Desain dan Implementasi *Bidirectional DC-DC Converter* Untuk Penerangan Darurat

Nancy Rahayu¹, Irianto², Eka Prasetyono³

Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya¹

Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya²

Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya³

*nancyrahayu9@gmail.com¹, irianto@pens.ac.id², eka@pens.ac.id³

ABSTRACT

The lighting system is one of the biggest uses of electrical energy. Currently, lighting systems, especially emergency lighting, are urgently needed to deal with sudden blackouts at night. The emergency lighting gets a source of electrical energy from the battery and the battery gets a source of electrical energy from PLN. To regulate the source of electrical energy, a DC-DC converter with a bidirectional method is used. The bidirectional converter is a converter that has 2 functions, namely buck mode and boost mode which works when the main source of PLN goes out, automatically the lighting system will be supplied by the battery as a backup source. The buck mode in the charging process is used to store electrical energy into a battery with a battery capacity of 12V 30Ah. While the boost mode in the discharging process is used to distribute electrical energy from the battery to the load with a lamp load of 10W. The charging and discharging processes are controlled using proportional integral control analytic methods. The charging process in buck mode with a K_p value of 8.62 and K_i of 17240, the output voltage value is 13.99V. While the discharging process in boost mode with a K_p value of 2.44 and K_i of 344.63, the output voltage value is 23.99V.

Keywords : *Bidirectional DC-DC Converter, Charging and Discharging Battery, Emergency Lamp, PI Controller.*

INTISARI

Sistem penerangan merupakan salah satu pemakaian energi listrik yang besar. Saat ini sistem penerangan terutama penerangan darurat sangat dibutuhkan untuk mengatasi kondisi tiba-tiba padam pada malam hari. Penerangan darurat tersebut mendapatkan sumber energi listrik dari baterai dan baterai mendapatkan sumber energi listrik dari PLN. Untuk mengatur sumber energi listrik tersebut maka digunakan suatu konverter DC-DC dengan metode *bidirectional*. *Bidirectional converter* merupakan 1 konverter yang mempunyai 2 fungsi yaitu *mode buck* dan *mode boost* yang bekerja ketika sumber utama dari PLN padam maka secara otomatis sistem penerangan akan di suplai oleh baterai sebagai sumber cadangan. *Mode buck* dalam proses *charging* digunakan untuk menyimpan energi listrik ke dalam baterai dengan kapasitas baterai sebesar 12V 30Ah. Sedangkan *mode boost* dalam proses *discharging* digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari baterai ke beban dengan beban lampu sebesar 10W. Proses *charging* dan *discharging* dikontrol menggunakan kontrol *proportional integral* metode analitik. Proses *charging* pada *mode buck* dengan nilai K_p sebesar 8,62 dan K_i sebesar 17240 didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 13,99V. Sedangkan proses *discharging* pada *mode boost* dengan nilai K_p sebesar 2,44 dan K_i sebesar 344,63 didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 23,99V.

Kata kunci: *Bidirectional DC-DC Converter, Charging dan Discharging Baterai, Kontrol PI, Lampu Darurat.*

I. PENDAHULUAN

Energi memiliki peranan penting dalam keberlangsungan kehidupan manusia hingga saat ini. Salah satu energi yang dibutuhkan adalah energi listrik pada sistem penerangan. Sistem penerangan merupakan salah satu pemakaian energi listrik yang

besar. Saat ini sistem penerangan terutama penerangan darurat sangat dibutuhkan oleh masyarakat untuk mengatasi kondisi listrik yang tiba-tiba padam pada malam hari. Sehingga penerangan darurat sangat diperhitungkan keberadaannya di masyarakat.

Penerangan darurat menggunakan sumber listrik yang berasal dari baterai dan di dalamnya terdapat switch otomatis untuk mengubah catu daya listrik utama (PLN) ke listrik cadangan. Tetapi listrik cadangan memiliki kemampuan terbatas dalam menyuplai lampu sedangkan ketika terjadi mati lampu, tidak dapat diprediksi sumber listrik utama dapat hidup kembali. Secara umum sumber listrik lampu darurat yang berasal dari baterai memiliki kemampuan dalam menyalakan sistem sekitar 4 – 6 jam saja. Tetapi pada peraturan maksimal PLN diperbolehkan melakukan pemadaman adalah 5 jam, namun bisa saja terjadi kendala yang menyebabkan pemadaman yang lebih dari itu.

