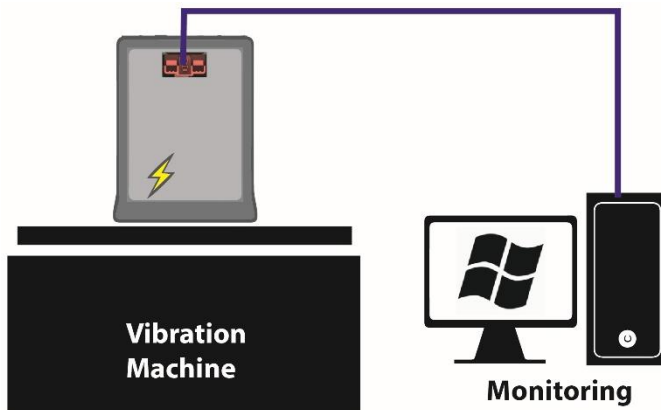
Tabel 5. 7 Frekuensi dan percepatan untuk massa 12 kg atau lebih

Frekuensi (Hz)	Percepatan (m/s^2)
7-18	10
18-25	10-20
25-200	20

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

5.3.4 Kejut Mekanik

Pengujian ini mensimulasikan keadaan penggunaan kendaraan listrik pada jalanan yang buruk maupun berbatu dengan kecepatan tinggi. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional dan koneksi elektrik pada *battery management system* selama pengujian maupun setelah pengujian dilakukan. Ilustrasi pengujian kejut mekanik ini akan ditampilkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Ilustrasi pengujian kejut mekanik

a. BMS Kendaraan Mobil Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan mobil listrik. Pengujian diterapkan pada keenam sisi baterai. Nilai dari parameter yang diterapkan pada pengujian ini akan ditampilkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Parameter pengujian kejut mekanik

Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	500 m/s ²
Durasi	10 ms
Temperatur	(30±10)°C
Jumlah kejut mekanik	15 pada setiap sisi

Sebelum pengujian, lakukan *standard cycle* sebanyak dua kali. Kemudian *discharge* baterai dengan arus konstan 1C ke SOC 50%. BMS harus mampu tetap memonitor kondisi baterai selama pengujian berlangsung maupun setelah pengujian dilaksanakan.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* sebanyak dua kali untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

b. BMS Kendaraan Motor Listrik

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dimulai dengan kondisi SOC baterai di atas 50%. Parameter-parameter pada pengujian ini dibedakan berdasarkan massa *battery pack* yang digunakan. Nilai dari parameter tersebut akan ditampilkan pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Parameter pengujian untuk massa baterai kurang dari 12 kg

Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	1500 m/s ²
Durasi	10 ms
Temperatur	(30±10)°C
Jumlah kejut mekanik	5 pada setiap sisi

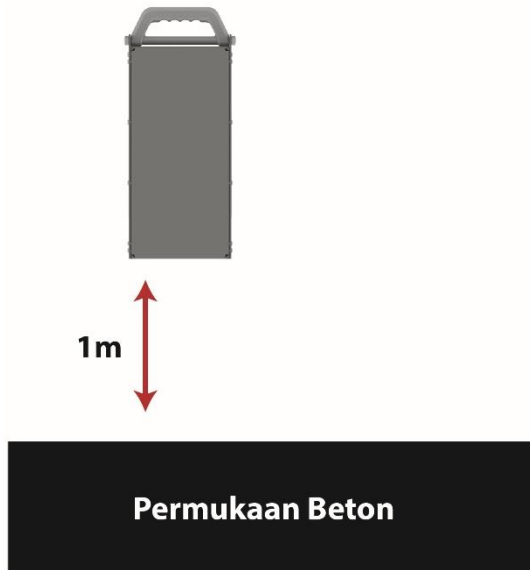
Tabel 5.10 Parameter pengujian untuk massa baterai 12 kg atau lebih

Parameter	Keterangan
Bentuk pulsa	Setengah sinusoidal
Percepatan	500 m/s ²
Durasi	15 ms
Temperatur	(30±10)°C
Jumlah kejut mekanik	5 pada setiap sisi

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

5.3.5 Uji Jatuh

Pengujian ini mensimulasikan keadaan ketika pengguna kendaraan listrik menjatuhkan baterai ketika tidak berada dalam kendaraan listrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kerusakan fungsional, fisik, maupun koneksi elektrik pada *battery management system* setelah baterai jatuh dari ketinggian 1 meter. Ilustrasi pengujian jatuh ini akan ditampilkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Ilustrasi uji jatuh

Prosedur pengujian ini diaplikasikan untuk menguji kemampuan BMS yang dioperasikan pada *battery pack* kendaraan motor listrik. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan $(30\pm 10)^{\circ}\text{C}$. Baterai dijatuhkan dari ketinggian 1 meter dengan enam sisi bawah yang berbeda ke alas datar berbahan beton.

