



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Sistem Penyeimbang Baterai Dengan *Single Storage Device* Untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) OFF GRID

A Adrian S^{a,*}, L Hakim^b, A Yudamson^c, H Gusmedi^d

^{a,b,c,d}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima tgl/bln/tahun

Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:

Penyeimbang Baterai

Lithium-ion

Kapasitor

ABSTRAK

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 maka akan semakin cepat waktu penyeimbangan sel baterai.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dunia di masa sekarang yang semakin meningkat 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 bergantung pada energi minyak bumi, batu bara dan gas alam.

Sumber energi alternatif pengganti sumber energi fosil yang ketersediaannya semakin menipis di alam semakin banyak digunakan. PLTS contohnya hadir sebagai energi baru terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi utama karena sumber yang berasal dari sinar matahari yang tidak pernah habis. Pembangkit Listrik Tenaga Surya terbagi menjadi tiga jenis berdasarkan konfigurasiya yaitu: PLTS *Off-Grid*, *On-Grid* dan *Hybrid* (Rahmawati dkk, 2019). Pada PLTS *off-grid* baterai merupakan komponen yang sangat penting karena berperan sebagai penyimpanan energi yang digunakan untuk menyimpan kelebihan

* A Adrian S.

E-mail: ahmadadm0@gmail.com

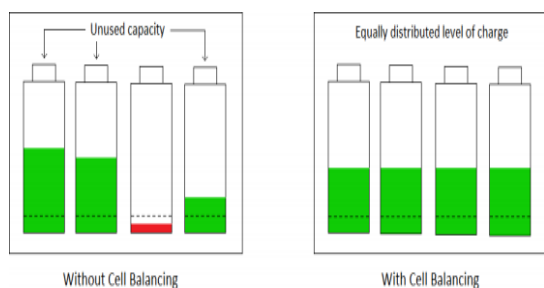
daya ketika beban rendah dan dapat mensuplai daya bersama daya keluaran panel surya ketika kebutuhan daya beban tinggi.

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. Baterai memiliki prinsip kerja yaitu pada saat proses *charging* dan *discharging*. Pada saat *charging* 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.

Pada saat *discharging* sel baterai dihubungkan dengan beban maka elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda. (Nasution, 2021).

Baterai Lithium-ion dipilih sebagai media penyimpanan energi karena memiliki fitur energi dan kerapatan daya yang tinggi, durasi hidup yang panjang dan ramah lingkungan (M Nurul H.B, 2021).



Gambar 1. Baterai Tidak Seimbang dan Baterai Seimbang

Kondisi sel baterai yang tidak seimbang disebabkan karena adanya perbedaan tegangan antara sel dalam satu *battery-pack* (Andrea, 2010). 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 (Reynaud, J.F. dkk, 2010) (Nivya dkk, 2020).

Penelitian ini menggunakan penyeimbang aktif berbasis kapasitor sebagai komponen penyimpanan sementara dari energi baterai. Kapasitor adalah komponen listrik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik dalam bentuk medan elektrostatis (Youngchul dkk, 2020). 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:

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c} \quad (1)$$

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.

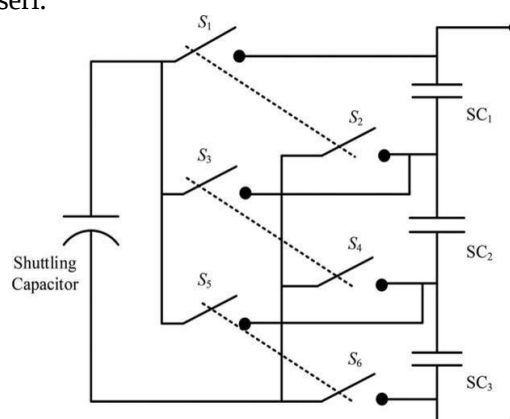
2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Alat dan bahan penelitian ini menggunakan satu unit laptop Asus X441UA Intel Core I3-6006U dan software Matlab Simulink.

