

Desain sistem pengisian daya pada *solar e-bike* menggunakan metode PI

Dyah Intan Sari¹, Subiyantoro², Mila Fauziyah³

e-mail: dintansa@gmail.com, subiyantoro@polinema.ac.id, mila.fauziyah@polinema.ac.id

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 15 Januari 2021

Direvisi 8 April 2021

Diterbitkan 29 April 2021

Kata kunci:

Sel surya

Boost converter

PI

Keywords:

Solar cell

Boost converter

PI

ABSTRAK

Energi surya dapat digunakan sebagai energi alternatif yang akan dikonversi menjadi listrik untuk mengurangi penggunaan energi fosil menggunakan sel surya. Oleh karena itu sistem pengisian baterai 24V 7.5 AH menggunakan sel surya 30 WP. Keluaran sel surya dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari, menyebabkan tegangan dan keluaran sel surya tidak stabil. Maka dilakukan kontrol sehingga tegangan output dari sel surya yang tidak stabil akan diubah menjadi tegangan yang stabil sesuai set point menggunakan kontrol Proportional Integral (PI). Tegangan yang berubah dari sel surya setelah memasuki *boost converter* stabil pada tegangan 28,8 V. Tuning parameter Proportional Integral (PI) menggunakan metode Ziegler-Nichols 2. Proses penentuan parameter PI Ziegler-Nichols 2 dihitung menggunakan respon yang diatur menggunakan slider gain sehingga respon berhasil. Didapat nilai konstanta PI terbaik yang diperoleh dari hasil percobaan adalah $K_p = 0,128$, $K_i = 0,12$, Parameter dari metode PI ini meliputi *rise time* 8s, *settling time* 20s, *overshoot* 7%, *peak time* 7,5s dan *error steady state* 0,6%.

ABSTRACT

Solar energy can be used as an alternative energy which will be converted into electricity to reduce the use of fossil energy using solar cells. Therefore, the 24V 7.5 AH battery charging system uses 30 WP solar cells. The output of solar cells is influenced by the intensity of sunlight, causing the voltage and output of solar cells to be unstable. Then control is carried out so that the output voltage of an unstable solar cell will be converted into a stable voltage according to the set point using Proportional Integral (PI) control. The voltage that changes from the solar cell after entering the boost converter is stable at a voltage of 28.8 V. Tuning the Proportional Integral (PI) parameter using the Ziegler-Nichols 2 method. The best PI constant values obtained from the experimental results are $K_p = 0.128$, $K_i = 0.12$. The parameters of this PI method include rise time 8s, settling time 20s, overshoot 7%, peak time 7.5s and steady state error 0,6%.

Penulis Korespondensi:

Dyah Intan Sari,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

Email: dintansa@gmail.com

1. PENDAHULUAN

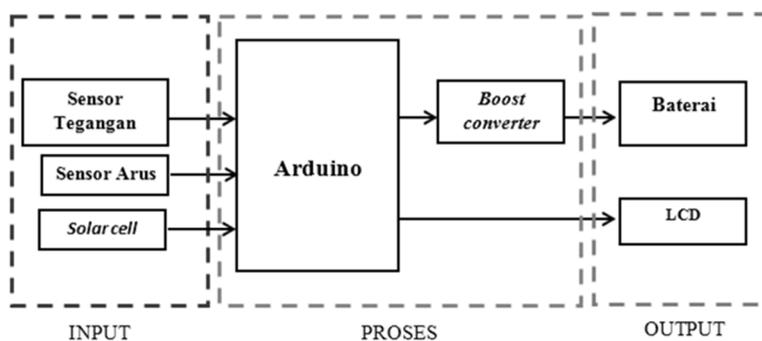
Sepeda merupakan alat transportasi ramah lingkungan yang sering digunakan oleh masyarakat sejak lama dalam membantu pekerjaan masyarakat sehari-hari, baik untuk mengangkut orang maupun barang. Pada sumber energi fosil sebagai aktivitas sehari-hari penggunaan yang terus menerus ini akan menyebabkan terjadinya krisis energi atau kekurangan sumber energi. Teknologi saat ini telah membuat manusia berinovasi dan menciptakan suatu alat transportasi yang ramah lingkungan, aman dan terjangkau oleh masyarakat karena dapat mengurangi kerusakan lingkungan. Di Indonesia potensi energi matahari cukup besar sebagai wilayah negara tropis hampir 12 jam disinari oleh cahaya matahari. Sinar matahari ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan diubah menjadi energi listrik untuk mengurangi penggunaan energi fosil di Indonesia dengan menggunakan alat elektronik berupa *Solar cell* [3]. Pemanfaat energi matahari menggunakan *solar cell* yang disimpan dalam baterai membutuhkan sebuah regulator. Umumnya *charger controller* yang digunakan adalah jenis regulator tegangan dan proses *charging* akan berhenti pada saat cuaca sedang berawan membuat tegangan luaran pada *solar cell* kurang dari tegangan standart pengisian baterai [8]. Maka saat ini mulai bermunculan inovasi baru alat transportasi dengan menggunakan energi listrik.

