

DESAIN DAN SIMULASI PENGISIAN BATERAI DENGAN SOLAR CELL DENGAN METODE MULTI LOOP

Kadelianto Ramba

Program Studi Teknik Elektro Universitas Panca Budi Medan, Indonesia

Korespondensi penulis: kadelianto@gmail.com

Abstract. *In this study, discusses the power control strategy in a standalone photovoltaic-battery hybrid system. The life-time of the battery will be shorter if the battery is often charged with high current and exceeds its State-of-Charge (SoC) The proposed system uses two dc-dc converters to connect photovoltaic (PV) and lead-acid batteries to the load. The unidirectional DC-DC converter is used as the interface between the PV and the DC bus, the bidirectional DC-DC converter is used as the interface between the battery and the DC bus. The control strategy plays a role in controlling the power flow between the converter and the load to maintain the balance of power in the system and controlling the battery to support PV when the available PV power is not enough to meet the load. The multi-loop control strategy is proposed in this study, one of the loops is used to maintain the SoC of the battery in order to control the PV output power to avoid over-charging. Another loop is used to ensure the balance of the system's power when the battery is charging at its maximum charge current. The proposed control system is implemented without requiring any conditions for the control to operate. The simulation results show that the proposed multi-loop control can control the power flow in the system while maintaining the maximum charging current and battery SoC limits.*

Keywords: Solar Cell, Multi-loop.

Abstrak. Pada penelitian ini dilakukan strategi kontrol daya pada sistem hibrid photovoltaic-baterai yang berdiri sendiri (standalone). Masa pakai (life-time) baterai akan semakin pendek jika baterai sering diisi dengan arus tinggi dan melebihi kapasitasnya (State-of-Charge (SoC)). Sistem yang diusulkan menggunakan dua buah konverter dc-dc untuk menghubungkan photovoltaic (PV) dan baterai lead-acid ke beban. Konverter DC-DC searah (unidirectional) digunakan sebagai antarmuka antara PV dan bus DC, sedangkan konverter DC-DC dua arah (bidirectional) digunakan sebagai antarmuka antara baterai dan bus DC. Strategi kontrol berperan mengendalikan aliran daya antara konverter dan beban untuk menjaga keseimbangan daya dalam sistem dan mengendalikan baterai untuk mendukung PV ketika daya PV yang tersedia tidak cukup untuk memenuhi beban. Strategi kontrol multi-loop digunakan pada penelitian ini, salah satu loop digunakan untuk menjaga SoC baterai dalam rangka mengendalikan daya keluaran

Received April 07, 2022; Revised Mei 2, 2022; Juni 22, 2022

* Kadelianto Ramba, kadelianto@gmail.com

PV untuk menghindari pengisian berlebihan (over-charging). Loop yang lain digunakan untuk memastikan keseimbangan daya sistem saat baterai sedang diisi pada batas maksimal arus pengisiannya. Sistem kontrol yang diusulkan, diimplementasikan tanpa memerlukan syarat kondisi apapun agar kontrol tersebut dapat beroperasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol multi-loop yang diusulkan dapat mengendalikan aliran daya pada sistem dengan tetap menjaga batas maksimal arus pengisian dan SoC baterai.

Kata kunci: Sel Surya, Multi-loop.

1. PENDAHULUAN

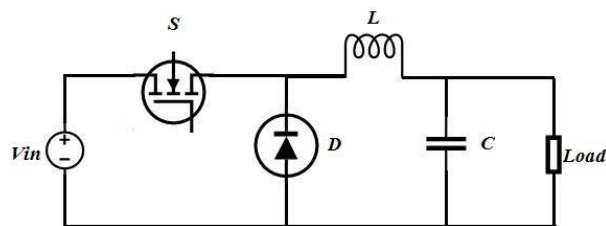
Baterai Lead Acid sering digunakan pada sistem panel surya karena bebas perawatan, relatif murah, mampu discharging hingga 80% dari kapasitasnya (deep discharging), dan memiliki tingkat bahaya yang sedikit dibandingkan dengan jenis lainnya. Akan tetapi, baterai Lead Acid juga memiliki kelemahan yaitu masa pakai (life-time) yang pendek dibandingkan dengan baterai Lithium-Ion. Life-time baterai akan semakin pendek jika baterai sering diisi dengan arus tinggi dan melebihi kapasitasnya. Oleh karena itu, diperlukan metode kontrol untuk menjaga aliran daya pada bus DC dan arus pengisian serta State-of-Charge (SoC) baterai agar baterai memiliki life-time yang panjang.

