

DESAIN RANGKAIAN BUCK-BOOST CONVERTER PADA SISTEM CHARGING LAMPU PENERANGAN LINGKUNGAN PONDOK PESANTREN DI KOTA MALANG

Muhamad Rifa'i¹ email:abirifai2005@gmail.com, Beauty Anggraheny Ikawanty²

email:beauty_ikawanty@yahoo.co.id

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknik Elektronika
Politeknik Negeri Malang

Pesantren Tinggi Al-Aimmah yang berlokasi di pinggir barat Kota Malang, berada pada kawasan yang masih dikelilingi dengan sawah dan tegalan. Pemukiman penduduk juga masih jarang sehingga pondok tersebut membutuhkan pengamanan yang baik. Terlebih lagi di malam hari, lingkungan sekitar pesantren masih gelap, sedangkan kemampuan pesantren untuk menyediakan penerangan lingkungan juga masih terbatas. Penulis membangun sistem lampu penerangan lingkungan menggunakan energi photovoltaik. Lampu penerangan lingkungan memerlukan rangkaian pengisi baterai yang digunakan sebagai sumber energi pada saat malam hari. Rangkaian pengisi baterai yang dipilih adalah rangkaian dengan topologi *Buck-Boost Converter* dan menggunakan kontrol proporsional. Hasil rancangan dan implementasi adalah: Metode *Proportional Control* pada pengaturan duty cycle buckboost berfungsi untuk mencapai setpoint dengan waktu 0.5s saat pengukuran 12V (saat charging). Pengaturan duty cycle pada kontrol *Buckboost Converter* akan menambah efisiensi pada saat charging baterai 13.1%. Proses charging dengan menggunakan rangkaian *Buckboost Converter* dengan beban charging baterai 7 AH, tegangan awal 11.34V dalam waktu 90 menit tegangan menjadi 11.74 V dengan tegangan sumber 11.9V. Pada saat tegangan awal 10.19V menjadi 10.39V dengan tegangan sumber 10.9V(boost mode).

Kata kunci : lampu penerangan lingkungan, *buck-boost converter*, *prooprtional control*

1. Pendahuluan

Cahaya menjadi kebutuhan manusia dalam menjalankan aktivitasnya. Manusia dapat melihat dan beraktifitas dengan baik dan mengenali lingkungan dengan baik apabila tersedia cahaya yang cukup (Dora dan Nilasari. 2011). Manusia yang harus beraktifitas di malam hari, mereka juga membutuhkan tambahan cahaya sebagai penerangan agar aktifitas di sekitar lingkungannya tetap bisa dilaksanakan. Aktivitas malam hari seperti penjagaan keamanan juga membutuhkan tambahan penerangan yang memadai agar adanya aktivitas yang tidak dikehendaki dapat segera terdeteksi oleh penjaga keamanan.

Pesantren Tinggi Al-Aimmah yang berlokasi di pinggir barat Kota Malang, berada pada kawasan yang masih dikelilingi dengan sawah dan tegalan. Pemukiman penduduk juga masih jarang sehingga pondok tersebut membutuhkan pengamanan yang baik. Terlebih lagi di malam hari, lingkungan sekitar pesantren masih gelap, sedangkan kemampuan pesantren untuk menyediakan penerangan lingkungan juga masih terbatas. Keterbatasan penerangan juga telah berdampak buruk bagi pesantren. sejak tahun 2010, telah terjadi tindak pencurian di kompleks pesantren sebanyak 10 kali.

Semua kejadian tersebut terjadi pada malam hari. Selain itu juga telah dipergoki orang mencurigakan yang masuk ke dalam lingkungan pesantren pada malam hari. Fakta ini semakin menguatkan kebutuhan pesantren terhadap tambahan penerangan untuk lingkungan sekitar pesantren. Usaha penambahan penerangan telah dilakukan oleh pihak pesantren. Akan tetapi sejauh ini usaha belum bisa maksimal disebabkan oleh beberapa kendala seperti daya listrik PLN yang terbatas, cakupan wilayah pesantren yang cukup luas, serta penerangan dari lingkungan sekitar yang belum ada. Oleh karena itu bantuan terhadap penyediaan penerangan yang tidak bersumber dari PLN seperti penerangan dengan lampu energi matahari sangat dibutuhkan.

