



Implementasi Kontrol Proporsional - Integral Pada Konverter Bidirectional Untuk Sistem Pengisian Baterai Turbin Angin

Hamlah Nadela Ilif B.J¹, Herman Hariyadi²

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

¹nadelahamlah8@gmail.com*

Abstract

The level of demand for electrical energy in Indonesia is currently getting higher and will continue with the increase in population, so that it is required to conduct research in the field of renewable energy. To be able to support renewable energy research, a switching circuit is needed for the battery charging system. The switching circuit used is a Konverter bidirectional circuit controlled by an Arduino Uno microcontroller based on PI (Proportional-Integral) control. PI control functions to regulate the voltage so that it has a stable output voltage value. From the research results of the Konverter bidirectional circuit, using trial and error control constants K_p : 2,6 and K_i : 5,6, it was found that the battery charging time was obtained with an initial voltage of 22.9 Volt to 24 Volt battery without using PI control, which was 6 hours 57 minutes, whereas if using the PI control with K_p : 2,6 and K_i : 5,6 with the initial battery voltage of 22.9 Volt to 24 Volt, the battery charging becomes faster, which is 2 hours 45 minutes.

Keywords: Control PI, Konverter bidirectional, Microcontroller, Battery Charging System.

Abstrak

Tingkat kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin tinggi dan akan terus meningkat dengan bertambahnya jumlah populasi, sehingga dituntut untuk melakukan penelitian di bidang *renewable energy*. Untuk dapat mendukung penelitian *renewable energy* dibutuhkan rangkaian *switching* untuk sistem pengisian baterai. Rangkaian *switching* yang digunakan yaitu rangkaian Konverter bidirectional yang dikontrol oleh mikrokontroler Arduino Uno berbasis kontrol PI (*Proportional-Integral*). Kontrol PI berfungsi untuk mengatur tegangan agar memiliki nilai tegangan output yang stabil. Dari hasil penelitian rangkaian Konverter bidirectional, dengan menggunakan cara *trial* dan *error* konstantan kendali yang didapat adalah K_p : 2,6 dan K_i : 5,6, didapatkan waktu pengisian baterai dengan tegangan awal baterai 22,9 Volt hingga 24 Volt tanpa menggunakan kontrol PI yaitu 6 jam 57 menit, sedangkan jika menggunakan kontrol PI dengan K_p : 2,6 dan K_i : 5,6 dengan tegangan awal baterai 22,9 Volt hingga 24 Volt maka pengisian baterai menjadi lebih cepat yaitu 2 jam 45 menit.

Kata kunci: Kontrol PI, Konverter Bidirectional, Mikrokontroler, Sistem Pengisian Baterai.

Diterima Redaksi : 24-05-2021 | Selesai Revisi : 21-06-2021 | Diterbitkan Online : 30-06-2021

1. Pendahuluan

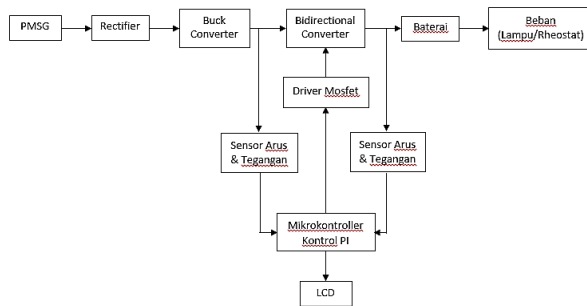
Tingkat kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin tinggi dan akan terus bertambah dengan perkembangan jumlah populasinya[1]. Peningkatan kebutuhan tersebut akan berpengaruh pada konsumsi energi fosil sebagai bahan utama dalam menghasilkan energi listrik di Indonesia[9]. Sedangkan jumlah energi fosil di Indonesia sudah semakin berkurang akibat penggunaan secara terus menerus serta energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*)[2]. Maka dari itu diperlukan energi alternatif yang dapat diperbaharui dan tidak menyebabkan polusi seperti energi fosil[3].

