

TEKNIK EKUALISASI BERBASIS KONVERTER DC-DC BIDIRECTIONAL UNTUK BATERAI TERHUBUNG SERI

Siti Aisyah¹, Heri Suryoatmojo², Dedet Candra Riawan³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹aisyah4592@gmail.com

Abstrak

Baterai adalah salah satu elemen penting dalam sebuah sistem kelistrikan. Pada sistem *smartgrid* baterai berfungsi sebagai media penyimpanan sementara sedangkan pada kendaraan listrik baterai berfungsi sebagai sumber energi utama. Dalam hal ini baterai yang digunakan terdiri dari beberapa baterai yang dihubungkan secara seri. Perbedaan teknik manufaktur, komposisi kimiawi, lingkungan, dan sejarah pengoperasian mengakibatkan karakteristik pada masing-masing baterai berbeda. Proses charging dan discharging akan mengakibatkan jurang perbedaan karakteristik pada masing-masing baterai semakin lebar yang berujung pada perbedaan tegangan saat *discharge* puncak. Perbedaan ini bisa berakibat pada berkurangnya umur baterai hingga berujung pada kerusakan pada baterai. Dengan menerapkan teknik ekualisasi aktif pada rangkaian baterai dapat mengatasi masalah ini. Pada penelitian ini diterapkan teknik ekualisasi aktif menggunakan bidirectional converter agar tegangan keluaran dan SOC pada masing-masing baterai sama.

Kata kunci : ekualisasi baterai, SOC, konverter *bi-directional*

1. Pendahuluan

Bidang Transportasi dan bidang industri adalah beberapa sektor yang berkembang pesat dan mendapat perhatian besar dalam bidang konversi energi. Dalam bidang ini baterai memiliki peranan penting sebagai sumber energi utama dan elemen penyimpanan sementara. Pada aplikasinya baterai yang digunakan disusun secara seri maupun paralel untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan.

Perlakuan manufaktur, kondisi lingkungan serta siklus charging dan discharging baterai yang berbeda mengakibatkan tegangan keluaran pada masing-masing baterai berbeda yang biasa disebut sebagai tegangan *imbalance*. Saat proses sebuah pack baterai seri sedang charging, masing-masing baterai memiliki perbedaan sehingga ketika salah satu baterai sudah dalam kondisi penuh namun baterai yang lainnya masih perlu *charging*. Hal tersebut dapat mengakibatkan *overcharge* dan *undercharge*. Situasi ini dapat mengakibatkan umur baterai cepat berkurang dan mempengaruhi kemampuan kapasitas dari baterai.

Berbagai macam metode telah dikembangkan untuk mengatasi tegangan imbalance pada sistem dengan baterai terhubung seri. Teknik *charging* dan *discharging* dapat digunakan untuk penyeimbangan tegangan serta *state of charge* (SOC) masing-masing baterai menjadi setara.

Adapun beberapa topologi penyeimbangan tegangan baterai yang telah dilakukan oleh Zhi-Guo

K (2006), M. Daowd, N. Omar, Peter Van Den Bossche dan Joeri Van Mierlo (2011) meliputi *active charge equalization* dan *passive charge equalization*. *Active charge equalization* menghilangkan kelebihan muatan sela baterai yang tersisa penuh melalui komponen pasif, yaitu resistor. Sel dengan SOC yang lebih tinggi akan memberikan sebagian daya yang dimiliki kepada sel dengan SOC yang lebih rendah. Hal ini akan berlangsung terus hingga SOC seluruh baterai sama. Pada *passive charge equalization* memindahkan daya dari sel baterai dari baterai dengan SOC yang lebih tinggi menuju SOC yang lebih rendah melalui kapasitor dan induktor. Teknik penyeimbangan sel menggunakan konverter DC/DC memiliki banyak kelebihan. Konverter *bi-directional* lebih fleksibel dalam transmisi energi dibandingkan dengan *unidirectional*.

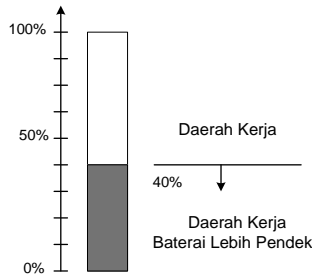
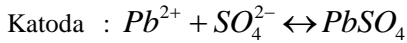
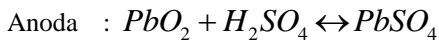
Pada penelitian ini akan didesain sebuah teknik ekualisasi dengan menggunakan *active charge equalization* berbasis topologi DC/DC yang telah dimodifikasi. Pada metode ini MOSFET dikendalikan oleh pemantauan tegangan dengan menggunakan sensor tegangan agar memastikan masing-masing baterai memiliki tegangan keluaran yang sama.

