

**SISTEM PENYEIMBANG BATERAI DENGAN *SINGLE STORAGE*
DEVICE UNTUK APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) *OFF GRID***

Skripsi

Oleh :

AHMAD ADRIAN SAPUTRA



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2022

ABSTRAK

SISTEM PENYEIMBANG BATERAI DENGAN *SINGLE STORAGE DEVICE* UNTUK APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *OFF GRID*

Oleh

AHMAD ADRIAN SAPUTRA

Penggunaan energi baru terbarukan semakin banyak digunakan sebagai pengganti dari energi fosil yang sudah menipis ketersediaannya di alam. Pembangkit Listrik Tenaga Surya menjadi salah satu alternatif dari energi baru terbarukan yang dimanfaatkan karena ketersediaan energi matahari tidak pernah habis. Baterai sebagai perangkat penyimpanan energi pada PLTS. Ketidakseimbangan sel baterai dapat memengaruhi proses *charging* dan *discharging* pada baterai. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan pada sel baterai sehingga memaksimalkan energi yang disimpan dari panel surya dan dikonsumsi sebagai sumber energi. Penelitian ini membuat simulasi rangkaian penyeimbang baterai pada *Matlab Simulink*. Jenis baterai Li-ion CGR18650 AF sebagai penyimpanan energi pada PLTS karena karakteristik baterai Li-ion yang memiliki kepadatan daya yang tinggi. Penyeimbangan baterai dengan menggunakan metode *active cell balancing* dengan *single storage device* ini memiliki kelebihan yaitu waktu dan efisiensi dalam penyeimbangan baterai. Hasil dari penelitian ini adalah rangkaian penyeimbang baterai dengan *single storage device* dapat menyeimbangkan empat sel baterai pada saat kondisi *charging* dan *discharging*. Arus *charging* dan *discharging* dibedakan dari 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, dan 0.2 A dengan hasil penyeimbangan selisih nilai tegangan pada masing-masing sel baterai sebesar 0.01 V. Waktu penyeimbangan baterai berbanding terbalik dengan nilai arus. Apabila nilai arus pengisian semakin besar tidak melebihi dari karakteristik baterai maka akan semakin cepat waktu penyeimbangan sel baterai.

Kata Kunci : Penyeimbang Baterai, Lithium-ion, Kapasitor

ABSTRACT**BATTERY BALANCER SYSTEM WITH SINGLE STORAGE DEVICE
FOR OFF GRID SOLAR POWER GENERATING APPLICATIONS****BY****AHMAD ADRIAN SAPUTRA**

The use of new and renewable energy is increasingly being used as a substitute for fossil fuel, which is already depleting its availability in nature. Solar Power Plants are an alternative to renewable energy that is utilized because the availability of solar energy never runs out. Batteries as energy storage devices in PLTS. The imbalance of battery cells can affect the process of charging and discharging the battery. This study aims to maintain a balance in the battery cells so as to maximize the energy stored from solar panels and consumed as an energy source. This study simulates a battery balancing circuit in Matlab Simulink. The type of Li-ion battery CGR18650 AF as energy storage in PLTS because of the characteristics of the Li- ion battery, which has a high power density. Battery balancing using the active cell balancing method with a single storage device has the advantage of time and efficiency in battery balancing. The result of this research is a battery balancing circuit with a single storage device that can balance four battery cells during charging and discharging conditions. The charging and discharging currents are distinguished from 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, and 0.2 A with the result of balancing the difference in voltage values in each battery cell of 0.01 V. The battery balancing time is inversely proportional to the current value. The faster the battery cell balancing time will be if the value of the charging current is greater but it does not exceed the characteristics of the battery.

Keywords : *Balancing Battery, Lithium-ion, Capacitor.*

SISTEM PENYEIMBANG BATERAI DENGAN *SINGLE STORAGE DEVICE* UNTUK APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *OFF GRID*

Oleh

AHMAD ADRIAN SAPUTRA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

Judul Skripsi : **SISTEM PENYEIMBANG BATERAI DENGAN
SINGLE STORAGE DEVICE UNTUK APLIKASI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) OFF GRID**

Nama Mahasiswa : **Ahmad Adrian Saputra**


No. Pokok Mahasiswa : 1815031033

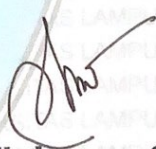
Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

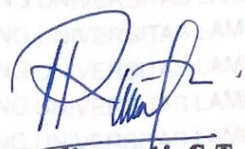


MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

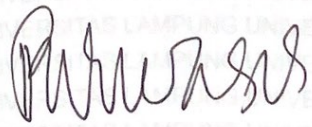

Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.
NIP. 19720923 200012 1 002


Afri Yudamson, S.T., M.Eng.
NIP. 19890430 201903 1 011

2. Mengetahui


Ketua Jurusan
Teknik Elektro

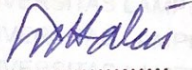
Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001


Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. 

Sekretaris : Afri Yudamson, S.T., M.Eng. 

**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Herri Gusmedi, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. 
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Oktober 2022

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2022



Ahmad Adrian Saputra
NPM 1815031033

RIWAYAT HIDUP



Nama lengkap penulis adalah Ahmad Adrian Saputra, dilahirkan pada tanggal 13 Desember 2000 di desa Bukitkemuning, Kab. Lampung Utara. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Rasyid Efendi dan Ibu Listina. Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak Pertiwi dan lulus pada tahun 2006, SD Negeri 09 Bukitkemuning pada 2006-2012, SMP Negeri 01 Bukitkemuning pada 2012-2015, dan SMA Negeri 01 Bukitkemuning 2015-2018. Tahun 2018 penulis diterima di Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN) di Jurusan Teknik Elektro. Selama menjadi mahasiswa penulis berkesempatan bergabung dalam keanggotaan asisten Lab Sistem Tenaga dan menjadi asisten mata kuliah Menggambar Teknik dan asisten Praktikum Analisa Sistem Tenaga. Penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan Departemen Pengembangan Keteknikan pada Periode 2019 dan 2020. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Haleyora Power Region VII Lampung Area Tanjung Karang pada bulan Juli-Agustus 2021 dengan judul Kerja Praktik “*Setting* Recloser Sebagai Proteksi Pada Penyulang Guruh Pt Haleyora Power Region 7 Lampung Area Tanjung Karang”

MOTO

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Al Baqarah ayat 286)

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mendapatkan ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”

(HR. Muslim)

“Pendidikan mempunyai akar yang pahit, tetapi buahnya manis.”

(Aristoteles)

“Nothing happens by chance, everything happens by choice.”

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang

Alahamdulilahi rabbil ‘alamin’, segala puji untuk Mu ya Rabb atas segala kemudahan, limpahan rahmat, rezeki dan karunia yang Engkau berikan selama ini.

Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati.

