

Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) Sebagai Penstabil Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Muhammad Arif Al Aziz¹, Edy Prasetyo Hidayat¹, Ii Munadhif^{2*}

¹Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal

²Program Studi Teknik Otomasi

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jl Teknik Kimia Keputih Sukolilo Kota Surabaya 60111 Jawa Timur

*iimunadhif.its@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.16384>

ABSTRACT

Around 66% of power plants in Indonesia are still sourced from coal and oil. On the other hand, Indonesia is rich in renewable energy potential but still has minimal utilization. Furthermore, the voltage at power plants that are small and less stable is also often a nuisance. Thus, an innovative hybrid, solar and hydroelectric power plant with a PID (*Proportional Integral Derivative*) based voltage stabilizer was created. PID-based voltage stabilizer control is generated in the form of PWM (*Pulse Width Modulation*). The results obtained in this study are PID control can produce the lowest voltage of 12.78 V and the highest voltage of 13.96 V with a setpoint of 13.4 V. The power generated from solar, hydro, and hybrid power plants is 11.8 Watts, 9.4 Watts, and 14.85 Watts. As for Charging the Battery, an increase of 2.72 V was obtained in 24 hours. As for the storage side, the Battery can supply a 15 watt incandescent lamp for 8 hours 55 minutes while leaving 20% of the total capacity.

Key words : power generation, solar, water, battery, hybrid

PENDAHULUAN

Semakin besar pertumbuhan ekonomi sebuah negara, maka semakin besar pula konsumsi energi dan peningkatan kebutuhan negara tersebut. Hal tersebut terjadi di Indonesia yang memiliki pertumbuhan ekonomi rata-rata sebesar 5% per tahun. Dengan meningkatnya ekonomi, konsumsi energi menjadi salah satu sektor yang turut meningkat. Di sisi lain, konsumsi energi fosil yang menjadi energi utama dalam konsumsi energi menyebabkan dampak semakin menipisnya stok energi tersebut serta kerusakan lingkungan. Oleh karena sebab-sebab tersebut mulailah digencarkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) sebagai pengganti energi fosil.

Ketersediaan energi baru terbarukan di Indonesia sangat melimpah ruah. Dari data kementerian ESDM, didapatkan ketersediaan energi terbarukan mencapai 432 GW. Namun di sisi lain, pemanfaatannya baru sekitar 12,5% dari potensi yang tersedia. Sementara itu, penambahan

kapasitas akan terus dilakukan sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028 dan Rencana Umum Energi Daerah (RUED) pada tahun-tahun yang akan datang. Salah satu sumber energi baru terbarukan, yaitu energi matahari memiliki potensi sebesar 207,8 GW. Namun dalam implementasi baru terpasang sebesar 0,135 GWp atau 0,02 % dari potensinya.

Selain energi matahari, salah satu sumber energi lain yang cukup jadi perhatian adalah energi air. Indonesia merupakan salah satu negara dengan komposisi jumlah perairan lebih banyak daripada daratan. Apabila potensi tenaga air di setiap daerah dapat dikembangkan sebagai salah satu strategi mitigasi potensi krisis listrik daerah, ketahanan energi regional diperkirakan akan meningkat. Dengan meningkatnya ketahanan energi regional, maka dapat mendorong potensi kehidupan yang lebih baik pula.

Purnawan dan Ravi (2018) melakukan penelitian

Cite this as:

Al Azis, M.A., Hidayat, E.P & Munadhif, I. (2022). *Kontrol Proportional Integral Derivative (PID) sebagai Penstabil Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid*. *Rekayasa* 15 (3). 326-332 pp.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.16384>.

