

# IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SISTEM PENGISIAN/PENGOSONGAN BATERAI PADA SISTEM *PHOTOVOLTAIC STAND-ALONE* MENGGUNAKAN *BIDIRECTIONAL CONVERTER* DENGAN METODE *PROPORTIONAL-INTEGRAL* BERBASIS MIKROKONTROLER DSPIC30F4011

Pinandito Sulistomo<sup>\*)</sup>, Iwan Setiawan, dan Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [psulistomo@gmail.com](mailto:psulistomo@gmail.com)

## Abstrak

Energi terbarukan yang berkelanjutan dan tak habis-habis seperti yang didapatkan dari angin, *photovoltaic*, atau pasang surut air laut menarik untuk diteliti. Bagian terpenting dari sistem energi terbarukan adalah elemen penyimpanan, seperti baterai. Dibutuhkan rangkaian konverter yang dapat diatur arah aliran daya yang mengalir untuk mengisi dan menggunakan baterai. Pengaturan ini penting karena besar daya yang dialirkan dapat menyesuaikan kebutuhan beban. Penelitian ini merancang *Bidirectional DC-DC Converter* dengan sistem kendali arah aliran daya dengan metode *proportional-integral* berbasis mikrokontroler DSPIC30f4011. Pengujian dilakukan dengan referensi tegangan  $\pm 20$  V pada variasi beban 39  $\Omega$ , 50  $\Omega$ , dan 100  $\Omega$ . Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol *Proportional-Integral* dapat bekerja dengan baik untuk digunakan sebagai pengendali arah aliran daya dengan cara meregulasi dan menjaga nilai tegangan *DC Bus* konstan sebesar 20,2 V pada beban *resistor* 39  $\Omega$ , 20,4 V pada beban *resistor* 50  $\Omega$  dan 20,4 V pada beban *resistor* 100  $\Omega$ . Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber kurang dari besar daya yang dibutuhkan beban, maka terjadi *discharging battery*. Namun ketika hal sebaliknya terjadi, maka berubah menjadi *charging battery*.

*Kata kunci: Baterai, Bidirectional DC-DC Converter, Charging, Discharging, dsPIC30F4011, Proportional integral.*

## Abstract

Sustainable and endless renewable energies such as those obtained from wind, photovoltaics, or tides are interesting to study. The most important part of renewable energy systems is storage elements, such as batteries. A converter circuit that can be set in the direction of the flow of power to charge and discharge the battery is needed. This setting is important because the amount of power supplied can adjust load requirements. This Research designs a Bidirectional DC-DC Converter with a power flow direction control system with proportional-integral method based on DSPIC30f4011 microcontroller. The test was carried out with a reference voltage of  $\pm 20$  V at load variations of 39  $\Omega$ , 50  $\Omega$ , and 100  $\Omega$ . The test results show that Proportional-Integral control can work well to be used as a controller of the direction of power flow by regulating and maintaining a constant DC bus voltage of 20.2 V at a resistor load of 39  $\Omega$ , 20.4 V at a 50  $\Omega$  resistor load and 20.4 V at 100 resistor load. When the value of the power generated by the source is less than the power required by the load, discharging battery occurs. But when the opposite happens, it changes to a charging battery.

*Key word: Battery, Bidirectional DC-DC Converter, Charging, Discharging, dsPIC30F4011, Proportional integral.*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan kebutuhan energi listrik di dunia tentu makin meningkat dari waktu ke waktu. Kebutuhan energi alternatif di tengah terus menipisnya cadangan energi fosil tidak dapat dihindarkan. Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan standar hidup masyarakat secara tidak langsung maupun secara langsung memiliki keterkaitan dengan meningkatnya penggunaan energi[1]. Peningkatan konsumsi jumlah energi global yang semakin cepat, membutuhkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan yang berkelanjutan dan tak habis-habis seperti

yang didapatkan dari angin, *photovoltaic*, atau pasang surut air laut menarik untuk diteliti[2].