Dengan segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas rahmat hidayah-Nya
dan

Segala kerendahan hati, kupersembahkan Skripsi ini kepada:

Ayahanda Tercinta Rasyid Efendi

Ibunda Tercinta Listina

Adik Tercinta Muhammad Rizky Syahreza

Yang senantiasa Mendoakan dan Mendukungku, terimakasih untuk semua kasih sayang dan cinta luar biasa sehingga aku bisa menjadi seseorang yang kuat sehingga kelak dapat terus menjadi kebanggaan keluarga

Untuk Almamaterku Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Sistem Penyeimbang Baterai Dengan *Single Storage Device* Untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off Grid*”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan untuk pengembangan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulisan skripsi ini penulis mendapatkan bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik. Pada kesempatan kali ini, Penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih terhadap:

1. Ayah, Ibu, Adek Rizky dan keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberikan semangat sehingga saya dapat menyelesaikan masa studi dan skripsi saya pada waktu yang tepat.
2. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan banyak ilmu dan juga wejangan yang sangat bermanfaat bagi Saya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini.

5. Bapak Afri Yudamson, S.T., M.Eng., selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan banyak ilmu dan juga wejangan yang sangat bermanfaat bagi Saya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro yang sudah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
7. Staff Administrasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Pak Rahman selaku PLP Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, yang selalu memberikan motivasi dan berbagi pengalaman dikala kami para asisten sibuk mengerjakan skripsi selama di Lab.
9. Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Abdul, Ucup Syamil, Mbah Azis, Reihan, Iqbal, Ucok, Riski Palestine, Nat, Tata, kakak-kakak Asisten angkatan 2016 dan 2017, serta adik-adik asisten Angkatan 2019 dan 2020. Sukses dan Sehat selalu dimanapun berada.
10. Back to Lambar grup, Bobby, Muhy, Manda, Ikhsan, Ridho, Mardi, Fikri, Reihan, Azis, Abdul, Iqbal, Raja, dan Rivan. Selalu menemani dikala gabut sampai sibuk masing-masing. Lanjutkan mapping kalian.
11. Silampari Group, Azis, Alfian, Edo, Doyog, Raja, Adit budi, yang menjadi teman satu kossan, tempat sambat, push Mobile Legend, toxic, semua ada disini, keren kalian, *cuk!*.
12. Harits Kadir dan Ilham Sinum yang selalu menemani bermain Fifa walaupun skill yang begitu-begitu aja.
13. Keluarga Besar Eltics 2018 angkatan saya yang tersayang, yang tidak ada kompak-kompaknya, ribut, ledek sana-sini, angkatan agak laen emang. Kalian keren, *hidup bukan untuk saling mendahului*.

14. Terkhusus Nisa Amaliza, terhitung sudah Tujuh tahun bersama saya ketika Skripsi ini diselesaikan dan akan selalu bertambah terus seiring berjalannya waktu. Terimakasih atas dukungan, doa, waktu untuk mendengarkan segala cerita disaat senang maupun sedih.
15. Semua orang yang terlibat dalam pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat saya sebut satu-persatu, terimakasih banyak.
16. *Last but not least, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan keberkahan atas bantuan kalian semua, dan memberi keberkahan atas selesainya skripsi ini. Aamiin.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi, karena hal tersebut penulis sangat terbuka untuk masukan dan kritik serta saran.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, 17 Oktober 2022



Ahmad Adrian Saputra

NPM. 1815031033

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxi
I. PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Tujuan	4
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Terdahulu.....	7
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	8
2.2.1. PLTS <i>Off-grid</i>	8
2.2.2. PLTS <i>On-grid</i>	9
2.2.3. PLTS <i>Hybrid</i>	9
2.3. Baterai	10
2.3.1 Baterai Lithium	12
2.3.2 Baterai Lithium Iron Phospate (LFP).....	13
2.4. Penyeimbang Sel Baterai.....	14
2.5. Penyeimbang Baterai Pasif.....	15

2.6. Penyeimbang Baterai Aktif	16
2.6.1 Penyeimbangan Aktif Berbasis Kapasitor.....	17
2.6.2 MOSFET	18
2.7. <i>State of Charge</i>	19
2.8. Matlab Simulink	19
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Diagram Alir Penelitian	22
3.4. Perancangan Model	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Sistem Penyeimbang Baterai dengan <i>Single Storage Device</i>	25
4.2 Skenario Simulasi.....	26
4.3 Simulasi Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor.....	27
4.3.1 Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor... ..	28
4.3.1.1 Penyeimbang Baterai.....	29
4.3.1.2 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengisian 0.05 A.....	32
4.3.1.3 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengisian 0.10 A.....	34
4.3.1.4 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengisian 0.15 A.....	36
4.3.1.5 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengisian 0.20 A.....	38
4.3.1.6 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengosongan 0.05 A.....	40
4.3.1.7 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengosongan 0.10 A.....	42
4.3.1.8 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengosongan 0.15 A.....	43
4.3.1.9 Penyeimbang Baterai Saat Arus Pengosongan 0.20 A.....	45
4.4 Analisa dan Pembahasan	47
4.4.1 Analisa Kinerja Penyeimbang Baterai Satu Kapasitor	48

4.4.2 Analisa Kinerja Penyeimbang Baterai Saat Pengisian dan Pengosongan .	49
4.4.2.1. Tegangan Baterai Saat Pengisian 0.05 A.....	50
4.4.2.2. Tegangan Baterai Saat Pengisian 0.10 A	51
4.4.2.3. Tegangan Baterai Saat Pengisian 0.15 A.....	52
4.4.2.4. Tegangan Baterai Saat Pengisian 0.20 A	53
4.4.2.5. Tegangan Baterai Saat Pengosongan 0.05 A.....	54
4.4.2.6. Tegangan Baterai Saat Pengosongan 0.10 A.....	55
4.4.2.7. Tegangan Baterai Saat Pengosongan 0.15 A.....	56
4.4.2.8. Tegangan Baterai Saat Pengosongan 0.20 A.....	57
V. PENUTUP	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema PLTS off-grid.	9
Gambar 2.3. Baterai Lithium Ion	13
Gambar 2.4. Baterai LifePO.....	14
Gambar 2.5 Baterai Tidak Seimbang dan Baterai Seimbang	16
Gambar 2.6. Kapasitor.....	17
Gambar 2.7. MOSFET	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3. 2 Perancangan Model	24
Gambar 4.1 Grafik Hubungan <i>State of Charge</i> dan Tegangan Baterai	26
Gambar 4.2 Skema Rangkaian Penyeimbang Baterai dengan <i>Single Storage Device</i>	26
Gambar 4.2 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai	29
Gambar 4.3 Grafik Tegangan Baterai.....	29
Gambar 4.4 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai pada simulasi kedua	31
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Baterai pada simulasi kedua.....	31
Gambar 4.6 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai saat input 0.05 A	32
Gambar 4.7 Grafik Tegangan Baterai saat input 0.05 A.....	33
Gambar 4.8 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai saat input 0.10 A	34
Gambar 4.9 Grafik Tegangan Baterai saat input 0.10 A.....	35
Gambar 4.10 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai saat arus pengisian 0.15 A.....	36
Gambar 4.11 Grafik Tegangan Baterai saat arus pengisian 0.15 A.....	37
Gambar 4.11 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai Saat Arus Pengisian 0.20 A.....	38

