

Rancang Bangun *Buck-Boost Converter* Berbasis Arduino Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 8x10 Wp

Jeffry Julianto¹⁾, Antonius Rajagukguk²⁾

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: jeffry.julianto@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The use of solar panels through the photovoltaic (PV) process is an efficient way to produce electrical energy. The main barriers to the use of solar panels are their low energy conversion efficiency and high initial costs. Solar panels are unregulated DC power sources that produce fluctuating voltages and currents, so they must be controlled properly in order to work as expected. Usually when solar panels are directly connected to a load, the operating point is rarely at its maximum power point (MPP). Maximum Power Point Tracking (MPPT) is used to generate maximum power from solar panels. The DC to DC conversion functions as an intermediary for the solar panels and the load to transmit the maximum power to the load. In this study, MPPT was used with the Perturb & Observe (P&O) algorithm and DC to DC converter with a buck-boost converter type. Based on the test results between simulation and tool implementation, the input voltage of 17.6 V produces an output voltage of approximately 14.4 V for charging a 12 V battery with the maximum power produced by the PV generator. Based on these tests, it can be concluded that the buck-boost converter design based on the Arduino Uno in the 8x10 Wp photovoltaic power plant can work well.

Keywords : PV Power Plant, MPPT Perturbation & Observation, Buck-boost Converter, Arduino

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika khususnya elektronika daya telah mampu menghasilkan sistem penyedia daya tegangan DC (*Direct Current*), yang dihasilkan melalui konversi tegangan DC masukan ke bentuk tegangan DC keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah. Konversi tegangan DC ini biasa disebut sebagai DC to DC converter.

Berdasarkan tipe pengubah tegangannya, DC to DC converter terbagi menjadi 3 tipe yaitu *boost converter (step up)*, *buck converter (step down)*, dan *buck-boost (step up dan step down)*. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan sumber dapat menggunakan DC to DC converter tipe *boost converter*. Kemudian untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan sumber dapat menggunakan DC to DC converter tipe *buck converter*. Sedangkan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang dapat menaikkan dan

menurunkan tegangan sumber dapat menggunakan DC to DC converter tipe *buck-boost converter*. (Otong & Bajuri, 2016)

Pada perkembangannya, penerapan DC to DC converter banyak diaplikasikan pada sumber energi baru dan terbarukan (*renewable energy*) seperti sel surya. Tegangan DC yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan ini bersifat fluktuatif (berubah-ubah). Oleh karena itu dibutuhkan sebuah konverter tegangan agar tegangan yang dihasilkan dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan DC to DC converter. Dengan sistem *buck-boost converter* nilai tegangan keluaran dapat diatur agar lebih besar atau lebih kecil dari nilai tegangan masukannya. (Karni, Setiawan, & Citarsa, 2018).

Permasalahan yang dihadapi dari penggunaan sistem panel surya adalah pengisian daya dan efisiensi yang sangat rendah, pengaruh kondisi dilingkungan sekitar, dan selain itu modul

panel surya memiliki karakteristik P-V dan I-V yang tidak linear (Verma, A., & S., 2016). Kondisi sinar matahari selalu berubah-ubah setiap waktu menimbulkan radiasi dan tegangan yang berubah-ubah juga maka dari itu diperlukan penjejak daya keluaran dari panel surya, yaitu berupa *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). MPPT merupakan sebuah metode yang berguna untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya dengan menjejak atau melacak titik daya puncak dari keluaran panel surya. (Kadarnis, 2019)

Berdasarkan pemaparan dan permasalahan diatas maka pada penelitian ini akan dirancang prototipe *buck-boost converter* yang berfungsi sebagai *converter* tegangan pada keluaran panel surya. Mikrokontroler Arduino berbasis algoritma P&O digunakan untuk mengatur besar lebar pulsa (*duty cycle*) dari PWM (*Pulse Width Modulation*), berdasarkan perubahan lebar pulsa tersebut, maka titik daya puncak akan didapatkan.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Photovoltaic

Salah satu bentuk sumber energi yang sangat berpotensi untuk masa depan adalah *Photovoltaic* (PV). Ketersediaan energi primer PV tidak terbatas dan mempunyai karakteristik yang ramah lingkungan. PV perlu diteliti dan dikembangkan agar menghasilkan konversi energi yang memiliki efisiensi lebih besar. PV terdiri dari bagian kecil yang dinamakan sel surya. PV dihubung seri dan paralel untuk mendapat nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan. Kumpulan dari banyak sel surya disebut modul PV. (Kosyachenko, 2011)

2.2 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil.

2.3 Sensor Tegangan

Komponen sensor tegangan adalah 2 buah resistor yang dipasangkan secara seri. Sensor tegangan ini berupa pembagi tegangan. Tegangan

yang dihasilkan masih harus berada pada *range* 0 – 5 V agar dapat terbaca pada pin analog mikrokontroler Arduino. Prinsip kerjanya adalah membuat perbandingan antara tegangan asli dengan tegangan yang terbaca oleh Arduino. Untuk membuat rangkaian pembagi tegangan, parameter yang diperlukan antara lain tegangan maksimal yang akan diukur, tegangan maksimal ADC, dan R1 dan R2.