Pada Era ini, penelitian dalam bidang *renewable energy* sudah banyak dilakukan, Di Indonesia sendiri mulai mengembangkan energi angin sebagai sumber energi listrik[10]. Namun, terdapat beberapa kendala dalam pengembangannya, salah satunya adalah kondisi angin di Indonesia yang tidak stabil. Dalam hal ini dibutuhkan sebuah rangkaian elektronika daya berupa konverter DC-DC untuk menyesuaikan tegangan keluaran. Konverter yang digunakan ialah Konverter bidirectional atau konverter DC-DC dua arah[7]. Dalam pemanfaatan rangkaian Konverter bidirectional, maka diperlukan *switching* otomatis menggunakan mikrokontroler[8]. Dimana sebagai pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) serta pengolah *error* dengan *set point* tegangan dan arus[5]. Beberapa metode telah

dikembangkan untuk dapat mengisi daya pada baterai secara maksimal dengan menggunakan metode Konverter bidirectional berbasis Kontrol PI [11] sebagai pengatur daya pada turbin angin *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang dapat bekerja dalam dua mode yaitu mode pengisian dan mode pengosongan, sehingga tegangan keluaran stabil [6]. Penggunaan kontrol PI dapat menghasilkan nilai *output* yang stabil sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan [4].

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Blok



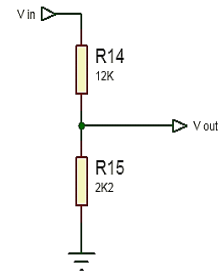
Gambar 1. Diagram Blok

Gambar 1 merupakan diagram blok, prinsip kerja dari Konverter bidirectional yaitu untuk mengatur proses *charging* dan *discharging* baterai yang bersumber dari generator. Rangkaian Konverter bidirectional menggunakan *input* PWM dengan tujuan untuk mengatur *duty cycle* sehingga mendapatkan hasil yang maksimal dalam proses pengisian baterai. Untuk dapat menentukan nilai PWM yang akan digunakan, maka diperlukan sensor arus dan tegangan sebagai feedback ke mikrokontroler. Selama proses *charging* maupun *discharging*, sensor arus dan tegangan akan terus bekerja untuk memonitoring *input* dan *output* rangkaian Konverter bidirectional. Arduino Uno digunakan untuk membaca output dari sensor arus dan sensor tegangan yang direpresentasikan dengan *duty cycle* untuk kontroler Konverter bidirectional melalui *Penggerak*. *Penggerak* berfungsi untuk menyesuaikan tegangan *output* dari mikrokontroler menuju Konverter bidirectional. *Input* dari sensor arus dan sensor tegangan akan diproses oleh Arduino Uno menggunakan metode *Proportional Integral* (PI) yang menghasilkan *output* tegangan yang stabil.

2.2. Perancangan Sensor Tegangan

Gambar 2 menunjukkan perancangan sensor tegangan, dalam pembacaan tegangan output generator diperlukan sebuah sensor yang dapat menurunkan tegangan menjadi tegangan yang dibutuhkan oleh ADC mikrokontroler, namun tetap dapat mewakili nilai tegangan asli. Maka digunakanlah prinsip dasar rangkaian listrik voltage divider. untuk menurunkan

tegangan pada prototype sistem turbin angin yang kemudian masuk ke ADC mikrokontroler.



Gambar 2. Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk mengetahui besaran komponen yang digunakan R14 dan R15 pada rangkaian sensor tegangan maka dapat menggunakan persamaan yaitu :

Perhitungan Arus Maksimal Pada Beban Resistor

$$I_{max} = \frac{P}{V_{max}}$$

$$I_{max} = \frac{0,25}{30}$$

$$I_{max} = 8 \text{ mA}$$
(1)

Perhitungan Nilai Resistansi Total Kedua Resistor

$$R_{total_{min}} = \frac{V_{max}}{I_{max}}$$

$$R_{total_{min}} = \frac{30}{0,008}$$

$$R_{total_{min}} = 3,7 \text{ k}\Omega$$
(2)

Perhitungan Nilai Resistansi R1 dan R2

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{in}$$

$$5 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times 30$$

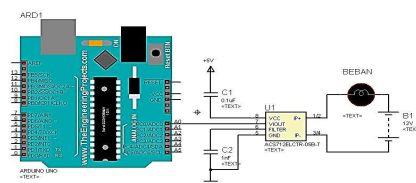
$$5R_1 + 5R_2 = 30R_2$$

Jika $R_1 = 12k$,
 $R_2 = (5 \times 12k)$

(3)

