

# RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI BUCK BOOST CONVERTER DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING MENGGUNAKAN METODE PERTURB AND OBSERVE

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BUCK BOOST CONVERTER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING PERTURB AND OBSERVE METHOD

Ridwansyah Moraliwa Akbar<sup>1</sup>, Iswahyudi Hidayat, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Kharisma Bani Adam, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>ridwansyahm31@gmail.com, <sup>2</sup>iswahyudi@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>rhezafr@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Catu daya arus searah (DC) adalah sebuah piranti elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk piranti lain berupa daya listrik yang memiliki aliran elektron dari suatu titik yang energi potensialnya tinggi ke titik lain yang energi potensialnya lebih rendah.

Dalam mendesain rangkaian konverter yang efisien sangat ditekankan untuk menggunakan sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT merupakan pengontrol secara elektronis yang membuat rangkaian konverter dapat beroperasi pada daya maksimum. Dengan menggunakan algoritma pencarian Perturb and Observe (P&O), melakukan pencarian terhadap daya optimum pada rangkaian konverter akan sangat mungkin didapat.

Perturb and Observe akan memodifikasi tegangan atau arus operasi sampai mendapatkan daya maksimum pada output, sistem akan meningkatkan daya saat daya yang masuk dari catu daya mulai menurun, proses ini akan berlangsung hingga mendapatkan titik daya maksimum, dengan demikian nilai daya output akan beresilasi di sekitar daya maksimum sampai stabil. Buck boost converter yang akan mendukung sistem pencarian daya maksimum tersebut karena konverter ini merupakan rangkaian elektronika yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan atau arus pada sistem.

Penelitian ini menghasilkan sebuah rangkaian converter buck boost yang dapat beroperasi dengan baik pada rentang tegangan input 6 volt sampai 20 volt. Penggunaan algoritma P & O menghasilkan efisiensi daya yang maksimal pada rentang 60% sampai 90%.

Kata kunci : Buck boost converter, MPPT, Perturb and Observe, efisiensi daya.

### Abstract

The Direct Current (DC) power supply are electronic devices that were used as a resource for other devices in the form of electrical power that has a flow of electrons from a point of high potential energy to another point of lower potential energy.

In designing an efficient converter circuit, it is important to use the Maximum Power Point Tracking (MPPT) system. MPPT is an electronic controller that makes the converter circuit could operate at maximum power. By using a search algorithm Perturb and Observe (P & O), conducting a search of the optimum power converter circuit would be impossible to obtain.

Perturb and Observe will modify the voltage or current operations to get the maximum power at the output, the system will increase the power when the input power from the power supply begins to decline, this process can take up to gain maximum power point, thus the value of the power output will oscillate around power maximum until stable. Buck boost converter will support the maximum power search system because the converter is an electronic circuit that is used to raise and lower the voltage or current on the system.

This study resulted in a buck boost converter circuit that can operate with input voltage range of 6 volts to 20 volts. The use of P & O algorithm generates maximum power efficiency in the range of 60% to 90%.

Keyword: Buck boost converter, MPPT, Perturb and Observe, power efficiency.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang dua pertiga wilayahnya adalah laut. Menjadi Negara kepulauan memiliki tantangan tersendiri terutama dari sisi pengelolaan pesisir dan laut. Salah satu tantangannya adalah pemenuhan sumber energi terbarukan mengingat wilayah geografis Indonesia yang memiliki garis pantai terpanjang ke-dua di dunia. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menjawab tantangan kebutuhan energi dalam mendukung pembangunan nasional. Kebutuhan akan listrik menjadi sangat penting, hal ini dikarenakan banyak peralatan yang menggunakan energi listrik. Namun sebagian besar kebutuhan tenaga listrik di Indonesia masih dipasok dari

pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Ketergantungan terhadap konsumsi energi berbahan fosil dan belum termanfaatkannya sumber energi terbarukan merupakan salah satu kelemahan dalam menerapkan pemerataan kebijakan energi. Pengembangan energi laut sebenarnya telah tersedia dalam UU No. 30/2007 tentang Energi maupun UU No. 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional.

Pembangkit Listrik Tenaga Ombak merupakan salah satu upaya dalam pemanfaatan dan pengembangan energi laut. Pembangkit ini cukup efisien karena digerakan oleh ombak dan ombak yang berada di lautan akan terus bergerak karena adanya hembusan angin, dan pasang surut laut yang terjadi akibat gaya tarik bulan dan matahari. Pembangkit Listrik Tenaga Ombak ini memiliki keunggulan dibandingkan pembangkit yang lain. Pembangkit ini tidak mengeluarkan suara yang gaduh dan hanya memerlukan sedikit perawatan dan tidak mencemari lingkungan.