Setelah pengujian selesai dilakukan, lanjutkan dengan *standard cycle* untuk memastikan kestabilan dari sistem baterai. Amati kerusakan visual maupun fungsional dari *battery management system*. Periksa semua koneksi elektrik yang ada pada BMS dan sistem baterai.

5.4 Uji Performa

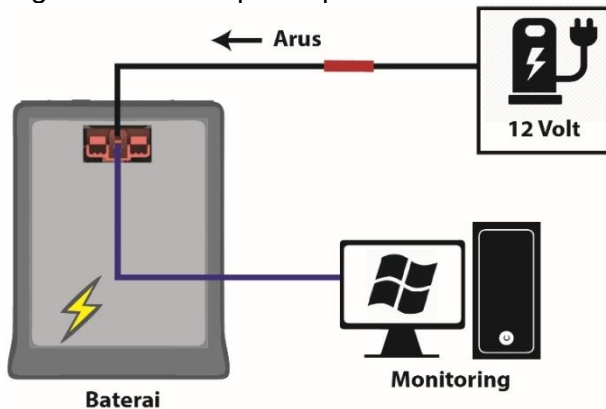
Uji performa bertujuan untuk memastikan bahwa fungsi yang dimiliki *battery management system* dapat beroperasi dengan baik. Selain fungsi monitoring dan

proteksi, BMS juga memiliki fungsi penyeimbang sel baterai (*cell balancing*) yang juga mempunyai peran penting bagi kestabilan maupun masa pakai baterai.

Fungsi penyeimbang sel baterai yang dimiliki oleh *battery management system* bertujuan agar kapasitas pada setiap sel baterai yang digunakan pada *battery pack* selalu dalam kondisi seimbang ketika dioperasikan. Dengan kondisi sel baterai yang seimbang, maka tidak ada kapasitas baterai yang terbuang ketika proses pengisian maupun *discharge*.

5.4.1 Cell Balancing

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan fungsi penyeimbang sel baterai pada *battery management system* dapat berfungsi dengan baik. Ilustrasi pengujian *cell balancing* ini akan ditampilkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Ilustrasi pengujian *cell balancing*

Pada pengujian ini BMS disuplai dengan sumber tegangan tambahan yang diperlukan untuk dapat mengontrol tegangan sel baterai selama periode istirahat atau masa penyimpanan. Penyeimbang sel baterai diamati

dengan tiga periode istirahat yang berbeda. Periode istirahat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 24 jam, 168 jam, dan 720 jam. Baterai disimpan selama periode istirahat dengan kondisi temperatur lingkungan (30 ± 10)°C dan 40°C.

Pertama setimbangkan baterai pada temperatur ruangan (30 ± 10)°C. Lakukan *standard cycle* kemudian diikuti *discharge* baterai ke SOC 80% dengan arus konstan 1C atau sesuai dengan arus yang disepakati dengan supplier. Simpan baterai dengan kondisi BMS disuplai tegangan 12 volt selama 24 jam pada temperatur ruangan (30 ± 10)°C. Ulangi langkah tersebut untuk periode istirahat 168 jam dan 720 jam. Amati tegangan pada setiap sel baterai setelah masa penyimpanan. Pastikan perbedaan antara tegangan sel baterai tertinggi dan tegangan sel baterai terendah tidak mencapai 3% [3].

Lakukan pengujian seperti langkah pengujian di atas dengan temperatur penyimpanan baterai 40°C. Amati tegangan pada setiap sel baterai ketika dalam masa penyimpanan. Pastikan perbedaan antara tegangan sel baterai tertinggi dan tegangan sel baterai terendah tidak mencapai 3% [3].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Nation, "Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicle and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions *," vol. 69, no. February, 2016.
- [2] F. Leng, C. M. Tan, and M. Pecht, "Effect of Temperature on the Aging rate of Li Ion Battery Operating above Room Temperature," *Nat. Publ. Gr.*, pp. 1-12, 2015.
- [3] A. C. Martinez, D. Sorlien, R. Goodrich, L. Chandler, and D. Magnuson, "Using Cell Balancing to Maximize the Capacity of Multi-cell Li-ion Battery Packs," pp. 1-8, 2005.