Kenyataannya, tegangan DC dari sumber (PLN) atau penyimpanan energi (baterai) tidak sesuai dengan spesifikasi tegangan beban yang diinginkan sehingga dibutuhkan konverter DC-DC menggunakan metode *bidirectional* yang berfungsi untuk proses pengisian baterai dan proses menyalurkan energi listrik ke beban sehingga terdapat dua fungsi pada satu konverter.

Pada saat sumber utama (PLN) menyala, arus mengalir menuju baterai sehingga baterai mengalami proses *charging* dengan menurunkan tegangan (mode *buck*) dan ketika sumber utama (PLN) padam maka beban lampu akan menyala yang mendapat suplai dari baterai dengan menaikkan tegangan (mode *boost*). Simulasi dilakukan menggunakan *software* PSIM. Proses *switching bidirectional DC-DC converter* dilakukan secara otomatis dimana konfigurasi disesuaikan yaitu sebagai pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM).

II. LANDASAN TEORI

A. Buck Converter

Buck converter adalah konverter yang bekerja sebagai *step down* DC(Direct Current) dengan tegangan *output* lebih rendah dari tegangan ($V_o < V_s$). Prinsip kerjanya adalah menurunkan tegangan DC dengan mengatur besar *duty cycle* *switching*. Rangkaian *Buck converter* pada gambar 1 terdiri dari tegangan *input* (V_s), saklar aktif (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor, dan resistor. *Switch* pada *buck converter* akan bekerja terus-menerus. Kecepatan *switch* (dalam realisasinya) akan bergantung pada *duty cycle* yang digunakan.

Gambar 1. Rangkaian *buck converter*

Pinsip kerja pada *buck converter* memiliki 2 kondisi yaitu pada saat saklar dalam kondisi “ON” seperti pada Gambar 2.

Gambar 2. Rangkaian *buck converter* saklar “ON”

Ketika dalam kondisi saklar “ON” dioda bekerja *reversed/block* sehingga suplai input mengalir ke induktor juga ke beban. Rumus matematikanya sebagai berikut:

$$V_L = V_s - V_o \quad (1)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_o \quad (3)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_L(\text{on})}{DT} + V_o \quad (4)$$

$$\Delta i_{L(\text{closed})} = \frac{(V_s - V_o)DT}{L} \quad (5)$$

Pada kondisi 2 yaitu saat saklar dalam kondisi “OFF” dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Rangkaian *buck converter* saklar “OFF”

Ketika saklar dalam kondisi “OFF” dioda bekerja *forward/unblock* sehingga energi yang disimpan di

induktor dapat mengalir ke beban. Rumus matematikanya sebagai berikut.

$$V_L = -V_o \quad (6)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (7)$$

$$-V_o = L \frac{\Delta i_{L(off)}}{\tau_{off}} \quad (8)$$

$$-V_o = L \frac{\Delta i_{L(off)}}{(1-D)T} \quad (9)$$

$$\Delta i_{L(off)} = -\frac{V_o(1-D)T}{L} \quad (10)$$

B. Boost Converter

Boost Converter adalah *step up* konverter atau konverter DC-DC dengan tegangan output yang lebih besar dari tegangan input ($V_o > V_s$). Prinsip kerjanya adalah menaikkan tegangan DC dengan mengatur besar *duty cycle switching*. Rangkaian *Boost converter* pada gambar 4 terdiri dari tegangan input (V_s), saklar aktif (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor, dan resistor.

Gambar 4. Rangkaian *boost converter*

Prinsip kerja pada *boost converter* memiliki 2 kondisi yaitu pada saat saklar dalam kondisi “ON” seperti pada Gambar 5.