2.4 Arduino Uno

Arduino Uno R3 adalah *board* sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega328P jenis AVR. Arduino Uno R3 memiliki 14 digital *input/output* (6 diantaranya dapat digunakan untuk PWM *output*), 6 analog *input*, 16 MHz osilator kristal, USB *connection*, power jack, ICSP header dan tombol reset.

2.5 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah teknik yang digunakan untuk menjaga sistem PV bekerja dalam *Maximum Power Point* (MPP). MPPT akan mempertahankan *output* pada daya tertingginya, yaitu pada *Voltage Maximum Power Point* (V_{mpp}) dan *Current Maximum Power Point* (I_{mpp}). Untuk mempertahankan sistem dapat tetap bekerja pada MPP, maka metode MPPT telah banyak dikembangkan seperti salah satunya Algoritma *Perturb and Observe* (P&O).

2.6 Buck-Boost Converter

Buck-boost converter merupakan suatu rangkaian DC to DC *converter* yang dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari pada sumbernya. Tegangan keluaran pada *buck-boost converter* selalu bernilai negatif atau berkebalikan dengan sumber tegangan masukan. Penggunaan *buck-boost converter* ini disebabkan karena tegangan keluaran dari panel surya selalu berubah berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaannya.

$$V_O = -V_S \frac{D}{(1-D)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Tanda negatif menunjukkan polaritas tegangan *output* yang berkebalikan dengan

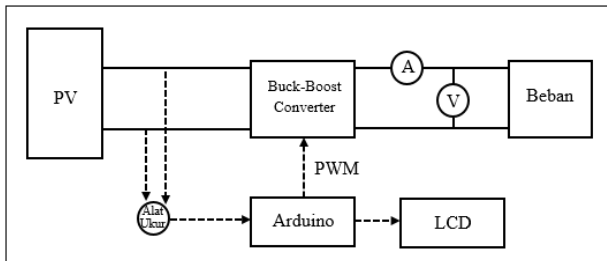
tegangan *input*. Dari persamaan diatas berlaku bahwa :

- Jika $D < 0.5$ maka *converter* beroperasi sebagai *buck converter*
- Jika $D = 0.5$ maka $V_s = V_o$
- Jika $D > 0.5$ maka *converter* beroperasi sebagai *boost converter*

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Sistem

Dalam merancang *buck-boost converter* pada pembangkit listrik *photovoltaic* 8x10 Wp diperlukan blok diagram yang berisi tahapan-tahapan untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 1 merupakan gambar blok diagram secara umum pada skripsi ini.



Gambar 1. Blok Diagram Rancangan Sistem

3.2 Pembangkit PV

Pembangkit PV pada penelitian ini merupakan rangkaian panel surya yang disusun sedemikian rupa agar menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang dibutuhkan. Rangkaian panel surya dapat disusun secara seri, paralel, maupun seri-paralel. Daya maksimum yang dapat dibangkitkan pembangkit PV adalah 80 Wp, dengan tegangan dan arus pada daya maksimum yang dibangkitkan adalah 17,6V dan 4,64A.



Gambar 2. Pembangkit PV

Gambar 2 menunjukkan 8 panel surya yang disusun secara paralel sehingga menghasilkan tegangan 16,9 volt pada radiasi 757 W/m².

Tabel 1. Parameter PV yang Digunakan

Spesifikasi	Keterangan
Jumlah Panel	8 Buah
Daya Maksimal	80 Wp
Tegangan	17,6 Volt
Arus	4,64 A

3.3 Desain Sistem Kontrol MPPT P&O pada Buck-Boost Converter

3.3.1 Instrumen Pengukuran

3.3.1.1 Sensor Arus

Pada penelitian ini digunakan modul sensor arus ACS712 dengan *range* arus yang dapat dibaca hingga 5A. Tabel 2 merupakan hasil pembacaan modul sensor arus ACS712-5A dan menunjukkan kesalahan pembacaan 4,5%.

Tabel 2. Hasil pembacaan sensor arus

Tegangan Masukan (V)	Teori (A)	Sensor (A)	Error (%)
15,1	0,755	0,8	4,5%
16,9	0,845	0,8	4,5%
16,8	0,840	0,8	4%
16,8	0,840	0,8	4%
16,9	0,845	0,8	4,5%

3.3.1.2 Penentuan Sensor Tegangan

Sensor tegangan dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran pembangkit PV.

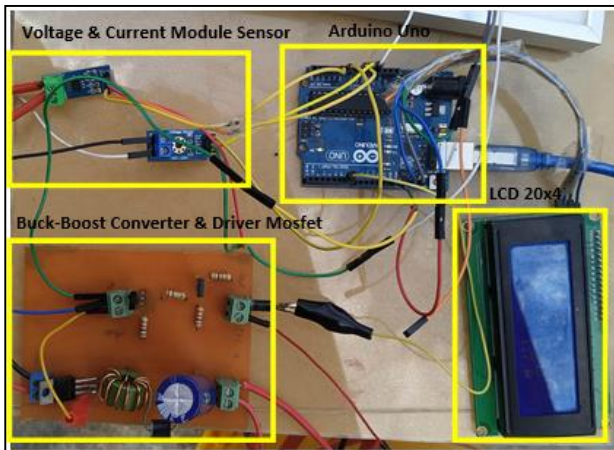
Tabel 3. Hasil pembacaan sensor arus

Pengujian ke-	Multimeter (V)	Sensor (V)	Error (%)
1	15,1	15,1	0 %
2	16,9	16,9	0 %
3	16,8	16,8	0 %
4	16,8	16,8	0 %
5	16,8	16,8	0 %

Tabel 3 menjelaskan pengujian sensor tegangan tidak memiliki kesalahan pembacaan sehingga modul sensor tegangan dapat digunakan pada penelitian ini.