Bagian terpenting dari sistem energi terbarukan adalah elemen penyimpanan. Elemen penyimpanan mengumpulkan fluktuasi energi dan memungkinkan untuk meningkatkan sifat dinamis sistem. Sebuah baterai kimia atau *super capacitor* digunakan sebagai elemen penyimpanan. Dibutuhkan rangkaian konverter yang dapat diatur arah aliran daya yang mengalir untuk mengisi dan menggunakan baterai. Pada penelitian [3] digunakan rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* yang dapat

mengalirkan daya untuk keperluan mengisi atau menggunakan baterai. Sebuah baterai dengan *Bidirectional DC-DC converter* yang dihubungkan ke *DC Bus* dapat mengendalikan arah arus charge/discharge baterai secara efektif dan menjaga stabilitas tegangan *DC Bus*. Pada penelitian [4], pemicuan *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk menghasilkan sinyal referensi yang presisi. Pembangkitan sinyal PWM menggunakan DSPIC30f4011 lebih mudah dan ringkas karena pembangkitan sinyalnya dilakukan melalui senarai program. Selain itu DSPIC30f4011 memiliki kemampuan *Digital Sinyal Processing* yang mampu memproses data secara cepat dan mempunyai lebar data 16 bit[5].

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini dirancang *Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converter* dengan teknik pemicuan PWM berbasis *microcontroller* 16-bit DSPIC30f4011. Pengendalian arah aliran daya direalisasikan dengan menggunakan metode kontrol *Proportional-Integral*. Sinyal *carrier* dirancang pada 20 kHz. *Bidirectional DC-DC Converter* yang dibuat diharapkan dapat memiliki performa handal dan dapat mengendalikan arah aliran daya dengan cara meregulasi dan menjaga nilai tegangan *DC Bus* konstan sesuai referensi.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Rangkaian Daya

Rangkaian daya yang digunakan pada ini adalah konverter DC-DC topologi *Bidirectional Buck-Boost Converter*. *Bidirectional Buck-Boost Converter* digunakan untuk menjaga nilai tegangan *DC Bus* dengan polaritas tegangan dua arah. [6] *Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converter* memainkan peran kunci dalam menghubungkan penyimpanan energi terdistribusi dengan *microgrid*. *Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converter* memiliki dua tujuan utama yaitu, untuk mengendalikan arah dan jumlah energi dari dan menuju perangkat penyimpanan, dan untuk mengendalikan tegangan *DC Bus*. [7] Spesifikasi rangkaian *Bidirectional Buck-Boost Converter* dapat dilihat pada Tabel 1.

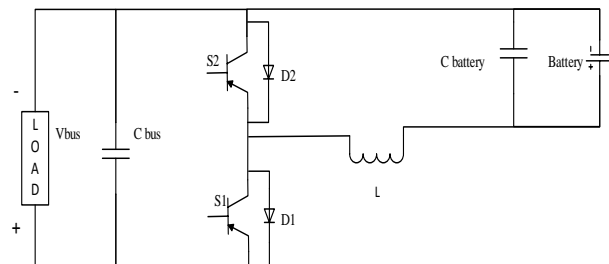
Tabel 1. Spesifikasi *Bidirectional Buck-Boost Converter*

Spesifikasi	Nilai
Tegangan Masukan ( <i>DC Bus</i> )	32 V
Tegangan Keluaran (Baterai)	13,5 V
Frekuensi	20 kHz
Duty Cycle (D)	10% - 80%
Frekuensi <i>Switching</i> (fs)	20 kHz
Beban (R)	39 Ω, 50 Ω, dan 100 Ω