Gambar 5. Rangkaian *boost converter* saklar “ON”

Ketika saklar dalam kondisi “ON” dioda bekerja *reversed*, sehingga output *open/terisolasi*. dan inputan menyuplai energi ke induktor. Rumus matematikanya sebagai berikut :

$$V_L = V_s \quad (11)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (12)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_{L(on)}}{\tau_{on}} \quad (13)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_{L(on)}}{DT} \quad (14)$$

$$\Delta i_{L(on)} = \frac{V_s DT}{L} \quad (15)$$

Pada kondisi 2 yaitu saat saklar dalam kondisi “OFF” dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Rangkaian *boost converter* saklar “OFF”

Ketika saklar dalam kondisi “OFF” output menerima energi dari input dan induktor sehingga outputnya lebih besar daripada inputan. Rumus matematikanya sebagai berikut.

$$V_L = V_s - V_o \quad (16)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (17)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_{L(off)}}{\tau_{off}} + V_o \quad (18)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_{L(off)}}{(1-D)T} + V_o \quad (19)$$

$$\Delta i_{L(off)} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (20)$$

C. Bidirectional DC-DC Converter

Bidirectional converter merupakan konverter yang dapat mengalirkan daya ke kedua arah yang berbeda. Aliran arus pada *bidirectional converter* harus bisa membawa arus pada kedua arah yang berlawanan melalui *switch converter*. Dengan menggunakan sistem *bidirectional* dapat mengurangi biaya, meningkatkan efisiensi dan performa pada rangkaian. *Bidirectional converter* biasanya diaplikasikan dengan menggunakan *switch* daya seperti MOSFET dan IGBT. Dioda yang terpasang seri dengan saklar akan digunakan untuk mengalirkan arus dua arah. Rangkaian *bidirectional converter* dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Rangkaian *bidirectional DC-DC converter*

Bidirectional converter bekerja dalam 2 mode yaitu mode *buck* dan mode *boost*. Konverter akan bekerja pada mode *buck* ketika dilakukan pengisian baterai. Lalu mode *boost* digunakan ketika baterai sedang *discharge* atau mengisi beban.

D. Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah suatu alat yang mengukur tegangan pada alat elektronik. Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) seperti pada Gambar 8.

Gambar 8. Rangkaian pembagi tegangan

Tegangan pada baterai akan di konversikan ke dalam tegangan yang dapat di baca mikrokontroler yaitu nol sampai tiga koma tiga volt atau lima volt, menggunakan system ADC (*Analog to Digital Conversion*). Lalu tegangan tersebut diterjemahkan menjadi satuan digital melalui mikrokontroler agar dapat diatur lebih lanjut.

E. Kontrol PI

Kontrol *Proportional-Integral* (PI) digunakan untuk mengontrol tegangan output pada konverter DC-DC yaitu dengan menyesuaikan sinyal kesalahan sebagai umpan balik loop kontrol.

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsionalnya merupakan perkalian antara konstanta proporsional

dengan masukanya.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan yang bagus yaitu nol.

Kontroler PI dapat saling menutupi menutupi kekurangan dan kelebihan sehingga masing-masing dapat mempercepat reaksi sebuah sistem. Gambar 9 merupakan diagram blok dari kontrol PI.

Gambar 9. Diagram blok sistem kontrol PI

Diagram blok sistem kontrol PI menggambarkan hubungan antara jumlah pengaturan, jumlah aktual dan output kontrol proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) adalah perbedaan antara jumlah pengaturan dengan jumlah aktual.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat perencanaan sistem yaitu pembuatan blok diagram sistem. Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10. Blok diagram sistem

Pada Gambar 10 dijelaskan bahwa *power supply* sebesar 24V digunakan untuk mengisi baterai sebesar 12V. Tegangan yang dihasilkan *power supply* diturunkan menggunakan mode *buck bidirectional* agar sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai. Ketika PLN padam maka baterai sebesar 12V akan menyuplai beban sebesar 24V. Tegangan yang dihasilkan baterai

dinaikkan menggunakan mode *boost bidirectional* agar sesuai dengan kebutuhan beban. Proses *switching* dari *bidirectional DC-DC converter* dilakukan dengan mengatur PWM (*Pulse Width Modulation*) agar didapatkan tegangan yang maksimal.

A. Pengujian Mode Buck

Pada pengujian *buck converter* yang dilakukan pada *software* PSIM rangkaian *buck converter* terdiri dari tegangan masukan (V_s) sebesar 24V, kapasitor (C) sebesar 133,93 μF , tegangan keluaran (V_o) sebesar 14V. Dengan tegangan masukan sebesar 24V dan diatur *duty cycle* 10% hingga 60%. Secara teoritis, keluaran konverter akan sebanding dengan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk menyulut mosfet seperti pada gambar 11.

