

**KONTROL AKTIF *CELL BALANCING* OTOMATIS PADA
*BATTERY MANAGEMENT SYSTEM***

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh
Novalisar Rizky Pradana
219441021



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

Kontrol Aktif *Cell Balancing* Otomatis pada *Battery Management System*

Oleh:

Novalisar Rizky Pradana

219441021

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program

pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)

Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 18 Agustus 2023

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Nurvanti, S.T., M.Sc.

NIP. 197604262009122002

Suharyadi Pancono, Dipl.Ing. HTL. M.T.

NIP. 196701171990031004

Disahkan,

Penguji I,

Penguji II,

Penguji III,

Abdur Rohman Harits Martawireja

S.Si., M.T.

NIP. 198803132019031009

M. Harry Khomas Saputra,

S.T., M.Ti

NIP. 198803242022031002

Anggraeni Mulyadewi,

S.Si., M.T.

NRP. 222407022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Novalisar Rizky Pradana
NIM : 219441021
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kontrol Aktif *Cell Balancing* Otomatis Pada *Battery Management System*

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04 Agustus 2023
Yang Menyatakan,

(Novalisar Rizky Pradana)
NIM 219441021

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Novalisar Rizky Pradana
NIM : 219441021
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kontrol Aktif *Cell Balancing* Otomatis Pada *Battery Management System*

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04 Agustus 2023
Yang Menyatakan,

(Novalisar Rizky Pradana)
NIM 219441021

MOTO PRIBADI

Good Luck and Have Fun

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak dan adik saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Kontrol Aktif Cell Balancing Otomatis Pada Battery Management System”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.A.B.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc., dan Bapak Suharyadi Pancono Dipl.Ing. HTL. M.T.
5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Abdur Rohman Harits Martawireja S.Si., M.T., Bapak M. Harry Khomas Saputra, S.T., M.TI, dan Ibu Anggraeni Mulyadewi, S.Si., M.T.

6. Panitia tugas akhir Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Emy Sudiarti dan Bapak Kusratno yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk rekan-rekan kelas AEC2019 yang senantiasa menemani dan membantu memberikan dorongan

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

Baterai berperan krusial dalam menyimpan dan mengalirkan energi secara berkala. Permintaan akan baterai telah memicu perkembangan industri dan penelitian terkait. Pemilihan jenis baterai dalam sistem tertentu memerlukan pertimbangan khusus untuk memilih tipe yang sesuai. Baterai *Lithium-Ion*, populer berkat kepadatan energinya yang tinggi, umumnya digunakan dalam otomotif untuk menggerakkan motor listrik. Namun, saat digunakan dalam pak baterai, sering kali muncul masalah ketidakseimbangan sel. Agar tegangan tetap stabil saat pengisian dan penggunaan, pak baterai memerlukan Sistem Manajemen Baterai (*Battery Management System/BMS*). Ketidakseimbangan sel dalam pak baterai bisa mengganggu kinerja BMS dalam mengatur pengisian dan penggunaan energi, mereduksi masa pakai baterai. Walaupun BMS memiliki rangkaian penyeimbang sel, banyak produk yang masih tidak dilengkapi dengan fitur ini. Karenanya, diperlukan metode penyeimbang tambahan untuk memperpanjang umur baterai. Ada berbagai metode penyeimbang sel, baik yang aktif maupun pasif. Metode aktif memiliki berbagai variasi, termasuk teknik sel-ke-sel, pak-ke-sel, dan sel-ke-pak. Penelitian ini bertujuan menggabungkan beberapa penyeimbang sel dan BMS sesuai kebutuhan dan kapasitas baterai. Fokus utamanya adalah mengembangkan metode kombinasi dari dua buah produk penyeimbang di pasaran agar tetap dapat menyeimbangkan baterai pak dengan konfigurasi tertentu. Metode *Flying Capacitor Balancing* menjadi pokok utama dalam menyeimbangkan sel baterai karena keunggulan metode ini menggunakan topologi sel ke sel sehingga dapat memaksimalkan kapasitas setiap sel yang tersedia untuk menyeimbangkan baterai. Penelitian ini menghasilkan nilai keseimbangan baterai yang memiliki rentang waktu relatif lama dibandingkan metode lain dengan konfigurasi yang sama dengan pak baterai.