Pada penelitian ini dirancang suatu kendaraan tanpa bahan bakar minyak yang digerakan dengan motor dan baterai yang dinamakan *Solar E-Bike*. Didalam proses pengisian daya pada baterai menggunakan inputan *solar cell* pada *Solar E-bike*. Desain pengisian daya ini menggunakan rangkaian *boost converter* dengan *controller* Propotional Integral (PI) pada sistem ini bertujuan untuk meningkatkan tegangan keluaran, untuk itu dibutuhkan rangkaian *control* yang mampu menaikkan tegangan output yang lebih tinggi dari tegangan input pada *solar cell*. Untuk mengkontrol *step up* tegangan yang dihasilkan *solar cell* pada *boost converter* menggunakan metode *duty cycle* PWM menggunakan ICNE555 yang diprogram pada mikrokontroler arduino nano yang di kontrol pengendali PI menggunakan metode *trial and error*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem

Berikut gambar dibawah ini diagram blok sistem pada pengisian daya pada solar E-bike.

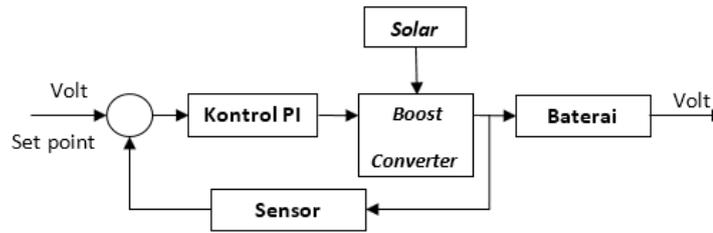


Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Prinsip kerja dari sistem pengisian daya pada *Solar E-bike* adalah hasil output *solar cell* dipengaruhi besar intensitas cahaya matahari sehingga menyebabkan tegangan dan arus keluaran dari *solar cell* tidak stabil. Maka dari itu dilakukan pengontrolan agar tegangan output dari *solar cell* yang tidak stabil akan dirubah menjadi tegangan stabil sesuai set point menggunakan kontrol PI, PI berfungsi sebagai sistem kontrol sistem PWM pengendali *Duty cycle* pada tegangan output dari *boost converter*. *Boost converter* untuk menghasilkan tegangan keluaran di baterai menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan masukan dari *solar cell*. Sensor arus dan tegangan yang ada pada sistem digunakan untuk mengkonversi keluaran analog dari sensor menjadi digital. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan *output* dari sensor tersebut ke *Port* ADC pada mikrokontroler Arduino kemudian diproses menggunakan algoritma kontrol PI dengan output berupa signal PWM.

2.2 Diagram Blok Kontrol

Dapat dijelaskan perancangan controller pada alat ini berfungsi sebagai sistem kontrol PWM sebagai pengendalian tegangan output dari *Boost converter* seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.