Walaupun ombak akan terus bergerak namun Pembangkit Listrik Tenaga Ombak ini belum cukup optimal. Besar daya yang dihasilkan oleh pembangkit ini tidak menentu, karena besar kecilnya gelombang sangat mempengaruhi besar daya yang akan dihasilkan pembangkit. Sehingga sangat membutuhkan upaya untuk mengoptimalkan besar daya yang dihasilkan pembangkit ini.

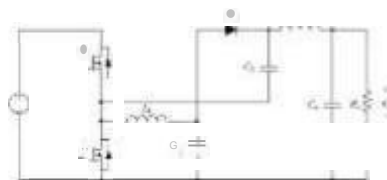
Oleh karena itu dibutuhkan sistem kontrol yang mampu mencari titik daya maksimum yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak, sistem tersebut adalah Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT adalah sistem elektronis, pencarian daya maksimum dengan cara monitor dan pengendalian tegangan dan arus. MPPT digunakan untuk mengoptimalkan daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Ombak karena sifat dari ombak yang berubah-ubah mengakibatkan perubahan daya keluaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Ombak. Pada penelitian ini menggunakan metode Perturb and Observe karena merupakan metode yang paling umum digunakan MPPT dan lebih mudah mengimplementasikannya dibandingkan metode lainnya. Keunggulan lainnya dari algoritma P&O ini adalah lebih cepat dan tepat dalam mencari daya maksimal dibandingkan dengan algoritma lainnya walaupun dapat menghasilkan osilasi pada daya keluarannya. Algoritma P&O juga menjadi salah satu algoritma pencarian yang digunakan didalam web database. [8].

Karakteristik dari algoritma P&O ini adalah nilai grafiknya naik turun, semakin mendekati nilai yang dicari, maka akan semakin kecil grafik naik turun itu sampai akhirnya ketemu. Maka dari itu algoritma ini akan menyebabkan nilai daya sangat fluktuatif pada prosesnya menemukan daya optimum dan juga dikarenakan nilai daya yang bisa dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Ombak sangat sensitif terhadap perubahan gelombang ombak, maka disaat sudah menemukan nilai daya maksimum, algoritma akan terus mencari kembali nilai daya optimum pada Pembangkit Listrik Tenaga Ombak karena disaat yang cepat nilai daya yang bisa dihasilkan bisa berubah. Pada penelitian yang sudah ada metode ini yakni pada photovoltaic digunakan karena dengan metode ini algoritma MPPT dapat dijalankan tanpa membutuhkan input data dari spesifikasi photovoltaic yang digunakan dan dapat meningkatkan efisiensi listrik dari sistem energi surya, sehingga dapat mengurangi jumlah panel surya atau array yang diperlukan untuk menghasilkan output yang diinginkan [8].

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Buckboost Converter

Buck Boost Converter merupakan salah satu jenis dari *DC to DC Converter* yang berfungsi untuk mengubah level tegangan DC baik ke level yang lebih tinggi maupun ke level yang lebih rendah dari input. Berbeda dengan konverter *Buck-boost* pada umumnya yang merupakan kombinasi dari konverter buck dengan konverter *Boost*, tetapi konverter *Buck-Boost* pada penelitian ini merupakan kombinasi dari konverter KY dan konverter Buck. Sama halnya dengan konverter *Buck-Boost* pada umumnya, namun konverter ini tidak mengubah polaritas tegangan output terhadap tegangan input. Dengan menggunakan saklar daya yang sama, memiliki tegangan output positif, konverter ini selalu beroperasi di CCM (Continuous Conduction Mode) sehingga menyebabkan duty cycle seluruh beban bervariasi. Karena memiliki output induktor sendiri konverter ini memiliki arus keluaran nonpulsating sehingga tidak hanya mengurangi arus stress pada output kapasitor tetapi juga mengurangi ripple pada tegangan output. [6]