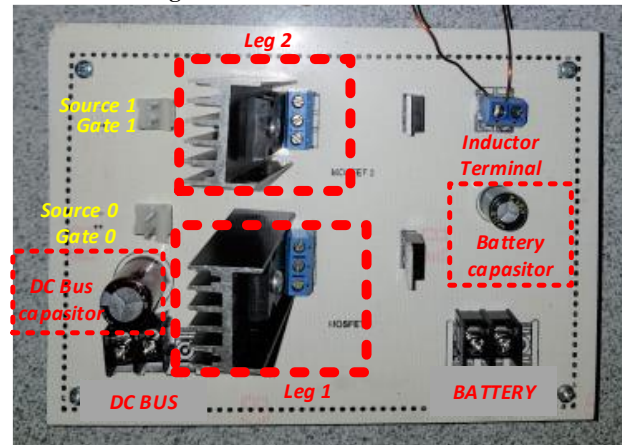
Terdapat 5 komponen rangkaian *Bidirectional Buck-Boost Converter*, yaitu induktor, kapasitor, diode, *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT), dan resistor sebagai beban. Komponen penyusun *Bidirectional Buck-Boost Converter* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen penyusun *Bidirectional Buck-Boost Converter*

Komponen	Tipe/Nilai
IGBT	IRG4PC50UD
Dioda	MUR1560
Induktor	4,5 mH
Kapasitor	50 μF/100V (charging), 100 μF/160V (discharging)
Resistor	39 Ω, 50 Ω, dan 100 Ω



Gambar 1. Rangkaian *Bidirectional Buck-Boost Converter*



Gambar 2. Realisasi rangkaian *Bidirectional Buck-Boost Converter*

### 2.2. Perancangan Rangkaian Kontrol

Perancangan rangkaian kontrol pada penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu, perancangan rangkaian pembangkit PWM yang menggunakan DSPIC30F4011, dan perancangan sensor tegangan. Berikut merupakan penjelasan tiap bagian perancangan rangkaian kontrol pada penelitian ini.

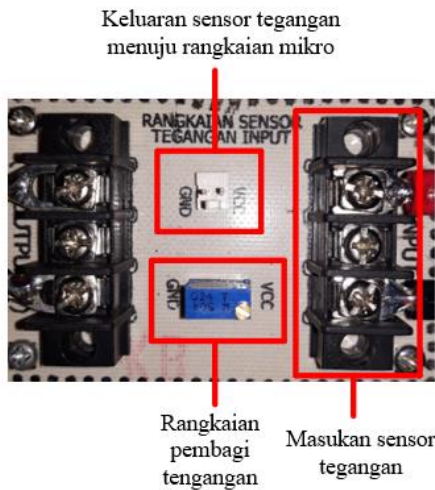
#### 2.2.1. Sistem Minimum DSPIC30F4011

Mikrokontroler DSPI30F4011 digunakan sebagai rangkaian kontrol pada penelitian ini. Mikrokontroler DSPI30F4011 berfungsi untuk menerima data hasil pembacaan tegangan dari *DC Bus*, pembacaan data tegangan tersebut kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk mengoperasikan algoritma kontrol arah aliran daya

pada *Bidirectional Converter*. Teknik PWM yang dapat digunakan sebagai masukan *bidirectional converter* untuk mengontrol keluarannya[8], yaitu *single pulse width modulation*. Mikrokontroler DSPI30F4011 diprogram untuk bekerja pada frekuensi sebesar 20 kHz. Pin PWM1H (PDC1) pada Mikrokontroler DSPI30F4011 digunakan sebagai pin keluaran PWM untuk mode *discharging*. Pin PWM2H (PDC2) pada Mikrokontroler DSPI30F4011 digunakan sebagai pin keluaran PWM untuk mode *charging*.

### 2.2.2. Sensor Tegangan

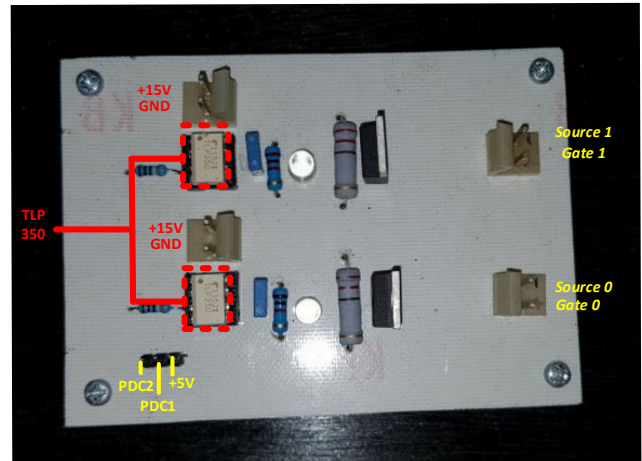
Sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan dibuat menggunakan potensiometer jenis *multi turn* dengan nilai hambatan 500 k $\Omega$ . Nilai hambatan potensiometer diatur sedemikian rupa sehingga pada saat nilai tegangan aktual sebesar 60 V, maka tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan sebesar 5 V. Pengaturan nilai tersebut disesuaikan dengan batas tegangan keluaran maksimal panel surya yaitu sebesar 50 V.