Gambar 10. Rangkaian simulasi *mode buck*

Hasil dari perubahan *duty cycle* terhadap perubahan tegangan yang disajikan dalam bentuk tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi *mode buck*

Duty (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vo (V)	Io (A)	Vo teori (V)	Error (%)
10	24	1,78	2,4	1,84	2,4	0
20	24	3,57	4,79	3,69	4,8	0,208
30	24	5,38	7,19	5,54	7,2	0,139
40	24	7,21	9,6	7,38	9,6	0
50	24	9,04	12	9,23	12	0
58	24	10,53	13,92	10,71	13,92	0
60	24	10,9	14,4	11,08	14,4	0

Pada Tabel 1 digunakan *duty cycle* sebesar 58% guna mendapatkan tegangan 14 Volt untuk *mencharging* sebuah baterai. Dari pengujian diatas dapat dilihat bahwa *buck converter* mampu

menurunkan tegangan hingga 2,4Volt dengan *duty cycle* 10%.

B. Pengujian Mode Boost

Pada pengujian *boost converter* rangkaiannya terdiri dari tegangan masukan (V_s) sebesar 12V, kapasitor (C) sebesar 1,3 mF, induktor (L) sebesar 150 μH , dan tegangan keluaran (V_o) sebesar 24V. Dengan tegangan masukan sebesar 12V dan diatur *duty cycle* 10% hingga 60%. Secara teoritis, keluaran konverter akan sebanding dengan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk menyulut mosfet seperti pada gambar 12.

Gambar 11. Rangkaian simulasi *mode boost*

Hasil dari perubahan *duty cycle* terhadap perubahan tegangan yang disajikan dalam bentuk tabel 2.

Tabel 2. Hasil simulasi *mode boost*

Duty (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vo (V)	Io (A)	Vo teori (V)	Error (%)
10	12	0,21	13,33	0,44	13,33	0
20	12	0,05	15	0,5	15	0
30	12	0,03	17,37	0,58	17,14	1,34
40	12	0,013	20,22	0,67	20	1,1
50	12	0,16	24,01	0,8	24	0,04
60	12	0,77	30,03	1	30	0,1

Pada Tabel 2, digunakan *duty cycle* sebesar 50% guna mendapatkan tegangan 24 Volt untuk menyuplai beban. Dari pengujian diatas dapat dilihat bahwa *boost converter* mampu menaikkan tegangan hingga 30,03 Volt dengan *duty cycle* 60%.

C. Perhitungan Kontrol Proportional Integral dengan metode analitik

Seluruh nilai komponen yang terdapat pada rangkaian simulasi, diperoleh dari perhitungan desain rangkaian *bidirectional converter* dengan nilai *duty cycle* yang sesuai dengan perhitungan. Dari simulasi yang dibuat menghasilkan nilai tegangan output yang hampir mendekati nilai *setpoint* yang diinginkan. Dari hasil *running* tersebut diperoleh gelombang respon yang nantinya akan dibuat sebagai acuan untuk perhitungan kontrol PI melalui nilai *time settling* dan *output* respon dari gelombang respon simulasi.

Perhitungan kontrol PI dengan metode analitik pada *mode buck* :

Waktu *steady state* (T_s) = 0,0025 s

Tegangan *steady state* (Y_{ss}) = 13,92 V

Tegangan masukan (X_{ss}) = 24 V

Mencari *Open Loop Transfer Fuction*

Gain Over All (K)

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (21)$$

$$= \frac{13,92}{24}$$

$$= 0,58$$

Time Konstan (τ) :

$$t_s = 5\tau \quad (22)$$

$$0,0025 \text{ s} = 5\tau$$

$$\tau = 0,0005 \text{ s}$$

Sehingga dapat ditentukan *open loop transfer function* adalah sebagai berikut :

$$OLTF = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (23)$$

$$OLTF = \frac{0,58}{0,0005 \text{ s} + 1}$$

Untuk *Close Loop Transfer function* (CLTF) sebagai berikut :

$$t_s^* = 5\tau \quad (24)$$

$$t_s^* = \frac{1}{n^*} \times t_s$$

$$t_s^* = \frac{1}{5} \times 0,0025 \text{ s}$$

$$t_s^* = 0,0005 \text{ s}$$

$$\text{Maka } \tau^* = \frac{0,0005}{5} = 0,0001 \text{ s}$$

Sehingga :

$$CLTF = \frac{1}{\tau^* s + 1} \quad (25)$$

$$= \frac{1}{0,0001 \text{ s} + 1}$$

$$K_p = \frac{\tau}{k\tau^*}$$

$$= \frac{0,0005}{0,58 \times 0,0001}$$

$$= 8,62$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau}$$

$$= \frac{8,62}{0,0005}$$

$$= 17240$$

Perhitungan kontrol PI dengan metode analitik pada *mode boost* :