3.3.2 Perancangan Buck-Boost Converter

Buck-boost converter merupakan salah satu DC-DC *converter* yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan masukan dari pembangkit PV. Untuk rancangan dari *buck-boost converter* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan *Buck-Boost Converter* Berbasis *Arduino*

3.3.2.1 Penentuan Nilai *Duty Cycle*

Agar *buck-boost converter* dapat bekerja dengan baik, maka dilakukan perhitungan sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Komponen *Buck-boost Converter*

Parameter	Nilai
$P_{maximum}$	80 Wp
V_{input}	17,6 Vdc
I_{input}	4,64 A
V_{output}	± 14 Vdc
Frekuensi <i>switching</i>	500 Hz
Riak tegangan	0,01 V

Duty cycle yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran ± 14 V dapat menggunakan Persamaan 2.12.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{17,6}{14} = \frac{D}{1-D}$$

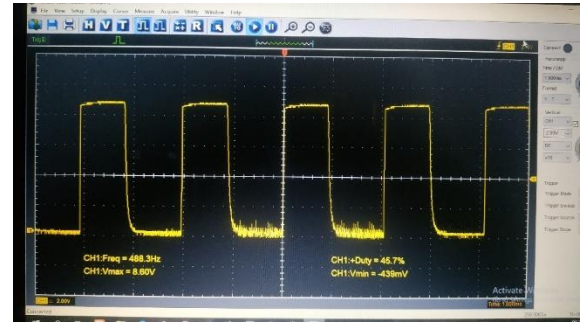
$$14(1-D) = 17,6 D$$

$$14 - 14 D = 17,6 D$$

$$14 = 31,6 D$$

$$D = \frac{D}{1-D} = 0,45 = 45\%$$

Duty cycle yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan *output* 14 V adalah 45%. *Duty cycle* tersebut terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Duty cycle* pada Hantek6000 oscilloscope digital

3.3.2.2 Penentuan Nilai Komponen

Sebagai penaik dan penurun tegangan, *buck-boost converter* berfungsi menjaga tegangan tetap berada pada *range* tegangan yang diharapkan, namun tetap pada titik daya puncak. Untuk menentukan resistansi beban, dapat menggunakan Persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$R = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$R = \frac{17,6}{4,64}$$

$$R = 3,8 \Omega$$

Untuk mencari nilai dari induktor minimum yang akan digunakan dengan menggunakan Persamaan 2.15.

$$L_{min} = \frac{R I_{maks} (1-D_{min})^2}{2 F_s}$$

$$L_{min} = \frac{3,8 (1-0,45)^2}{2 \times 500}$$

$$L_{min} = 0,000143 \text{ H} = 954,5 \mu\text{H}$$

Maka dipilih induktor dengan nilai 2 mH yang tersedia dipasaran, seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, pemilihan nilai induktor harus lebih besar dari nilai L_{min} . Kemudian sebelum mencari nilai kapasitor, diperlukan untuk mencari nilai *ripple voltage* pada kapasitor *filter*, dapat dicari menggunakan Persamaan 2.18.

$$V_r = \frac{1}{100} \times V_{out}$$

$$= \frac{1}{100} \times 14$$

$$= 0,14 \text{ V}$$

$$V_{rcpp} = 5 \text{ mV} = 0,005$$

$$V_{cpp} = V_r - V_{rcpp}$$

$$= 0,14 - 0,005$$

$$= 0,135 \text{ V}$$

Dan untuk mengurangi riak tegangan dari proses *switching*, digunakan sebuah kapasitor yang dapat nilainya dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.19 berikut :

$$C = \frac{D}{F_s \times R_{lmin}} \times \frac{V_{out}}{V_{c_{pp}}}$$

$$C = \frac{0,45}{500 \times 3,8} \times \frac{14}{0,135}$$

$$C = 40,31 \text{ mF}$$

Jadi, untuk penggunaan kapasitor *filter ripple* dipilih 47 mF yang tersedia dipasaran. Setelah mendapatkan nilai parameter pembentuk rangkaian *buck-boost converter*, nilai induktor, kapasitor, dan frekuensi *switching* dari rangkaian dirangkum dalam Tabel 5 berikut :