Article History:

Received: August, 13th 2022; **Accepted:** December, 10th 2022
Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

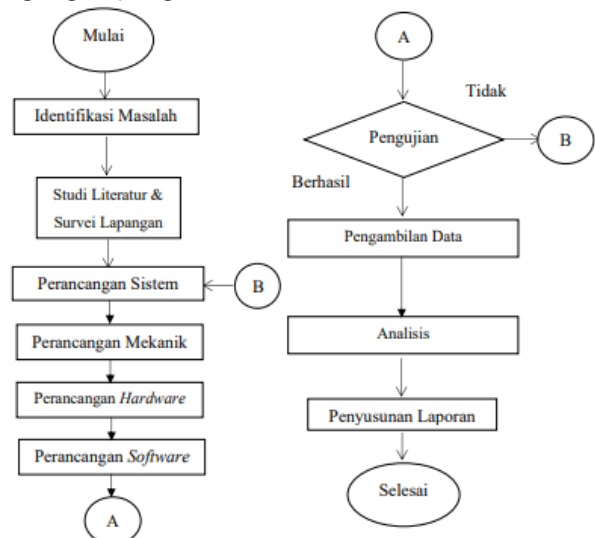
yang berjudul Havelar Box (*Hybrid Wave and Solar Energy to Green Pest Management Box*) yang menghasilkan bahwa penggunaan energi secara hybrid menghasilkan energi yang lebih besar, sehingga mampu menyalakan hingga 82 lampu DC yang berukuran 10 watt. Selanjutnya, jenis turbin yang digunakan pada penelitian Dewatama *et al*, (2020) merupakan desain turbin yang cocok digunakan pada lokasi penelitian, dikarenakan portable dan dapat menggunakan komponen bekas sebagai penyusunnya. Berdasarkan penelitian Ravi (2021) dapat disimpulkan bahwa metode PID dapat berperan aktif dalam mengatasi permasalahan terkait fluktuasi tegangan dengan *error steady state* 0%, *maximum overshoot* 4,7% dan *rise time* 4,965 s.

Pada penelitian ini digunakan penstabil tegangan dengan metode PID pada pembangkit listrik hybrid bertujuan untuk meminimalisir terjadinya fluktuasi tegangan berlebih, seperti yang terjadi pada penelitian Prototype *Underwater Turbine Generator* sebagai Komponen *Microgrid* Adhitya *et al*, (2017) yang tentu akan menyebabkan beberapa masalah jika terjadi terus-menerus. Metode PID dipilih karena respon yang cepat serta dapat menyesuaikan kondisi aktual sistem. Dengan potensi yang cukup besar dan pemanfaatan teknologi yang tepat guna, dapat menjadi solusi bagi berbagai permasalahan yang timbul seperti daya yang dihasilkan kecil, serta tegangan yang fluktuatif. Inovasi pembangkit listrik tenaga hybrid yang memanfaatkan energi matahari dan air yang disertai dengan penstabil tegangan berbasis metode PID (*Proportional, Integral, Derivative*) diharapkan dapat digunakan sebagai suplai alternatif pada sektor penerangan.

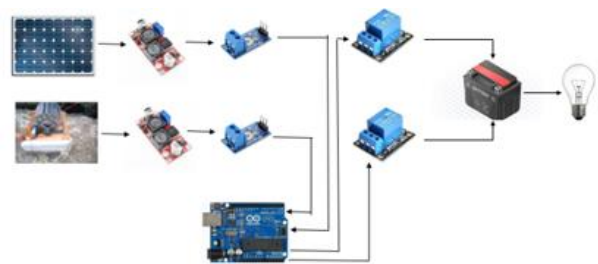
METODE PENELITIAN

Perancangan sistem yang merupakan tahapan untuk merancang sistem secara keseluruhan. Perancangan sistem menjadi fondasi untuk perancangan-perancangan selanjutnya. Setelah itu, dilakukan perancangan mekanik yang meliputi perancangan turbin air, panel surya, serta kotak panel kontrol. Selanjutnya, perancangan *hardware* meliputi perancangan perangkat-perangkat yang dibutuhkan pada penelitian ini. Perancangan *hardware* diperlukan agar memudahkan dalam proses pengujian sistem. Setelah itu, dilakukan perancangan *software* yang meliputi sistem kontrol pada mikrokontroler Arduino Uno. Sistem kontrol

bertujuan untuk menstabilkan tegangan *output* dari pembangkit listrik agar sesuai dengan tegangan pengisian baterai.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