Kata kunci: Penyeimbang Sel Aktif , Baterai pak, Siklus baterai

ABSTRACT

Batteries play a crucial role in storing and delivering energy periodically. The demand for batteries has fueled the development of related industries and research. The choice of battery type in a particular system requires special consideration to select the appropriate type. Lithium-Ion batteries, popular for their high energy density, are commonly used in automotive to power electric motors. However, when used in a battery pack, the problem of cell imbalance often arises. To keep the voltage stable during charging and use, battery packs require a Battery Management System (BMS). Cell imbalance in battery packs can interfere with the BMS's performance in regulating charging and energy usage, reducing battery life. While the BMS has a cell balancing circuit, many products are still not equipped with this feature. Hence, additional balancing methods are required to extend battery life. There are various cell balancing methods, both active and passive. Active methods have a wide variety, including cell-to-cell, pack-to-cell, and cell-to-pack techniques. This research aims to combine multiple cell balancers and BMSs according to battery needs and capacity. The main focus is to develop a combination method of two balancing products on the market that can still balance a battery pack with a specific configuration. The Flying Capacitor Balancing method is the main staple in balancing battery cells because the advantages of this method use a cell-to-cell topology so as to maximize the capacity of each cell available to balance the battery. This research produces a battery balance value that has a relatively long time span compared to other methods with the same configuration as the battery pack.

Keywords: Active Cell Balancer, Battery pack, Battery cycle

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
I. BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-3
II. BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 <i>Battery Management System</i>	II-1
II.1.2 <i>SOC</i>	II-2
II.1.3 <i>Cell Balancing</i>	II-2
II.1.4 Protokol <i>MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)</i>	II-4
II.1.5 Baterai <i>Lithium-Ion</i>	II-5
II.2 Tinjauan Alat	II-7

II.2.1	<i>BMS (Battery Management System)</i>	II-7
II.2.2	Active Balancer Module	II-8
II.2.3	Modul Sensor Pembagi Tegangan	II-9
II.2.4	ESP32.....	II-9
II.2.5	NODE-Red.....	II-10
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-12
III.	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1	Gambaran Umum Sistem.....	III-1
III.2	Arsitektur Umum Sistem	III-2
III.2.1	<i>Flying Capacitor Balancer</i>	III-3
III.2.2	<i>Battery Pack</i>	III-4
III.3	Rangkaian Ekuivalen	III-7
III.4	Metode Pengukuran Tegangan	III-9
III.4.1	Pengukuran Tegangan Sel Baterai	III-9
III.4.2	Rangkaian Pengukuran Tegangan Sel Baterai	III-10
III.5	Metode Penyeimbang Sel	III-11
III.5.1	Rangkaian Sistem Penyeimbang Sel Baterai	III-12
III.6	Metode Pengujian	III-14
III.7	Perangkat Antar Muka	III-17
IV.	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1.1	Paket baterai	IV-1
IV.1.2	Pengukuran Nilai Tegangan.....	IV-6
IV.1.3	Pengujian Kecepatan Penyeimbang Sel Baterai	IV-7
IV.1.4	Pengujian Karakteristik Baterai	IV-18
IV.1.5	Pemantauan Antarmuka	IV-27
V.	BAB V PENUTUP	V-1

V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....		lxxxiii

DAFTAR TABEL

Tabel II - 1 Keuntungan dan keterbatasan baterai <i>Lithium-ion</i> [3], [19]	II-5
Tabel II - 2 Studi penelitian terdahulu	II-12
 Tabel III - 1 Hasil pengujian resistansi internal baterai	III-5
 Tabel IV - 1 Hasil uji <i>Grading</i>	IV-1
Tabel IV - 2 Hasil pengurutan berdasarkan nilai resistansi internal terkecil	IV-4
Tabel IV - 3 Pengujian penyeimbang baterai 4S2P	IV-8
Tabel IV - 4 Pengujian penyeimbang baterai 4S3P	IV-9
Tabel IV - 5 Pengujian penyeimbang baterai 4S4P	IV-11
Tabel IV - 6 Pengujian penyeimbang pada baterai 8S4P	IV-12
Tabel IV - 7 Uji <i>Charging</i> 8S4P sebelum penyeimbangan sel	IV-19
Tabel IV - 8 Uji <i>discharging</i> baterai 8S4P sebelum penyeimbangan sel	IV-20
Tabel IV - 9 Uji <i>Charging</i> 8S4P sesudah penyeimbangan sel	IV-22
Tabel IV - 10 Uji <i>Discharging</i> 8S4P	IV-24