2.2. Prosedur percobaan

Penelitian ini menggunakan baterai Li-ion CGR18650 AF dengan kapasitas 2.05 Ah yang disusun secara seri.



Gambar 2. Rangkaian Penyeimbang Baterai Satu Kapasitor

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa sel baterai disusun secara seri dan dihubungkan dengan satu kapasitor dengan mosfet sebagai saklar yang menghubungkan baterai dan kapasitor pada rangkaian penyeimbang. Pada baterai CGR 18650 AF yang memiliki hambatan internal sebesar 0.02 Ohm dan pada

kapasitor sebesar 2200 μF memiliki nilai ESR atau *Equivalent Series Resistance* sebesar 0.14 Ω , maka nilai frekuensi dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$f = \frac{1}{2\pi(ESR + IR)C} \quad (2)$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai frekuensi 452 Hz. Logika kontrol pada penyeimbang baterai ini berfungsi untuk mengatur *switching* saat proses penyeimbangan baterai..

Tabel 1. Karakteristik Baterai Li-ion CGR18650 AF

Parameter	Value
Capacity	2.05 Ah
Voltage	4.2 V
Charging Voltage	3.3 V
Charging Current	1.365 mA (max) 100 mA (min)
Discharging Voltage	3 V
Discharging Current	1.95 mA

2.3. Analisis

Penyeimbangan baterai penelitian ini menggunakan *Matlab Simulink* dengan kondisi *charging* dan *discharging*.

2.2.1 Simulasi Penyeimbangan saat Pengisian

Simulasi penyeimbangan baterai saat kondisi pengisian ini baterai akan diisi dengan arus pengisian bervariasi. Hal ini untuk mengetahui karakteristik dan perilaku dari baterai saat arus pengisian berbeda. Nilai arus pengisian ini mulai dari 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A dan 0.2 A. Nilai *State of Charge* pada baterai juga berbeda untuk mengasumsikan bahwa baterai dalam keadaan tidak seimbang. Baterai Satu hingga baterai Empat memiliki nilai *State of Charge* berturut-turut 88%, 86%, 84% dan 82%.

2.2.2 Simulasi Penyeimbangan saat Pengosongan

Simulasi penyeimbangan baterai saat kondisi pengosongan ini baterai dihubungkan dengan arus pengosongan bervariasi. Hal ini untuk mengetahui karakteristik dan perilaku dari baterai saat arus pengosongan berbeda. Nilai arus pengosongan ini mulai dari 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A dan 0.2 A. Nilai *State of Charge* pada baterai juga berbeda untuk mengasumsikan bahwa baterai dalam keadaan tidak seimbang. Baterai Satu hingga baterai Empat memiliki nilai *State of Charge* berturut-turut 98%, 96%, 94% dan 92%.

3. Hasil dan pembahasan

Perancangan rangkaian penyeimbang baterai dengan *single storage device* menggunakan *Matlab Simulink* dapat dilihat pada Gambar 3. Empat sel baterai disusun secara seri dengan sumber arus yang nilai nya bervariasi sesuai dengan prosedur percobaan.

Nilai *state of charge* dari baterai dibuat berbeda untuk mengasumsikan bahwa kondisi baterai tidak seimbang. Saat pengisian baterai dengan masing-masing nilai dari *state of charge* yaitu 88%, 86%, 84% dan 82% dengan selisih tegangan masing-masing sel baterai 0.064 V. Pada saat pengosongan baterai nilai *State of Charge* baterai berturut-turut 98%, 96%, 94% dan 92% dengan selisih tegangan masing-masing sel baterai 0.168 V.