2. Dasar Teori

2.1 Photovoltaik

Photovoltaic adalah bahan semikonduktor yang dapat melepas electron apabila ada rangsangan dari sinar matahari yang kemudian membentuk arus listrik. Bahan semikonduktor yang sering dipakai oleh sel photovoltaic adalah silicon, di dalam silicon paling tidak terdapat dua lapisan yaitu lapisan bermuatan positif dan bermuatan negatif, yang kemudian ada gerbang diantara dua lapisan tersebut, dimana

gerbang itu akan terbuka apabila ada rangsangan dari cahaya matahari, sehingga membentuk suatu aliran elektron atau arus searah (DC). Besar gerbang berbanding lurus dengan banyaknya intensitas cahaya matahari yang masuk.

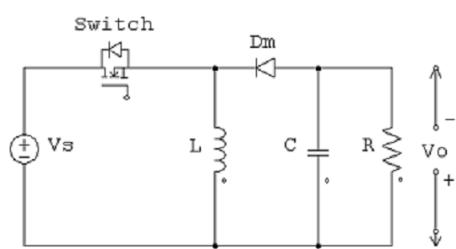
Dikarenakan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari, maka tidak sama antara kondisi cuaca cerah dan kondisi mendung, sehingga bisa dikondisikan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan berat jenis awan yang memantulkan sinar dari matahari.



Gambar 1. Photovoltaik dan Spesifikasi

2.2 Buck-Boost Konverter

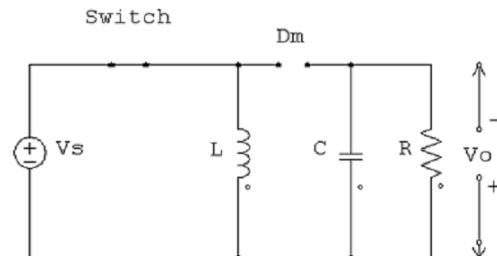
Buck-boost merupakan salah satu regulator mode *switching* menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya. Gambar 2 adalah rangkaian Buck-Boost secara umum. (MH. Rashid. 2007)



Gambar 2. Rangkaian Buck-Boost Konverter

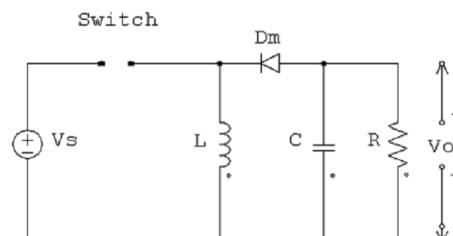
Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode. Selama mode 1, transistor Q1 di ON-kan dan

diode Dm mendapat bias mundur arus masukan, yang bertambah mengalir melalui induktor L dan transistor Q1. Selama mode 2, transistor Q1 di-OFF-kan. Dan arus mengalir melalui induktor L, diteruskan ke C, Dm dan ke beban. Energi yang tersimpan di dalam induktor L akan ditransfer ke beban. Dan arus induktor akan berkurang sampai transistor Q1 di-ON-kan lagi pada siklus berikutnya.



Gambar 3. Rangkaian Buck-Boost dengan Analisa Tertutup

Pada Gambar 3 menunjukkan rangkaian buck-boost dalam keadaan mosfet Q1 ON. Hal ini menyebabkan diode bekerja reverse sehingga arus akan mengalir ke induktor L. Dengan adanya arus yang mengalir ke induktor maka terjadi pengisian arus pada induktor sehingga arus induktor (IL) naik.



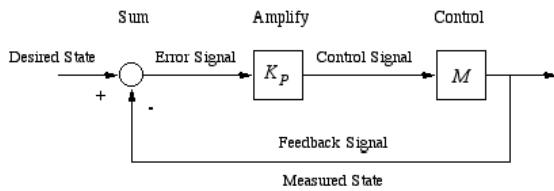
Gambar 4. Rangkaian Buck-Boost dengan Analisa Terbuka

Pada Gambar 4 menunjukkan rangkaian buck-boost dalam keadaan mosfet Q1 OFF. Hal ini menyebabkan dioda bekerja forward sehingga arus mengalir L, C, Dm dan beban. Energi yang tersimpan di induktor mengalami discharging. Regulator Buck-Boost menghasilkan tegangan keluaran yang terbalik tanpa memerlukan trafo, mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih rendah ataupun lebih tinggi dari tegangan masukan dan memiliki efisiensi yang tinggi. Besar tegangan keluaran tergantung pada *duty cycle*

2.3 Kontrol Proporsional

PID (dari singkatan bahasa Inggris: Proportional–Integral–Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu

sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.