Gambar 4.12 Grafik Tegangan Baterai Pada Saat Arus Pengisian 0.20 A.....	39
Gambar 4.13 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai Saat Arus Pengosongan 0.05 A.....	40
Gambar 4.14 Grafik Tegangan Baterai Saat Arus Pengosongan 0.05 A.....	41
Gambar 4.15 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai Saat Arus Pengosongan 0.10 A.....	42
Gambar 4.16 Grafik Tegangan Baterai Saat Arus Pengosongan 0.10 A.....	42
Gambar 4.17 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai Saat Arus Pengosongan 0.15 A.....	44
Gambar 4.18 Grafik Tegangan Baterai Saat Arus Pengosongan 0.15 A.....	44
Gambar 4.19 Grafik <i>State of Charge</i> Baterai Saat Arus Pengosongan 0.20 A.....	46
Gambar 4.20 Grafik Tegangan Baterai Saat Arus Pengosongan 0.20 A.....	46
Gambar 4.21 Grafik Waktu Penyeimbangan Baterai Saat Tidak Terhubung Sumber Beban Atau Sumber Pengisian	48
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Penyeimbangan Baterai saat Pengisian dan Pengosongan.....	49
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengisian 0.05 A.....	50
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengisian 0.10 A.....	51
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengisian 0.15 A.....	52
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengisian 0.20 A.....	53
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengosongan 0.05 A.....	54
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengosongan 0.10 A.....	55
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada Arus Pengosongan 0.15 A.....	56

Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Tegangan Baterai Saat Penyeimbangan Pada
Arus Pengosongan 0.20 A.....57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi baterai <i>LiFePO4</i>	14
Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir	21
Tabel 4.1 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Simulasi Pertama.....	30
Tabel 4.2 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Simulasi Kedua	31
Tabel 4.3 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengisian 0.05 A	33
Tabel 4.4 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengisian 0.10 A	35
Tabel 4.5 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengisian 0.15 A	37
Tabel 4.6 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengisian 0.20 A.....	39
Tabel 4.7 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengosongan 0.05 A.....	41
Tabel 4.8 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengosongan 0.10 A.....	43
Tabel 4.9 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengosongan 0.15 A.....	45
Tabel 4.10 Tabel Kondisi SoC dan Tegangan Baterai pada Penyeimbang Aktif Satu Kapasitor Pengosongan 0.20 A.....	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk dunia di masa sekarang yang semakin meningkat telah menimbulkan banyak permasalahan. Salah satu permasalahan tersebut adalah kebutuhan energi yang sangat besar. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut telah dilakukan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam yang ada sejak ratusan tahun yang lalu. Sumber energi yang digunakan saat ini masih terpaku pada minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui tersebut semakin menurun persediaannya dan terbatas jumlahnya di alam. Dengan adanya permasalahan tersebut maka diperlukannya mencari energi alternatif yang dapat menggantikan sumber energi yang dapat diperbaharui. Rencana Umum Energi Nasional merupakan kebijakan Pemerintah Pusat mengenai rencana pengembangan energi tingkat nasional yang membahas pedoman untuk mengarahkan pengelolaan energi nasional. Pembangkitan energi listrik yang telah dilakukan saat ini masih mengandalkan energi fosil yang berkontribusi sebesar 95%. Pemanfaatan EBT baru mencapai 2% dari total potensi yang ada. Salah satu upaya untuk mencapai target tersebut adalah dengan pengembangan PLTS.

Pada suatu sistem PLTS tentu terdapat komponen-komponen penyusun yang mendukung terjadinya pembangkitan energi listrik, yaitu *PV array* atau panel surya, inverter untuk mengkonversi sistem tegangan DC menjadi sistem tegangan AC, *charger controller* yang menjaga kondisi baterai agar terhindar dari overcharge dan baterai sebagai media penyimpanan energi. Baterai adalah sebuah perangkat

penyimpanan energi yang mampu merubah energi kimia menjadi energi listrik. Terdapat berbagai macam baterai yang digunakan untuk berbagai keperluan, sehingga dalam penggunaannya sebagai energi alternatif baterai dapat dijadikan salah satu pilihan menggantikan energi alam yang telah lama digunakan. Baterai dapat menghasilkan energi dan daya densitas yang besar, efisiensi tinggi, dan siklus hidup relatif lama.

Maka diperlukan *Battery Management System* untuk menjaga baterai agar tetap seimbang dalam menyerap atau mengeluarkan energi dan menjadi solusi menjaga agar sel baterai tetap berada pada daerah aman operasinya. Ketidakseimbangan sel (*cell imbalance*) pada baterai dapat memengaruhi proses *charging* atau *discharging* pada baterai, yaitu SOC (*State of Charge*), *imbalance* disebabkan oleh proses *charging* pada beberapa sel baterai yang mempunyai level SOC yang berbeda, kemudian perbedaan kapasitas total baterai, lalu perbedaan impedansi. BMS secara efektif dapat menjaga baterai dari kerusakan, memprediksi masa penggunaan baterai. Secara teknis BMS dapat memaksimalkan siklus pemakaian baterai dengan memantau *charging* dan *discharging* baterai melalui status *State of Charge*. Dengan melakukan penelitian menggunakan metode *single switched capacitor* pada baterai diharapkan hasil berupa pengoptimalan kapasitas kapasitor dan waktu frekuensi switching dan mengetahui nilai yang efektif dari penelitian tersebut untuk digunakan sebagai penyeimbang baterai sehingga memaksimalkan energi baterai yang akan dikonsumsi sebagai sumber energi.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui penyebab dari ketidakseimbangan tegangan sel baterai.
2. Merancang rangkaian penyeimbang sel untuk menyeimbangkan tegangan pada baterai.
3. Menganalisa kinerja rangkaian penyeimbang sel baterai.

1.3 Perumusan Masalah

Baterai yang digunakan pada penyimpanan energi dari energi terbarukan, mobil listrik ataupun untuk aplikasi lainnya sel baterai disusun secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Tiap sel baterai Li-ion tersebut tidak sama persis dengan yang lainnya untuk kapasitas, resistansi internal, dan *self discharge* saat proses pembuatan. Karakteristik ini menyebabkan waktu pengisian maupun pengosongan yang berbeda untuk tiap sel baterai yang menyebabkan pengisian daya terlalu rendah, pengisian berlebih atau pengosongan berlebih pada beberapa sel baterai jika digunakan dengan tanpa perlindungan. Oleh karena itu, diperlukan rangkaian yang dapat menyeimbangkan tegangan pada sel baterai untuk menghindari kondisi tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Baterai yang digunakan pada simulasi ini baterai Li-Ion.
2. Hambatan dalam atau *internal resistance* diasumsikan sama.