3.1 Simulasi Penyeimbangan saat Pengisian

Berdasarkan simulasi rangkaian penyeimbang baterai kondisi *charging* atau pengisian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *charging* 0.05 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	88	97.6	3.916	4.14	18147.242
2	Batt 2	86	97.6	3.891	4.14	18147.242
3	Batt 3	84	97.3	3.870	4.13	18147.242
4	Batt 4	82	97.3	3.852	4.13	18147.242

Tabel 3. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *charging* 0.1 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	88	97.6	3.916	4.25	11161.586
2	Batt 2	86	97.6	3.891	4.25	11161.586
3	Batt 3	84	97.3	3.870	4.24	11161.586
4	Batt 4	82	97.3	3.852	4.25	11161.586

Tabel 4. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *charging* 0.15 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	88	97.6	3.916	4.266	7580.210
2	Batt 2	86	97.6	3.891	4.266	7580.210
3	Batt 3	84	97.3	3.870	4.255	7580.210
4	Batt 4	82	97.3	3.852	4.266	7580.210

Tabel 5. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *charging* 0.2 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	88	97.6	3.916	4.27	5712.320
2	Batt 2	86	97.6	3.891	4.27	5712.320
3	Batt 3	84	97.3	3.870	4.267	5712.320
4	Batt 4	82	97.3	3.852	4.27	5712.320

Berdasarkan Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 yaitu hasil simulasi menunjukkan rangkaian penyeimbang baterai dalam kondisi *charging* bekerja sampai baterai seimbang ketika selisih tegangan masing-masing sel baterai 0.01 V. Waktu penyeimbangan baterai berbanding lurus dengan nilai arus pengisian. Semakin besar arus pengisian maka waktu penyeimbangan baterai akan semakin cepat.

3.2 Simulasi Penyeimbangan saat Pengosongan

Berdasarkan simulasi rangkaian penyeimbang baterai kondisi *charging* atau pengisian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *discharging* 0.05 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	98	87.4	4.15	3.9	11065.328
2	Batt 2	96	87.5	4.08	3.9	11065.328
3	Batt 3	94	86.59	4.02	3.89	11065.328
4	Batt 4	92	86.73	3.98	3.89	11065.328

Tabel 7. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *discharging* 0.05 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	98	87.4	4.15	3.9	11065.328
2	Batt 2	96	87.5	4.08	3.9	11065.328
3	Batt 3	94	86.59	4.02	3.89	11065.328
4	Batt 4	92	86.73	3.98	3.89	11065.328

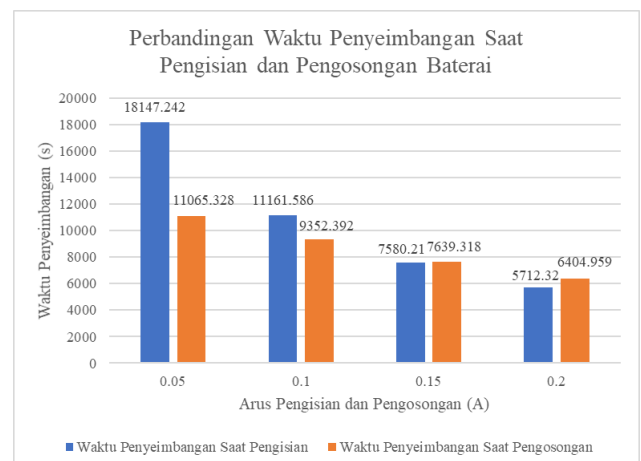
Tabel 8. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *discharging* 0.05 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	98	87.4	4.15	3.9	9325.329
2	Batt 2	96	87.5	4.08	3.9	9325.329
3	Batt 3	94	86.59	4.02	3.89	9325.329
4	Batt 4	92	86.73	3.98	3.89	9325.329