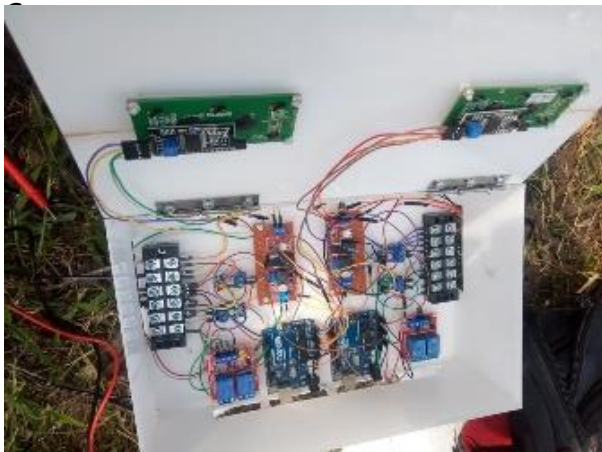


Gambar 2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu panel surya, turbin air serta kotak panel yang berisi sistem kontrol tegangan (Gambar 2). Panel surya yang digunakan pada penelitian ini sudah berupa modul jadi dari pabrik, sehingga perancangan untuk panel surya hanya terdapat pada proses menghubungkan antara panel surya dengan sistem kontrol. Selanjutnya pada turbin air dilakukan perancangan pada beberapa bagiannya, diantaranya adalah pada bilah turbin, ponton turbin dan peletakkan generator DC. Bilah turbin berjumlah total 16 bilah, serta 2 ponton pada sisi kanan dan kiri turbin air. Sedangkan generator diletakkan pada sisi turbin air lengkap dengan pulley dan belt sebagai perangkat pembantu. Selanjutnya adalah proses perancangan kotak panel yang berisi sistem kontrol PID. Sistem kontrol pada kotak panel berisi beberapa peralatan diantaranya mikrokontroler Arduino Uno, SEPIC Converter, relay, serta sensor tegangan.

Perancangan Mekanik dan *Hardware*

Pada tahap perancangan mekanik, peneliti membuat desain model dari turbin air yang akan difabrikasi. Berdasarkan referensi, peneliti memodifikasi sebagian dari bentuk turbin air tersebut. Modifikasi tersebut disesuaikan dengan lokasi tempat penelitian serta pertimbangan bahan yang akan digunakan. Aliran air datar dipilih karena dapat digunakan pada berbagai tempat dan tidak memerlukan daerah yang memiliki aliran air jatuh yang tinggi. Turbin air yang dibuat berjenis turbin air terapung. Turbin ini dilengkapi dengan ponton di kedua sisinya. Turbin jenis terapung dipilih karena dalam penggunaannya relatif mudah dan tidak memerlukan konstruksi yang rumit. Selanjutnya adalah perancangan *hardware* yang ada pada kotak panel sistem kontrol. Sistem kontrol tegangan utamanya dilakukan melalui mikrokontroler dan SEPIC



Gambar 3. Penempatan Komponen pada Panel Kontrol

Tabel 1. Penggunaan *Pin Out* Mikrokontroler Arduino Uno

No.	<i>Pin out</i>	Komponen
1	2	<i>Relay</i>
2	6	<i>Output PWM</i>
3	VCC	Konektor <i>Charger & Battery</i>
	GND	
4	A0	Sensor Tegangan <i>Out</i>
5	A1	Sensor Tegangan <i>In</i>

Perancangan Kendali PID

Kendali *Proportional Integral Derivative* dirancang menggunakan aplikasi Matlab. Ada 2 tahap dalam proses penentuan parameter *Proportional* (K_p), *Integral* (K_i), *Derivative* (K_d). Langkah pertama adalah mencari nilai fungsi alih yang paling mirip dengan sistem baik Pembangkit