3. Rangkaian baterai yang dipakai pada penelitian ini adalah baterai yang disusun secara seri.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah mengetahui nilai yang optimal dari frekuensi switching dan nilai dari kapasitor sehingga menciptakan penyeimbang baterai yang efisien secara waktu dan energi.

1.6 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah ketidakseimbangan pada sel baterai diakibatkan oleh tidak seimbangnya nilai SoC (*State of Charge*) yang merepresentasikan nilai tegangan pada baterai. Ketidakseimbangan tersebut diharapkan mampu diatasi oleh rangkaian penyeimbang.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi penjelasan latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan teori-teori dari literatur yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode dari penelitian, serta langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi mengenai hasil dan pembahasan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

BAB V : KESIMPULAN

Berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran untuk peneliti selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai *battery management system* cukup banyak dilakukan. Pada intinya penelitian sebelumnya membahas mengenai BMS ini dengan berbagai metode dan cara simulasi untuk tujuan yang beragam. M Nurul Hilal Lubudi (2020) melakukan penelitian untuk membuat sistem penyeimbangan tegangan sel baterai dengan menggunakan topologi *flyback converter* arsitektur *pack to cell*, dimana energi pada *pack* yang memiliki tegangan paling tinggi akan ditransfer ke sel untuk menyeimbangkan tegangan antar sel. Hasil pengujian menunjukkan performa BMS untuk *monitoring* nilai tegangan dan arus memiliki akurasi sebesar 99,9% dan 91,7% dan untuk lama waktu balancing yang dibutuhkan bergantung pada besarnya perbedaan tegangan antar baterai dan banyaknya baterai yang memiliki tegangan yang berbeda. Kemudian, Khaeruddin melakukan penelitian tentang penyeimbangan arus *charging* baterai dengan metode *cell-to-cell*, dengan tujuan untuk menyeimbangkan arus pengisian ke masing-masing sel baterai agar mendekati kondisi sama rata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan teknik balancing *cell-to-cell* dapat menyeimbangkan sel baterai selama masa pengisian. Awal terjadi penyeimbangan pada waktu 6000s dan penyeimbangan secara keseluruhan terjadi di waktu 10000s. Bowen Jiang melakukan penelitian dengan judul *Active Cell Balancing Algorithms in Lithium-ion Battery* pada tahun

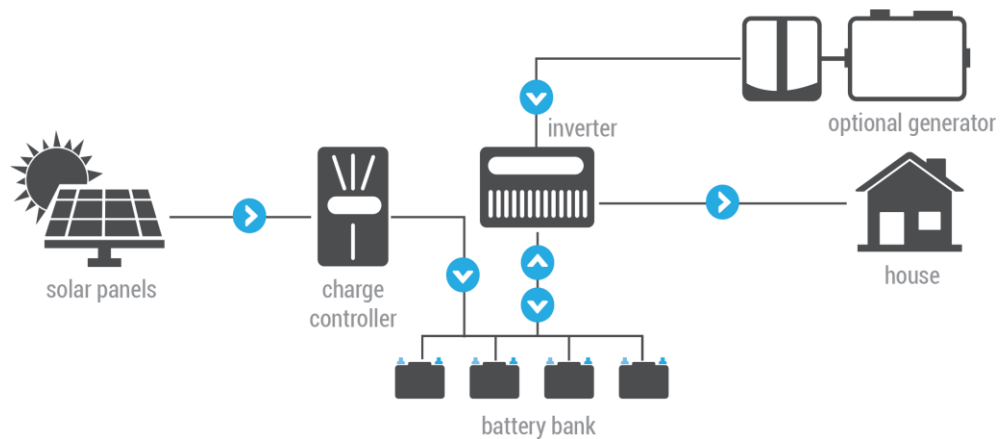
2020 melakukan penelitian dengan penyeimbang aktif dan algoritma kontrol yang ditemukan sendiri. Dengan hasil penelitiannya bahwa penyeimbang berbasis kapasitor pada umumnya memiliki waktu untuk seimbang relatif lama, tetapi struktur cadangan dapat ditambahkan untuk menambah besarnya transfer energi dan kecepatan penyeimbang. Lalu pada penyeimbang berbasis induktor memiliki arus penyeimbang yang besar dan waktu penyeimbang yang lebih cepat dibandingkan kapasitor, tetapi *losses* dari switching pun bernilai besar. Sedangkan penyeimbang dengan berbasis konverter dapat mengontrol output dari sel baterai atau transfer energi dari masing-masing sel baterai.

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu sistem pembangkit energi terbarukan (EBT). Pada pembangkit listrik tenaga surya diperlukan perangkat inverter yang digunakan untuk merubah daya listrik DC dari panel surya menjadi daya listrik AC yang menyalurkan energi untuk dikonsumsi beban-beban yang membutuhkan sumber AC. Pada implementasi nya terdapat tiga jenis konfigurasi yaitu PLTS *on-grid*, PLTS *off-grid* dan PLTS *Hybrid*.

2.2.1. PLTS *Off-grid*

PLTS *off-grid* adalah sistem PLTS yang tidak terkoneksi dengan jaringan. Pada PLTS *off-grid* baterai merupakan komponen yang sangat penting karena berperan sebagai penyimpanan energi yang digunakan untuk menyimpan kelebihan daya ketika beban rendah dan dapat mensuplai daya bersama daya keluaran panel surya ketika kebutuhan daya beban tinggi.



Gambar 2.1. Skema PLTS off-grid.

2.2.2. PLTS *On-grid*

PLTS on-grid atau disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah sistem PLTS yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik, sistem PLTS ini terkoneksi jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau *photovoltaic* modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem PLTS ini juga ramah lingkungan dan bebas emisi.

2.2.3. PLTS *Hybrid*

PLTS Hybrid merupakan jenis PLTS dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Sehingga kedua sistem ini akan saling bergantian untuk memasok daya energi listrik ketika terjadi kekurangan daya listrik atau terjadi pemadaman. Pada PLTS hybrid sumber energi yang diserap oleh panel surya dikonversi dan ditampung pada baterai, ketika

konsumsi pemakaian listrik melebihi kapasitas baterai maka secara otomatis sumber listrik dari PLN yang akan memasok daya.