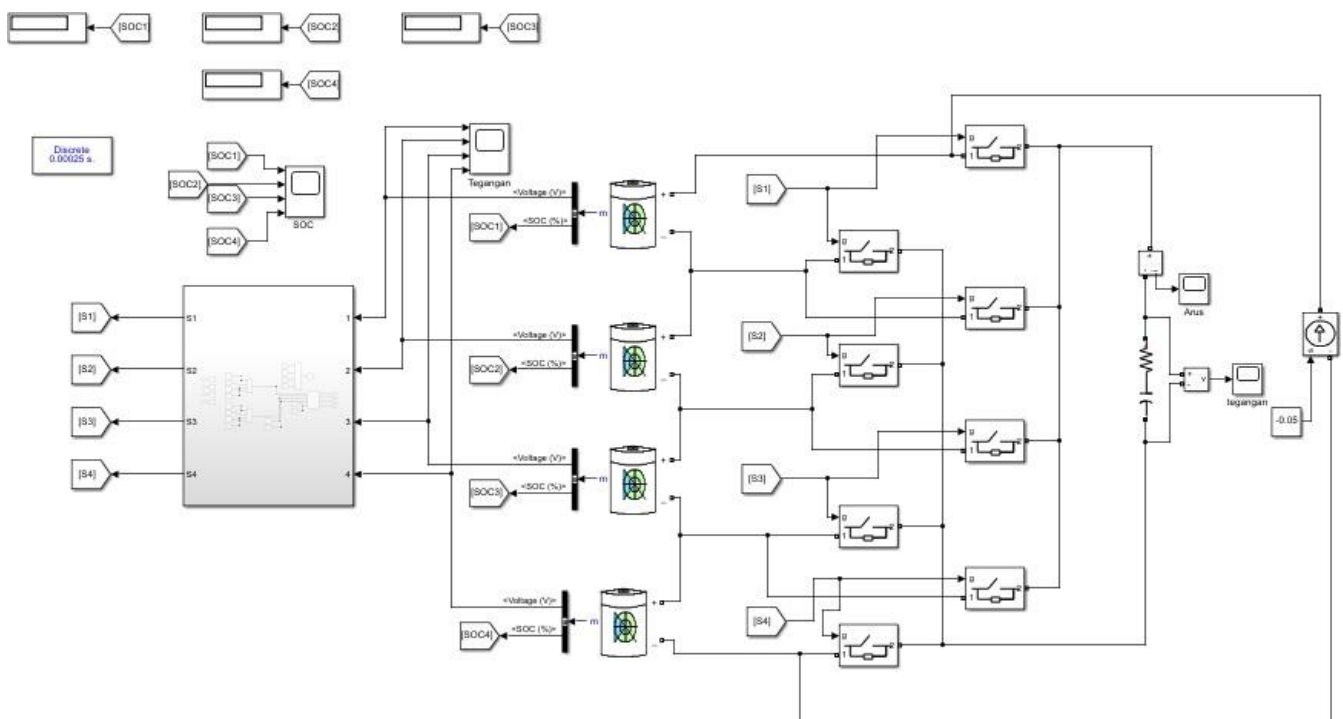
Tabel 9. Hasil Simulasi Penyeimbangan saat Arus *discharging* 0.05 A

No	Baterai	SoC (%)		Tegangan (V)		Waktu Simulasi (s)
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Batt 1	98	79.74	4.15	3.82	7639.318
2	Batt 2	96	79.86	4.08	3.83	7639.318
3	Batt 3	94	78.05	4.02	3.81	7639.318
4	Batt 4	92	78.21	3.98	3.82	7639.318

Berdasarkan Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 yaitu hasil simulasi menunjukkan rangkaian penyeimbang baterai dalam kondisi *charging* bekerja sampai baterai seimbang ketika selisih tegangan masing-masing sel baterai 0.01 V.

**Gambar 3.** Grafik Perbandingan Penyeimbangan Baterai saat Pengisian dan Pengosongan

Setelah dilakukan analisa dari simulasi penyeimbangan baterai terdapat perbedaan waktu berdasarkan nilai arus pengisian dan pengosongan baterai serta perbedaan selisih tegangan antar sel baterai. Semakin besar nilai selisih tegangan pada masing-masing sel baterai maka semakin lama waktu penyeimbangan baterai, sebaliknya apabila nilai selisih tegangan pada masing-masing sel baterai maka akan semakin cepat waktu penyeimbangannya.