Gambar 2.1 Buckboost converter

Pada konverter KY Buck Boost terdapat dua kondisi saat beroperasi di dalamnya

1. Saat  $S_1$  On dan  $S_2$  Off



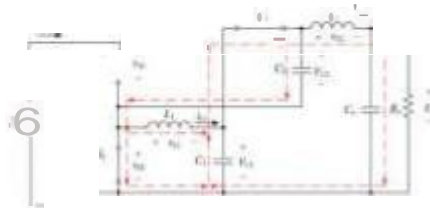
Gambar 2.2 Arah arus pada proses 1

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa saklar daya S<sub>1</sub> ON tetapi saklar daya S<sub>2</sub> OFF, selama proses ini tegangan input menyediakan energi untuk L<sub>1</sub> dan C<sub>1</sub>. Oleh karena itu tegangan L<sub>1</sub> adalah V<sub>i</sub> minus VC<sub>1</sub>, sehingga menyebabkan L<sub>1</sub> mengalami medan magnet, dan C<sub>1</sub> pengisian energi. Di waktu yang sama tegangan output bersama C<sub>2</sub> menyediakan energy untuk L<sub>2</sub> dan output. Oleh karena itu tegangan L<sub>2</sub> adalah V<sub>i</sub> plus VC<sub>2</sub> minus V<sub>o</sub>, sehingga menyebabkan L<sub>2</sub> mengalami medan magnet dan C<sub>2</sub> tidak mengalami pengisian. persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut. [6]

$$V_{L1} = V_i - V_{C1} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{L2} = V_i + V_{C2} - V_o \dots\dots\dots (2)$$

2. Saat S<sub>1</sub> OFF dan S<sub>2</sub> ON



Gambar 2.3 Arah arus pada proses 2

Pada gambar 2.3 menunjukan bahwa saklar daya S<sub>1</sub> OFF dan saklar daya S<sub>2</sub> ON. Selama proses ini energy yang tersimpan di L<sub>1</sub> dan C<sub>1</sub> dilepaskan ke C<sub>2</sub> dan output melalui L<sub>2</sub>. Oleh karena itu L<sub>1</sub> tidak mengalami medan magnet, dan C<sub>1</sub> tidak mengalami pengisian. Pada waktu yang sama, tegangan L<sub>2</sub> adalah V<sub>C2</sub> minus V<sub>o</sub> sehingga menyebabkan L<sub>2</sub> tidak mengalami medan magnet dan C<sub>2</sub> mengalami pengisian, persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut : [6]

$$V_{L1} = -V_{C1} \dots\dots\dots (3)$$

$$V_{L2} = V_{C2} - V_o \dots\dots\dots (4)$$

$$V_{C1} = V_{C2} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan menerapkan keseimbangan tegangan pada waktu tertentu pada persamaan (1) dan (3), persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut : [6]

$$(V_i - V_{C1}) \cdot D + (-V_{C1}) \cdot (1 - D) = 0 \dots\dots\dots (6)$$

Sehingga dengan menyederhanakan persamaan (6), persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut : [6]

$$V_{C1} = D \cdot V_i \dots\dots\dots (7)$$

Berurutan, dengan menerapkan keseimbangan tegangan pada waktu tertentu pada persamaan (2) dan (4), persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut : [6]

$$(V_i + V_{C2} - V_o) \cdot D + (V_{C2} - V_o) \cdot (1 - D) = 0 \dots\dots\dots (8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (5) dan (7) ke dalam (8), konversi rasio tegangan dapat dinyatakan dalam persamaan (9) berikut : [6]

$$\frac{V_o}{V_i} = 2D \dots\dots\dots (9)$$

Oleh karena itu , saat converter bias beroperasi pada mode buck duty cycle D lebih kecil dari 0.5, sedangkan saat beroperasi pada mode boost D lebih besar dari 0.5 [6]

Berdasarkan persamaan (5), (7) dan (9) tegangan dc pada C1 dan C2 adalah [6]

$$V_{C1} = V_{C2} = 0.5 V_i \dots\dots\dots (10)$$

Untuk merancang konverter ini kita harus menentukan terlebih dahulu besar kapasitor dan induktor yang ada pada konverter ini, berikut langkah-langkah untuk menentukan besar kapasitor dan induktor pada konverter ini: [6]