2.3. Baterai

Baterai merupakan peralatan yang dapat mengubah energi. Baterai listrik terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Pada pengaplikasiannya di pembangkit listrik tenaga surya komponen baterai berfungsi untuk menyimpan energi yang diserap oleh panel surya secara sementara. Selain untuk menyimpan energi sementara baterai pada PLTS berfungsi untuk sumber energi listrik apabila panel surya tidak menghasilkan energi. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial lebih tinggi dibandingkan kutub bertanda negatif. Baterai sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai sekali pakai dan tidak dapat diisi ulang, sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi ulang sehingga dapat dipakai kembali dan siklus waktu pemakaiannya panjang (Linden dkk, 2002). Baterai sekunder sendiri memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan bahan kimia yang digunakan sebagai dasar pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Berbagai baterai berbahan kimia yang banyak beredar antara lain baterai *nickel-cadmium* (NiCd), baterai *lithium-ion* (Li-Ion) dan baterai *lithium polymer* (Li-Po) (Sidiq, 2015).

Baterai terbukti menjadi teknologi penyimpanan energi yang layak secara komersial. Peningkatan penggunaan baterai li-ion dalam elektronik konsumen dan

kendaraan listrik telah menyebabkan perluasan kapasitas manufaktur global, menghasilkan penurunan biaya yang signifikan yang diperkirakan akan berlanjut selama beberapa tahun ke depan. Biaya rendah dan efisiensi tinggi baterai li-ion telah berperan penting dalam gelombang penerapan BESS dalam beberapa tahun terakhir baik untuk instalasi skala kecil, di belakang meteran dan skala besar, penyebaran tingkat jaringan.

Sistem penyimpanan energi baterai dapat digunakan untuk mengatasi beberapa tantangan terkait integrasi jaringan energi terbarukan skala besar. Pertama, baterai secara teknis lebih cocok untuk pengaturan frekuensi daripada cadangan pemintalan tradisional dari pembangkit listrik. Kedua, baterai memberikan alternatif yang hemat biaya untuk perluasan jaringan guna mengurangi pembatasan pembangkit listrik tenaga angin dan surya. Demikian pula, baterai memungkinkan penghindaran biaya puncak konsumen dengan memasok energi off-grid selama jam konsumsi puncak on-grid. Ketika, karena pembangkit listrik terbarukan seringkali tidak sesuai dengan permintaan listrik, kelebihan daya harus dibatasi atau diekspor. Kelebihan daya dapat disimpan dalam baterai untuk konsumsi nanti saat pembangkit listrik terbarukan rendah dan permintaan listrik meningkat.

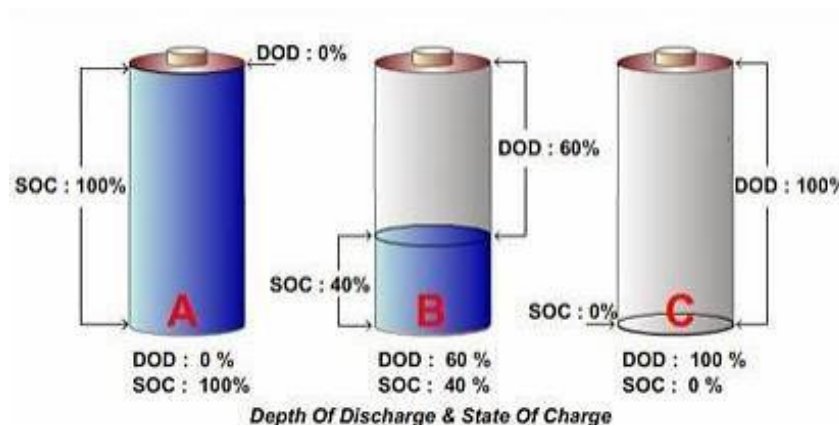
Baterai memiliki prinsip kerja sebagai berikut:

- a. Proses *Discharge*, proses ini berlangsung pada saat sel baterai dihubungkan dengan beban makan elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.

b. Proses *Charging*, pada proses ini adalah ketika sel baterai dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah:

1. Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda.
2. Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda.
3. Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda.

Dalam pengisian dan pengosongan baterai, ada beberapa parameter yang menjadi pertimbangan bagus atau tidaknya sebuah baterai. Parameter tersebut antara lain adalah tegangan, kapasitas baterai, *State of Charge*, resistansi internal, dan pelepasan muatan atau *self-Discharge*.



Gambar 2.2 Proses SOC dari 100% sampai 0%.

2.3.1 Baterai Lithium

Baterai didefinisikan sebagai suatu alat yang dapat mengubah langsung energi kimia menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia. Sel baterai adalah unit terkecil dari suatu sistem proses elektrokimia yang dari elektroda, elektrolit,

separator, wadah dan *current collector*/terminal. Baterai lithium merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*re-chargeable battery*) yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan karena mengandung bahan yang tidak berbahaya seperti baterai-baterai yang berkembang lebih dahulu seperti baterai Ni-Cd dan Ni-MH. Baterai lithium memiliki kelebihan yaitu memiliki stabilitas penyimpanan energi yang sangat baik, daya tahan sampai relatif lama, energi densitas tinggi, tidak ada *memory effect* dan berat relatif ringan.



Gambar 2.3. Baterai *Lithium Ion*

2.3.2 Baterai Lithium Iron Phosphate (LFP)

Lithium Iron Phosphate adalah senyawa anorganik dengan rumus LiFePO_4 . Baterai ini paling banyak diaplikasikan pada kendaraan listrik. Baterai LifePO memiliki efisiensi energi yang tinggi, toleransi kinerja pada suhu yang tinggi pun baik. LifePO juga memiliki self-discharge rendah, sehingga mampu mempertahankan kemampuan menahan muatan penuhnya dengan maksimal.

Gambar 2.4. Baterai *LifePO*Tabel 2. 1 Spesifikasi baterai *LiFePO4*

Sel	LiFePO4 32700
Tegangan standar	3.2 V
Kapasitas Standar	6000 mAh
Kondisi <i>Charging</i>	<p><i>Standar Charge 12000Ma / 0.2 C Constant Current</i></p> <p><i>Charge to 3.65±0.05V</i></p> <p><i>Maximum charge Current 3000mA/0.5C</i></p>
Kondisi <i>Discharging</i>	<p><i>Cut off voltage 2V</i></p> <p><i>Standar Discharge Current 1200mA/0.2C</i></p> <p><i>Max Continuous Discharge Current ; 18A/3C</i></p>

2.4. Penyeimbang Sel Baterai

Kondisi sel baterai yang tidak seimbang dapat menyebabkan kerusakan lebih cepat pada baterai. Ketidakseimbangan dapat menyebabkan kekosongan energi dalam sel sel baterai sehingga menyebabkan perbedaan nilai SOC pada baterai. Teknik

penyeimbang ada dua metode, yaitu penyeimbang pasif dan aktif. Penyeimbang pasif bekerja dengan cara mengambil muatan dari sel yang mempunyai nilai SOC paling besar dan ditransfer ke sel yang memiliki nilai SOC paling sedikit. Metode ini menimbulkan efek panas pada baterai, karena energi yang terbuang dalam bentuk panas karena hanya sebagian sel yang terisi penuh. Penyeimbang aktif bekerja dengan cara mengambil muatan dari sel yang muatannya paling banyak dan ditransfer ke sel baterai yang memiliki muatan energinya paling sedikit, sehingga muatan energi pada sel yang ada didalam baterai pack persis sama sifat dari teknik ini energi teralirkan antara sel dan membuat kondisi antar sel seimbang dan tidak menghasilkan panas.