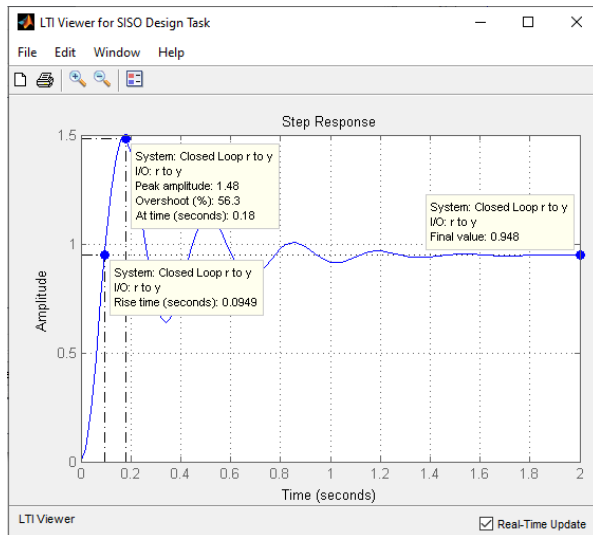
Listrik Tenaga Surya ataupun Pembangkit Listrik Tenaga Air. Menentukan fungsi alih sistem menggunakan *apps* pada Matlab yaitu *System Identification*. Pada *apps* tersebut, dimasukkan nilai *input* berupa respon asli sistem pada saat pengujian. Selanjutnya, pada sisi *output System Identification* akan berupa nilai fungsi alih lengkap dengan persentase kemiripan dengan data *input*. Setelah didapatkan nilai fungsi alih, maka dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d . Penentuan parameter tersebut menggunakan *apps Control System Designer*. Pada *apps* tersebut, didapatkan diagram Root-Locus serta respon sistem setelah dikenai kendali masing-masing parameter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

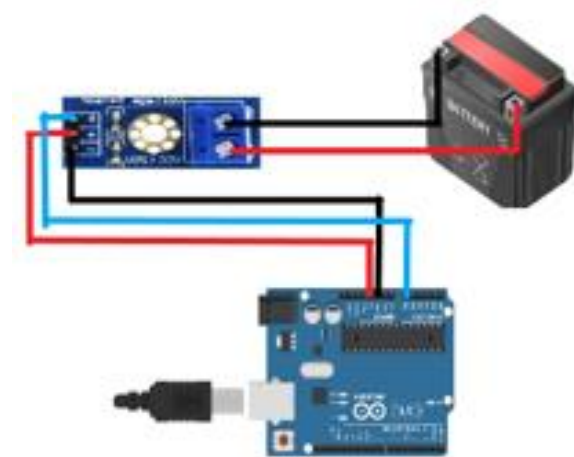
Hasil yang diperoleh meliputi pengujian sensor tegangan, modul *relay*, SEPIC Converter, serta modul RTC. Hasil dari pengujian tersebut akan menjadi acuan layak atau tidaknya komponen tersebut digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya, akan dilakukan pengujian pembangkit listrik secara parsial dan terintegrasi. Pada pengujian tersebut dilakukan tanpa metode PID dan dengan metode PID. Sensor tegangan mampu yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor tegangan DC. Sensor ini mampu mendeteksi tegangan dari range 0,02 V – 25 V. Pengujian sensor menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *power supply* sebagai *input* sensor dan dibandingkan dengan alat ukur berupa voltmeter. Gambar 4 merupakan *wiring* pengujian dari sensor tegangan DC. Hasil dari pengujian sensor tegangan menunjukkan bahwa *Error* rata-rata berada pada angka 4,165%. Hal tersebut dapat diartikan bahwa sensor masih layak digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No	Tegangan Voltmeter (V)	Tegangan Sensor (V)	Persentase <i>Error</i> (%)
1	0,19	0,23	21,05
2	1,657	1,56	5,85
3	2,663	2,52	5,36
4	12,72	12,81	0,71
5	12,70	12,82	0,94
6	12,70	12,80	0,78
7	12,67	12,80	1,02
8	12,70	12,81	0,87
9	12,70	12,79	0,71
10	26,12	24,98	4,36
Rata-rata			4,165



Gambar 4. Perancangan Kendali PID pada Matlab



Gambar 5. Wiring Sensor Tegangan DC

Pengujian SEPIC Converter

SEPIC Converter memiliki peranan menaikkan tegangan *input* baik dari panel surya maupun generator turbin air. SEPIC Converter yang digunakan pada penelitian ini menggunakan IC XL6009 dengan range konversi dari *input* 3.8V - 32V DC. Pengujian SEPIC Converter dilakukan dengan menggunakan *input* berupa *power supply* dan alat ukur berupa voltmeter. Selanjutnya, perbedaan antara tegangan keluaran dan tegangan *setpoint* (*Charging* baterai) akan berupa *error*.