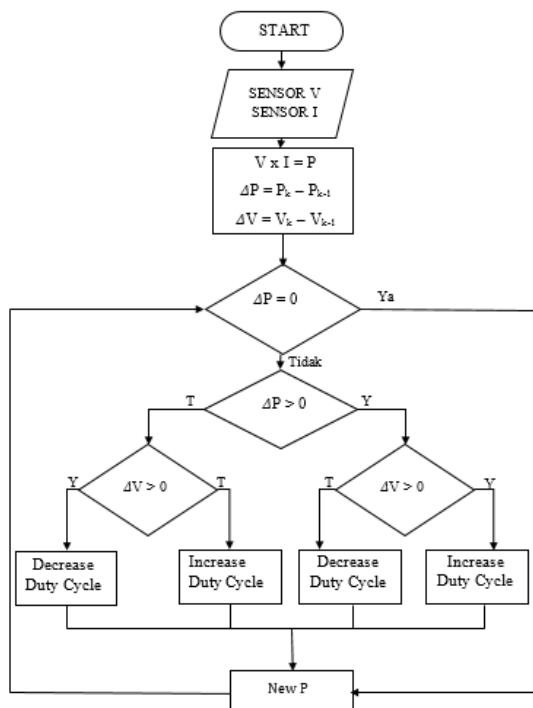
Tabel 5 Parameter komponen *buck-boost converter*

Parameter	Nilai
Resistor	3,8 Ω
Induktor	2 mH
Kapasitor	47 mF
Frekuensi <i>switching</i>	500 Hz

3.3.3 Perancangan Kontroler

3.3.3.1 Flowchart MPPT P&O

Sistem pengontrolan dalam penelitian ini menggunakan algoritma MPPT P&O. *Flowchart* ini digunakan untuk menentukan *duty cycle* PWM yang akan dikirimkan ke *buck-boost converter*.



Gambar 5. Flowchart metode P&O

3.3.3.2 Syntax Algoritma MPPT P&O

Dari *flowchart* pada Gambar 3.9 maka dapat dibuat bahasa pemrograman pada Arduino.

Gambar 6 adalah potongan bahasa pemrograman untuk metode P&O. *Listing* program secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

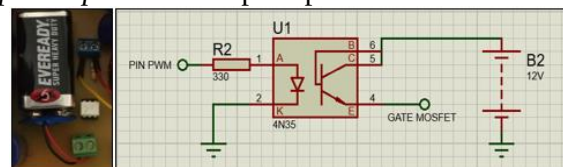
```

float P_n_O(float V, float I) {
    P = vin * Amps;
    float changeP = P - Pprev;
    float changeV = V - vin;
    if (changeP != 0) {
        if (changeP > 0) {
            if (changeV > 0) {
                return P;
            }
        }
    }
}
  
```

Gambar 6. Listing program MPPT P&O

3.3.3.3 Driver Mosfet

Pada penelitian ini magnitude dari sinyal PWM yang dihasilkan *board* Arduino bernilai maksimum 5 VDC, dimana tegangan ini tidak mampu menggerakkan *switch* pada mosfet, untuk itu dibutuhkan rangkaian *driver* mosfet. Dengan driver mosfet magnitude dari tegangan PWM akan mendekati nilai VCC yang digunakan pada rangkaian *driver* tersebut. Rangkaian *driver* mosfet pada penelitian ini menggunakan *optocoupler* 4N25 seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Driver Mosfet 4N25

3.4 Perencanaan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai perlu diperhitungkan sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang dibangkitkan oleh Pembangkit PV. Jumlah daya yang dapat dibangkitkan PV adalah 80 Wp dengan besarnya *deep of discharge* (DOD) pada baterai 80% maka kapasitas baterai 64 Wp/Jam. Penggunaan yang efektif pada pembangkit PV untuk memproduksi daya yaitu pada jam 10.00 hingga 14.00 atau 5 jam/hari. (Raharjo, Sujanarko, & Hardianto, 2015). Maka daya perhari yang dapat dihasilkan adalah 64 Wp dikali 5 jam yaitu 320 Wp/hari. *Ampere hour* (Ah) baterai yang dibutuhkan yaitu 320 Wp dibagi 12

V adalah 26,6 Ah. Namun dikarenakan keterbatasan biaya, digunakan baterai 12 V 10 Ah. Maka daya yang dapat disimpan oleh baterai 12 V 10 Ah adalah 120 Wp.



Gambar 8. Baterai 12V 10Ah

3.5 Efisiensi

Berdasarkan Persamaan 2.23 pada bab sebelumnya, efisiensi menyatakan seberapa persen perbandingan daya dari *input* dan *output* rangkaian. Apabila efisiensi seratus persen maka daya *input* tersalurkan dengan sempurna pada sisi *output* rangkaian seperti perhitungan dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{80 W}{80 W} \times 100\% = 100\%$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancang Bangun Keseluruhan Sistem

Setiap bagian yang telah dibuat selanjutnya dirancang menjadi sebuah rancang bangun yang utuh. Bagian tersebut terdiri dari pembangkit PV, sensor arus dan tegangan, Arduino Uno sebagai *microcontroller* metode MPPT P&O, *buck-boost converter* dan *driver mosfet*, serta beban baterai 12V 10. Rangkaian keseluruhan sistem terlihat pada Gambar 9. Karena pada penelitian ini tidak membahas hingga sudut kemiringan pembangkit PV, sehingga pembangkit PV berada pada posisi tegak lurus dengan sinar matahari.