2.5. Penyeimbang Baterai Pasif

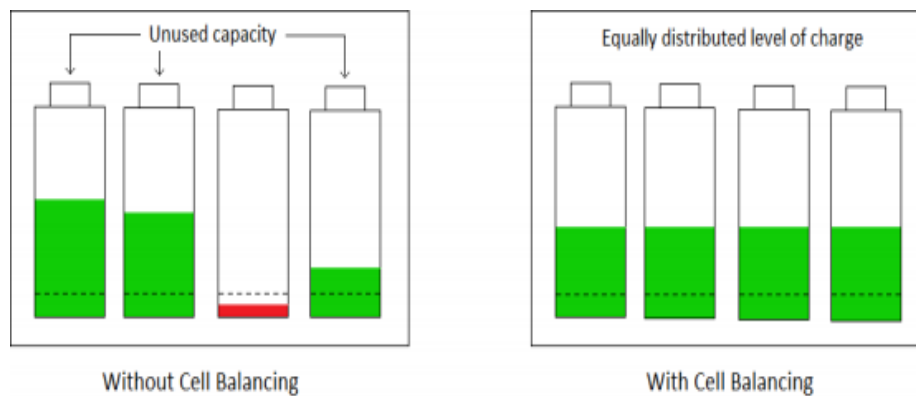
Passive cell balancing merupakan metode yang paling sederhana dan murah dalam penggunaannya. *Passive cell balancing* menggunakan resistor untuk mengubah energi listrik menjadi panas yang kemudian berfungsi meratakan tegangan dengan menyalurkan tegangan yang tinggi pada sel baterai ke sel-sel baterai yang lebih rendah. *Passive cell balancing* terbagi dua berdasarkan penyusunannya, yakni metode *fixed shunt* resistor dan *switching shunt* resistor.

Fixed shunt menggunakan konsep sebuah resistor yang dihubungkan secara paralel terhadap setiap sel baterai untuk mencegah *overcharging*. Masing-masing resistor memiliki nilai hambatan yang sama. *Switch shunt* rangkaian setiap hubung paralel sel baterai dengan resistor diberi saklar yang dapat dikendalikan. Pada *switch shunt*

pada setiap sel baterai dapat diberi sensor tegangan untuk mengoptimalkan mode saklar.

2.6. Penyeimbang Baterai Aktif

Metode *active cell balancing* merupakan metode penyeimbang sel baterai dengan mentransfer muatan dari sel yang lebih tinggi ke muatan sel yang lebih rendah sehingga muatan energi pada sel yang ada pada *battery pack* sama persis sifat dari teknik ini energi teralirkan antara sel, kondisi ini membuat antar sel seimbang dan tidak menimbulkan panas. Metode ini sangat efisien karena energi yang berlebih dapat ditransfer ke sel baterai yang energinya lebih rendah. Metode *active balancing* terdiri dari beberapa kategori, yaitu *bypass cell*, *cell to cell*, *cell to pack*, *pack to cell*, dan *cell to pack to cell*.



Gambar 2.5 Baterai Tidak Seimbang dan Baterai Seimbang

2.6.1 Penyeimbangan Aktif Berbasis Kapasitor

Kapasitor adalah komponen listrik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik dalam bentuk medan elektrostatik. Kapasitansi berbanding lurus dengan luas permukaan pelat, dan berbanding terbalik dengan pemisahan antara pelat. Kapasitansi juga tergantung pada konstanta dielektrik zat yang memisahkan pelat. Reaktansi kapasitif didefinisikan sebagai

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dimana X_c adalah reaktansi kapasitif, ω adalah frekuensi angular, f adalah frekuensi sudut dan C adalah nilai kapasitansi. Metode penyeimbangan aktif sel baterai berbasis kapasitor memiliki keuntungan dalam penyeimbangan tegangan sel seperti akurasi tinggi dan implementasi yang mudah.



Gambar 2.6. Kapasitor

Energi dari sel baterai dengan nilai SOC tertinggi ditransfer ke sel baterai dengan nilai SOC terendah secara langsung. Proses penyeimbangan selesai ketika semua sel memiliki perbedaan SOC lebih kecil dari ambang batas. Kecepatan

penyeimbangan dari metode ini akan sangat cepat jika hanya dua sel yang memiliki perbedaan SOC yang besar tidak peduli di mana posisi kedua sel ini. Tetapi waktu penyeimbangannya akan lebih lama jika ada variasi SOC di antara semua sel karena hanya dua sel dapat diseimbangkan selama satu siklus penyeimbangan.

2.6.1.1 Penyeimbang Aktif Dengan Satu Kapasitor

Penyeimbang aktif dengan menggunakan satu kapasitor merupakan salah satu metode dari penyeimbang aktif baterai. Metode penyeimbangan *single-switch capacitor* dapat mengoptimalkan kinerjanya dengan strategi algoritma kontrol yang lebih fleksibel serta efisien dan karena konstruksi yang sederhana membuat penyeimbang dengan satu kapasitor lebih murah dibandingkan dengan konstruksi yang lain. SOC dari setiap sel dihitung dan dipantau. Jika perbedaan SOC maksimum di antara semua sel lebih besar dari ambang batas, proses penyeimbangan akan diaktifkan.

2.6.2 MOSFET

MOSFET merupakan salah satu jenis saklar semikonduktor yang sering digunakan karena memiliki karakteristik kecepatan penyaklaran yang paling tinggi apabila dibandingkan dengan tipe-tipe *control switch* lainnya. Berbeda dengan transistor yang dikendalikan oleh arus, MOSFET adalah saklar yang dikendalikan oleh tegangan. Mosfet pada rangkaian penyeimbang baterai berfungsi sebagai saklar ketika proses penyeimbangan baterai. MOSFET akan menjadi ON atau OFF sesuai dengan yang diatur pada frekuensi dan *duty cycle* nya.



Gambar 2.7. MOSFET

2.7. *State of Charge*

State of Charge (SOC) didefinisikan sebagai persentase nilai kapasitas baterai yang tersisa. SOC menggambarkan energi yang tersedia dan dituliskan dalam presentase sesuai beberapa referensi, terkadang dianggap nilai kapasitas dari baterai. Akurasi pengukuran SoC mempunyai aspek penting dalam perancangan *Battery Management System*. Pengukuran SOC secara tepat dapat menghindarkan baterai dari kondisi *overcharge* dan *undercharge*.