Gambar 3. Realisasi sensor tegangan

### 2.3. Perancangan Rangkaian Driver

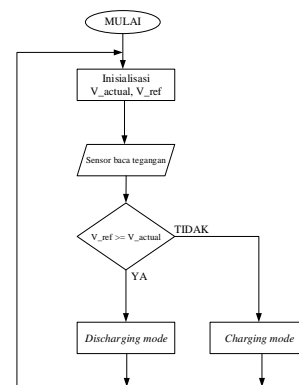
Rangkaian TLP 350 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal kontrol *proportional integral* dengan level tegangan 5 Volt yang dibangkitkan dsPIC30f4011 menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah (level tegangan 15 V) dan cukup untuk memicu IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) sebagai driver.[9]



Gambar 4. Realisasi rangkaian driver IGBT

### 2.5. Perancangan Algoritma Kontrol Arah Aliran Daya

Algoritma kontrol arah aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kontrol *Proportional-Integral* dengan cara meregulasi tegangan pada *DC Bus*. [10] Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber arus kurang dari besar daya yang dibutuhkan beban, mengakibatkan nilai tegangan pada kapasitor *DC Bus* relatif turun dibawah nilai tegangan referensi. Ketika kondisi ini dideteksi oleh sensor tegangan, maka algoritma program mengaktifkan mode *boost* pada *bidirectional converter*, sehingga terjadi *discharging battery* yang mengalirkan daya dari *battery* ke beban. Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber arus lebih besar daya yang dibutuhkan beban, mengakibatkan nilai tegangan pada kapasitor *DC Bus* relatif naik diatas nilai tegangan referensi. Ketika kondisi ini dideteksi oleh sensor tegangan, maka algoritma program mengaktifkan mode *buck*, sehingga kelebihan daya yang dihasilkan oleh sumber arus dialirkan untuk *charging battery*. Diagram alir dari algoritma ini ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir metode *Perturb and Observe*

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian daya bertujuan untuk mengetahui kinerja *bidirectional buck-boost converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian *bidirectional buck-boost converter*.

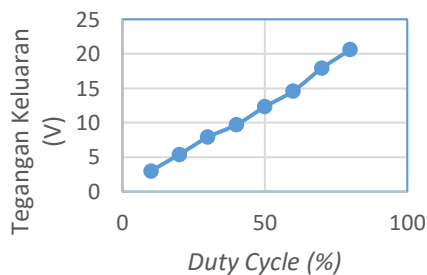
3.1.1. Pengujian Mode Buck

Pengujian mode *buck* dilakukan dengan cara mengaktifkan pin PWM1H dan memberi nilai *high* pada PWM2H. Berikut merupakan data hasil pengujian rangkaian *bidirectional converter* pada mode *buck*.

Tabel 3. Pengujian Mode Buck

D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)
10	26.63	0.017	3	0.05
20	26.63	0.04	5.4	0.1
30	26.63	0.15	7.9	0.15
40	26.63	0.16	9.7	0.2
50	26.63	0.17	12.3	0.26
60	26.63	0.18	14.6	0.3
70	26.63	0.253	17.9	0.36
80	26.63	0.33	20.6	0.42

Perbandingan variasi *duty cycle* dengan tegangan keluaran pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik tegangan keluaran variasi *duty cycle* mode *buck*

Pada Gambar 6 ditunjukkan grafik hubungan *duty cycle* dengan tegangan keluaran dari hasil pengukuran. Pengaruh *duty cycle* pada tegangan keluaran berbanding lurus, artinya ketika *duty cycle* naik, maka tegangan keluaran *bidirectional converter* pada mode *buck* juga naik.

