



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Multiple Storage Device Pada Rangkaian Penyeimbang Baterai Untuk Aplikasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) *Off Grid*

S Azis¹, L Hakim², A Yudamson³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Jl. Prof Sumantri Brojonegoro No 1, Kota Bandar Lampung, Lampung

¹syariful.azis1018@students.unila.ac.id

²lukmanul.hakim@eng.unila.ac.id

³afri.yudamson@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima tgl/bln/tahun

Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:

Lithium-ion

Penyeimbang Aktif

Paralel

Berjenjang Ganda

Delta

Lithium-ion telah banyak digunakan dalam berbagai berbagai bidang, seperti Mobil Listrik dan Penyimpanan Energi. Pada Energi Terbarukan memerlukan Penyimpanan Energi sebagai cadangan energi ketika pembangkit menghasilkan daya yang kecil atau bahkan tidak menghasilkan daya listrik sama sekali. Baterai disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan kapasitas yang diinginkan. Keseimbangan sel-sel yang disusun seri diperlukan untuk menghindari pengisian yang berlebihan atau pengosongan yang berlebihan serta meningkatkan jumlah energi yang dapat digunakan. Penyeimbang aktif mengirimkan muatan dari baterai yang memiliki energi terbesar ke baterai yang energinya lebih rendah. Penelitian ini menggunakan MATLAB Simulink untuk mensimulasikan rangkaian penyeimbang dengan baterai CGR18650AF sebagai model baterai. Pada penyeimbang aktif berbasis kapasitor tersusun delta memiliki kinerja rangkaian penyeimbang aktif yang paling cepat sedangkan penyeimbang berbasis kapasitor tersusun paralel adalah rangkaian yang paling lambat. Rangkaian penyeimbang dapat bekerja ketika pengisian maupun ketika pengosongan. Ketika arus pengosongan dan pengisian semakin besar maka waktu penyeimbangan sel baterai akan semakin cepat.

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini memiliki kebijakan Pembangunan Rendah Karbon Indonesia & *Net-Zero Emission* Menuju Ekonomi Hijau untuk mengurangi berbagai dampak perubahan iklim bagi pembangunan. Beberapa kebijakan pembangunan rendah karbon untuk mendukung *Net-Zero Emission* pada bidang energi diantaranya penurunan intensitas energi, energi terbarukan, dan transisi ke kendaraan listrik (Kementrian PPN/Bappenas, 2021). Indonesia memiliki

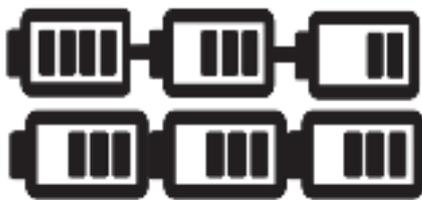
potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang cukup besar, yakni mencapai 207.898 Megawatt (MW), namun sejauh ini baru dimanfaatkan sebesar 78 Mega Watt (MW) (IESR, 2017).

PLTS merupakan energi terbarukan yang terus berlanjut dan ramah lingkungan. Instalasi PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*Off-Grid PV Plant*) atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*Stand Alone*) dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (*On-Grid PV Plant*) atau lebih dikenal

dengan sebutan PLTS *Grid-Connected*. *Off-grid* adalah sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai salah satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. *Off grid* bersifat mandiri yang menggunakan baterai sebagai media penyimpanan atau *Energy Storage System* (Kementerian Federal Jerman untuk Kerja sama Ekonomi dan Pembangunan, 2020).

Sel baterai akan dikombinasikan dengan hubungan seri dan paralel untuk mencapai kapasitas dan tegangan terminal yang diperlukan. Tantangan utama dari penggunaan baterai *lithium ion* atau *lead acid* adalah pengisian daya yang berlebihan (*Overcharging*) akan mempersingkat masa pakai baterai dan pengisian daya pada baterai yang telah terisi berlebih dapat menjadi permasalahan yang serius dan berbahaya (N, Yadav, & CK, 2020).