Tabel 4. Hasil Pengujian SEPIC Converter

No	Tegangan Sumber (V)	Tegangan Setpoint (V)	Tegangan Dikonversi (V)	Persentase Error (%)
1	3,7	13,4	13,33	0,52
2	4,2	13,4	13,36	0,29
3	5,5	13,4	13,35	0,37
4	6,1	13,4	13,35	0,37

No	Tegangan Sumber (V)	Tegangan Setpoint (V)	Tegangan Dikonversi (V)	Persentase Error (%)
5	7,0	13,4	13,36	0,29
6	8,1	13,4	13,35	0,37
7	9,1	13,4	13,35	0,37
8	10,0	13,4	13,36	0,29
9	14,0	13,4	13,36	0,29
10	15,1	13,4	13,36	0,29
11	16,1	13,4	13,36	0,29
12	17,0	13,4	13,36	0,29
13	18,0	13,4	13,36	0,29
14	19,0	13,4	13,36	0,29
15	31,5	13,4	13,37	0,22
Rata-rata				0,322

Pengujian Panel Surya

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini berkapasitas 50 Watt-peak. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan panel surya menghadap ke arah cahaya matahari (Gambar 6). Pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan waktu maksimal penyinaran cahaya matahari. Dari hasil yang didapat dengan alat ukur voltmeter, tegangan panel surya berkisar antara 19 V - 21 V. Tabel 5 adalah hasil pengujian panel surya.

Tabel 5. Hasil Pengujian Panel Surya

No	Waktu (WIB)	Tegangan Output Rata-Rata (V)
1	10	21,24
2	11	19,8
3	12	20,67
4	13	20,39
5	14	20,78



Gambar 6. Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

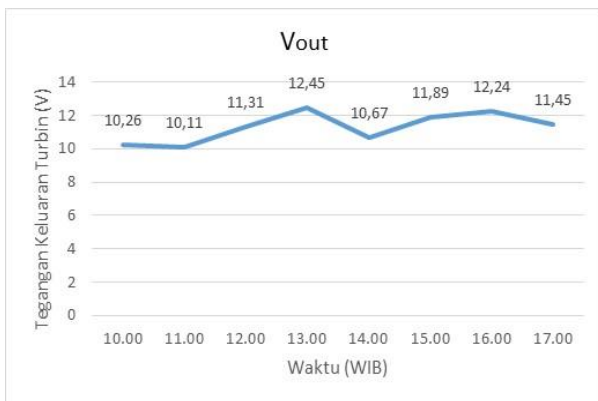
Pengujian Turbin Air

Pengujian Turbin Air dilakukan pada sungai yang memiliki aliran arus deras yang dalam kondisi datar. Hal tersebut dikarenakan jenis turbin air

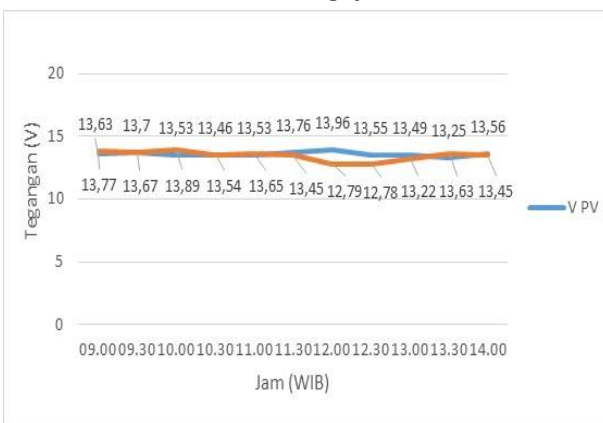
yang digunakan berjenis turbin air terapung (Gambar 7). Sehingga kondisi aliran deras dan datar dinilai lebih cocok dengan karakteristik turbin air yang sedang digunakan. Gambar 8 menunjukkan pengujian turbin air pada sungai. Dalam grafik tersebut didapatkan tegangan mulai dari 10,11 V – 12,45 V. Dengan kecepatan putaran generator mulai dari 348 – 943 rpm.