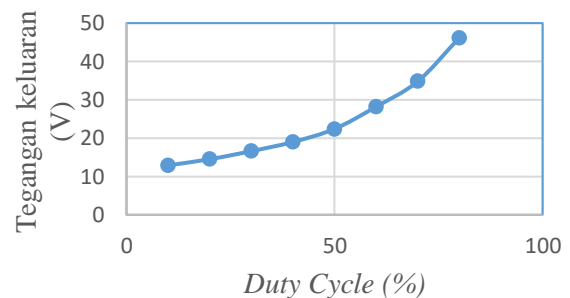
3.1.2. Pengujian Mode Boost

Pengujian mode *boost* dilakukan dengan cara mengaktifkan pin PWM1H dan memberi nilai *high* pada PWM2H. Berikut merupakan data hasil pengujian rangkaian *bidirectional converter* pada mode *boost*.

Tabel 4. Pengujian Mode Boost

D (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)
10	12.5	0.3	12.9	0.25
20	12.5	0.45	14.5	0.25
30	12.5	0.52	16.6	0.32
40	12.5	0.71	19	0.37
50	12.5	0.99	22.4	0.43
60	12.5	1.58	28.2	0.55
70	12.5	2.52	34.8	0.7
80	12.5	5	46.2	0.93

Perbandingan variasi *duty cycle* dengan tegangan keluaran pengukuran ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik tegangan keluaran variasi *duty cycle* mode *boost*

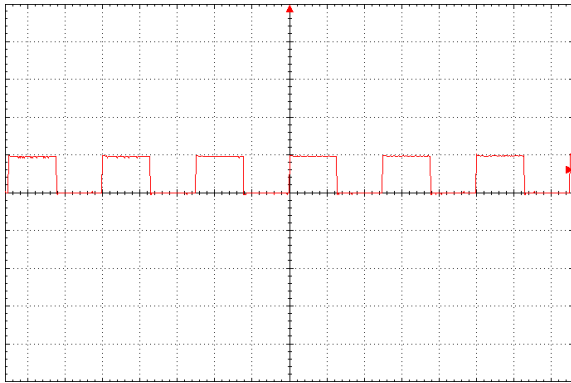
Pada Gambar 7 ditunjukkan grafik hubungan *duty cycle* dengan tegangan keluaran dari hasil pengukuran. Pengaruh *duty cycle* pada tegangan keluaran berbanding lurus, artinya ketika *duty cycle* naik, maka tegangan keluaran *bidirectional converter* pada mode *boost* juga naik.

3.2. Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian rangkaian kontrol terdiri dari 2 bagian pengujian, yaitu pengujian rangkaian pembangkit PWM dan pengujian sensor tegangan. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian kontrol dan ketelitian pembacaan sensor tegangan.

### 3.2.1. Pengujian Rangkaian Pembangkit Tegangan

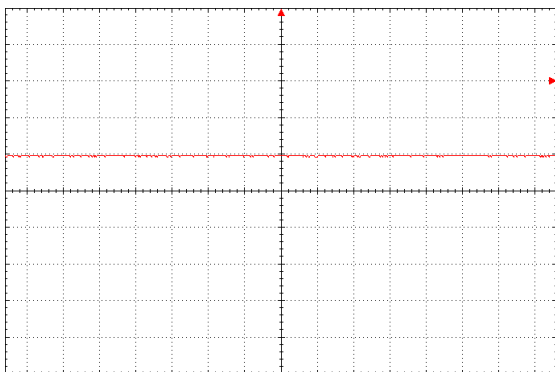
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *output* sinyal PWM hasil pemrograman yang telah dirancang dengan frekuensi sinyal *carrier* 20 kHz dan nilai indeks modulasi ( $m_a$ ) pada rentang nilai  $0 \leq m_a \leq 1$ . Gambar 8 menunjukkan rangkaian pengukuran *output* sinyal PWM DSPIC30F4011.