Melihat dari permasalahan tersebut maka diperlukan pengukuran tegangan baterai sebagai bagian dari manajemen baterai sangat penting untuk baterai karena perlunya pengawasan energi yang tersisa pada baterai, mengidentifikasi sel yang rusak, dan menyeimbangkan sel yang tersusun seri. *State of Charge* atau SOC merupakan tingkat pengisian baterai listrik relatif terhadap kapasitasnya. *State of Charge* atau disebut juga SoC harus selalu dipantau dan kondisi pengisian berlebihan harus dihindari dalam kondisi apapun. Pada baterai *lithium-ion* tegangan sel secara tidak langsung menunjukkan nilai SoC sel baterai (N, Yadav, & CK, 2020).



Gambar 1. Baterai tidak seimbang dan Baterai Seimbang

Kondisi sel baterai yang tidak seimbang dapat menyebabkan kerusakan lebih dini pada sel tersebut. Ketidakseimbangan dapat menciptakan ruangan kosong dalam sel-sel baterai pak. Teknik penyeimbangan ada dua, penyeimbang pasif dan penyeimbang aktif. Penyeimbang pasif bekerja dengan cara mengambil muatan dari sel yang mempunyai SOC paling banyak dan ditransfer ke sel yang memiliki SOC paling sedikit. Cara ini menimbulkan efek panas pada baterai, sifat dari teknik ini energi 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 yang muatan energinya paling sedikit, sehingga muatan energi pada sel yang ada didalam baterai pak persis sama

sifat dari teknik ini energi teralirkan antara sel, sehingga kondisi antar sel seimbang dan tidak menghasilkan panas. (Khaeruddin, Wijono, & Hasanah, 2021)

Ide utama penyeimbangan aktif adalah dengan menggunakan komponen penyimpan energi, seperti kapasitor, induktor, atau transformator, untuk menyimpan muatan dari sel yang memiliki SOC yang tinggi dan mentransfernya ke sel dengan SOC yang lebih rendah. Penyeimbangan aktif memiliki keuntungan yang dapat memanfaatkan energi baterai jauh lebih besar, tetapi akan membutuhkan konfigurasi dan algoritma kontrol yang lebih kompleks (Carter, Fan, & Cao, 2020).

Penyeimbangan aktif berbasis kapasitor menggunakan kapasitor sebagai komponen penyimpan energi, yang biasanya tersusun secara paralel dengan sel. Penyeimbang aktif kapasitor-*switched* merupakan yang pertama dikembangkan, yang memiliki lebih sedikit kapasitor dan algoritma kontrol yang mudah, namun memerlukan waktu balancing yang cukup lama terutama ketika lebih banyak sel yang terhubung secara seri. Untuk menambah kecepatan balancing dikembangkan beberapa rangkaian seperti Penyeimbang kapasitor berjenjang ganda, penyeimbang kapasitor tersusun paralel, dan penyeimbang kapasitor struktur delta (Jiang, 2020)

Storage Device atau perangkat penyimpanan merupakan penyimpanan sementara yang digunakan sebagai media penyimpanan ketika rangkaian penyeimbang bekerja. Pada penelitian ini menggunakan kapasitor sebagai perangkat penyimpanan. *Multiple* mengarah ke jumlah kapasitor yang lebih dari satu yang digunakan agar waktu penyeimbangan lebih cepat.

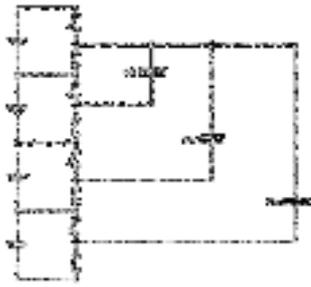
2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

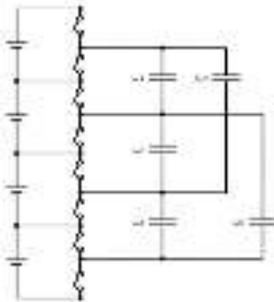
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Laptop HP 240 G7, Perangkat Lunak MATLAB Simulink, dan Data baterai Lithium ion CGR18650 AF.