DAFTAR GAMBAR

Gambar II - 1 Arsitektur <i>BMS</i>	II-1
Gambar II - 2 <i>Threshold SoC</i>	II-3
Gambar II - 3 Arsitektur Sistem <i>MQTT</i>	II-4
Gambar II - 4 Modul <i>Active Balancer Flying Capacitor</i>	II-8
Gambar II - 5 Sensor Tegangan	II-9
Gambar II - 6 ESP32.....	II-9
Gambar II - 7 <i>Function Block ESP32</i>	II-10
Gambar II - 8 Node-RED.....	II-10
Gambar II - 9 Palet pemrograman Node-RED.....	II-11
Gambar III - 1 <i>Flowchart</i> umum sistem	III-1
Gambar III - 2 Arsitektur umum sistem.....	III-2
Gambar III - 3 Rangkaian <i>Flying Capacitor</i>	III-3
Gambar III - 4 Rangkaian <i>Active Balancer Flying Capacitor</i>	III-3
Gambar III - 5 Rangkaian model ekivalen baterai.....	III-8
Gambar III - 6 Rangkaian ekivalen baterai 8S 4P.....	III-8
Gambar III - 7 Rangkaian pembagi tegangan	III-9
Gambar III - 8 Rangkaian pengukuran tegangan	III-10
Gambar III - 9 <i>Flowchart</i> metode penyeimbang sel	III-11
Gambar III - 10 Rangkaian <i>Balancer</i>	III-13
Gambar III - 11 Rangkaian pengujian pembebanan (<i>discharging</i>).....	III-15
Gambar III - 12 Rangkaian pengujian pengisian (<i>charging</i>)	III-16
Gambar III - 13 Antarmuka untuk pemantauan tegangan baterai.....	III-17
Gambar III - 14 Komunikasi nirkabel antarmuka dengan ESP32.....	III-18
Gambar IV - 1 Rangkaian Uji Grading	IV-1
Gambar IV - 2 Paket baterai 8S4P dengan kapton tape secara horizontal.....	IV-5
Gambar IV - 3 Paket baterai 8S4P dengan kapton tape secara vertikal.....	IV-6
Gambar IV - 4 Perbandingan nilai pengukuran sensor dengan multimeter.....	IV-7
Gambar IV - 5 Grafik pengujian penyeimbang baterai 4S2P	IV-9

Gambar IV - 6 Grafik pengujian penyeimbang baterai 4S3P	IV-10
Gambar IV - 7 Grafik pengujian penyeimbang baterai 4S4P	IV-12
Gambar IV - 8 Grafik pengujian penyeimbang baterai 8S4P	IV-15
Gambar IV - 9 Grafik perbandingan lama waktu keseimbangan dengan kelompok paralel sama.....	IV-16
Gambar IV - 10 Grafik perbandingan selisih ketidakseimbangan tegangan baterai dengan kelompok paralel sama	IV-17
Gambar IV - 11 Grafik perbandingan lama waktu keseimbangan dengan kelompok seri sama.....	IV-17
Gambar IV - 12 Grafik perbandingan selisih ketidakseimbangan tegangan baterai dengan kelompok seri sama	IV-18
Gambar IV - 13 Grafik uji <i>charging</i> 8S4P sebelum penyeimbangan sel.....	IV-20
Gambar IV - 14 Grafik uji <i>discharging</i> baterai 8S4P sebelum penyeimbangan sel	IV-22
Gambar IV - 15 Grafik uji <i>charging</i> baterai 8S4P sesudah penyeimbangan sel	IV-24
Gambar IV - 16 Grafik uji <i>discharging</i> baterai 8S4P	IV-26
Gambar IV - 17 Antarmuka pemantau tegangan	IV-27

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

I	= arus listrik [Ampere]
V	= beda potensial [Volt]
BMS	= Battery Management System
MQTT	= Message Queuing Telemetry Transport
SOC	= State of Charge
4S2P	= 4 Seri 2 Paralel
4S3P	= 4 Seri 3 Paralel
4S4P	= 4 Seri 4 Paralel
8S4P	= 8 Seri 4 Paralel

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Baterai merupakan salah satu elemen dalam menyimpan dan menyalurkan energi secara berkala. Kebutuhan akan baterai yang terus berkembang menuntut bertambahnya industri baterai serta meningkatnya penelitian terkait baterai sendiri. Penggunaan jenis baterai terhadap suatu sistem memiliki karakteristik tersendiri dalam memilih jenis yang tepat. Baterai *Lithium-Ion* menjadi salah satu baterai yang sering digunakan karena memiliki kepadatan energi yang tinggi [1]. Penggunaan baterai *Lithium-Ion* sering digunakan dalam industri otomotif sebagai sumber energi untuk menggerakkan motor listrik. Dalam penggunaannya, baterai *Lithium-Ion* perlu disusun serta dibuat dalam bentuk pak baterai agar mendapatkan nilai tegangan serta kapasitas arus per jam yang diinginkan. Tetapi, dalam implementasi penggunaan pak baterai sering ditemukan beberapa masalah. Salah satu masalah dari baterai *Lithium-Ion* yang sering ditemukan yaitu ketidakseimbangan sel baterai yang terjadi dalam sebuah pak baterai [2], [3].