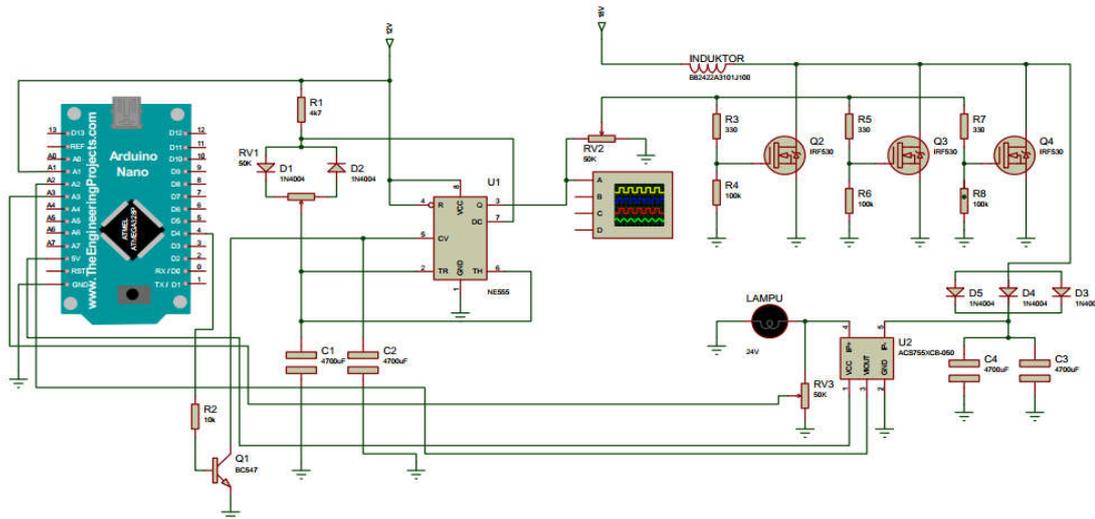


Gambar 2. Diagram Blok Kontrol

Input kontroller ini adalah set point yang diperoleh dari perubahan daya terhadap sensor tegangan pada solar cell. Sedangkan output dari kontroller ini berupa duty cycle yang akan menjadi input dari boost converter. Input dan output akan dikontrol dengan PI.

2.3 Perancangan Boost converter

Perancangan rangkaian boost converter didasari oleh karakteristik solar cell dan kebutuhan beban.



Gambar 3. Rangkaian Boost converter

Parameter awal yang diperlukan dalam perancangan boost converter adalah tegangan input sebesar 9V - 17,1 V dan tegangan output (Vout) yang diinginkan 28,8 V dimana frekuensi sebesar 10kHz. Untuk mengetahui nilai duty cycle dapat dihitung dengan persamaan (1) didapat nilai duty cycle (D) sebesar 40 %.

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

Dengan diketahui nilai Vout sebesar 28,8 V dan nilai arus output (Io) sebesar 0,7 A, maka untuk mencari nilai hambatan (R) dapat menggunakan persamaan (2) yaitu sebesar 41,142 Ω.

$$R = \frac{V_o}{I_o} \tag{2}$$

Dengan diketahui nilai duty cycle sebesar 0,4, frekuensi yang dikehendaki sebesar 10 KHz dan nilai resistor sebesar 41,142 Ω maka untuk mencari nilai Lmin dapat menggunakan persamaan (3) didapat nilai sebesar 296 u.

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} \cdot R \tag{3}$$

$$C = \frac{V_{out} \times D}{R \times \Delta v_{out} \times f} \tag{4}$$

Dengan diketahui nilai Vout sebesar 28,8 V, nilai duty cycle dari perhitungan persamaan (1), nilai resistor sebesar 41,142 Ω, nilai ΔVout sebesar 0,1 V, maka untuk mencari nilai kapasitansi kapasitor (C) menggunakan persamaan (4) yaitu sebesar 280 uF. Untuk mengetahui nilai maksimal arus (Imax) yang melewati boost converter maka dapat menggunakan persamaan (5) yaitu sebesar 1,4965 A.