2.3. Perancangan Modul Sensor Arus

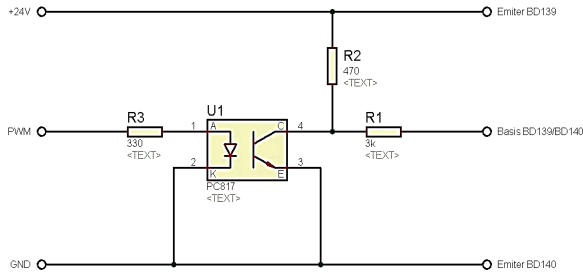
Gambar 3 menunjukkan perancangan sensor arus, fungsi dari sensor arus ACS712 adalah untuk mendeteksi besarnya arus yang mengalir dan mendeteksi besarnya arus pada beban. Modul sensor arus ACS712 dapat mendeteksi arus hingga 5A dan sinyal arus ini dapat dibaca melalui IO port Arduino. Sensor ACS712 5A membutuhkan tegangan *supply* 5v untuk bekerja.



Gambar 3. Rangkaian Modul Sensor Arus

2.4. Perancangan Penggerak Mosfet

Gambar 4 menunjukkan perancangan penggerak mosfet, penggerak mosfet berfungsi untuk mengendalikan kinerja Konverter bidirectional yang input-nya berupa sinyal PWM. Sinyal PWM tersebut dikontrol melalui Arduino dengan pengendalian nilai duty cycle yang dihasilkan oleh kontrol PI.



Gambar 4. Rangkaian Penggerak Mosfet

Untuk mengetahui besaran komponen yang digunakan R1, R2 dan R3 pada rangkaian penggerak mosfet maka dapat menggunakan persamaan yaitu :

Perhitungan Mencari Nilai Hambatan R1

$$R1 = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{I_c}$$

$$R1 = \frac{5 - 0,7 \text{ volt}}{1,5 \text{ A}}$$

$$R1 = 2.866 \Omega$$

Pada rangkaian Konverter bidirectional menggunakan resistor 3.0K Ohm karena terdapat dipasaran.

Perhitungan Mencari Nilai Hambatan R2

$$R2 = \frac{V_{cc} - V_{IH}}{I_H}$$

$$R2 = \frac{24 - 4,5}{0,5}$$

$$R2 = 39 \Omega$$

Pada rangkaian Konverter bidirectional menggunakan resistor 470 Ohm karena terdapat dipasaran.

Perhitungan Mencari Nilai Hambatan R3

$$R3 = \frac{V_{OH} - V_f}{I_f}$$

$$R3 = \frac{4.8 - 1.2}{0.02}$$

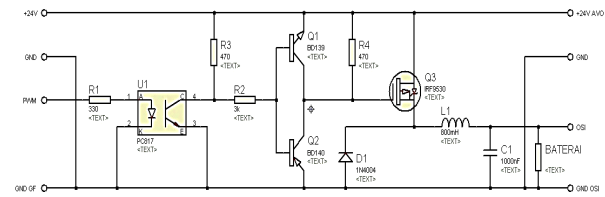
$$R3 = 180 \Omega$$

Pada rangkaian Konverter bidirectional menggunakan resistor 330 Ohm karena terdapat dipasaran.

2.5. Perancangan Konverter bidirectional

Bidirectional converter memiliki fungsi sebagai regulator daya pada saat proses *charging* dan *discharging* baterai. Konverter bidirectional digunakan pada saat tegangan *output* dari *prototype* turbin angin lebih dari 24V maka rangkaian akan bekerja sebagai mode *charge*. Pada saat tegangan *output* dari *prototype*

turbin angin kurang dari 24V maka rangkaian akan bekerja sebagai mode *discharge* sehingga baterai tidak cepat rusak akibat terus-menerus di-*charger*.



Gambar 5. Rangkaian Konverter bidirectional

Untuk dapat mengetahui besaran komponen yang digunakan seperti tahanan pull up mosfet, *duty cycle*, induktor dan kapasitor maka dapat menggunakan persamaan yaitu :

Perhitungan Mencari Nilai Hambatan R4

$$R4 = \frac{V_{cc} - V_{ce(sat)}}{I_c}$$

$$R4 = \frac{24 - 0.5}{1.5}$$

$$R4 = 16 \Omega$$

Pada rangkaian Konverter bidirectional menggunakan resistor 470 Ohm karena terdapat dipasaran.