Gambar 5. Blok Diagram Proportional Control

Proportional control jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) \cdot e$ maka $u = k_p \cdot e$ dengan k_p adalah Konstanta Proporsional. k_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan proportional control memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana proportional control ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. (Curtis D. Johnson. 2000).

3. Perancangan Buck-Boost Converter

Perancangan Buckboost Converter dimulai dengan penentuan tegangan minimal dan tegangan maksimal dari masukan Buckboost Converter. Desain Buckboost Converter memiliki tegangan minimial 10 V dan maksimal 20 V. Arus yang dikehendaki 2A, dan frekuensi 40kHz. Setelah mengetahui parameter selanjutnya dapat menentukan duty cycle untuk batas waktu buck dan boost.

$$V_{out} = -V_{in} \left[\frac{D}{1-D} \right] \quad (1)$$

$$-14 = -10 \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

$$1.4 = \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

$$1.4 = 2.4D$$

$$D = 0.583$$

● .Resistansi Beban:

$$R = \frac{V_o}{I} \quad (1)$$

$$R = \frac{14}{2}$$

$$R = 7\Omega$$

Setelah menentukan nilai *duty cycle*. Selanjutnya adalah menentukan nilai induktor dengan menggunakan persamaan 2 di bawah ini.

● Nilai induktor:

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F] \times \left(\frac{V_{in} - V_{min}}{V_{out} + V_F + V_{in} - V_{min}} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (2)$$

$$\Delta I_L = 20\% \times I_{L(avg)} \quad (3)$$

$$I_{L(avg)} = \left(\frac{V_o^2}{V_s RD} \right) \quad (4)$$

Sebelum menentukan nilai induktor, maka perlu dicari terlebih dahulu arus yang mengalir pada induktor. Persamaan 3 dan 4 mencari arus rata-rata yang akan mengalir pada induktor yang akan mempengaruhi ukuran diameter kawat yang akan digunakan pada induktor

● Nilai Arus Induktor:

$$I_{L(avg)} = \frac{V_o^2}{V_s RD}$$

$$I_{L(avg)} = \frac{14^2}{10 \times 7 \times 0.583}$$

$$I_{L(avg)} = \frac{196}{40.81}$$

$$I_{L(avg)} = 4.802A$$

● Gap/Delta Inductor Current Value :

$$\Delta I_{L(avg)} = 20\% \times I_{L(avg)}$$

$$\Delta I_{L(avg)} = 0.2 \times 4.802$$

$$\Delta I_{L(avg)} = 0.96A$$

● Nilai Induktor :

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F] \times \left(\frac{V_{in} - V_{min}}{V_{out} + V_F + V_{in} - V_{min}} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right)$$

$$L = \left(\frac{1}{40000} \right) \times [14+1] \times \left(\frac{10}{14+1+10} \right) \times \left(\frac{1}{0.96} \right)$$

$$L = 3.75 \times 10^{-3} \times 0.4 \times 1.041$$

$$L = 1.56 \times 10^{-4} H$$

$$L = 156 \mu H$$

● Nilai Kapasitor:

$$\Delta V_o = \pm 0.1\% \times V_o = 0.001 \times V_o \quad (5)$$

$$\Delta V_o = 0.001 \times 14$$

$$\Delta V_o = 0.014$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o \times D}{RCf} \quad (6)$$

$$0.014 = \frac{14 \times 0.583}{7 \times C \times 40000}$$

$$C = \frac{14 \times 0.583}{7 \times 0.014 \times 40000}$$

$$C = \frac{8.162}{3920}$$

$$C = 0.002082F$$

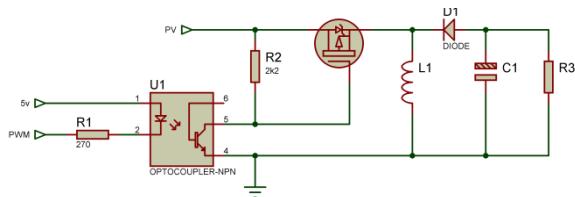
$$C = 2082\mu F$$

Frekuensi pada *Buckboost Converter* berpengaruh pada ukuran dari tiap komponen terutama nilai dari induktor dan kapasitor. Induktor dan kapasitor sangat berpengaruh pada kinerja *Buckboost Converter* dengan *Continous Current Mode* (CCM). Dari hasil perhitungan di atas maka dapat komponen sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel komponen Buckboost Converter