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 \cdot R} + \frac{V_{in} \cdot D}{2 \cdot L \cdot f} \tag{5}$$

Untuk mengetahui nilai induktor yang digunakan pada rangkaian boost converter maka dapat menggunakan persamaan (7) dimana jumlah lilitan (N) sebesar 200 lilitan, diameter (d) sebesar 3,2 cm, lebar (l) sebesar 1,5 cm, Uo = 4π.10⁻⁷ = 1,26 10⁻⁶ (ketetapan), dan nilai duty cycle sebesar 0,4. Sebelum mencari nilai

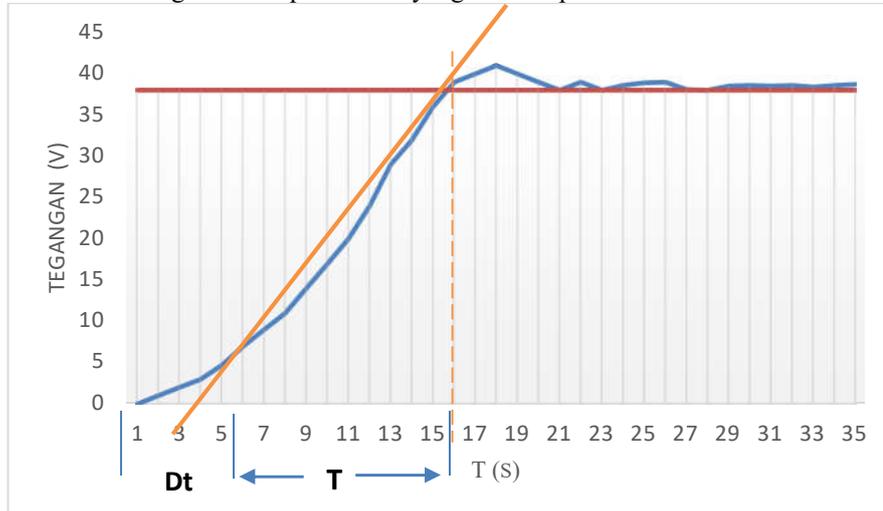
persamaan (7) dicari nilai luas penampang (A) pada persamaan (6) didapat sebesar 0,0008 sehingga nilai induktor (L) sebesar 554 μ H.

$$A = \pi \cdot \frac{1}{2} \cdot D \quad (6)$$

$$L = \frac{U_o \cdot N^2 \cdot A}{l} \quad (7)$$

2.4 Perancangan PI

Berikut adalah gambar respon sistem yang diambil pada saat sistem *boost converter* belum dikontrol:



Gambar 4. Respon sistem *Boost converter*

Berdasarkan gambar 4 adalah respon sistem *Boost converter* tanpa beban, maka untuk menentukan nilai K_p dan K_i menggunakan metode Ziegler Nichols 2 dikarenakan respon sistem menunjukkan gambar kurva S. Maka untuk mengetahui nilai K_p dan K_i menggunakan rumus. Dari grafik respon sistem kurva S mempunyai dua konstanta yaitu *dead time* (Dt) sebesar 4s dan waktu tunda (T) sebesar 10s. Berdasarkan parameter tersebut, didapatkan nilai parameter K_p dari perhitungan rumus yaitu sebesar 2,25 T_i sebesar 13,3 sedangkan K_i sebesar 0,16.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian *Photovoltaic*

a. Hasil Pengujian *Photovoltaic*

Pengujian *Photovoltaic* ini bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik tegangan, arus, dan daya pada *photovoltaic* 30 WP sebagai sumber energi listrik terhadap pengisian daya pada baterai berdasarkan jam. Untuk lebih jelasnya data dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Photovoltaic*