**2.1.1 Induktor**

Dari sudut pandang industri, induktor didesain di bawah kondisi bahwa ada arus negatif di dalam induktor yang dinilai di atas 25% dari arus dc beban. Sehingga, titik kritis antara arus positif dan arus negatif pada induktor dapat diasumsikan 25% dari nilai arus beban output. Oleh karena itu, nilai puncak ke puncak dari  $i_{L1}$  dan  $i_{L2}$  dapat dinyatakan dengan  $\Delta i_{L1}$  dan  $\Delta i_{L2}$  dapat diperoleh menurut persamaan (11) berikut : <sup>[6]</sup>

$$\Delta i_{L1} = \Delta i_{L2} = 0.5 I_{o-rated} \dots\dots\dots (11)$$

Nilai L1 dan L2 diperoleh menurut persamaan:

$$L_1 \geq \frac{V_i - V_{C1}}{\Delta i_{L1} \cdot f_s} \dots\dots\dots (12)$$

$$L_2 \geq \frac{V_i + V_{C2} - V_{C1}}{\Delta i_{L2} \cdot f_s} \dots\dots\dots (13)$$

Duty cycle minimum  $D_{min}$  diperoleh dari persamaan (9) dengan menggunakan tegangan input  $V_i$  maksimum yang dikeluarkan oleh generator. <sup>[6]</sup>

**2.1.2 Kapasitor Output**

Sebelum merancang  $C_o$ , diasumsikan bahwa tegangan riak output  $\Delta v_o$  lebih kecil dari 1% tegangan output dc. Karenanya equivalent series resistance pada kapasitor output dapat nyatakan dengan persamaan berikut : <sup>[6]</sup>

$$r_{esr} \leq \frac{\Delta v_o}{\Delta i_{L2}} \dots\dots\dots (14)$$

**2.1.3 Kapasitor Energy-Transferring**

Sebelum merancang kapasitor  $C1$  dan  $C2$ , diasumsikan bahwa nilai  $C1$  dan  $C2$  cukup besar untuk menjaga  $V_{C1}$  dan  $V_{C2}$  tetap mendekati tegangan  $0.5V_o$  seperti yang dijelaskan pada persamaan (10). Karenanya, variasi pada  $V_{C1}$  dan  $V_{C2}$  cukup kecil dan dapat dinyatakan dengan  $\Delta V_{C1}$  dan  $\Delta V_{C2}$ , dan keduanya diasumsikan lebih kecil dari 1% dari  $V_{C1}$  dan  $V_{C2}$ , nilai  $C1$  dan  $C2$  dapat dinyatakan dengan persamaan berikut : <sup>[6]</sup>

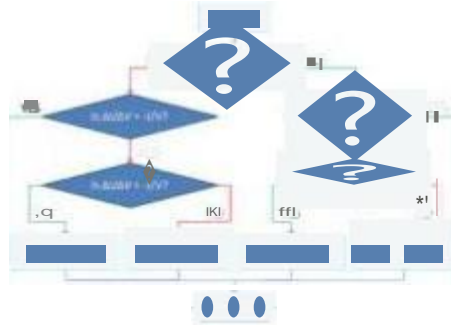
$$C_1 \geq \frac{I_o}{\Delta V_{C1} \cdot f_s} \dots\dots\dots (15)$$

$$C_2 \geq \frac{I_o}{\Delta V_{C2} \cdot f_s} \dots\dots\dots (16)$$

Duty cycle maksimum  $D_{max}$  diperoleh dari persamaan (10) dengan menggunakan tegangan input minimum  $V_i$  yang dikeluarkan oleh generator. <sup>[6]</sup>

**2.2 Perturb And Observe**

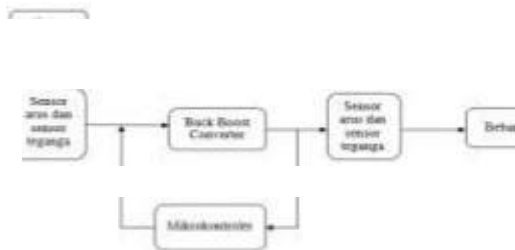
Perturb and Observe merupakan salah satu metode dari Maximum Power Point Tracking, konsep metode Perturb and Observe adalah untuk memodifikasi tegangan operasi atau arus yang berasal dari generator sampai mendapatkan daya maksimum yang kemudian akan dikeluarkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Ombak. Sistem akan meningkatkan level tegangan operasi bila daya pada output mulai menurun, setelah itu tegangan akan diturunkan untuk mendapatkan daya maksimum pada output, proses ini akan terus berlangsung sampai daya maksimum tercapai. Dengan demikian nilai daya pada output akan berisolasi disekitar nilai daya maksimum sampai stabil. Salah satu kelemahan dari metode Perturb and Observe adalah daya yang diperoleh berisolasi di sekitar daya maksimum dalam operasi steady state. <sup>[8]</sup> Berikut adalah contoh flowchart perancangan Perturb and Observe yang ditanam pada mikrokontroler



Gambar 2.4 Contoh flowchart perancangan algoritma Perturb and Observe

**3. PERANCANGAN SISTEM**

**3.1 Perancangan Secara Umum**

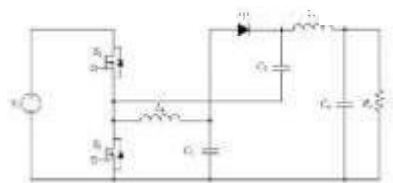


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perancangan.