Gambar 7. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid



Gambar 8. Hasil Pengujian Turbin Air



Gambar 9. Hasil Pengujian Pembangkit Listrik dengan Kendali PID

Pada Gambar 9 didapatkan hasil tegangan panel surya dan generator turbin air setelah melewati proses pengontrolan dengan kendali PID. Tegangan terkontrol panel surya berkisar antara

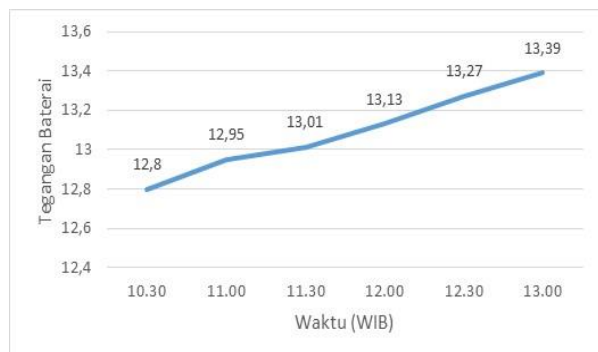
13,25 V – 13,96 V. Dengan persentase *Error* tertinggi yang didapatkan sebesar 4,17% dibandingkan dengan tegangan *charging* baterai yaitu 13,4 V. Di sisi lain, tegangan terkontrol generator DC hasilnya cukup fluktuatif. Hasil tertinggi yang didapat adalah sebesar 13,89 V dan hasil terendah sebesar 12,79 V. Dengan persentase *Error* tertinggi yaitu sebesar 4,85%. Sedangkan arus yang dihasilkan sebesar 0,92 A sampai dengan 1,17 A.

Pengujian *Charging* dan *Discharging* Baterai

Pengujian pada tahap ini yaitu dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga hybrid sebagai sumber untuk *charging* baterai. Hasilnya adalah pembangkit listrik tenaga hybrid mampu mengisi baterai dengan prinsip *cv* (*constant voltage*) dengan kenaikan sebesar 0,2 V tiap 1 jam pengisian (Gambar 10). Pada pengujian selanjutnya, dilakukan pengujian pembangkit listrik disertai dengan beban. Beban berupa lampu pijar sebesar 15 watt dengan sumber tegangan AC. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan beban dengan baterai dengan perantara inverter sebagai pengubah tegangan DC menuju tegangan AC. Penggunaan beban lampu pijar sesuai dengan standar ketentuan penerangan jalan untuk jalan desa yang bukan jalan umum sesuai standar. Berdasarkan SNI 7391:2008 dinyatakan bahwa untuk jalan lokal baik primer maupun sekunder, dibutuhkan pencahayaan sebesar 0,5 cd/m². Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan baterai perlahan turun seiring dengan penggunaannya untuk menghidupkan lampu pijar sebesar 15 watt. Penurunan tegangan baterai nampak linier tiap perubahan waktu. Penurunan tegangan pada pengujian rata-rata mencapai 0,17 V setiap 30 menit pengujian. Jadi, jika baterai mendapat beban lampu pijar 15 watt selama 12 jam, maka tegangan baterai akan turun sebesar 4,08 Volt.

Jika dibandingkan dengan persentase baterai, tegangan akhir pada grafik pada gambar 11 yaitu 11,69 V. Persentase baterai berada pada tingkat 55%. Dengan aturan bahwa tegangan baterai tidak boleh dibawah 20% pada proses penggunaan, maka tegangan minimal baterai adalah pada 10,36 V. Dari tegangan penuh baterai yaitu pada 13,4 V menuju tegangan minimal baterai yaitu 10,36 V dibutuhkan waktu sekitar 8 jam 55 menit. Sehingga, jika memerlukan suplai secara kontinu untuk waktu di atas 8 jam 55 menit, maka

dibutuhkan baterai tambahan agar proses penyalaan lampu dapat dilakukan secara kontinu.