2. Rancangan Sistem Ekualisasi

2.1 Estimasi SOC

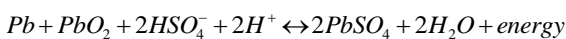
Baterai *lead-acid* banyak digunakan untuk industri dan komersial karena harga murah, *self-discharge rate* rendah, dan *discharge rate* tinggi untuk menyuplai kebutuhan arus yang besar. Selain itu, baterai *lead-acid* memiliki 80% *depth of*

discharge (DOD) sehingga sesuai digunakan untuk aplikasi EV. Reaksi elektromekanik dari baterai *lead-acid* adalah :



Gambar 1. SOC Secara Umum

Reaksi keseluruhan:



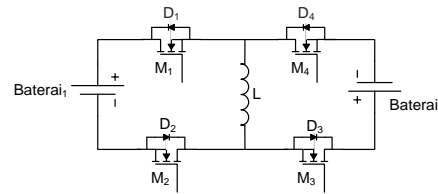
Reaksi dari arah kiri ke kanan menunjukkan reaksi *discharge* dan dari kanan ke kiri adalah reaksi *charging*.

State of charge (SOC) adalah salah satu bagian penting dalam transfer energi menggunakan baterai. SOC bermanfaat untuk menentukan kapasitas yang masih tersedia pada baterai karena SOC merepresentasikan presentase dari *rating* rkaapasitas baterai. Selain itu, SOC dapat berfungsi sebagai indikator berapa jumlah energi yang dapat disalurkan sebelum dilakukan *charging* ulang. Gambar 1. adalah contoh sebuah penunjuk SOC pada baterai. BMS harus dapat mengukur SOC masing-masing baterai agar semua baterai memiliki distribusi SOC yang seragam. Pada umumnya, SOC direpresentasikan sebagai prosentase dari kapasitas *rating* baterai bukan dari kapasitas baterai terakhir *charging*. Kapasitas *rating* baterai berbeda dengan kapasitas baterai terakhir *charging* karena faktor umur dan kondisi lingkungan baterai.

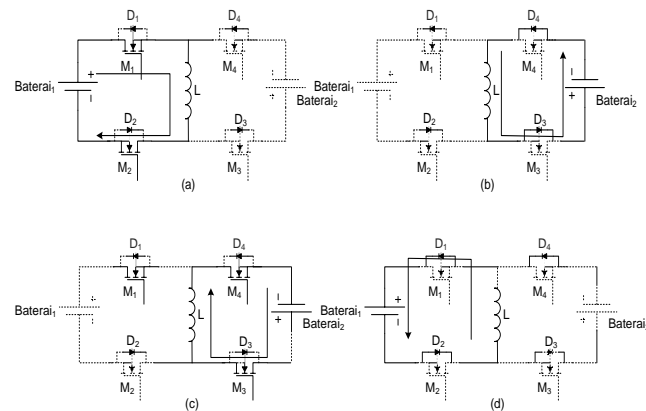
2.2 Charge Equalization

Gambar 2 menunjukkan penyaluran energi dari Baterai₁ menuju Baterai₂. MOSFET M₁ dan M₂ menyala untuk menyalurkan energi dari Baterai₁ ke inductor L. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) Ketika MOSFET M₁ dan M₂ mati maka terjadi transfer energi dari inductor menuju Baterai₂ melalui diode yang mengalami kondisi *forward bias*. Sama halnya ketika transfer energi dari Baterai₂ menuju Baterai₁ M₃ dan M₄ akan menyala pada kondisi awal untuk menyalurkan energi dari Baterai₂ menuju media penyimpanan sementara

yaitu inductor. Pada kondisi selanjutnya transfer energi akan dilakukan melalui diode D₃ dan D₄ a dari inductor menuju Baterai₁



Gambar 2. Tranfer Energi secara *bidirectional* antara dua baterai



Gambar 3. (a) Baterai1 discharging (b) Baterai2 charging (c) Baterai2 discharging (d) Baterai1 charging

2.3 Pemodelan Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Lead-Acid*. Rangkaian ekuivalen dari baterai ditunjukkan pada Gambar 3.3. Tahanan dalam R_i dan tegangan rangkaian terbuka V_{oc} merupakan ekspresi diskrit dari proses kimia yang kompleks, dan diketahui merupakan fungsi dari *state of charge* (SOC). R_b merupakan tahanan Ohmic yang terdapat pada terminal dan V_{Bat} adalah tegangan terminal baterai.