Commented [NR1]: (Revisi) Beri penjelasan lebih

Sebuah pak baterai membutuhkan *Battery Management System* sebagai pengatur kestabilan tegangan dalam keadaan *charge* dan *discharge* [4], [5], [6]. Pak baterai yang memiliki sel tidak seimbang akan mengurangi performa *Battery Management System* dalam mengatur *charge* dan *discharge* dari baterai itu sendiri [4], [7]. Performa *Battery Management System* yang menurun dapat dilihat dari masa pakai baterai yang cenderung menurun ketika dilakukan uji karakteristik *charge* dan *discharge* dibandingkan ketika keadaan sel seimbang [7], [8].

Masalah ketidakseimbangan sel pada pak baterai seharusnya dapat diatasi oleh sebuah rangkaian penyeimbang sel yang terdapat pada *Battery Management System*. Namun pada kenyataannya, banyak produk *Battery Management System* di pasaran yang belum memiliki fungsi penyeimbang sel pada modul *Battery Management System* tersebut [9]. Maka sebuah metode penyeimbang perlu ditambahkan pada suatu sistem *Battery Management System* agar masa pakai baterai dapat menjadi lebih lama.

Terdapat banyak sekali metode dalam penyeimbang sel baterai. Secara umum, metode penyeimbang sel baterai terbagi menjadi dua, yaitu metode penyeimbang sel secara aktif dan metode penyeimbang sel secara pasif [10], [11]. Metode penyeimbang baterai sel aktif memiliki beberapa topologi sistem yaitu teknik sel ke sel, pak ke sel serta sel ke pak [12], [13]. Teknik penyeimbang baterai memiliki beberapa jenis basis komponen yang digunakan untuk menyalurkan energi yaitu berbasis resistor, kapasitor dan induktor [10], [11].

Melihat kondisi perkembangan kendaraan listrik yang begitu pesat hingga mendorong kebutuhan akan *Battery Management System* dan penyeimbang baterai yang kian meningkat, dibutuhkan metode yang dapat mengombinasikan penyeimbang sel baterai dengan *Battery Management System* sesuai dengan kebutuhan dan kapasitas baterai. Tetapi, suplai produk penyeimbang baterai yang ada di pasaran terkadang tidak sesuai dengan kapasitas sel baterai. Hal ini menjadi topik masalah yang mendorong penelitian ini untuk mengembangkan suatu metode dengan kombinasi dari beberapa penyeimbang sel baterai yang tidak sesuai agar dapat tetap bekerja menyeimbangkan sel baterai pada pak baterai yang diinginkan. Salah satu produk yang sering digunakan di pasaran menggunakan metode *Flying Capacitor Balancing*. Metode ini termasuk metode penyeimbang aktif yang menggunakan topologi sel ke sel. Topologi sel ke sel memiliki kekurangan dari segi waktu yang dibutuhkan dalam menyeimbangkan sel. Namun metode sel ke sel memiliki keunggulan yaitu menyeimbangkan sel dengan memaksimalkan kapasitas setiap sel yang tersedia [14].

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *active cell balancing* dengan topologi sel ke sel yaitu metode *Flying Capacitor Balancing* yang didapatkan dari pasaran. Penelitian mengembangkan kombinasi dari dua buah atau lebih dari produk *balancer* yang sama agar dapat digunakan dengan *BMS* pada suatu miniatur baterai pak yang memiliki konfigurasi tertentu.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, ditemukan beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana melakukan penyeimbangan baterai dapat tercapai setelah terjadi gangguan yang menyebabkan ketidakseimbangan?

2. Berapa lama waktu penyeimbang sel aktif ketika digunakan?
3. Berapa besar perbandingan uji karakteristik baterai antara baterai yang menggunakan penyeimbang kombinasi dengan baterai tanpa penyeimbang?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Baterai yang digunakan adalah baterai *Lithium-Ion* 18650, dengan model INR18650S
2. Penyeimbang sel baterai yang digunakan adalah penyeimbang sel baterai aktif berbentuk modul berbasis kapasitor.
3. Pengukur tegangan yang digunakan adalah modul pembagi tegangan dengan tahanan pertama 7500 Ohm dan tahanan kedua 1200 Ohm.
4. Konfigurasi baterai pak terbesar yang digunakan adalah baterai 8 Seri 4 Paralel.
5. Pengontrol sistem yang digunakan adalah ESP32
6. Antar muka yang digunakan berbasis web dengan kerangka kerja Node-Red.
7. Uji karakteristik yang dilakukan adalah uji karakteristik statis.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pembuatan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Membuat prototipe penyeimbang dengan topologi penyeimbang *cell to cell*.
2. Modifikasi penyeimbang *Flying Capacitor* di pasaran untuk topologi berbeda.

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memperpanjang masa pakai baterai pak yang digunakan setelah ditambahkan penyeimbang.