No	Nama Komponen	Jenis Komponen
1	Mosfet P-Channel	IRF9540
2	Induktor	156uH
3	Dioda	MUR1560
4	Kapasitor	2200uF
5	Beban	Aki 7AH

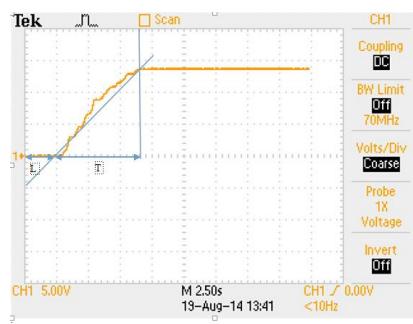
Dioda yang digunakan tipe MUR 1560 dengan *diode fast switching* dengan kecepatan *switching* lebih dari 1MHz sehingga mendukung untuk DC - DC Converter. Kapasitor yang dapat 2038uF menggunakan 2200uF dengan toleransi, berfungsi untuk menyimpan muatan dari induktor.



Gambar 6. Rangkaian Buck-boost Converter

- Desain Kontroller:

Respon rangkaian terhadap fungsi step diambil menggunakan osiloskop dan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Respon Rangkaian Buck-boost Converter

Dengan metode Zeiger - Nichols dengan pendekatan kurva respon

$$K_p = T/L$$

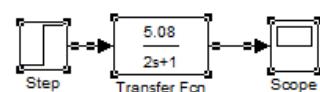
$$K_p = 2/6.5$$

$$= 0.3s$$

$$G_{(s)} = \frac{Ke^{Ls}}{Ts + 1}$$

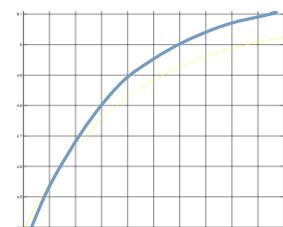
$$G_{(s)} = \frac{0.3e^{6.5s}}{2s + 1}$$

Dari hasil transfer function dimasukan ke dalam fungsi di simulink sebagai berikut :

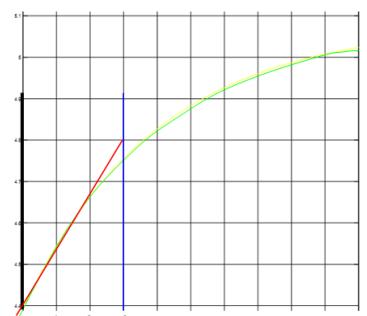


Gambar 8. Blok Diagram Transfer Function Metode Zeigler-Nichols

Setelah mendesain simulasi *transfer function* di simulink matlab maka dapat dihasilkan sebuah gambar kurva respon dari *transfer function*.



Gambar 9. Kurva Respon Hasil dari Transfer Function



Gambar 10. L dan T dari Kurva Respon Hasil dari Transfer Function

Didapatkan nilai dari kurva di atas :

$$L = 1$$

$$T = 2$$

$$K_p = \frac{T}{L} \quad (7)$$

$$K_p = \frac{2}{1}$$

$$K_p = 2$$

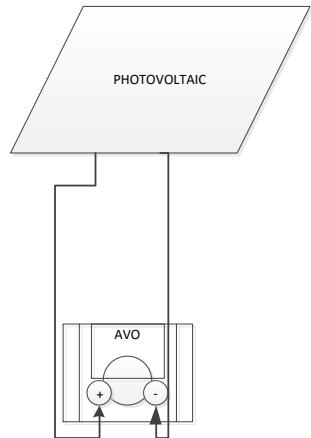
Dari nilai K_p yang diperoleh dapat disimulasikan dengan *simulink* untuk mengetahui respon. Hasil *tuning* parameter proporsional dengan menggunakan metode kurva respon Zeigler-Nichols pada respon tegangan di peroleh nilai $K_p=2$.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Photovoltaik

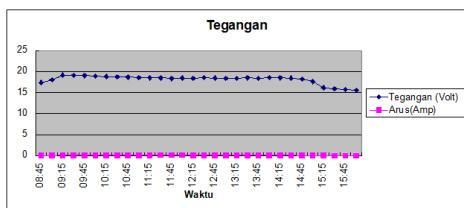
Pengujian photovoltaik bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan dan arus pada photovoltaic 20WP sebagai sumber energi lampu penerangan lingkungan pondok pesantren.