Jam	R	I	V	Daya
	Load (Ohm)	Load (A)	Load (Volt)	
5:00:00	8,22	0,00	0,00	0,00
6:00:00	8,22	0,033	0,31	0,003
7:05:00	8,22	0,075	0,68	0,024
8:20:00	8,22	0,351	3,20	0,399
9:27:00	8,22	0,519	4,74	3,162
10:26:00	8,22	1,263	11,54	8,91
11:09:00	8,22	0,858	7,86	17,01
11:26:00	8,22	0,951	8,70	19,236
12:10:00	8,22	1,641	15,00	31,014
12:34:00	8,22	1,446	13,23	38,379
13:06:00	8,22	1,641	15,00	49,266
14:17:00	8,22	0,72	6,59	62,361
15:30:00	8,22	0,216	1,97	64,071

Berdasarkan hasil percobaan menunjukkan bahwa hasil output dari *Solar cell*, didapatkan nilai tegangan tertinggi 15 Volt pada pukul 12:10 dan nilai terendah 0 Volt pukul 05:00, sedangkan nilai arus tertinggi 1,641 A pada pukul 12:10 dan nilai arus terendah 0 A pada pukul 05:00. Pada saat cahaya matahari maksimal tegangan mampu mencapai 15 Volt dengan beban 8,22 Ω. Dari tegangan hasil pengukuran 15 V ini tegangan mampu mendekati tegangan optimal dari *Solar cell*. Tegangan dan arus yang berubah – ubah tergantung dari perubahan intensitas cahaya matahari yang mengenai *Solar cell*.

b. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui untuk mengambil data tegangan yang terbaca oleh rangkaian *Voltage divider*. Presentase error pada tabel 2 didapat dari rumus % Error = $[(\text{Teg Sensor} - \text{Teg Multi}) / \text{Teg Multi}] \times 100\%$.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Multimeter (Volt)	Sensor (Volt)	Error %
1,517 V	1,39 V	8 %
1,581 V	1,40 V	11 %
1,700 V	1,62 V	4 %
1,822 V	1,78 V	2 %
1,883 V	1,802 V	4 %
1,973 V	1,953 V	1 %
2,066 V	2,010 V	2 %
2,22 V	2,12 V	4 %

Hasil pengujian sensor tegangan pada grafik diatas membuktikan bahwa terdapat perbedaan hasil pebandingan sensor tegangan pada LCD dengan pengujian sensor tegangan dengan alat ukur (multimeter). Terdapat error atau kesalahan dalam sistem sebesar 1% sampai 11%. Selain itu, hasil sensing sensor yang tampil di LCD tidak dapat menampilkan nilai yg pasti dan selalu berubah – ubah namun pada range yg dapat ditoleransi, hasil pada multimeter juga demikian. Hal ini yang menyebabkan terjadinya error. Namun error yg didapat tidak terlalu besar.

3.2 Pengujian Boost converter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran *boost converter* dengan mengubah - ubah nilai duty cycle dimana tegangan input tetap.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Boost converter*

Duty cycle	Vin	Vout	Rload
30 %	12 V	15,34 V	2,2 Ω
35,1 %	12 V	16,01 V	2,2 Ω
40,6 %	12 V	17,16 V	2,2 Ω
44,9 %	12 V	18,36 V	2,2 Ω
47,1 %	12 V	19,00 V	2,2 Ω
50,1 %	12 V	19,89 V	2,2 Ω
52,9 %	12 V	20,81 V	2,2 Ω
57,2 %	12 V	22,33 V	2,2 Ω
60,3 %	12 V	23,40 V	2,2 Ω
65,3 %	12 V	25,44 V	2,2 Ω
69,7 %	12 V	27,32 V	2,2 Ω
72,6 %	12 V	28,46 V	2,2 Ω
75,5 %	12 V	29,55 V	2,2 Ω

Pada Tabel 3 didapat dengan mengubah – ubah nilai duty cycle mulai dari 30% hingga 75,5%, membuktikan bahwa pengujian pada rangkaian *Boost converter* dengan tegangan masukan 12 V dapat menghasilkan tegangan keluaran hingga sebesar 29,55 V dengan beban sebesar 2,2 Ω. Maka dari itu rangkaian boost dapat menaikkan tegangan dengan baik semakin dimana besar nilai duty cycle semakin besar juga nilai Voutnya.