Waktu *steady state* (T_s) = 0,0354s

Tegangan *steady state* (Y_{ss}) = 23,84 V

Tegangan masukan (X_{ss}) = 12 V

Mencari *Open Loop Transfer Fuction*

Gain Over All (K)

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (26)$$

$$= \frac{23,84}{12}$$

$$= 1,99$$

Time Konstan (τ) :

$$t_s = 5\tau \quad (27)$$

$$0,03545 \text{ s} = 5\tau$$

$$\tau = 0,00708 \text{ s}$$

Sehingga dapat ditentukan *open loop transfer function* adalah sebagai berikut :

$$OLTF = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (28)$$

$$OLTF = \frac{1,99}{0,00708 \text{ s} + 1}$$

Untuk *Close Loop Transfer function* (CLTF) sebagai berikut :

$$t_s^* = 5\tau \quad (29)$$

$$t_s^* = \frac{1}{n^*} \times t_s$$

$$t_s^* = \frac{1}{5} \times 0,0354 \text{ s}$$

$$t_s^* = 0,00708s$$

$$\text{Maka } \tau^* = \frac{0,00708}{5} = 0,001416s$$

Sehingga :

$$CLTF = \frac{1}{\tau^*s+1} = \frac{1}{0,001416s+1} \quad (30)$$

$$K_p = \frac{\tau}{k\tau^*} = \frac{0,00708}{1,99 \times 0,001416} = 2,44$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau} = \frac{2,44}{0,00708} = 344,63$$

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada *bidirectional converter* menggunakan *software* PSIM untuk simulasi yang dikontrol menggunakan kontrol PI.

A. Pengujian Charging Baterai

Pada Gambar 12 yaitu *mode buck* digunakan untuk mengetahui tegangan keluaran konverter yang telah dikontrol menggunakan kontrol PI sehingga didapatkan tegangan keluaran konstan sebesar 14V sesuai dengan tegangan pengisian pada baterai. Rangkaian simulasi *mode buck* untuk *charging* baterai dapat dilihat pada Gambar 12.

Gambar 12. Rangkaian simulasi *mode buck* untuk *charging* baterai

Pada gambar 12 merupakan rangkaian *mode buck* dengan kontrol PI untuk *charging* baterai. Dari simulasi tersebut dapat dibandingkan bentuk respon ketika sebelum diberi kontrol PI dan sesudah diberi kontrol PI.

Gambar 13. Respon sistem *mode buck* tanpa kontrol dengan *duty cycle* 58%

Gambar 13 menunjukkan hasil respon sistem tanpa kontrol dengan *duty cycle* sesuai dengan desain perhitungan *mode buck* konverter yaitu sebesar 58%. Tegangan keluaran yang didapatkan sebesar 13,92V. Sistem tersebut mulai mencapai titik *steady state* pada saat 0,0025 s tetapi masih ada *overshoot*.

Gambar 14. Respon sistem *mode buck* dengan kontrol PI

Gambar 14 menunjukkan hasil respon sistem dengan kontrol PI metode analitik. Nilai K_p yang digunakan berkisar 8,62, dan nilai K_i sebesar 17240 dengan *setpoint* yang diinginkan berupa tegangan sebesar 14V. Dengan menggunakan kontrol PI didapatkan tegangan keluaran yang dijaga konstan sebesar 13,99V. dan mencapai titik *steady state* lebih cepat yaitu saat 0,001 s.

B. Pengujian Baterai Untuk Suplai Beban

Pada Gambar 15 yaitu *mode boost* digunakan untuk mengetahui tegangan keluaran konverter yang telah dikontrol menggunakan kontrol PI sehingga didapatkan tegangan keluaran konstan sebesar 24V untuk suplai beban.