Pada gambar 3.1 di atas dapat dijelaskan bahwa dc generator pada pembangkit listrik menghasilkan arus dan tegangan dc yang dihubungkan dengan sensor arus dan tegangan sebagai indikator terhadap arus dan tegangan sebelum diubah levelnya, dinaikkan atau diturunkan oleh Buck Boost Converter yang dikontrol oleh Mikrokontroler. Sensor arus dan tegangan setelah Buck Boost Converter sebagai indikator terhadap arus dan tegangan yang sudah diubah levelnya, sehingga kita dapat melihat perubahan tegangan atau arus saat sebelum dan sesudah diubah levelnya. Selain dapat melihat perubahan arus atau tegangan kita juga dapat melihat tegangan atau arus yang dibutuhkan oleh beban berupa baterai.

**3.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)**

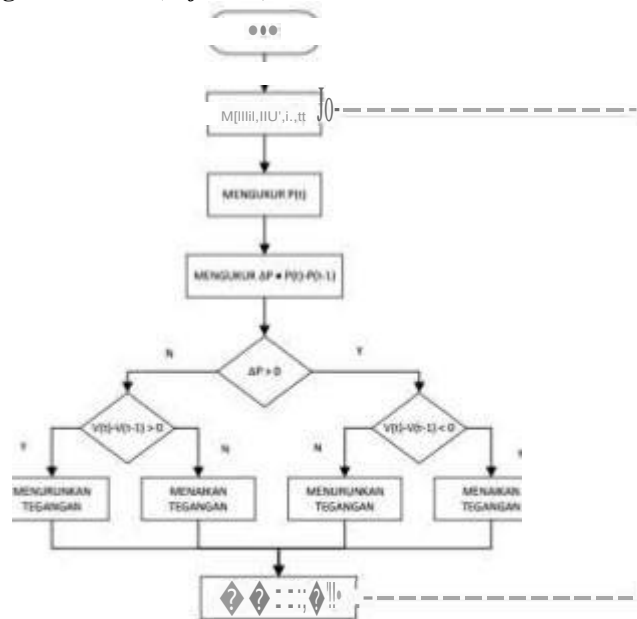
**3.2.1 Buckboost converter**



Gambar 3.2 Rangkaian buckboost

Alat ini dirancang dengan kemampuan range tegangan input 6 V sampai 20 V, dan dapat mengeluarkan tegangan output  $V_o$  sebesar 12 V. dengan menggunakan persamaan (1) sampai (13) kita dapat memperoleh nilai  $L_1$  dan  $L_2$  masing-masing  $\geq 5.6 \mu H$ ,  $C_1$  dan  $C_2 \geq 6.25 mF$ .

### 3.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)



Gambar 3.3 Flowchart P&O

Pada gambar diatas, saat buckboost mendapatkan catu daya maka miikrokontroler yang sudah terisi program P&O akan menyebabkan sensor tegangan dan sensor arus mulai membaca tegangan dan yang ada pada output buck boost, dari hasil pembacaan arus dan tegangan kita dapat memperoleh daya, daya yang telah kita peroleh akan dibandingkan dengan daya yang sebelumnya, jika lebih kecil, mikrokontroler akan menseset duty cycle agar dayanya bisa lebih besar dari daya yang telah dibaca sebelumnya, jika lebih besar maka dayanya akan digunakan sebagai acuan atau pembanding dengan daya yang akan dibaca selanjutnya, ini akan berlangsung terus hingga mencapai daya yang diinginkan.