Peralatan yang digunakan antara lain adalah: Photovoltaic 20WP, Resistor $120\Omega/5W$, Avo Digital krisbow KW06-270, dan kabel konektor. Rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian Pengujian Photovoltaik

Setelah melakukan pengukuran dan pengambilan data didapatkan hasil Grafik sebagai berikut :



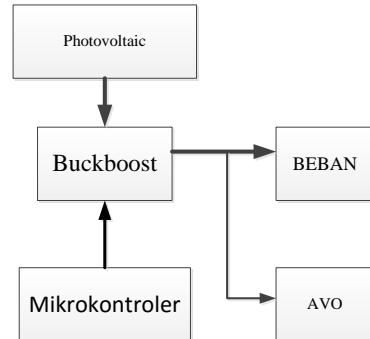
Gambar 12. Pengujian Photovoltaik

Berdasarkan hasil ujicoba menunjukkan bahwa hasil output dari Photovoltaic sesuai dengan spesifikasi dari Photovoltaic 20WP. Pada saat cahaya matahari maksimal tegangan mampu mencapai 19V dengan arus beban $120\Omega/5W$ 0.15A. Dari tegangan

hasil pengukuran 19V ini tegangan mampu mendekati tegangan optimal dari Photovoltaic.

4.2 Pengujian Rangkaian Buck-Boost Converter

Proses pengisian baterai pada lampu penerangan lingkungan pondok pesantren menggunakan rangkaian Buck-Boost converter untuk menjaga tegangan agar mampu mengisi baterai. baterai yang digunakan sebagai sumber energi untuk lampu. Tujuan pengujian rangkaian ini adalah untuk mengetahui kemampuan rangkaian menghasilkan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai, baik ketika tegangan pada photovoltaic cukup ataupun pada saat tegangan berkurang karena berkurangnya intensitas sinar matahari. Blok rangkaian pengujian Buck-Boost converter ditunjukkan pada Gambar 13.



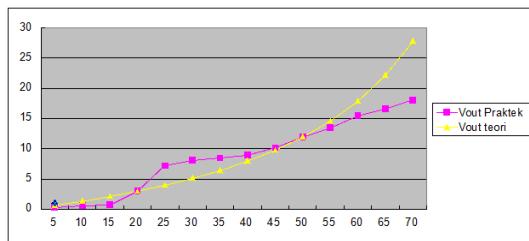
Gambar 13. Pengujian Photovoltaik

Dari hasil percobaan di dapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Uji Coba Buckboost Converter

No	Vin	Duty	Vout pengukuran	Vout perhitungan	Mode
1	11.9	5	0.3	0.63	Buck
2	11.9	10	0.6	1.32	Buck
3	11.9	15	0.72	2.1	Buck
4	11.9	20	3	2.98	Buck
5	11.9	25	7.22	3.97	Buck
6	11.9	30	8.1	5.11	Buck
7	11.9	35	8.47	6.42	Buck
8	11.9	40	8.96	7.95	Buck
9	11.9	45	10.2	9.75	Buck
10	11.9	50	11.92	11.92	Same
11	11.9	55	13.5	14.57	Boost
12	11.9	60	15.5	17.88	Boost

13	11.9	65	16.6	22.14	Boost
14	11.9	70	18.07	27.81	Boost



Gambar 14. Grafik Tegangan Masukan dan Keluaran Buck-Boost Converter

Berdasarkan pengujian rangkaian Buck-Boost mampu menurunkan tegangan pada duty cycle 5 s.d. 45 persen dan mampu menaikkan tegangan pada duty cycle 55 s.d. 70 persen. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian Buck-Boost bisa dan mampu digunakan sebagai rangkaian charging baterai.

4.3 Pengujian *Proportional Control* pada Buck-Boost Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk respon yang dihasilkan buckboost converter dengan adanya *proportional control*.