Gambar 10. Pengujian *Charging* Baterai



Gambar 11. Pengujian *Discharging* Baterai

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara tegangan keluaran alami dengan tegangan yang dikontrol dengan kontrol PID. Tegangan keluaran pada turbin air alami sangat fluktuatif mulai dari 10,11 V sampai dengan 12,45 V. Ketika tegangan dikontrol dengan kontrol PID, didapatkan tegangan mulai dari 12,79 V sampai dengan 13,89 V. Sehingga, persentase error yang didapatkan juga semakin kecil. Sedangkan pada panel surya, tegangan yang dikontrol dimaksudkan agar tegangan yang dihasilkan mencapai setpoint 13,4 V, dari yang awalnya berkisar antara 19-21 V.

Pada penelitian yang berjudul *Design of Hybrid Portable Underwater Turbine Hydro and Solar Energy Power Plants* oleh Nugraha dan Priyambodo (2021) dihasilkan daya total sebesar 0,5 – 4 W pada *Underwater Turbine* dan *Solar Cell* sebesar 65,6 Watt per hari. Hasil tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian ini, dikarenakan beberapa kondisi diantaranya kapasitas *Solar Cell* yang lebih besar yaitu 100 Wp serta jenis generator DC yang lebih besar kapasitasnya. Sedangkan penelitian Purnawan dan

Ravi (2019) yang memanfaatkan energi gelombang laut sebagai salah satu sumber energi. Penelitian tersebut mendapatkan daya pada pembangkit listrik gelombang air laut sebesar 12 - 45.8 mW. Hasil tersebut tentu lebih kecil jika dibandingkan dengan Turbin Air pada penelitian ini yang mampu menghasilkan sebesar 9,4 Watt. Hal tersebut dikarenakan pembangkit listrik tenaga air yang digunakan berbeda pengimplementasian, walaupun sama-sama menggunakan energi air. Aditya *et al*, (2017) menjelaskan bahwa prototype *Underwater Turbine* generator sebagai komponen *Microgrid* menghasilkan daya sebesar 2,26 Watt. Jika dibandingkan dengan penelitian ini, jumlah tersebut tentu lebih sedikit. Hal tersebut dikarenakan beberapa kondisi seperti desain turbin, tempat penelitian maupun generator yang digunakan.

KESIMPULAN

Kendali PID berhasil mengontrol tegangan keluaran dari pembangkit listrik baik pada Tenaga Surya maupun Tenaga Air. Hal tersebut ditunjukkan oleh perubahan tegangan mendekati *setpoint* sebesar 13,4 V. Persentase *error* tertinggi dari pembangkit listrik tenaga surya yaitu sebesar 4,17%, sedangkan untuk pembangkit listrik tenaga air *error* yang didapat sebesar 4,85%. Pembangkit listrik tenaga hybrid menghasilkan daya sebesar 14,85 Watt. Selanjutnya, pengisian baterai oleh pembangkit listrik tenaga *hybrid* dapat menghasilkan kenaikan tegangan baterai sebesar 0,2 V dalam 1 jam pengisian. Selanjutnya, pada pengujian *discharging* baterai didapatkan persentase baterai akan berada pada batas minimum yaitu kapasitas 20% dengan penyalaan beban selama 8 jam 55 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aas Wasri Hasanah, T. K. (2018). Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid Di Stt-Pln. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 93-101.
- ABB. (2010). Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants. ABB. Bergamo.
- Angga Ade Purnawan, A. M. (2019). Inovasi Teknologi Havelar Box (Hybrid Wave And Solar Energy To Green Pest Management Box) : Pemanfaatan Hybrid Energi Gelombang Laut Dan Matahari Sebagai Listrik Alternatif Dan