2.2. Prosedur percobaan

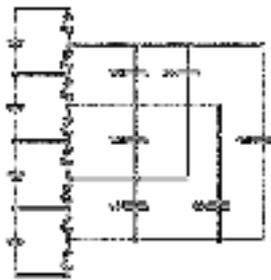
Pada penelitian ini menggunakan tiga jenis rangkaian penyeimbang aktif berbasis kapasitor, yaitu Rangkaian penyeimbang aktif tersusun Paralel, Rangkaian penyeimbang aktif berjenjang ganda, dan Rangkaian penyeimbang aktif tersusun delta.



Gambar 2. Rangkaian Penyeimbang Aktif Tersusun Paralel



Gambar 3. Rangkaian Penyeimbang Aktif Berjenjang Ganda



Gambar 4. Rangkaian Penyeimbang Aktif Tersusun Delta

Penentuan waktu *Switching* ditentukan berdasarkan *RC Time Constant*. Nilai dari kapasitor yang digunakan sebesar 2200 uF, resistansi internal baterai sebesar 0.02 Ω, dan ESR dari kapasitor sebesar 0.14 Ω, maka berdasarkan persamaan di bawah didapatkan nilai frekuensi sebesar 452 Hz.

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

2.3. Analisis

Simulasi yang dilakukan pada penelitian dilakukan dalam beberapa kondisi untuk mengamati kinerja dari rangkaian penyeimbang aktif berbasis kapasitor. Kondisi tersebut diantaranya sebagai berikut:

2.3.1. Kondisi offline

Kondisi ini merupakan kondisi ketika baterai tidak terhubung ke sumber pengisian maupun ke beban, pada kondisi ini diatur dua posisi baterai yang berbeda. Pada posisi pertama baterai disusun berdasarkan SOC tertinggi yaitu 98%, 96%, 94%, dan 92%. Pada posisi

kedua posisinya tidak berurutan yaitu 94%, 98%, 92%, dan 96%.

2.3.2. Kondisi terhubung ke sumber pengisian

Pada kondisi pengisian ini baterai disusun secara berurutan dengan posisi 88%, 86%, 84%, dan 82%. Pengisian dilakukan dengan arus konstan yang bervariasi sebesar 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, dan 0.2 A.

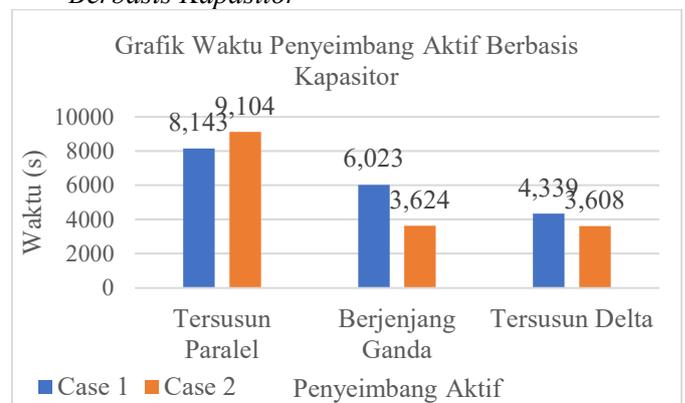
2.3.3. Kondisi terhubung ke beban

Pada kondisi pengisian ini baterai disusun secara berurutan dengan posisi 98%, 96%, 94%, dan 92%. Pengisian dilakukan dengan arus konstan yang bervariasi sebesar 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, dan 0.2 A.

3. Hasil dan pembahasan

Rangkaian penyeimbang aktif berbasis kapasitor disimulasikan dengan menggunakan Matlab Simulink. Baterai pada simulasi ini disusun secara seri dengan SoC baterai yang berbeda. Ketika kondisi *offline* perbedaan tegangan pada awal simulasi sebesar 0.162 V dan di akhir simulasi atau ketika rangkaian telah bekerja selisih tegangan dapat mencapai 0.01 V atau berada dibawah batas ketidakseimbangan tegangan baterai. Rangkaian penyeimbang ini juga diamati ketika kondisi baterai pengisian maupun pengosongan sehingga kita dapat mengetahui perilaku baterai ketika pengosongan maupun pengisian. Ketika kondisi awal pengisian perbedaan tegangan baterai sebesar 0.061 V dan di akhir simulasi atau ketika rangkaian telah bekerja selisih tegangan dapat mencapai 0.01 V atau berada dibawah batas ketidakseimbangan tegangan baterai. Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