Dari Gambar 3, dapat dibuat model matematis dari baterai adalah :

$$V_{Bat} = V_{oc} - (R_b + R_i)I_{Bat} \tag{1}$$

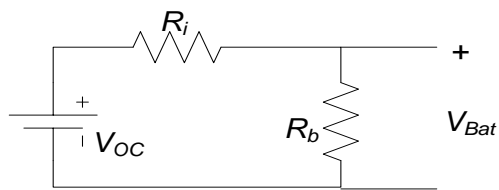
dengan I_{Bat} adalah arus yang mengalir dari baterai. Daya yang diberikan baterai dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$P_{Bat} = V_{Bat} \cdot I_{Bat} \tag{2}$$

Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), maka dapat diperoleh suatu persamaan baru :

$$I_{Bat} = \frac{V_{oc} \pm \sqrt{V_{oc}^2 - 4(R_i + R_b)P_{Bat}}}{2(R_i + R_b)} \tag{5}$$

yang digunakan untuk mengetahui besarnya arus yang dapat disimpan dan disuplai baterai ke sebuah sistem.

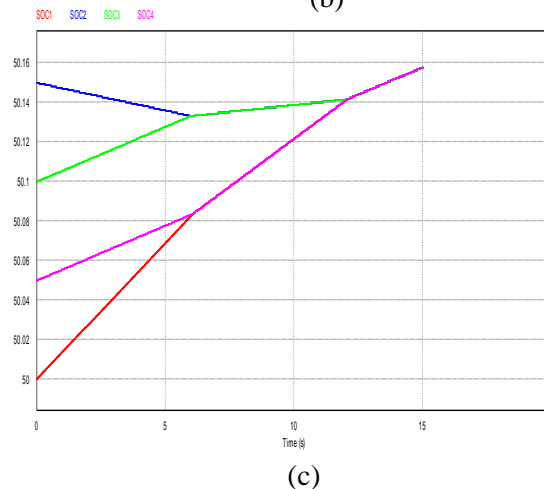
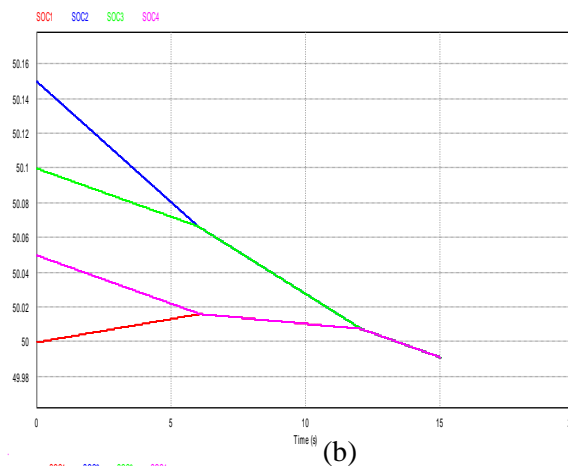
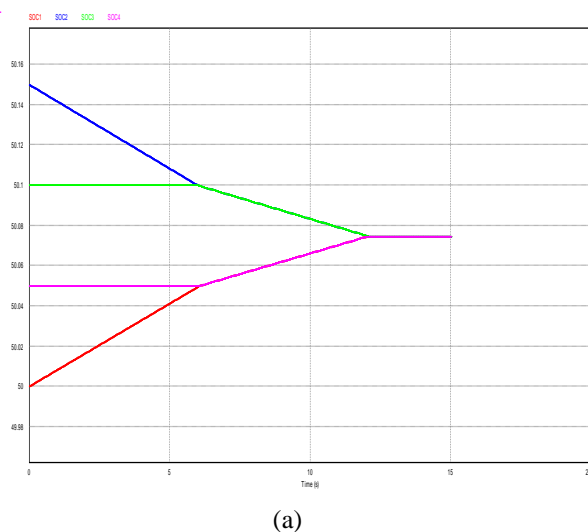


Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Baterai oleh Danixcar F (2013)

3. Hasil dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan menggunakan 3 kondisi yang berbeda, yaitu dalam kondisi idle, charging dan discharging. Simulasi akan menggunakan empat baterai yang memiliki SOC masing-masing sebesar 50.15%, 50.1% 50.05% dan baterai dengan SOC terkecil sebesar 50%. Dari gambar 4(a). terlihat bahwa terjadi ekualisasi, baterai dengan SOC yang lebih rendah mendapatkan energi dari baterai dengan SOC yang lebih tinggi. Hal ini akan berlangsung terus menerus hingga masing-masing baterai memiliki SOC yang sama.

Pada saat kondisi charging terjadi peningkatan SOC pada masing-masing baterai dengan tetap akan menyamakan SOC pada masing-masing baterai. Gambar 4(b) menunjukkan ekualisasi SOC pada masing-masing baterai saat kondisi charging. Begitu pula yang terjadi saat kondisi discharging. Semua baterai akan menyamakan SOC hingga semua sama dengan cara transfer muatan melalui induktor.



Gambar 4(a). Kondisi *Idle*. 4 (b). Kondisi *Charging* (c). Kondisi *Discharging*

4. Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan terlihat bahwa topologi pada gambar 2 dapat melakukan ekualisasi baik dalam kondisi idle, charging maupun discharging. Sistem ini dapat membantu mengoperasikan baterai sesuai dengan batas sehingga umur baterai dapat dijaga. Keunggulan dari sistem ini adalah dapat dilakukan dalam beberapa kondisi terutama pada kondisi idle yang pada umumnya tidak dapat dilakukan oleh sistem yang lain.

Daftar Pustaka:

Sriram Yarlagadda, Tom T. Hartley, Iqbal Husain, “A Battery Management System Using an Active Charge Equalization Technique Based on a DC/DC Converter Topology”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 49, No. 6, November/December 2013.

K. Zhi-Guo, Z. Chun-Bo, L. Ren-Gui and C. Shu-Kang, “Comparison and Evaluation of Charge Equalization Technique for Series Connected Batteries,” 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1-6, 2006.

- Gottwald, T.; Ye, Z.; Stuart, T. "Equalization of EV and HEV batteries with a ramp converter. Aerospace and Electronic Systems," IEEE Transactions on, Vol.33, Issue: 1, Jan. 1997, pp.307 – 312
- Nasser H. Kutkut, Herman L. N. Wiegman, Deepak M. Divan, and Donald W. Novotny, "Design considerations for charge equalization of an electric vehicle battery system," IEEE Trans. On Industry Applications, vol. 35, No.1.,pp.28-35, Jan 1999.
- Stephen T. Hung, Douglas C. Hopkins, and Charles R. Mosling, "Extension of battery life via charge equalization control," IEEE trans on industrial electronics, vol. 40, No.1, pp.96-104, Feb. 1993.
- Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche, and Joeri Van Mierlo, "Passive and Active Battery Balancing comparison based on MATLAB Simulation", 7th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC'11, 2011.
- C.S. Moo, Y.C. Hsieh, I.S. Tsai, and J.C. Cheng, "Dynamic Charge Equalisation for Series-Connected Batteries", IEEE Proceedings Electric Power Applications, Vol. 150, No. 5, pp.501-505, 2003.
- M. J. Isaacson, R. P. Hollandsworth, P. J. Giampaoli, F. A. Linkowsky, A. Salim, and V. L. Teofilo, "Advanced lithium ion battery charger," in Proc. 15th Annu. IEEE Battery Conf. Appl. Adv., Jan. 2000, pp. 193–198.
- Shane Duryea, Syed Islam, William Lawrence, "A Battery Management System for Stand-Alone Photovoltaic Energy Systems", IEEE Industrial Magazine. May/June.2001.
- R.E,Habiballah, Ojha Unnati, Baronti Federico, M.Y Chow, "Battery Management System – An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electrical Vehicles". IEEE Industrial Magazines, June. 2013
- Fahmi, Daniar,"Desain Sistem Dual Inputs SEPIC – Bidirectional Converter Menggunakan Fuzzy Logic Controller untuk Manajemen Daya Pembangkit Hibrida Photovoltaic / Battery pada Area Terpencil", Thesis Book, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2013.