Gambar 4. Rangkaian Penyeimbang Baterai Dengan Single Switch Capacitor Pada Matlab Simulink

4. Kesimpulan

Baterai yang tidak seimbang diakibatkan perbedaan dari nilai *state of charge* pada setiap baterai. Pada baterai CGR18650AF memiliki perbedaan nilai *state of charge* serta perbedaan tegangan baterai sebesar. Sistem penyeimbang baterai dengan menggunakan *single storage device* ketika menjalankan simulasi penyeimbangan dengan kondisi *charging* dan *discharging*. Nilai arus sumber pengisian ataupun pengosongan berpengaruh berbanding lurus terhadap waktu penyeimbangan. Ketika nilai arus semakin besar maka waktu penyeimbangan akan semakin cepat. Apabila nilai arus sumber kecil maka waktu penyeimbangan akan semakin lama. Selisih tegangan pada masing-masing sel baterai berpengaruh berbanding

terbalik terhadap waktu penyeimbangan. Semakin kecil nilai selisih tegangan sel baterai akan semakin cepat waktu penyeimbangan. Ketika selisih tegangan besar waktu penyeimbangan akan semakin lama.

Daftar Pustaka

- Khaeruddin, Wijono, Hasanah, N. Rini. (2021) Desain Penyeimbang Sel Baterai Lithium-ion Dengan Teknik Cell-to-Cell Charging Mode Pada Battery Management System (BMS), Jurusan Teknik Elektro. Universitas Brawijaya Malang.
- M. Nasution, (2021) Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpanan Energi Listrik Secara Spesifik, *Journal of Electrical Technology*, vol. 6, no. 1, p. 35.

- L. N. Hilal. (2020) Rancang Bangun *Battery Management System Active Balancing* Pada Baterai Li-Ion 12V 2,5Ah, Fakultas Teknologi Industri.
- J. Bowen. (2020) Active Cell Balancing Algorithms in Lithium-ion Battery”, Department of Electrical Engineering. Chalmers University of Technology.
- Nivya, Kuzhivila P. Deepa, K. (2020) 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.
- W. Shing-Lih, C. Hung-Cheng. C. Chih-Hsuan. (2019) A Novel Active Cell Balancing Circuit and Charging Strategy in Lithium Battery Pack, MDPI Energies Journal.
- Y. Rahmawati, Sujito. (2019) Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Malang: UNM.
- R, Hongbin. Z, Yuzhuang. C, Sizhong. W, Taipeng. (2018) 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.
- W. S, Darus. S. Heri, Soedibyo. (2016) Desain dan Implementasi Penyeimbang Baterai Lithium Polymer Berbasis Dual Inductor, JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2.
- L. Youngchul, J. Seonwoo, L. Hongyeob. B. Sungwoo. (2016) Comparison on Cell Balancing Methods For Energy Storage Applications, Department of Electrical Engineering. Yeungnam University.
- M. Daowd, M. Antoine, N. Omar, P. van den Bossche, and J. van Mierlo. (2013) Single Switched Capacitor Battery Balancing System Enhancements, Energies, vol. 6, no. 4, pp. 2149–2174, Apr. doi: 10.3390/en6042149.
- Reynaud, J.F., Carrejo, C.E, Gantet, O., Aloisi, P., Estibals, B., & Alonso, C. (2010). Active Balancing circuit for advanced Lithium-ion batteries used in photovoltaic application. International Conference on Renewable Energies and power Quality, ICREPQ'11, Las palmas de gran canaria, Spanyol, 13-15 April 2010, doi:10.24084/REPQJ09.682
- Andrea, D. (2010). Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Artech House