Gambar 8. Gelombang keluaran PWM *duty cycle* 50%

### 3.2.2. Pengujian Sensor Tegangan

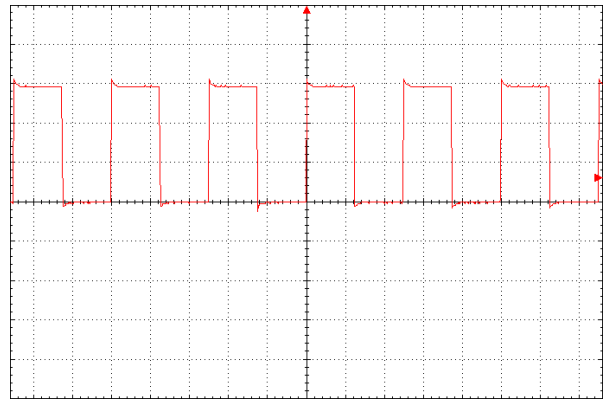
Pengujian rangkaian pembagi tegangan dilakukan dengan menggunakan osiloskop dengan cara meletakkan *probe* positif diantara dua resistor pembagi tegangan dan *probe* negatif ke *ground* rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 9. Gelombang keluaran pembagi tegangan dengan tegangan masukan 12 V<sub>DC</sub>

### 3.3. Pengujian Rangkaian Driver

Pengujian rangkaian *driver* bertujuan untuk mengamati dan menganalisis gelombang keluaran PWM setelah mengalami penguatan oleh rangkaian *driver*. Gambar 10 merupakan gelombang keluaran PWM rangkaian *driver*.



Gambar 10. Gelombang keluaran PWM TLP350 *duty cycle* 50%

### 3.5. Pengujian Algoritma Program Bidirectional Converter

Pengujian rangkaian secara *close loop* bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian dan program pada *bidirectional buck-boost converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan DC Bus, arus DC Bus, tegangan *battery*, dan arus *battery*. Pengujian dilakukan ketika keadaan *steady*. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian rangkaian secara *close loop bidirectional buck-boost converter*. Variasi nilai arus dilakukan untuk mengemulsikan gangguan pada sistem guna pengujian program *bidirectional converter*. Variasi nilai arus yang digunakan pada pengujian ini adalah 0.012 – 1 A dengan interval nilai arus 0.1 A. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 39 Ω, 50 Ω, 100 Ω.

Tabel 5. Data hasil pengujian rangkaian secara *close loop* dengan beban 39 Ω

I sumber (A)	V dc bus (V)	I batt (A)	V batt (V)	Keterangan
0.012	20.2	1.02	12.5	Nilai Arus bertanda positif (+) menandakan sistem pada mode <i>boost</i>
0.1	20.2	0.81	12.5	
0.2	20.2	0.59	12.5	
0.3	20.2	0.41	12.5	Nilai Arus bertanda negatif (-) menandakan sistem pada mode <i>buck</i>
0.4	20.2	0.23	12.5	
0.5	20.2	0.04	12.5	
0.6	20.2	-0.12	12.6	
0.7	20.2	-0.26	12.6	
0.8	20.2	-0.42	12.6	
0.9	20.2	-0.56	12.6	
1	20.2	-0.73	12.7	

**Tabel 6. Data hasil pengujian rangkaian secara *close loop* dengan beban 50  $\Omega$**

I sumber	V dc bus (V)	I batt (A)	V batt (V)	Keterangan
0.012	20.4	1.07	12.4	Nilai Arus bertanda positif (+) menandakan sistem pada mode <i>boost</i>
0.1	20.3	0.83	12.4	
0.2	20.3	0.65	12.4	
0.3	20.3	0.44	12.4	
0.4	20.3	0.28	12.5	
0.5	20.4	-0.17	12.5	Nilai Arus bertanda negatif (-) menandakan sistem pada mode <i>buck</i>
0.6	20.4	-0.28	12.5	
0.7	20.4	-0.43	12.6	
0.8	20.4	-0.57	12.6	
0.9	20.4	-0.73	12.6	
1	20.4	-0.89	12.7	