Referensi [4] mengusulkan strategi kontrol sistem hibrid PV-baterai dengan menjaga arus maksimal saat pengisian dan SoC baterai tanpa memerlukan syarat kondisi diskrit, akan tetapi dengan metode yang diusulkan menimbulkan deviasi tegangan pada jaringan bus DC sebesar 5%. Manajemen daya pada sistem hibrid PV-baterai dengan menggunakan tiga buah konverter. Akan tetapi, manajemen daya yang diusulkan, membutuhkan kontrol loop yang sangat kompleks dan pada penelitian tersebut tidak mengendalikan arus maksimal saat pengisian baterai dan tanpa mempertimbangkan batasan maksimal SoC baterai.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan strategi kontrol multi-loop pada sistem hibrid PV-baterai yang mencakup pembatasan arus charging dan kapasitas (SoC) baterai. Masing-masing kontrol konverter DC-DC menggunakan kontrol bertingkat dua loop berbasis kendali Proporsional dan Integral (PI). PI adalah sebuah kendali konvensional yang sederhana sehingga mudah diimplementasikan. Selain itu, pada sistem kendali dengan plant konverter, kendali PI memiliki efisiensi lebih baik dibandingkan dengan kendali Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID). Strategi kontrol yang diusulkan dapat

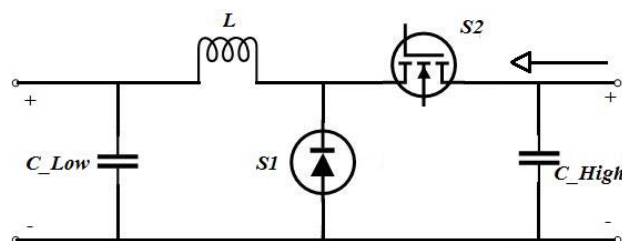
menjaga tegangan bus DC serta menjaga arus maksimal pengisian dan SoC baterai tanpa memerlukan syarat kondisi agar kontrol tersebut dapat beroperasi. Sistem PV sebesar 200 W_{peak} digunakan pada penelitian ini untuk menunjukkan kinerja sistem.

Buck converter merupakan jenis konverter DC-DC *step down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC. Konverter ini digunakan untuk mendapatkan tegangan DC yang lebih rendah daripada masukannya [12]. Rangkaian buck converter diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Buck Converter

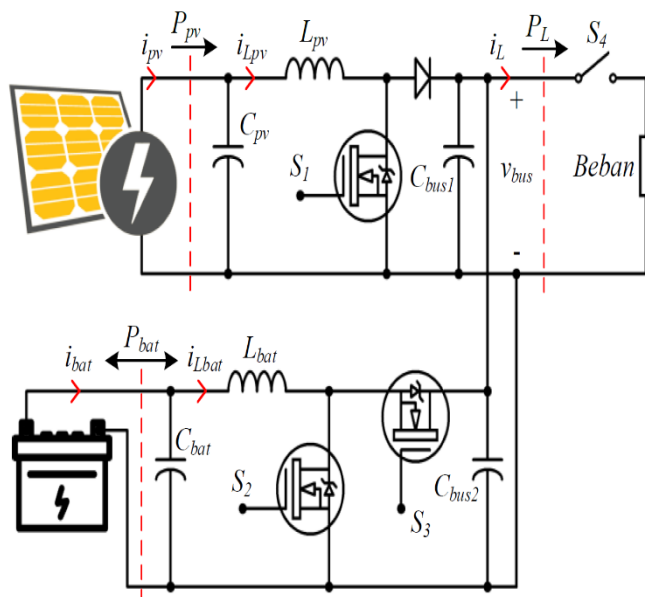
Buck converter beroperasi dalam dua kondisi, yaitu ketika saklar tertutup dan ketika saklar terbuka. Pada saat saklar tertutup, diode berada dalam kondisi reverse-biased, saklar mengalirkan arus dari sumber tegangan menuju induktor, kemudian melalui kapasitor dan beban, lalu kembali ke sumber. Pada saat saklar terbuka, diode berada dalam kondisi forward-biased, arus yang tersimpan pada induktor mengalir ke beban, kemudian menuju diode freewheeling, lalu kembali ke induktor [12]. Agar buck converter dapat bekerja pada kondisi mode konduksi kontinu (Continuous Conduction Mode/CCM), nilai induktor dipilih lebih besar daripada nilai induktor minimal ($L > L_{min}$).