3.3 Pengujian Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan output dan tegangan input pada baterai berdasarkan jam.

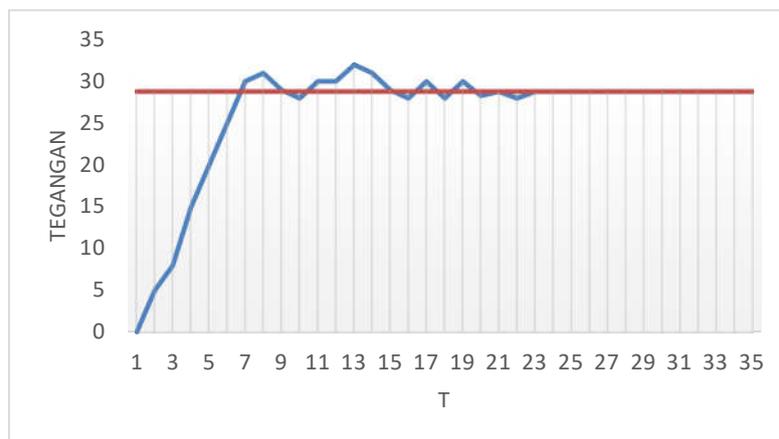
Tabel 4. Hasil Pengujian Baterai

Pukul	Vin	Vout	Cuaca
10:25	13,23	28,58	Cerah
11:50	11,54	28,16	Cerah
12:02	7,39	Kosong	Berawan
13:50	13,56	28,74	Cerah
14:00	8,60	Kosong	Berawan
15:30	7,50	Kosong	Mendung
16:45	4,60	Kosong	Berawan

Kondisi pengisian baterai 24V 7,5 AH memakai *solar cell* tegangan maksimal 17,1 V dan arus yang dapat berubah – ubah sesuai intensitas cahaya matahari, karena pengisian daya ini sudah dilengkapi rangkaian *Boost converter* yang diatur set point tegangan keluaran *boost converter* sebesar 28,8 V. Dapat dilihat bahwa pada saat tegangan input dibawah 9 V maka tegangan output *boost converter* akan kosong / tidak terjadi pengisian karena minimum tegangan kerja IC NE555 sehingga dimana tegangan dibawah 9 V otomatis sistem *boost converter* akan mati dengan sendirinya karena kurang daya untuk mengaktifkan sistem.

3.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem ini berdasarkan parameter PI menggunakan metode *Ziegler-Nichols 2* dengan nilai $K_p=2,25$ dan $K_i=0,16$ yang diperoleh dari perhitungan dan nilai *setpoint* 28,8 V didapatkan hasil grafik pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Grafik respon tegangan *boost converter*

Berdasarkan pada Gambar 5 diperoleh grafik respon sistem dengan menggunakan kontrol PI tanpa menggunakan beban, kurva reaksi diatas menunjukkan respon sistem yang dapat dihitung dengan perhitungan respon sebagai berikut:

- Overshoot* maksimum = 7%
- Waktu naik (*rise time*) = 8s
- Waktu tunda (*delay time*) = 3s
- Waktu puncak (*peak time*) = 7,5s
- Waktu tetap (*settling time*) = $ts_{2\%} = 23s$
 $ts_{5\%} = 20s$.
- $Error\ steady\ state = \frac{steady\ state - set\ point}{setpoint} \times 100\%$
 $= \frac{29 - 28,8}{28,8} \times 100\%$
 $= 0,6\%$