- Suplai Pengendali Hama Pertanian Pada Daerah Pesisir Pantai.
- Bahri, S. H. (2004). Sistem Kendali Hybrid PID - Logika Fuzzy pada Pengaturan Kecepatan Motor DC. 25-34.
- Benny, S. (2015). Rancang Bangun Sistem Tracking Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino. *E-Journal Spektrum*, 115-120.
- BY, Z. V. (2018). Rancang Bangun Konverter Sepic Dengan Monitoring Berbasis Labview. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- BPPT. (2021). *Outlook Energi Indonesia*. BPPT.
- Bauran Energi Nasional*. (2020). Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Dewatama, D., Fauziah, M., & Safitri, H. K. (2018). Kendali Dc-Dc Converter Pada Portable Pico-Hydro Menggunakan Pid Controller. *Jurnal Eltek*, 113.
- Dewatama, D., Fauziah, M., Safitri, H. K., & Adhisuwignjo, S. (2020). Design and implementation: Portable Floating Pico-Hydro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-6.
- Hanafi, M. I. (2017). Implementasi Sepic Converter pada Tegangan Keluaran Menggunakan Metode Kontrol PID.
- Jamali, F. (2014). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Berbantuan Program Turbnpro Di Desa Sinar Pekayau Kecamatan Sepauk Kabupaten Sintang. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Sintang.
- Jati, P. (2016). *Simulasi Kendali Pid Dan Logika Fuzzy Pada Sistem Eksitasi Automatic Voltage Regulator Dengan Sumulink Matlab*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Jimy Harto Saputro, T. S. (2013). Analisa Penggunaan Lampu Led Pada Penerangan Dalam Rumah. *Transmisi*, 20-27.
- Juliansyah, J. (2019). Konstruksi Dan Stabilitas Kapal Di Kamar Mesin Untuk Menjaga Ketahanan Badan Kapal Di Pt. Indonesia Marine Shipyards.
- Kebijakan, Regulasi dan Inisiatif Pengembangan Energi Surya di Indonesia . (2019). Kementerian ESDM.
- Laporan Status Energi Bersih Indonesia*. (2019). IESR.
- Muhammad Taif, M. Y. (2019). Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield. *Jurnal PROtek*, 42-47.
- Nurhayati, & Maisura, B. (2021). Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Nyala Lampu dengan Menggunakan Sensor Cahaya Light Dependent Resistor. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, Vol.5, 103-122.
- Nurpandi, F., & Sanjaya, A. P. (2017). Inkubator Penetasan Telur Ayam Berbasis Arduino. *Media Jurnal Informatika*, 66-77.
- Nurva Alipan, N. Y. (2018). *Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Pico-Hydro Dengan Memanfaatkan Alternator untuk Membantu Penerangan Jalan Seputaran Kebun Salak*. *Jurnal Edukasi Elektro*.
- Pematun, A. A. (2016). Analisis Perbandingan Output Daya Listrik Panel Surya Sistem Tracking Dengan Solar Reflector. Fakultas Teknik Universitas Udayana. Bali.
- Rizky Tristyana Ardi Saputra, S. A. (2019). Perancangan Buck Boost Converter Menggunakan Fuzzy Logic Control Sinyal Pulse Width Modulation pada Panel Surya. *Jurnal Elkolind*, 39-44.
- Saputra, H. D. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Hybrid Surya Dan Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Penerangan Jalan Desa Dengan Kontrol Hibrida Menggunakan Mikrokontroler Arduino. Surabaya.
- Sasongko, S. (2018). Implementasi Fuzzy Logic Controller sebagai Pengendali Posisi Motor Servo.
- Statistik, B. P. (2021). *Statistik Listrik 2015-2020*.
- UNY, T. F. (2003). *Teknik Dasar Rectifier Dan Inverter*. Departemen Pendidikan Nasional. Yogyakarta.
- Waesal Karni, I. N. (2018). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Sebagai Regulator Tegangan Keluaran Pada Panel Surya.

Yani, Y. I. (2017). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Sistem Pembangkit Listrik

Tenaga Mikrohidro. Surabaya