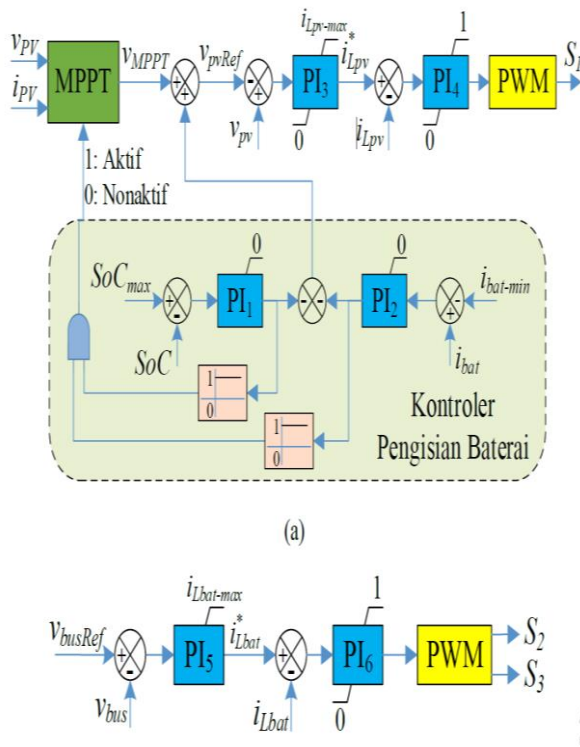
Gambar 2. Bidirectional DC-DC Converter Mode Buck

2. METODE PENELITIAN

Dalam perancangan suatu sistem, dibutuhkan suatu blok diagram yang dapat menerangkan sistem secara keseluruhan, di bawah ini adalah blok diagram sistem pengukuran kecepatan arus sungai digital. Penelitian ini mengusulkan sistem hibrid PV-baterai dengan topologi dua konverter yang beroperasi secara independen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan bus DC v_{bus} dikendalikan oleh konverter DC-DC bidirectional, yang mana konverter tersebut terhubung ke baterai. Berdasarkan konfigurasi pemasangan konverter bidirectional, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, tegangan nominal baterai harus lebih rendah dari pada tegangan bus DC. Konverter bidirectional dapat beroperasi pada dua mode, yaitu mode buck (step-down) saat tegangan bus v_{bus} lebih tinggi dari pada tegangan bus referensi v_{busRef} dan mode boost (step-up) saat tegangan bus v_{bus} lebih rendah dari pada tegangan bus referensi v_{busRef} .



Gambar 3 Rangkaian Sistem Hibrid PV Baterai yang Diusulkan



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kontrol yang Diusulkan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