**Tabel 7. Data hasil pengujian rangkaian secara *close loop* dengan beban 100  $\Omega$**

I sumber (A)	V dc bus (V)	I batt (A)	V batt (V)	Keterangan
0.012	20.4	0.42	12.5	Nilai Arus bertanda positif (+) menandakan sistem pada mode <i>boost</i>
0.1	20.4	0.19	12.5	
0.26	20.4	-0.07	12.5	
0.3	20.4	-0.14	12.6	Nilai Arus bertanda negatif (-) menandakan sistem pada mode <i>buck</i>
0.4	20.4	-0.27	12.6	
0.5	20.4	-0.42	12.6	
0.6	20.4	-0.6	12.7	
0.7	20.4	-0.72	12.7	
0.8	20.4	-0.86	12.7	
0.9	20.3	-1	12.8	
1	20.3	-1.23	12.8	

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada semua jenis beban menunjukkan bahwa kontrol *Proportional-Integral* dapat bekerja dengan baik untuk digunakan sebagai pengendali arah aliran daya dengan cara meregulasi dan menjaga nilai tegangan *DC Bus* konstan sebesar 20,2 V pada nilai beban resistor 39  $\Omega$ , 20,4 V pada nilai beban resistor 50  $\Omega$  dan 20,4 V pada nilai beban resistor 100  $\Omega$ .

Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber arus kurang dari besar daya yang dibutuhkan beban, mengakibatkan nilai tegangan pada kapasitor *DC Bus* relatif turun dibawah nilai tegangan referensi. Ketika kondisi ini dideteksi oleh sensor tegangan, maka algoritma program mengaktifkan mode *boost* pada *bidirectional converter*, sehingga terjadi *discharging battery* yang mengalirkan daya dari *battery* ke beban.

Ketika nilai daya yang dihasilkan sumber arus lebih besar daya yang dibutuhkan beban, mengakibatkan nilai tegangan pada kapasitor *DC Bus* relatif naik diatas nilai tegangan referensi. Ketika kondisi ini dideteksi oleh sensor tegangan, maka algoritma program mengaktifkan mode *buck*, sehingga kelebihan daya yang dihasilkan oleh sumber arus dialirkan untuk *charging battery*.

#### Referensi

- [1] K. Q. Nguyen, "Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications," *Energy Policy*, vol. 35, no. 2, pp. 1405–1413, 2007.
- [2] S. Jalbrzykowski and T. Citko, "A bidirectional DC-DC converter for renewable energy systems," *Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci.*, vol. 57, no. 4, pp. 363–368, 2009.
- [3] C. Tian, C. Zhang, K. Li, X. Chu, N. Cui, and J. Wang, "Control strategy for bi-directional DC/DC converter of a stand-alone wind power system," *Power Electron. Distrib. Gener. Syst. (PEDG), 2012 3rd IEEE Int. Symp.*, no. 51107069, pp. 297–300, 2012.
- [4] V. V. and V. S. R. R., "Microcontroller based bidirectional buck-boost converter for photo-voltaic power plant," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, 2017.
- [5] Microchip Technology Inc., "dsPIC30F4011/4012 Data Sheet," pp. 1–2, 2005.
- [6] N. Kondrath, "Bidirectional DC-DC Converter Topologies and Control Strategies for Interfacing Energy Storage Systems in Microgrids : An Overview," 2017.
- [7] M. A. Sofla and L. Wang, "Control of DC-DC Bidirectional Converters for Interfacing Batteries in Microgrids," pp. 1–6, 2011.
- [8] D. A. K. S. Anjana Thakur, "An Overview of Different PWM Techniques to Reduce Total Harmonic Distortion of Output in," *Int. J. Recent Res. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 65–69, 2016.
- [9] *TLP350*, Toshiba Corporation, Japan, 2007.
- [10] I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*. 2008.