## 4. IMPLEMENTASIDAN PENGUJIAN

### 4.1 Pengujian BuckBoost

Tabel 1 Hasil Percobaan tanpa beban

no	Vi (V)	Vo (V)	Ii (A)	Io (A)	Pi (W)	Po (W)	Efisiensi daya
1	2.1	1.1	0.1	0.1	0.2	0.1	50 %
2	2.9	1.8	0.3	0.2	0.8	0.4	50 %
3	8.5	7.0	1.2	1.0	10.4	8.0	80 %
4	9.2	8.3	1.7	1.2	15.1	10.7	70 %
5	10.3	9.6	1.8	1.4	19.0	13.6	70 %
6	11.3	10.7	2.7	1.9	31	20.6	70 %
7	12.2	11.2	1.7	1.8	21.4	20.0	90 %
8	13.4	12.3	2.3	2.0	30.4	24.3	80 %
9	12.5	12.9	2.9	2.1	36.9	26.6	70 %
10	13.6	12.9	2.1	2.0	28.8	25.7	90 %

Pada tabel 4.6 menunjukkan hasil percobaan *buck boost converter* dengan mikrokontroler yang ditanamkan algoritma P & O, pada data pertama tegangan *input* Vi sebesar 2.1 V, arus *input* Ii sebesar 0.1 A dan daya *input* yang dihasilkan Pi sebesar 0.2 W, lalu *buck boost converter* mengolahnya menjadi tegangan *output* Vo sebesar 1.1 V, arus *output* Io sebesar 0.1 A dan daya *output* yang dihasilkan Po sebesar 0.1 W, sehingga efisiensi daya yang dihasilkan sebesar 50%. Pada data terakhir tegangan *input* Vi sebesar 13.6 V, arus *input* Ii sebesar 2.1 A dan daya *input* yang dihasilkan Pi sebesar 28.8 W, lalu *buck boost converter* mengolahnya menjadi tegangan *output* Vo sebesar 12.9 V, arus *output* Io sebesar 2.0 A dan daya *output* yang dihasilkan Po sebesar 25.7 W, sehingga efisiensi daya yang dihasilkan sebesar 90%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi daya yang dihasilkan oleh *buck boost converter* dengan digunakan algoritma P & O dengan rentang sebesar 50% sampai 90%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada perancangan buckboostconverter, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Buckboost Converter sulit mencapai tegangan keluaran sebesar 12 V bila tegangan input Buckboost kurang dari 6 V.
2. Range input tegangan pada buckboost 6 V sampai 18 V
3. Dibutuhkan sensor tegangan dan sensor arus untuk membaca tegangan dan arus sekaligus sebagai feedback keluaran tersebut.
4. Keuntungan dari algoritma P&O adalah kecepatan dan ketepatan dalam mencari daya maksimal dibanding dengan algoritma lain.
5. Karakteristik dari algoritma P&O ini adalah nilainya mendekati nilai yang ditentukan
6. Rangkaian buck boost pada penelitian ini dapat beroperasi selama 5 jam

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dilakukan di dapatkan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari tugas akhir ini:

1. Range tegangan masukan diperbesar dari sebelumnya, karena pada penelitian ini range tegangan input minimum hanya 6.5 V untuk mencapai 12 V
2. PCB yang digunakan sebaiknya menggunakan PCB yang dicetak, karena bila menggunakan PCB yang ada di pasaran terdapat kekurangan pada jalur rangkaian.
3. Komponen yang digunakan lebih berkualitas dari sebelumnya agar dapat beroperasi lebih lama.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lanuru, Mahatma, Suarni. 2011. "Pengantar Oseanografi". Makasar. Universitas Hassanudin.
- [2] Generator Arus Searah.2010.  
(diakses dari <http://respository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19998/3/Chapter%20II.pdf> pada 4 April 2015).
- [3] Mulyono, Sobri. 2014. "Desain dan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Menggunakan Linier Altenator System Untuk Pengisian Maintenance Free Battery 12 Volt di Perahu Nelayan Elektrik". Bandung. Universitas Telkom.
- [4] Arduino Uno. 2015. (diakses dari <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> pada tanggal 10 Maret 2015).
- [5] K. I. Hwu and Y. T. Yau, "Two types of KY buck-boost converters, " *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no.8, pp. 2970-2980, Aug. 2009.
- [6] K. I. Hwu and T. J. Peng, "A Novel Buck-Boost Converter Combining KY and Buck Converters," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 27, no. 5, pp. 2236-2241, May. 2012.
- [7] Sugiharto, Danie Novin. 2010. Implementasi Algoritma Maximum Power Point Tracking Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Metode Perturb and Observe. Depok: FT UI.
- [8] Maximum Power Point Tracking. 2009. (diakses dari <http://www.ni.com/white-paper/8106/en> pada 22 Mei 2015).