Gambar 9. Rangkaian Keseluruhan

4.2 Datasheet Hasil Perancangan

Berikut adalah tabel spesifikasi dari setiap komponen yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 6. Spesifikasi Panel Surya

Parameter	Nilai
Daya Maksimum	80 Wp
Tegangan Maksimum	17,6 Vdc
Arus Maksimum	4,64 A
Tegangan Sirkuit Terbuka (V _{oc})	22 Vdc
Tegangan Sistem Maksimum	700 Vdc
Dimensi PV	354x251x17 mm

Tabel 7. Spesifikasi Komponen *Buck-Boost Converter*

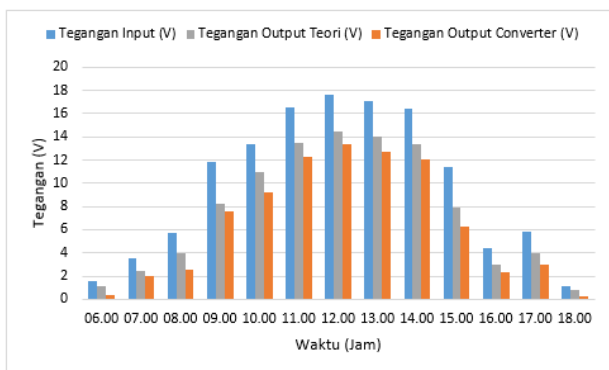
Parameter	Nilai
Induktor	2 mH
Kapasitor	47 mF
Resistor	3,8 Ω
Frekuensi	500 Hz
Dioda	MIC 10A
Mosfet	IRF540

Tabel 8. Spesifikasi Baterai

Parameter	Nilai
Merk Baterai	GS Astra Premium
Kode Baterai	12N10-3B
Tegangan Nominal	12 V
Kapasitas	10 Ah

4.3 Pengujian Tegangan Rancang Bangun

Pada pengujian ini terdiri dari pengukuran tegangan *input* dan tegangan *output*. Tegangan *input* diukur dengan menggunakan modul sensor tegangan sehingga pembacaan hasil pengukuran langsung pada LCD. Tegangan *output* diukur menggunakan multimeter digital. Gambar 10 merupakan hasil pengujian tegangan *input* dan tegangan *output* berdasarkan waktu pengambilan data dan radiasi pada saat pengambilan data.



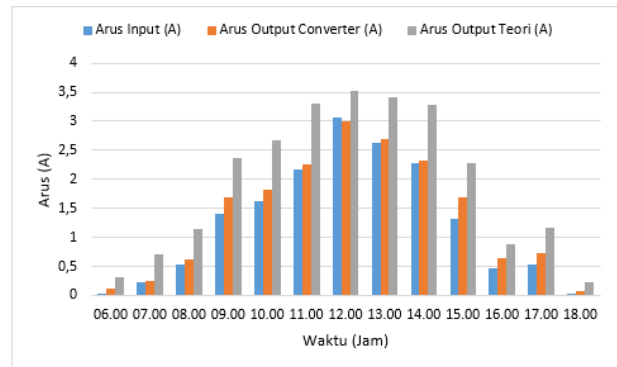
Gambar 10. Grafik perbandingan tegangan *buck-boost converter*

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, dapat dilihat bahwa radiasi terendah pada jam 18.00 dengan nilai radiasi 39 W/m² memiliki tegangan *input* 1,1 V dan tegangan *output* 0,3 V. Sedangkan radiasi tertinggi pada jam 12.00 dengan nilai radiasi 757 W/m² memiliki tegangan *input* 17,6 V dan tegangan *output* 13,41V. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut, pada saat radiasi dibawah 407 W/m², nilai tegangan yang dihasilkan adalah lebih kecil dari 12 V. Pada nilai tegangan ini tidak akan dapat melayani beban DC berupa baterai 12 V.

Pada radiasi 549 W/m², rancang bangun alat dapat melakukan *charge* baterai 12 V dikarenakan pada radiasi tersebut tegangan *output* sudah melebihi 12 V. Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai radiasi yang diterima pembangkit PV, maka semakin tinggi nilai tegangan yang dihasilkan. Begitu sebaliknya, semakin rendah nilai radiasi, maka semakin rendah juga nilai tegangan yang dihasilkan.

4.4 Pengujian Arus Rancang Bangun

Pengujian ini terdiri dari pengukuran arus *input* dan arus *output*. Arus *input* diukur menggunakan modul sensor arus, sehingga pembacaan nilai arus langsung pada LCD. Sedangkan arus *output* diukur menggunakan multimeter digital.



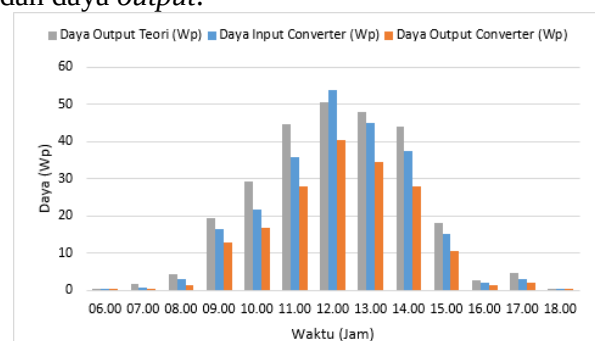
Gambar 11. Grafik perbandingan arus *buck-boost converter*

Berdasarkan Gambar 11, dapat dilihat bahwa nilai arus terkecil berada pada jam 18.00 dengan radiasi 39 W/m² memiliki nilai arus *input* sebesar 0,03 A dan arus *output* sebesar 0,08 A. Sedangkan nilai arus terbesar berada pada jam 12.00 dengan radiasi 757 W/m² memiliki nilai arus *input* 3,06 A dan arus *output* 3,01 A.