Perhitungan Nilai *Duty Cycle* Minimal dan Maksimal

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in(max)}}$$

$$D_{max} = \frac{-24}{(-24) - 30}$$

$$D_{max} = 0,40$$

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in(max)}}$$

$$D_{min} = \frac{-24}{(-24) - 26}$$

$$D_{min} = 0,48$$

Perhitungan Nilai Minimal dan Maksimal Induktor

$$L_{min} = \frac{(1 - D_{min})R}{2Fs}$$

$$L_{min} = \frac{(1 - 0,48)10}{2 \times 31.372,55}$$

$$L_{min} = 0,00008287$$

$$L_{min} = 828 \mu H$$

$$L_{max} = \frac{(1 - D_{min})R}{2Fs}$$

$$L_{max} = \frac{(1 - 0,40)10}{2 \times 31.372,55}$$

$$L_{max} = 0,00009562$$

$$L_{max} = 956 \mu H$$

Didapat nilai minimum induktor sebesar 828 μH dan nilai maksimum sebesar 956 μH , maka induktor yang digunakan pada rangkaian sebesar 900 μH .

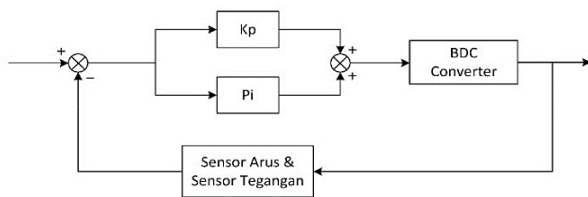
Perhitungan Nilai Minimal dan Maksimal Kapasitor

$$\begin{aligned}
 C_{min} &= \frac{Vo(1-D_{max})}{8 \times 900 \mu H \times 0,3(31,5 \times 10^3)^2} \\
 &= \frac{24(1-0,48)}{8 \times 900 \mu H \times 0,3(31,5 \times 10^3)^2} \\
 &= 0,0000066636 \\
 &= 6,6 \mu F \\
 C_{max} &= \frac{Vo(1-D_{max})}{8 \times 900 \mu H \times 0,3(31,5 \times 10^3)^2} \\
 &= \frac{24(1-0,40)}{8 \times 900 \mu H \times 0,3(31,5 \times 10^3)^2} \\
 &= 0,000006718 \\
 &= 6,718 \mu F
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Didapat nilai minimum kapasitor sebesar 6.6 μF dan nilai maksimum kapasitor sebesar 6.718 μF . Maka kapasitor yang digunakan 1000 μF sesuai dengan yang ada di pasaran.

2.6. Perancangan Kontrol PI

Gambar 6 menunjukkan diagram blok kontrol PI, perancangan dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada *penggerak* mosfetKonverter bidirectional dengan nilai maksimal sebesar 95% dan tegangan masukan sebesar 24V untuk mendapatkan respon lalu respon tersebut sebagai parameter penentuan nilai Kp dan Ki.



Gambar 6. Diagram Blok Kontrol PI

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sensor Tegangan

Tujuan pengujian sensor tegangan untuk mengetahui nilai *Vout* maksimum yang dihasilkan sebesar 5V, karena ADC mikrokontroler hanya dapat mengolah nilai tegangan maksimum sebesar 5V serta untuk mengetahui perbandingan *error* antara pengukuran dengan perhitungan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel Pengujian Sensor Tegangan

Vin (Volt)	Vout Praktek (Volt)	Vout Teori (Volt)	Error Praktek (%)	Error Teori (%)
4	0,6	0,62	0,02%	3,3%
8	1,21	1,23	0,02%	1,65%
12	1,82	1,84	0,02%	1,09%
16	2,46	2,46	0%	0%
20	3,06	3,08	0,02%	0,65%
24	3,63	3,7	0,07%	1,92%
Rata - rata			0,02%	1,23%

Berdasarkan pengujian sensor tegangan, pengujian sensor tegangan dengan praktek didapatkan nilai rata – rata *error* 0,02% sedangkan pada pengujian sensor tegangan teori didapatkan nilai rata – rata *error* 1,23%.

3.2. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus bertujuan untuk mengukur arus pada sistem *charging* baterai serta untuk mengetahui perbandingan *error* antara pengukuran dengan perhitungan seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel Pengujian Sensor Arus

Iout Praktek (A)	Iout Teori (A)	Error Praktek (%)	Error Teori (%)
0.1	0.1	0.00	0.00%
0.2	0.2	0.00	0.00%
0.3	0.32	0.02	3.30%
0.4	0.42	0.02	5.00%
0.5	0.53	0.03	6.00%
0.6	0.61	0.01	1.66%
0.7	0.71	0.01	1.42%
0.8	0.81	0.01	1.25%
Rata - rata		0.01%	2,32%

Berdasarkan pengujian sensor arus, pengujian sensor arus dengan praktek didapatkan nilai rata – rata *error* 0,01% sedangkan pada pengujian sensor tegangan teori didapatkan nilai rata – rata *error* 2,32%.