2.8. **Matlab Simulink**

Matlab merupakan *software* pemrograman yang berbasis matriks sehingga umumnya digunakan untuk menganalisis data, membuat algoritma dan menciptakan pemodelan dan aplikasi. *Simulink* sendiri merupakan salah satu komponen dari Matlab yang berguna untuk pemodelan dan analisa dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis (GUI). Pada penelitian ini menggunakan *Matlab Simulink* sebagai aplikasi untuk membuat pemodelan dan logika kontrol dari rangkaian penyeimbang baterai dan menjalankan simulasi untuk

membuat baterai yang awalnya tidak seimbang menjadi seimbang. Kelebihan dari Matlab Simulink sendiri yaitu *library* pemodelan yang lengkap dan visualisasi data dari model yang dibuat mudah dipahami.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pada tugas akhir ini dilakukan pada bulan Februari 2022 hingga Agustus 2022 yang bertempat di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik (STL) Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan						
		Feb 2022	Mar 2022	Apr 2022	Mei 2022	Juni 2022	Juli 2022	Agustus 2022
1	Studi Literatur	■	■	■				
2	Penulisan Proposal		■	■				
3	Pembuatan Rangkaian				■	■	■	
4	Pengujian Rangkaian				■	■	■	
5	Pengambilan data					■	■	
6	Analisa dan Pembahasan						■	■
7	Penulisan Laporan						■	■

3.2. Alat dan Bahan

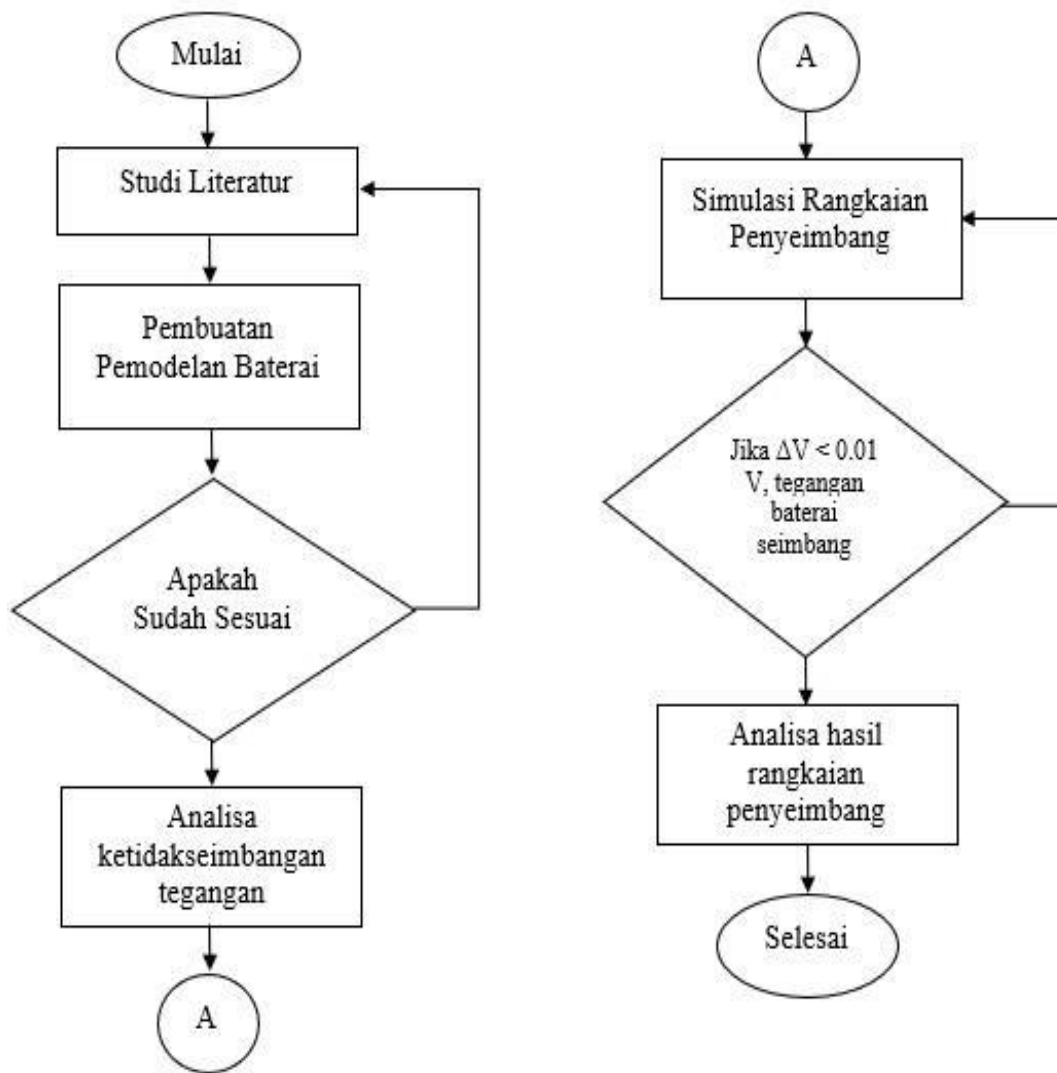
Adapun alat dan bahan yang digunakan pada proses penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Satu unit laptop ASUS X441UA *Intel Core I3-6006U*.
- b. Aplikasi *Matlab Simulink*.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan mengkonsep atau merancang sistem yang akan dibuat, setelah mendapat ide kemudian ke tahap berikutnya yaitu studi literatur dimana pengumpulan bahan seperti, jurnal, artikel, buku dan lainnya digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Selanjutnya melakukan perancangan rangkaian yang akan disimulasikan, apabila pengujian tidak sesuai dengan yang diharapkan maka kembali ke tahap perancangan rangkaian dan apabila telah sesuai maka dilanjutkan ke tahap pengambilan data. Setelah dilakukan pengambilan data, dilanjutkan dengan tahapan analisa dan pembahasan pada data yang telah didapat dan di akhiri dengan penulisan laporan akhir.