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa arus *output* cenderung lebih besar daripada arus *input*. Hal ini disebabkan oleh proses pencarian daya puncak MPPT P&O. Akibat menurunnya tegangan *input*, maka arus akan meningkat agar daya yang dihasilkan tetap mendekati titik puncaknya.

4.5 Pengujian Daya Rancang Bangun dengan Beban Konstan

Pengujian daya pada penelitian ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus. Daya *input* diukur menggunakan perhitungan pada algoritma di Arduino dan hasil pembacaan langsung pada LCD, sedangkan daya *output* diukur dengan perkalian secara teori berdasarkan tegangan dan arus yang telah diuji. Gambar 12 merupakan penyajian data daya *input* dan daya *output*.

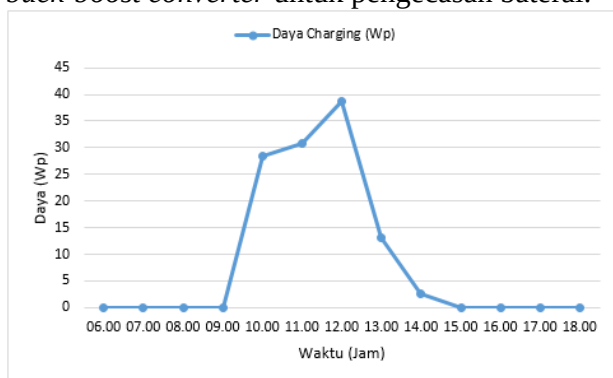


Gambar 12. Grafik Daya *Buck-Boost Converter*

Berdasarkan data pada Gambar 12, pada jam 18.00 dengan radiasi 39 W/m² memiliki nilai daya *output* terkecil yaitu 0,02 Wp. Pada kondisi ini, pembangkit PV tidak menerima sinar matahari yang cukup sehingga daya yang dihasilkan juga kecil. Dengan daya tersebut rangkaian keseluruhan tidak dapat mengisi daya pada beban baterai, dan dapat menyebabkan pembangkit PV yang menjadi beban dikarenakan tegangan baterai lebih tinggi dari tegangan pembangkit PV. Pada jam 12.00 dengan radiasi 757 W/m² memiliki daya *output* terbesar yaitu 40,36 Wp.

4.6 Pengujian Daya Rancang Bangun untuk Charging Baterai

Pada rancang bangun ini digunakan beban untuk pengisian baterai 12 Vdc. Rload diganti dengan baterai lalu dihubungkan dengan rangkaian *buck-boost converter*. Hal ini dilakukan pada saat tegangan *output* sudah melebihi tegangan nominal pengisian baterai yaitu pada jam 10.00 sampai 14.00 agar mengantisipasi tegangan *input* lebih rendah dari tegangan baterai. Ketika dibawah jam 10.00 atau diatas jam 14.00, tegangan berada dibawah *range* pengisian baterai, sehingga untuk mengantisipasi pembangkit PV menjadi beban, maka diberi dioda *blocking* pada *output converter*. Pada Gambar 13 ditunjukkan data hasil pengukuran dari *output buck-boost converter* untuk pengisian baterai.



Gambar 13. Kurva perubahan daya ketika pengisian baterai

Pada Gambar 13 dapat dilihat perubahan daya pada saat proses pengisian berlangsung. Kurva daya mendekati nilai nol pada jam 14.00. Keadaan ini menunjukkan bahwa proses pengisian baterai telah selesai.

4.7 Efisiensi

Untuk mengetahui efisiensi dari *buck-boost converter*, dilakukan perhitungan seperti pada Persamaan 2.23. Efisiensi yang dihitung adalah parameter efisiensi daya *input* dan daya *output*. Hasil perhitungan efisiensi disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Efisiensi daya *buck-boost converter*

Radiasi (W/m ²)	Daya Input (Wp)	Daya Output (Wp)	Efisiensi (%)
41	0,06	0,04	68,75
82	0,77	0,47	61,71
121	3,07	1,60	51,99
382	16,63	12,78	76,84
407	21,84	16,90	77,42
549	35,97	27,82	77,34
757	53,85	40,36	74,95
632	44,97	34,39	76,49
570	37,39	28,02	74,95
338	15,04	10,60	70,45
124	2,06	1,49	72,29
143	3,07	2,22	72,46
39	0,03	0,02	72,73

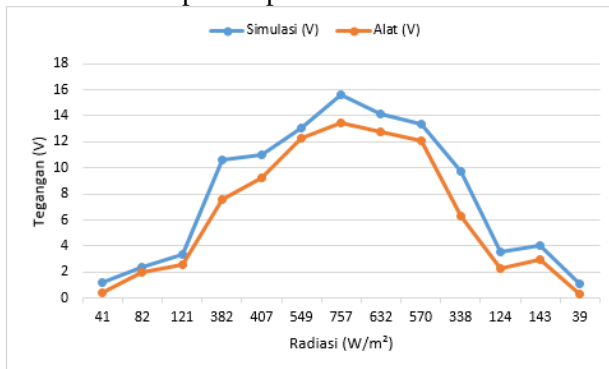
Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa efisiensi *buck-boost converter* berada pada rentang 51,99 - 77,42 dengan rata-rata efisiensinya adalah 71,41%. Efisiensi ini bergantung kepada perbandingan daya, semakin besar perbedaan antara daya *input* dan daya *output*, maka efisiensi *buck-boost converter* semakin rendah.