3.3. Pengujian PWMKonverter bidirectional Dengan Kontrol PI

Pengujian sinyal PWM pada rangkaianKonverter bidirectional dengan kontrol PI dilakukan dengan cara mengganti lebar *duty cycle* dari 1 – 90% dengan input tetap yaitu 26 Volt, lalu amati tegangan keluaran rangkaian *Bidirectional Konverter* menggunakan multimeter seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Tabel Pengujian PWM Bidirectional Dengan Kontrol PI

Frekuensi (Hz)	ADC (Arduino)	PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)
32000	25,5	10%	26	6,1
32000	51	20%	26	9,3
32000	76,5	30%	26	11,9
32000	102	40%	26	14,6
32000	127,5	50%	26	17,2
32000	153	60%	26	22
32000	178,5	70%	26	23,3
32000	204	80%	26	24,6
32000	229,5	90%	26	26,7

Pada pengujian Sinyal PWM rangkaian *Bidirectional* didapatkan jika *duty cycle* bertambah besar maka resolusi dan tegangan *output* rangkaianKonverter bidirectional akan bertambah besar, sedangkan jika *duty cycle* bertambah kecil maka resolusi dan tegangan *output* rangkaianKonverter bidirectional akan bertambah kecil.

3.4 Pengujian Konverter bidirectional Dengan Kontrol PI

Pengujian rangkaian Konverter bidirectional menggunakan beban baterai 24 Volt, dimana *output* tegangan dariKonverter bidirectional yang diinginkan konstan sesuai dengan input tegangan. Nilai Kp dan nilai

Ki ditentukan diawal dengan nilai Kp: 2,6 dan Ki: 5.6. Penentuan nilai Kp dan nilai Ki berdasarkan *trial and error* seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Tabel Pengujian Bidirectional Dengan Kontrol PI

Vin (V)	Vref (set point)	Output (V)
25.6	22	20.9
25.5	22	21
25.3	22	21.2
25.6	22	21.7
25.4	22	21.6
25.6	22	21.9

Berdasarkan pengujian rangkaianKonverter bidirectional dengan Vref tetap yaitu 22 Volt dan tegangan *input* 25 Volt sehingga didapatkan tegangan *output* cenderung berubah-ubah

3.5 Pengujian Charging Baterai Tanpa Kontrol PI

Pengujian dilakukan tanpa menggunakan kontrol PI dengan menggunakan keluaran dari *rectifier* yang tidak stabil. pengujian *charging* baterai tanpa kontrol PI dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaianKonverter bidirectional ke turbin angin sebagai tegangan *input* lalu untuk dapat memonitor tegangan *input* dan *output* rangkaianKonverter bidirectional maka digunakanlah LCD, serta untuk mengetahui lama pengisian baterai menggunakan *timer* seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Tabel Pengujian Charging Baterai Tanpa Kontrol PI

Tegangan Masukan (V)	Tegangan Awal Baterai (V)	Tegangan Akhir Baterai (V)	Waktu Pengisian (Jam)
25.50 – 29.00	22.9	24.00	6 jam 57 menit
25.50 – 29.00	20.7	24.00	20 jam 51 menit
25.50 – 29.00	18.5	24.00	34 jam 45 menit

Berdasarkan pengujian *charging* baterai tanpa kontrol PI dapat disimpulkan bahwa jika tanpa kontrol PI maka tegangan *output* rangkaianKonverter bidirectional cenderung tidak terkontrol serta lebih lambat saat men-*charger* baterai.