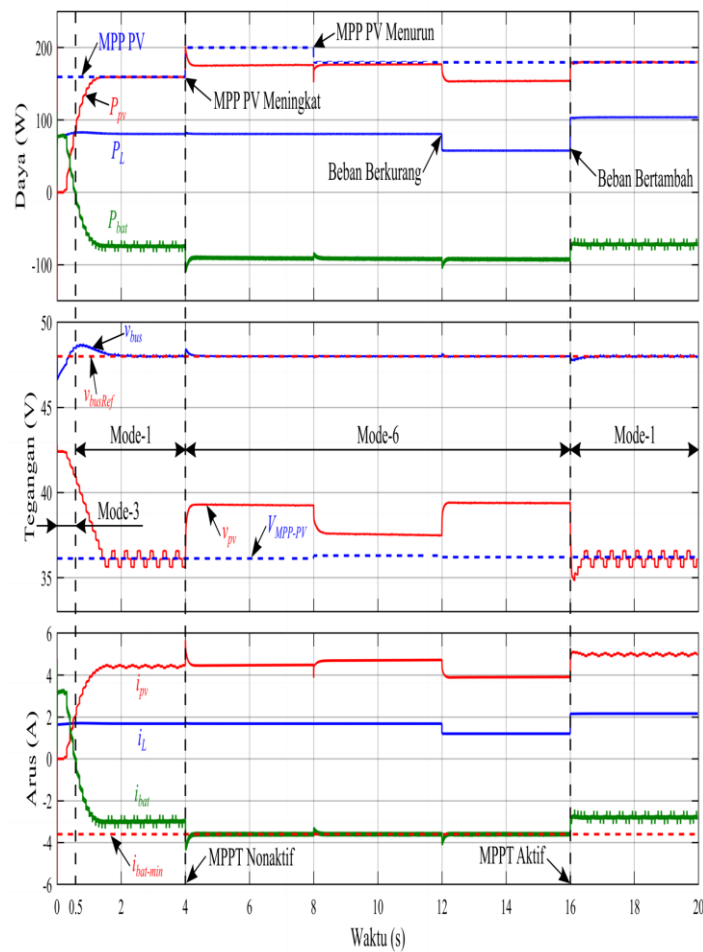
Awal mula saat proses pelacakan MPP berlangsung, konverter PV tidak dapat menyuplai keseluruhan daya yang dibutuhkan beban sehingga sebagian kebutuhan daya beban ditanggung baterai. Ketika proses pelacakan MPP berlangsung, daya PV yang mampu diserap oleh konverter semakin lama akan semakin meningkat hingga melebihi daya beban, maka kelebihan daya beban akan diserap oleh baterai (mode-1). Mode-1 beroperasi mulai dari 0,6 s sampai 5 s, dengan beban bus mulai dari awal sistem berjalan sampai pada 5 s sebesar 20 Ohm. Daya yang diserap beban dan baterai (charging) setelah steady-state saat mode-1 beroperasi adalah sebesar 115,3 W dan -79,82 W dengan arus baterai ibat sebesar -3,19 A. Sinyal negatif pada arus dan daya baterai menunjukkan proses charging baterai, begitu pula sebaliknya menunjukkan proses discharging baterai. Mode-2 terjadi pada detik 5-10, detik ke-5 beban berubah seketika dari 20 Ω menjadi 11,84 Ω , maka kebutuhan daya beban semakin besar dan sama dengan daya yang dikeluarkan oleh konverter PV yaitu 194,6 W sehingga baterai dalam keadaan diam atau arus baterai ibat sama dengan nol. Ketika mode-2 beroperasi, algoritma MPPT masih berjalan dan algoritma MPPT mampu menemukan

daya terbaiknya sebesar 199,9 W. Selisih daya antara masukan dan keluaran konverter PV merupakan hal yang wajar, karena ada rugi-rugi (losses) daya pada konverter.

Detik ke-10 beban berubah lagi dari 11,84 Ω menjadi 9,57 Ω seketika. Oleh karena itu, muncul sinyal transien pada kurva tegangan bus vbus. Sinyal transien akan selalu muncul saat ada fluktuasi beban mendadak, seperti yang terlihat pada pembesaran sinyal respon transien. Ketika daya beban melebihi daya konverter PV, konverter baterai akan menyuplai kekurangan daya tersebut dalam rangka untuk mengendalikan tegangan bus vbus sesuai dengan referensi (setpoint). Daya baterai yang disuntikkan ke beban pada mode-3 setelah steady-state adalah sebesar 45,48 W, sedangkan daya yang diserap beban sebesar 240,7 W.

Iradiasi yang diterima PV berkurang secara perlahan sampai tidak ada lagi iradiasi yang diterima mulai dari detik 15 sampai 16, begitu juga daya keluaran PV. Selama proses berkurangnya daya PV secara perlahan, konverter baterai menyuplai defisit daya pada beban secara perlahan pula. Mode-4 beroperasi saat PV tidak dapat menghasilkan energi lagi, maka total kebutuhan beban akan disuplai baterai. Daya baterai dan beban saat mode-4 adalah 241,9 W dan 240,7 W.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan bus vbus selalu pada posisi tegangan setpoint vbusRef meski beban dan iradiasi matahari berubah-ubah dan algoritma MPPT selalu aktif. Tegangan bus tetap terjaga pada tegangan referensi dikarenakan konverter DC-DC bidirectional mampu mengendalikan aliran daya pada sistem. Baterai melalui konverter DC-DC bidirectional akan menyerap kelebihan daya yang dihasilkan PV saat tegangan bus vbus lebih besar dari pada tegangan referensi vbusRef. Masukan dan keluaran kontrol loop PI5 akan bernilai negatif saat tegangan bus lebih besar dari pada tegangan referensi, maka konverter DC-DC bidirectional akan beroperasi pada mode buck (step-down) atau charging, sehingga tegangan bus tetap terkendali, begitu juga sebaliknya saat tegangan bus vbus lebih kecil dari pada tegangan referensi vbusRef, baterai akan memasok daya ke beban. Temuan yang diperoleh pada penelitian ini saat mode 1-4 beroperasi kurang lebih sama dengan studi yang telah dilakukan sebelumnya pada [4], [8], [9].