4.8 Validasi

Pengujian yang dilakukan pada keseluruhan sistem pembangkit PV hingga *buck-boost converter* secara implementasi alat akan divalidasi dengan simulasi. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* pendukung yaitu Matlab R2016a. Hal ini untuk membuktikan bahwa alat yang telah dibuat memiliki pola kerja yang relatif sama dengan simulasi. Semua komponen penyusun dibuat dalam *simulink* hingga dapat dijalankan dan menghasilkan tegangan, arus, dan daya keluaran. Gambar 4.6 menunjukkan rangkaian simulasi pada *software* Matlab R2016a.

Parameter pertama yang akan divalidasi adalah tegangan *output*. Nilai tegangan *output*

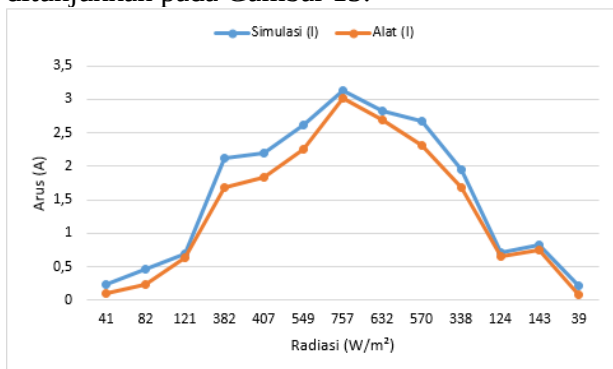
dipengaruhi oleh perubahan radiasi. Semakin tinggi nilai radiasi, maka semakin tinggi nilai tegangan yang dihasilkan. Kurva perubahan nilai tegangan *output* pada rancang bangun alat dan simulasi ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 14. Kurva validasi tegangan *output* converter

Gambar 14 menunjukkan kurva pola perubahan tegangan *output* terhadap radiasi. Tegangan *output* semakin meningkat seiring perubahan radiasi. Hasil validasi pada kurva ini menunjukkan bahwa nilai tegangan *output* pada rancang bangun alat lebih rendah dari tegangan *output* pada simulasi. Grafik tegangan *output* pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa validasi data di simulasi memiliki pola pergerakan kurva yang relatif sama dengan hasil pengujian rancang bangun.

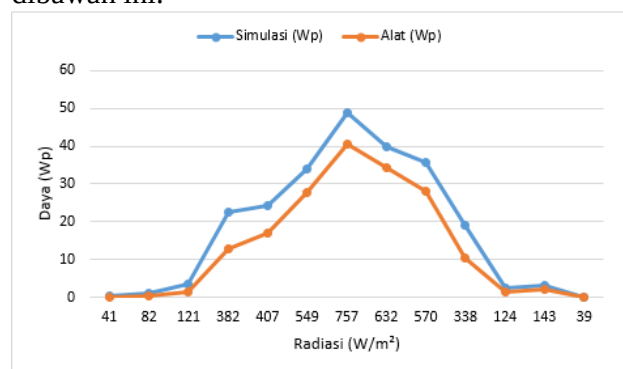
Parameter kedua yang akan divalidasi adalah arus *output*. Arus yang mengalir pada rancang bangun memiliki nilai yang selalu berubah berdasarkan perubahan radiasi. Berikut adalah pola perubahan arus *output* yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Kurva validasi arus *output* converter

Pada Gambar 15 dapat dilihat pola perubahan kurva arus *output* terhadap radiasi. Semakin tinggi nilai radiasi, maka nilai arus *output* yang dihasilkan semakin tinggi juga. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai arus *output* rancang bangun alat lebih kecil daripada simulasi serta kurva pola pergerakan arus *output* pada rancang bangun relatif sama dengan kurva pergerakan arus *output* pada simulasi.

Parameter ketiga yang akan divalidasi adalah daya *output*. Kurva perubahan daya terhadap radiasi ditunjukkan pada Gambar 16 dibawah ini.



Gambar 16. Kurva validasi daya *output* converter

Gambar 16 merupakan kurva perubahan nilai daya *output* yang dihasilkan dari pengukuran rancang bangun alat dan simulasi. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai radiasi yang diterima pembangkit PV maka nilai daya yang dihasilkan juga semakin tinggi. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai daya *output* rancang bangun alat lebih kecil daripada simulasi. Kurva validasi nilai daya *output* rancang bangun memiliki pola pergerakan yang relatif sama dengan kurva perubahan daya pada hasil simulasi.