Dari data keseluruhan sistem yaitu *solar cell* sebagai sumber energi kemudian masuk *boost converter* untuk mengisi kapasitas baterai dengan kontrol PI. Proses charging baterai pada tegangan 23,92V sampai 25V membutuhkan waktu lama untuk menuju setpoint yaitu selama 1 jam 40 menit.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Solar E-Bike* telah berhasil dibuat dan sistem juga berjalan. Pengujian yang telah dilakukan sistem telah berhasil melakukan pengisian baterai menggunakan sumber energi listrik dengan tegangan set point yang ditentukan, pengisian daya dari *solar cell* juga melalui proses kendali *boost converter* tersebut berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Pada pengujian jam 10.00 – 16.00 dapat disimpulkan bahwa tegangan paling besar pada pukul 13.00 siang dimana *solar cell* mendapatkan intensitas matahari secara maksimal dan tegangan keluaran maksimal sebesar 13 Volt. Sistem *boost converter* tanpa kontrol tegangan output tidak stabil mengikuti dari besar radiasi matahari yaitu kisaran antara 9 volt - 17,1 volt sedangkan ketika menggunakan kontrol PI tegangan yang dihasilkan stabil sebesar 28,8 Vout. Dengan menggunakan kontrol PI dapat mengatur dan menstabilkan tegangan output pada *Solar E-Bike*. Nilai parameter PI yang sesuai adalah $K_p= 2,25$ dan $K_i= 0,16$.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya diucapkan kepada semua pihak yang telah banyak memberikan motivasi, bantuan, kesempatan, dan juga sumbangan pikirannya

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, Bihaqiy Mohamad, 2019. Rancang Bangun Sepic Converter Untuk Panel Surya dengan Mppt Incremental Conductance Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik. Skripsi Teknik Elektro Universitas Jember.Y Gadade, R Vatti, "Data Logger for Greenhouse using Cloud Computing," IJSRD, vol. 5, pp. 608-610, 2017.
- [2] Syaifur, Ardianto R. 2019. *Rancang Bangun Ky Boost converter Berbasis Fuzzy Logic Controller Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik*. Skripsi Teknik Elektro Universitas Jember.X Zhang, J Zhang, L Li, Y Zhang, and G Yang, "Monitoring Citrus Soil Moisture and Nutrients Using an IoT Based System", MDPI Journal, 2017.
- [3] Kurniawan, Dwi Ranggah. 2016. Penggunaan Buck *Boost converter* Pada Sistem Battery Charging Terkendali Mikrokontroler Bersumber Solar Cell. Tugas Akhir. D3 Teknik Eletro Institut Teknologi Sepuluh November.S Sukardihoto "Internet of Things & Big data", hal10-45, 2016.
- [4] Pramana, Aden Akbar. 2017. *Rancang Bangun Sistem kontrol dan Monitoring Pengisian Aki Panel surya menggunakan Buck Converter berbasis Web*. Laporan Akhir Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang.
- [5] Mahrubu, Irfan. 2018. Rancang Bangun Solar Charger Controller Menggunakan Synchronous Non-Inverting Buck-*Boost converter* Pada Panel Surya 50 Watt Peak (Wp) Berbasis Arduino Nano V3.0. Jurnal Jurusan Elektronika Universitas Negeri Jakarta.
- [6] Sugiyanto, Didik. 2015. Rancang Bangun Sistem Sepeda Energi Surya Dengan Memanfaatkan Solar Cell. Jurnal Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta.
- [7] Rengga Oktafiyani, Dimas. 2018. *Sistem kendali Buck Boost berbasis PID untuk meningkatkan kinerja solar cell*. Skripsi Prodi T Elektronika Politeknik Negeri Malang.
- [8] Nainggolan, Benhur. 2016. *Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisian Baterai*. Jurnal Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta.
- [9] Demin, Lazar. 2019. *Build a PID Controller with Python 2019*. Onion Corporation
- [10] Astrom, Karl J dan Hagglund T. 1995. *PID Controller 2nd Edition: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America.
- [11] Bausiere, R. Labrique, F. Segui, G. 2020 Power Electronic Converters.