Gambar 15. Rangkaian simulasi *mode boost* untuk *discharging* baterai

Pada Gambar 15 merupakan rangkaian *mode boost* dengan kontrol PI i untuk *discharging* baterai yaitu kondisi saat beban di *supply* oleh baterai. Dari simulasi tersebut dapat dibandingkan bentuk respon ketika sebelum diberi kontrol PI dan sesudah diberi kontrol PI.

Gambar 16. Respon sistem *mode boost* tanpa kontrol dengan *duty cycle* 50%

Gambar 16 menunjukkan hasil respon sistem tanpa kontrol dengan *duty cycle* sesuai desain perhitungan *mode boost* konverter yaitu sebesar 50%. Tetapi tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 23,84V. Sistem tersebut mulai mencapai titik *steady state* pada saat 0,035 s.

Gambar 17. Respon sistem *mode boost* dengan kontrol PI

Gambar 17 menunjukkan hasil respon sistem dengan menggunakan kontrol PI metode analitik. Nilai K_p yang digunakan berkisar 2,44, dan nilai K_i sebesar 344,63 dengan *setpoint* yang diinginkan berupa tegangan sebesar 24V. Dengan menggunakan kontrol PI didapatkan tegangan keluaran yang dijaga konstan sebesar 23,99V. dan mencapai titik *steady state* lebih cepat yaitu saat 0,01 s.

V. KESIMPULAN

Hasil dari berbagai tahapan proses yang telah dilakukan dalam mengerjakan simulasi *bidirectional DC-DC converter* dapat diamati bahwa saat konverter belum menggunakan kontrol PI pada *mode buck* dengan *duty cycle* sebesar 58% didapatkan tegangan keluaran sebesar 13,92V dan *mode boost* dengan *duty cycle* sebesar 50% didapatkan tegangan keluaran sebesar 23,84V. Setelah menggunakan kontrol PI metode analitik, proses *charging* pada *mode buck* dengan nilai K_p sebesar 8,62 dan K_i sebesar 17240 didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 13,99V dari *setpoint* yang diinginkan yaitu 14V dan saat proses *discharging* pada *mode boost* dengan nilai K_p sebesar 2,44 dan K_i sebesar 344,63 didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 23,99V dari *setpoint* yang diinginkan yaitu 24V.

REFERENSI

- [1] Hart, Daniel W. 2011. "Power Electronics". The McGraw-Hill Companies. New York, Amerika.
- [2] Elnady, A. "PI Controller Based Operational Scheme to Stabilize Voltage in Microgrid." *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. IEEE, 2019.
- [3] Halder, T. "PI controller tuning & stability analysis of the flyback SMPS." *2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*. IEEE, 2014.
- [4] Rabiaa, Ounis, et al. "Cascade control loop of dc-dc boost converter using pi controller." *2018 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*. IEEE, 2018.
- [5] Chao, Kuei-Hsiang, et al. "Design and implementation of a bidirectional DC-DC converter for stand-alone photovoltaic systems." *energy* 4 (2013): 8.
- [6] Raharja, Lucky Pradigta Setiya, et al. "Perancangan Dan Implementasi DC-DC Bidirectional Converter Dengan Sumber Energi Listrik Dari Panel Surya Dan Baterai Untuk Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik Beban". *Jurnal Teknologi Terpadu* Vol. 7 No. 2.
- [7] Ravi, Deepak, et al. "Bidirectional DC to DC converters: an overview of various topologies, switching schemes and control techniques." *International Journal of Engineering & Technology* 7.4.5 (2018): 360-365.
- [8] Sudiharto, Indhana, and Indra Ferdiansyah. "Diah Septi Yanaratri Mochamad Abdul Mughis,." *Design and Implementation of Partial M-Type Zero Voltage Resonant Circuit Interleaved Bidirectional DC-DC Converter (Energy Storage and Load Sharing)*, in *2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, Bali, Indonesia. 2018.
- [9] Shahin, M. "Analysis of bidirectional SEPIC/Zeta converter with coupled inductor." *2015 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*. IEEE, 2015.
- [10] Eviningsih, Rachma Prilian, et al. "Controlled bidirectional converter using PID for charging battery in the stand-alone wind turbine system with modified P&O to obtain MPPT." *2017 International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*. IEEE, 2017.