Gambar 5. Grafik Sistem Pengaturan Arus Charging

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan pada alat penyiraman taman berbasis solar cell, maka dapat disimpulkan bahwa: Strategi kontrol multi-loop untuk mengendalikan arus pengisian baterai pada sistem hibrid PV standalone telah dibuat dan diuji.

Strategi ini mampu mengontrol konverter daya PV dan konverter daya baterai bidirectional dengan batasan pengoperasian arus charging dan SoC baterai tanpa menimbulkan deviasi pada tegangan bus. Berdasarkan SoC baterai, daya maksimum PV, dan daya beban, operasi sistem telah dikategorikan ke dalam enam skenario operasi untuk mengelola aliran daya sistem dengan lancar dan halus dengan tetap menjaga batas arus charging dan SoC baterai. Hasil simulasi dari sistem 200 W telah disajikan dan memvalidasi strategi pengendalian yang diusulkan dalam kondisi beban dan iradiasi yang berubah-ubah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Mojallizadeh and M. A. Badamchizadeh, "Adaptive PassivityBased Control of a Photovoltaic/Battery Hybrid Power Source via Algebraic Parameter Identification," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 6, no. 2, pp. 532–539, 2016, doi: 10.1109/JPHOTOV.2016.2514715.
- [2] Z. Yi, W. Dong, and A. H. Etemadi, "A unified control and power management scheme for PV-Battery-based hybrid microgrids for both grid-connected and islanded modes," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 6, pp. 5975–5985, 2018, doi: 10.1109/TSG.2017.2700332.
- [3] J. Hong, J. Yin, Y. Liu, J. Peng, and H. Jiang, "Energy Management and Control Strategy of Photovoltaic/Battery Hybrid Distributed Power Generation Systems with an Integrated Three-Port Power Converter," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82838–82847, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2923458.
- [4] H. Mahmood, D. Michaelson, and J. Jiang, "Control strategy for a standalone PV/battery hybrid system," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 3412–3418, 2012, doi: 10.1109/IECON.2012.6389351.
- [5] M. Alramlawi and P. Li, "Design optimization of a residential pv-battery microgrid with a detailed battery lifetime estimation model," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 2, pp. 2020–2030, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.2965894.
- [6] S. Armstrong, M. E. Glavin, and W. G. Hurley, "Comparison of battery charging algorithms for stand alone photovoltaic systems," *PESC Rec. - IEEE Annu. Power Electron. Spec. Conf.*, pp. 1469–1475, 2008, doi: 10.1109/PESC.2008.4592143.
- [7] S. Dhundhara, Y. P. Verma, and A. Williams, "Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in microgrid systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 177, pp. 122–142, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.030>.
- [8] A. Mirzaei, M. Forooghi, A. A. Ghadimi, A. H. Abolmasoumi, and M. R. Riahi, "Design and construction of a charge controller for stand-alone PV/battery hybrid system by using a new control strategy and power management," *Sol. Energy*, vol. 149, pp. 132–144, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.03.046.
- [9] Wen, S. Wang, G. Liu, and R. Liu, "Energy management and coordinated control strategy of PV/HESS AC microgrid during islanded operation," *IEEE Access*, vol. 7, no. c, pp. 4432–4441, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2887114.

- [10] S. Marhraoui, A. Abbou, Z. Cabrane, S. E. Rhaili, and N. El Hichami, "Fuzzy logic-integral backstepping control for PV grid-connected system with energy storage management," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 13, no. 3, pp. 359–372, 2020, doi: 10.22266/IJIES2020.0630.33.
- [11] Y. Yang, Y. Qin, S. C. Tan, and S. Y. R. Hui, "Efficient Improvement of Photovoltaic-Battery Systems in Standalone DC Microgrids Using a Local Hierarchical Control for the Battery System," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 11, pp. 10796–10807, 2019, doi: 10.1109/TPEL.2019.2900147.
- [12] H. Mahmood, D. Michaelson, and J. Jiang, "A power management strategy for PV/battery hybrid systems in Islanded microgrids," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 2, no. 4, pp. 870–882, 2014, doi: 10.1109/JESTPE.2014.2334051.