Tabel komparasi antara standar ISO 12405-1, UN-R136, dan draf SNI yang telah disusun akan ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Parameter	Standar acuan		Draft SNI		Keterangan
	ISO 12405-1	UN-R136	Mobil	Motor	
Umum					
Temperatur ruangan	(25±2)°C	(20±10)°C	(30±10)°C	(30±10)°C	Disesuaikan dengan kondisi temperatur lingkungan di wilayah Indonesia
Kejut mekanik					
Percepatan	500 m/s ²	1500 m/ s ² (<12 kg)	500m/ s ²	1500 m/ s ² (<12 kg)	Disesuaikan dengan kondisi jalan di wilayah Indonesia.
		500 m/ s ² (≥12kg)		500 m/ s ² (≥12 kg)	
Durasi kejut	5 ms	6 ms (<12 kg)	10 ms	10 ms (<12 kg)	
		11 ms (≥12kg)		15 ms (≥12 kg)	
Jumlah kejut tiap sisi	10 kejut	3 kejut	15 kejut	5 kejut	

INDEKS

B

Battery Management System,
vii, viii, x, xv, xvii, 1, 2, 3, 5,
6, 7, 12, 17, 75, 82, 83, 84
battery pack, vii, x, 1, 5, 9, 10,
15, 20, 22, 23, 24, 30, 31, 34,
36, 38, 39, 41, 47, 65, 68, 71,
75, 76, 83, 88, 89, 90, 91, 93,
98, 99, 102, 104, 105, 108
*Blower Quick SMD Rework
Station 857D*, xvii, 47, 48

C

Cell balancing, 12, 77
charger, 11, 42, 43, 57

H

Handling current, 10
Heater, 47

K

keandalan, viii, x, 3, 26, 27, 51,
54, 59, 65, 68, 94, 95
kendaraan listrik, vii, 1, 4, 5, 7,
9, 12, 14, 15, 17, 19, 27, 35,
37, 41, 55, 56, 67, 81, 82, 83,
86, 95, 103, 106
Kontaktor utama, 11

M

Megger Torkel 860, xvii, 44,
45, 47, 48, 49, 50, 71

P

performa, vii, viii, xi, 1, 2, 3, 4,
5, 12, 14, 38, 71, 81, 107

R

Relay arus, 11

S

Sistem baterai, 15, 16, 17, 82,
84, 85
Sistem proteksi, 14, 19, 41, 44,
47, 81, 86
standard cycle, 19, 21, 22, 23,
24, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 34,
36, 37, 38, 40, 55, 73, 86, 88,
89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97,
98, 99, 102, 103, 104, 105,
106, 107, 109
standarisasi, viii, xi, 1, 14, 81

T

Thermal Chamber, xviii, 52

U

USB to CAN, 42, 44, 48, 52,
56, 62, 67, 71

V

Vibration Control, xviii, 56, 62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis adalah anak pertama dari 3 bersaudara, lahir di daerah kabupaten Purworejo pada tanggal 2 September 1995. Meniti pendidikan tingkat TK di kota Semarang dan melanjutkan tingkat SD selama satu tahun di kota tersebut. Karena alasan pekerjaan orang tua, penulis melanjutkan pendidikan tingkat SD di kabupaten Purworejo. Penulis merupakan lulusan SMP Negeri 2 Purworejo dan SMA Negeri 1 Purworejo, kedua sekolah tersebut merupakan yang terbaik di kabupaten Purworejo. Setelah lulus dari pendidikan tingkat SMA pada tahun 2014, penulis merantau ke kota pahlawan untuk melanjutkan jenjang pendidikan di tingkat perkuliahan. Kampus yang dipilih menjadi tempat menimba ilmu adalah kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Setelah melewati serangkaian tahap studi yang ada di kampus ini, penulis berharap mampu memberi manfaat bagi masyarakat di manapun penulis berada, terutama bagi keluarga tercinta. Melalui karya tulis ini, penulis berharap dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca buku tugas akhir, serta dapat memberikan saran ataupun kritik yang bersifat membangun untuk perkembangan penulis ke depannya.

e-mail : andreapramaditya@gmail.com