3.1. Perbandingan Rangkaian Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor



Gambar 5. Grafik Perbandingan Waktu Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor

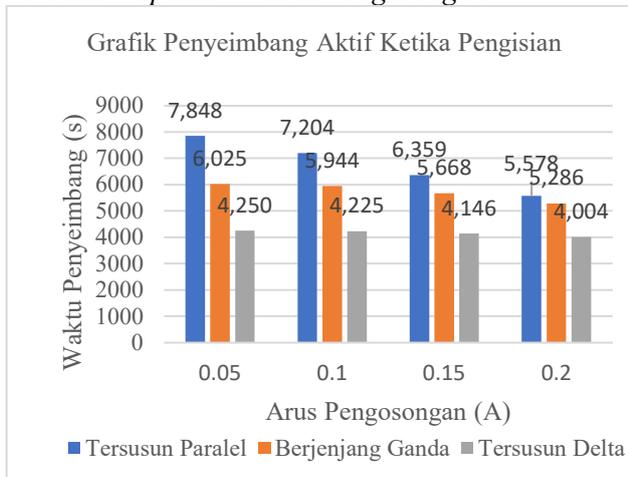
Gambar 5 menunjukkan perbandingan kinerja lama waktu penyeimbangan tegangan baterai pada rangkaian

Multiple Storage Device. Berdasarkan grafik diatas membandingkan kinerja rangkaian dengan dua penempatan posisi baterai yang tidak seimbang. Pada kasus pertama baterai tidak seimbang secara berurutan mulai dari 98%, 96%, 94%, dan 92%. Kinerja terbaik rangkaian penyeimbang yang digunakan adalah pada rangkaian penyeimbang aktif berbasis kapasitor tersusun delta. Hal ini karena rangkaian penyeimbang aktif tersusun delta menyeimbangkan tegangan baterai dengan lebih cepat. Sedangkan untuk rangkaian penyeimbang paralel paling lambat dibandingkan dengan rangkaian yang lainnya.

Pada kasus kedua susunan baterai diubah menjadi 94%, 98%, 92%, dan 96%. Kinerja terbaik rangkaian penyeimbang yang digunakan adalah pada rangkaian penyeimbang aktif berbasis kapasitor tersusun delta. Sedangkan pada rangkaian penyeimbang kapasitor tersusun paralel merupakan rangkaian yang paling lambat dalam menyeimbangkan tegangan baterai. Pada rangkaian delta dapat menyeimbangkan tegangan baterai lebih cepat karena pada rangkaian delta dapat menyeimbangkan baterai pada posisi manapun karena setiap sel baterai terhubung dengan kapasitor sebagai penyeimbang. Sedangkan pada rangkaian tersusun paralel hanya sel baterai pertama yang terhubung langsung dengan baterai lainnya melalui satu kapasitor, sedangkan baterai yang lainnya harus melalui dua kapasitor untuk menyeimbangkan tegangan.

Posisi ketidakseimbangan baterai menentukan kecepatan waktu penyeimbangan baterai. Pada penelitian ini membandingkan perbedaan posisi baterai yang tidak seimbang. Dari hasil penelitian ini posisi baterai menentukan kecepatan penyeimbangan baterai.

3.2. Perbandingan Rangkaian Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor Ketika Pengosongan

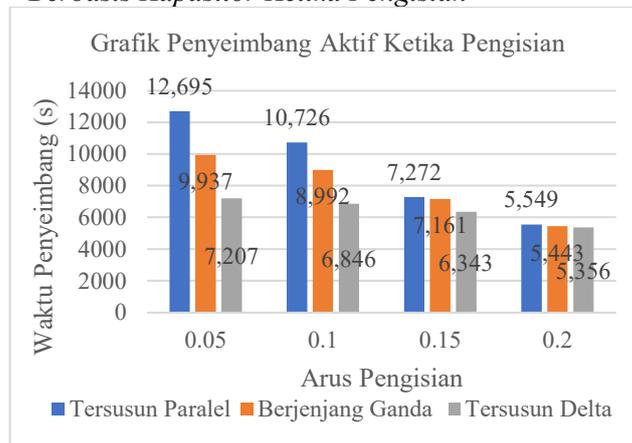


Gambar 6. Grafik Perbandingan Waktu Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor ketika pengisian