Gambar 15. Hasil Uji Coba Buckboost Converter Tanpa Proportional Control

Dari hasil uji coba buckboost converter waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan DC stabil adalah 3.0s. Hasil ini untuk bisa diaplikasikan namun memerlukan waktu cukup lama untuk mencapai tegangan yang diinginkan apabila terjadi perubahan tegangan pada input dari buckboost converter.



Gambar 16. Hasil Uji Coba Buckboost Converter Proportional Control

Berdasarkan hasil percobaan didapat grafik respon yang berbeda dengan diberi *Proportional control* pada *buckboost converter*. *Buckboost converter* dengan $K_p = 2$ mampu mencapai tegangan dengan waktu 0.5s. Diharapkan dengan *proportional control* akan mempercepat respon dari *buckboost converter* guna mencapai tegangan yang diinginkan.

Tabel 3. Daya yang Dihasilkan Buckboost Converter

No	Vin	Vout	Arus (mA)	P (mW)
1	10	10.4	5	52
2	11	11.13	11	122.43
3	12	11.7	20	234
4	13	11.87	30	356.1
5	14	12.03	35	421.05
6	15	12.04	60	722.4
7	16	12.06	80	964.8
8	17	12.07	80	965.6
9	18	12.1	80	968
10	19	12.1	80	968
11	20	12.1	120	1452

4.4 Pengujian Converter Untuk Pengisian Baterai

Setelah uji coba rangkaian buckboost converter dengan beban resistor selanjunya pengujian dilanjutkan dengan Buckboost converter untuk proses pengisian baterai.

Tabel 4. Uji coba rangkaian buckboost converter dalam pengisian baterai.

No	Teg. Input	Teg. Con	Teg. Awal bat	Teg. akhir baterai	Lama Pengisian
1	18V	12.1	11.33	11.72	65 menit

2	12V	12.05	11.34	11.74	93 menit
3	14V	12.1	11.32	11.39	78 menit
4	11V	11.87	10.19	10.29	57 menit

Setelah uji coba menggunakan rangkaian charger didapatkan data bahwa converter pada saat tegangan rendah 12V kemudian dinaikkan dengan mode boost arus menjadi lebih kecil sehingga pengisian baterai menjadi lebih lama. Karena arus yang dihasilkan dari photovoltaic maksimal 1 A pada kondisi intensitas yang di tangkap sangat berpengaruh pada sistem charge.

Mode buck lebih optimal pada saat tegangan pada photovoltaic maksimum sehingga arus besar kemudian proses pengisian baterai menjadi lebih cepat. Dengan menggunakan rangkaian dasar buckboost converter sudah mampu menyediakan energi untuk sistem lampu penerangan lingkungan pondok pesantren.

5. Kesimpulan

Berikut ini merupakan kesimpulan dari hasil pengujian rangkaian buck-boost converter untuk lampu penerangan lingkungan pondok pesantren:

- Metode *Proportional Control* pada pengaturan duty cycle buckboost berfungsi untuk mencapai setpoint dengan waktu 0.5s saat pengukuran 12V (saat charging).
- Pengaturan duty cycle pada kontrol Buckboost Converter akan menambah efisiensi pada saat charging baterai 13.1%
- Buckboost Converter sebagai rangkaian charging baterai dalam sistem lampu penerangan lingkungan pondok pesantren dapat bekerja dengan baik.
- Proses charging dengan menggunakan rangkaian Buckboost Converter dengan beban charging baterai 7 AH, tegangan awal 11.34V dalam waktu 90 menit tegangan menjadi 11.74 V dengan tegangan sumber 11.9V. Pada saat tegangan awal 10.19V menjadi 10.39V dengan tegangan sumber 10.9V(boost mode).

Disarankan untuk menggunakan topologi konverter lainnya guna diperoleh efisiensi charging yang lebih tinggi.

Daftar Pustaka:

Dora, PE. dan PF. Nilasari. 2011. Pemanfaatan Pencahayaan Alami Pada Rumah Tinggal Tipe Townhouse Di Surabaya. http://repository.petra.ac.id/15247/5/PEMANF_AATAN_CAHAYA_ALAMI_PADA_RUMA

H_TINGGAL_TIPE_TOWNHOUSE_DI_PERKOTAAN_PADAT_PENDUDUK.pdf

Muhammad H. Rashid.2007. Power Electronics SECOND Edition” ,Englewood Cliff, New Jersey2

Curtis D. Johnson, Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall, New Jersey, 2000.