3.6 Pengujian Charging Baterai Dengan Kontrol PI

Pengujian rangkaianKonverter bidirectional dengan menggunakan Kontrol PI dengan menggunakan *output* tegangan dari *rectifier* yang stabil, Kemudian mengatur nilai *duty cycle*, untuk dapat memaksimalkan pengisian baterai seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Tabel Pengujian Charging Baterai Dengan Kontrol PI

Tegangan Masukan (V)	Tegangan Awal Baterai (V)	Tegangan Akhir Baterai (V)	Waktu Pengisian (Jam)
25.50 – 29.00	22.9	24.00	2 jam 45 menit
25.50 – 29.00	20.7	24.00	8 jam 15 menit

25.50 – 29.00	18.5	24.00	14 jam 45 menit
---------------	------	-------	-----------------

Berdasarkan pengujian *charging* baterai dengan menggunakan kontrol PI dapat disimpulkan bahwa jika dengan kontrol PI maka tegangan *output* rangkaianKonverter bidirectional cenderung terkontrol serta lebih cepat meng-*charger* baterai.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, RangkaianKonverter bidirectional menggunakan optocoupler sebagai penggerak mosfet, Transistor PNP BD139 yang terhubung ke Mosfet IRF9530 sebagai *switching*. Untuk mengaktifkan *switching* mosfet diperlukan frekuensi 32 kHz yang dikontrol oleh Arduino Uno dan dikirim oleh penggerak mosfet. Sehingga dapat menstabilkan tegangan sesuai persamaan $V_{out} = V_{in} \times D$ pada range tegangan *input* 15 -30 Volt dengan *duty cycle* 1-95%. Kontrol PI dengan nilai Kp = 2.6, Ki = 5.6 digunakan untuk mengontrol teganganKonverter bidirectional agar sesuai dengan nilai *setpoint* sebesar 24 Volt dan respon *setting time* menjadi lebih cepat serta tidak mengalami osilasi yang berlebihan. Pada saat proses pengisian baterai diperlukan tegangan lebih dari 27 Volt untuk menjaga agar baterai tidak rusak.

Rancangan yang dibuat ini masih perlu adanya perbaikan agar bekerja optimal. Ada beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut yaitu, menggunakan kontrol PID untuk sistem pengisian baterai yang lebih maksimal karena dengan menggunakan kontrol PID dapat memberikan respon yang lebih baik. Selain itu, menyempurnakan rangkaianKonverter bidirectional, agar tegangan output yang dihasilkan bias lebih stabil.

Daftar Rujukan

- [1] Rudyanto, B., 2016. Aplikasi Kontrol PI (Proportional Integral) pada Katup Ekspansi Mesin Pendingin, Jurnal Roya Teknik Pertanian, 9 (2), pp.89-105.
- [2] Anto, B., 2014. Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya, Jurnal Rekayasa Elektrika, 11 (1), pp.19-24.
- [3] Hermansyah., 2015. Simulasi Double Buck Boost Konverter DC-DC Bidirectional Menggunakan PID Controller, Prosiding SENTIA, 7 (1), pp.1-6.
- [4] Linggasari, Y.R., 2016. Rancang BangunKonverter bidirectional Menggunakan Kontrol Proportional Integral Untuk Sistem Pengereman Regeneratif, e-Proceeding of Engineering, 3 (1), pp.84-90.
- [5] Pratiwi, A.S., 2020. Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Konverter Untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, 9 (3), pp.305-310.
- [6] Lucky, P., 2019. Perancangan dan Implementasi DC-DCKonverter bidirectional Dengan Sumber Energi Listrik Dari Panel Surya dan Baterai Untuk Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik Beban, Jurnal Teknologi Terpadu, 7 (2), pp.111-118.
- [7] Sulistomo, P., 2018. Implementasi Pengendalian Sistem Pengisian/Pengosongan Baterai Pada Sistem Photovoltaic Stand-Alone MenggunakanKonverter bidirectional Dengan Metode Proportional-Integral Berbasis Mikrokontroler DSPIC30F4011", TRANSIENT, 7 (4), pp.832-837.
- [8] Prasetyo, H.C., 2018. Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker

- (MPPT) Dengan Metode Perturb And Observe (P&O), TRANSIENT, 7 (2), pp.77-83.
- [9] Hafiz., 2017. Kontrol Proportional-Derivatif Pada Sistem Dinamik Pesawat Terbang Tipe Airbus A380-800, Jurnal Ilmiah Matematika, 3 (6), pp.43-51.
- [10] Rahayu, N., 2020. Desain dan Implementasi Bidirectional DC-DC Konverter Untuk Penerangan Darurat, Jurnal ECOTIPE, 7 (2), pp.108-116.
- [11] Sheren, D., 2020. Rancang Bangun *Buck Boost Konverter* Menggunakan Kendali PID, Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional, 6 (2), pp.258-272.