Gambar 6 menunjukkan kinerja rangkaian penyeimbang ketika pengosongan. Pengosongan dilakukan dengan menggunakan sumber arus yang diatur sebagai beban sehingga dapat melakukan pengosongan dengan arus yang tetap. Pengosongan dilakukan dengan arus yang berbeda-beda yaitu 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, dan 0.2 A. Berdasarkan grafik diatas, pada setiap arus pengosongan rangkaian penyeimbang yang paling cepat melakukan penyeimbangan tegangan baterai adalah rangkaian delta, sedangkan rangkaian yang paling lambat adalah rangkaian paralel.

Berdasarkan arus pengosongan semakin besar arus pengosongan maka semakin cepat rangkaian penyeimbang dalam menyeimbangkan tegangan baterai. Hal ini dikarenakan kurva pengosongan baterai yang tidak linear, sehingga saat semakin besar arus pengosongan akan menyebabkan selisih tegangan akan semakin kecil.

3.3. Perbandingan Rangkaian Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor Ketika Pengisian



Gambar 7. Grafik Perbandingan Waktu Penyeimbang Aktif Berbasis Kapasitor ketika pengosongan

Gambar 4.68 menunjukkan kinerja rangkaian penyeimbang ketika pengisian. Pengosongan dilakukan dengan menggunakan sumber arus konstan sehingga dapat melakukan pengisian dengan arus yang tetap. Pengisian dilakukan dengan arus yang berbeda-beda yaitu 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, dan 0.2 A. Berdasarkan grafik diatas, pada setiap arus pengisian rangkaian penyeimbang yang paling cepat melakukan penyeimbangan tegangan baterai adalah rangkaian delta, sedangkan rangkaian yang paling lambat adalah rangkaian paralel. Sedangkan berdasarkan arus peisian semakin besar arus pengisian maka semakin cepat rangkaian penyeimbang dalam menyeimbangkan tegangan baterai.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini menggunakan baterai CGR18650 AF sebagai model baterai. Baterai disusun secara seri sebanyak empat buah baterai dengan perbedaan SOC maksimum sebesar 6 % dengan perbedaan tegangan 0.162 V. Pada penyeimbang aktif berbasis kapasitor tersusun delta memiliki kinerja rangkaian penyeimbang aktif yang paling cepat sedangkan penyeimbang berbasis kapasitor tersusun paralel adalah rangkaian yang paling lambat. Rangkaian penyeimbang dapat bekerja ketika pengisian maupun ketika pengosongan. Ketika arus pengosongan dan pengisian semakin besar maka waktu penyeimbangan sel baterai akan semakin cepat.

Daftar Pustaka

- Carter, J., Fan, Z., & Cao, J. (2020). Cell Equalisation Circuits: A Review. *Journal of Power Source*, 3.
- IESR. (2017). Potensi energi terbarukan apa saja yang dimiliki oleh Indonesia? In *Energi Terbarukan: Energi Untuk Kini dan Nanti* (p. 4). Jakarta Selatan: IESR.
- Jiang, B. (2020). Active Cell Balancing Algorithms in Lithium Ion Battery. *Chalmers University of Technology*, 12.
- Kementerian Federal Jerman untuk Kerja sama Ekonomi dan Pembangunan. (2020). *Design and Control of PV Hybrid System in Practice*. Jakarta: GIZ.
- Kementrian PPN/Bappenas. (2021). Pembangunan Rendah Karbon Indonesia & Net Zero Emission Menuju EKonomi Hijau. *Pertumbuhan Rendah Karbon yang Berkualitas dan Peluang Indonesia untuk Mencapai Netral Karbon Sebelum 2070*.
- Khaeruddin, Wijono, & Hasanah, R. N. (2021). Desain Penyeimbangan Sel Baterai Lithium ion dengan teknik cell to cell charging mode pada baterai management system. *Jurnal Ecotipe*, 8, 9-15.
- N, G., Yadav, G., & CK, G. (2020). Analysis and implementation of inductor based active battery cell balancing topology. *PEDES*.