Adapun diagram alir penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

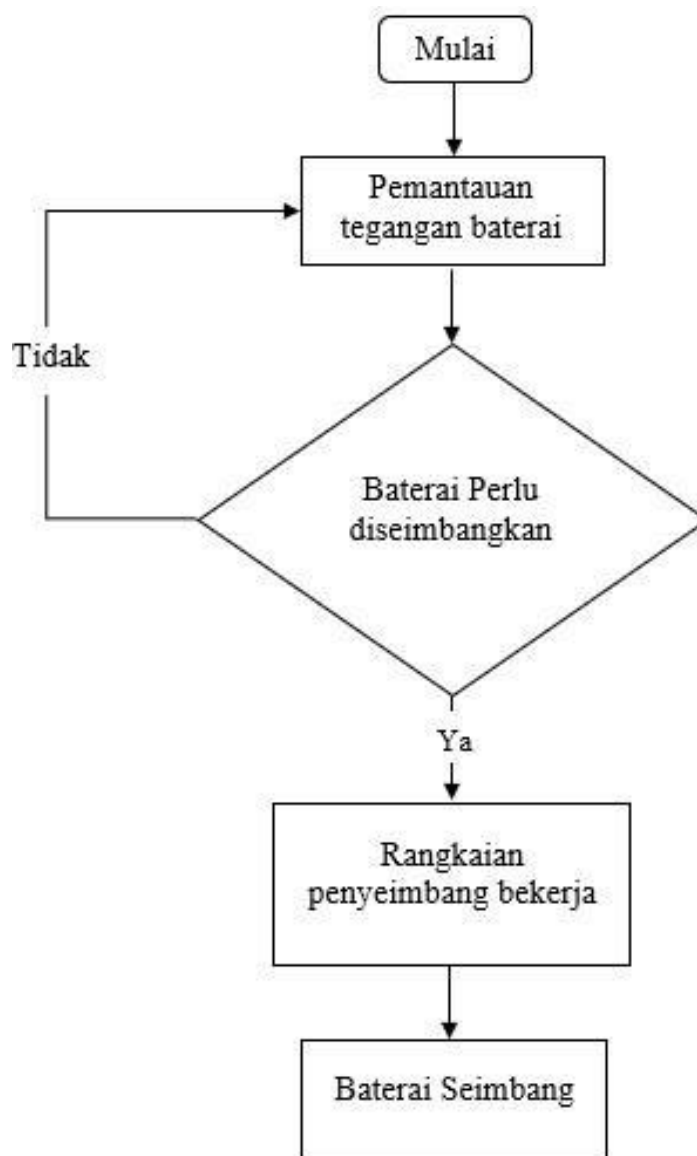


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Perancangan Model

Berdasarkan diagram alir gambar 3.1 perancangan model simulasi diawali dengan inisialisasi sistem dimana semua komponen yang digunakan pada perancangan ini diberi nama atau inisial untuk pengenalan terhadap simulasi yang dibuat. Pada simulasi ini menggunakan penyeimbang aktif satu kapasitor.

Adapun perancangan model prototipe pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Perancangan Model

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Baterai yang tidak seimbang diakibatkan perbedaan dari nilai *state of charge* pada setiap baterai. Pada baterai CGR18650AF memiliki perbedaan nilai *state of charge* 98 %, 96 %, 94 % dan 92 % serta perbedaan tegangan baterai sebesar 0.17 V. Sistem penyeimbang baterai dengan menggunakan *single storage device* ketika menjalankan simulasi penyeimbangan pertama yaitu tanpa dihubungkan dengan beban dan sumber pengisian membutuhkan waktu 12113.845 detik. Kemudian ketika dihubungkan dengan arus beban bervariasi 0.5 A, 0.10 A, 0.15 A dan 0.20 A proses penyeimbangan membutuhkan waktu 18147.242 detik, 11161.586 detik, 7580.21 detik dan 5712.32 detik. Pada simulasi penyeimbang baterai dengan menambahkan sumber arus beban dengan variasi arus yang sama memiliki waktu 11065.328 detik, 9352.392 detik, 7639.318 detik dan 6404.959 detik. Perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan baterai tergantung pada selisih atau perbedaan tegangan antar sel baterai. Semakin besar perbedaan tegangan baterai maka semakin lama proses penyeimbangannya.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan terdapat saran untuk penelitian selanjutnya yaitu untuk dapat membuat *prototype* alat dari penyeimbang baterai dengan satu kapasitor untuk membuktikan keakuratan dari simulasi yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. N. Hilal,” Rancang Bangun *Battery Management System Active Balancing* Pada Baterai *Li-Ion* 12V 2,5Ah”, Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia. 2020.
- [2] W. Shing-Lih, C. Hung-Cheng. C. Chih-Hsuan, “A *Novel Active Cell Balancing Circuit and Charging Strategy in Lithium Battery Pack*”, MDPI *Energies Journal*. 2019.
- [3] J. Bowen, “*Active Cell Balancing Algorithms in Lithium-ion Battery*”, Department of Electrical Engineering. Chalmers University of Technology. 2020.
- [4] Nivya, Kuzhivila P. Deepa, K, “*Active Cell Balancing For a 2S Lithium-ion Battery Pack Using Flyback Converter and Push Pull Converter*”, Department of Electrical and Electronics Engineering. Amrita School of Engineering. 2020.
- [5] Khaeruddin, Wijono, Hasanah, N. Rini, “Desain Penyeimbang Sel Baterai Lithium-ion Dengan Teknik *Cell-to-Cell Charging Mode* Pada *Battery Management System (BMS)*”, Jurusan Teknik Elektro. Universitas Brawijaya Malang. 2021.
- [6] L. Youngchul, J. Seonwoo, L. Hongyeob. B. Sungwoo, “*Comparison on Cell Balancing Methods For Energy Storage Applications*”, Department of Electrical Engineering. Yeungnam University. 2016.
- [7] Ren, Hongbin. Zhao, Yuzhuang. Chen, Sizhong. Wang, Taipeng, “*Design and Implementation Of a Battery Management System With Active Charge*

Balance Based On The SOC and SOH Online Estimation”, School of Mechanical Engineering. Beijing Institute Of Technology. 2018.

[8] Wu, Sen-Tung. Chang, Yong-Nong. Chang, Chih-Yuan. Cheng, Yu-Ting, “*A Fast Charging Balancing Circuit for LifePO4 Battery*”, Department of Electrical Engineering. National Formosa University. 2019.

[9] H. S, "Overview of Cell Balancing Methods For Li-ion Battery Technology," p. 16, 2020.

[10] W. S, Darus. S. Heri, Soedibyo, “*Desain dan Implementasi Penyeimbang Baterai Lithium Polymer Berbasis Dual Inductor*”, JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2016.

[11] M. Daowd, M. Antoine, N. Omar, P. van den Bossche, and J. van Mierlo, “*Single Switched Capacitor Battery Balancing System Enhancements*,” *Energies*, vol. 6, no. 4, pp. 2149–2174, Apr. 2013, doi: 10.3390/en6042149.

[12] J. Carter, Z. Fan, J. Cao, “*Cell Equalisation Circuits: A Review*,” *Journal of Power Source*, p. 3, 2020.

[13] M. Nasution, “*Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpanan Energi Listrik Secara Spesifik*,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 6, no. 1, p. 35, 2021.

[14] V. Sulzer , S. G. Marquis, R. Timms, M. Robinson, S. J. Chapman, “*Python Battery Mathematical Modelling*,” *Journal Open Research Software*, pp. 1-7, 2021.

[15] Y. Rahmawati, Sujito, “*Pembangkit Listrik Tenaga Surya*”, Malang: UNM, 2019.