Parameter keempat yang akan di validasi adalah efisiensi daya rangkaian *buck-boost converter* pada simulasi. Efisiensi yang dihasilkan berasal dari daya *input* dan daya *output* baik secara rancang bangun, maupun secara simulasi. Tabel 10 merupakan data efisiensi daya pada simulasi.

Tabel 9. Efisiensi daya *buck-boost converter*

Radiasi (W/m²)	Daya Input (Wp)	Daya Output (Wp)	Efisiensi (%)
121	3,81	3,45	90,64
382	28,27	22,43	79,34

407	30,29	24,26	80,09
549	41,89	34,11	81,42
757	59,12	48,78	82,51
632	48,78	39,76	81,50
570	43,62	35,54	81,47
338	24,75	18,92	76,44

Pada Tabel 10 menunjukkan kurva validasi efisiensi daya pada simulasi. Berdasarkan data pada tabel tersebut, efisiensi tertinggi mencapai 90,64% dengan rata-rata efisiensi daya 81,68%.

V. KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penulisan skripsi ini yaitu tegangan dan arus yang dihasilkan oleh pembangkit PV dipengaruhi oleh perubahan radiasi, semakin besar radiasi yang diterima pembangkit PV, maka tegangan dan arus yang dihasilkan juga semakin besar. Berdasarkan pengujian, radiasi tertinggi pada 757 W/m² menghasilkan nilai tegangan *output* 13,41 V dan arus *output* 3,01 A. Sedangkan radiasi terendah pada 39 W/m² menghasilkan nilai tegangan *output* 0,3 V dan arus *output* 0,08 A.

Berdasarkan hasil pengujian, Daya *output* tertinggi dihasilkan pada saat radiasi 757 W/m² yaitu sebesar 40,36 Wp. Untuk pengujian daya dengan beban baterai, pengisian baterai membutuhkan waktu selama 4 jam (10.00-14.00). Daya rata-rata yang dikonsumsi baterai adalah 28,38 W dengan tegangan pengisian rata-rata 13,5 V dan arus pengisian 1,678 A. Efisiensi rancang bangun *buck-boost converter* yang didapatkan dari penelitian ini mencapai rata-rata 71,41%.

Dari hasil validasi yang telah diperoleh, dilakukan analisa terhadap pola kurva perubahan tegangan, arus, dan daya terhadap radiasi. Kurva perubahan pada parameter tersebut memiliki pola yang relatif sama dengan kurva yang diperoleh dari hasil pengujian rancang bangun. Rancang bangun *buck-boost converter* berbasis Arduino pada pembangkit listrik *photovoltaic* 8x10 Wp ini telah berhasil diimplementasikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir Tjolleng, M. (2017). *Pengantar Pemrograman MATLAB*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Attalah, A. M., Jumaah, R. S., & Abdelaziz, A. S. (2014). Implementation of Perturb and Observe MPPT of PV System with Direct Control Method Using Buck and Buck-Boost Converters. *EEIEJ*.
- Azmi, B., Abner, J., Prasepvianto, E. B., & Seputra, H. (2019). *Review Perbandingan Teknik Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Pengisian Daya Menggunakan Sel Surya*. Bogor: Pusat Teknologi Penerbangan (LAPAN).
- Hart, D. W. (1997). *Introduction to power electronic*. Prentice Hall.
- Hidayat, S. M. (2010). *Rancang Bangun Buck Boost Konverter*. Depok.
- ITS. (2019). *Renewable Energy, DC Converter & Maximum Power Point Tracking*. Surabaya.
- Juarsah, M. A., Facta, M., & Nugroho, A. (2015). *Perancangan DC Chopper Tipe Buck Boost Converter Penguatan Umpan Balik IC TL 494*. Transient Vol. 4, pp. 582-588.
- Kadarnis, M. L. (2019). Desain dan simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Perturb dan Observe (P&O) dengan Kendali Arduino untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Rendah. *JOM FTEKNIK Volume 6 Edisi 1 Januari s/d Juni 2019*.
- Karni, W. (n.d.). *Rancang Bangun Buck-Boost Converter Sebagai Regulator Tegangan Keluaran Pada Panel Surya*.
- Otong, M., & Bajuri, R. M. (2016). Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter. *Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten*.
- Priananda, C. W., & Sulistyowati, R. (2015). *Analisis dan Simulasi Metode Hill Climbing Untuk Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Photovoltaic Statis*.
- Purba, M. H. (2018). Solar Charger Controller Menggunakan Metode MPPT (Maximum Power Point Tracker). *Repositori Institusi USU*, 53.

- Sidabutar, D. S., Musyafa, A., & Hantoro, R. (n.d.). Rancang Bangun Buck-Boost Converter pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI dan PID Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS*.
- Simanjuntak, B. (2019). *Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Perturb and Observe Berbasis Microcontroller Arduino Uno*. Universitas Sumatera Utara.
- Verma, N. D.; A., Shandilya, M.; Dash, S., K. (2016). Maximum Power Point Tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems.
- Winarno, I., & Natasari, L. (2017). MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE PERTURB AND OBSERVE DENGAN SISTEM TRACKING PANEL SURYA SINGLE AXIS. *Jurnal Online Universitas Hang Tuah Surabaya*, 9.