

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portabel dengan Kontroler PID

Arduino-Based Portable Solar Power Plant with PID Controller

Dickyansyah Ramadhan¹, Abdillah Ramadhan^{2*}, Sugeng³, Setyo Supratno⁴,
Fatimah Dian Ekawati⁵

^{1,2,3,4,5} Department of Electrical Engineering, Universitas Islam 45 Bekasi

Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Kec. Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113, (021) 8808851

dickyansyahramadhan12@gmail.com¹, abdihrtrr@gmail.com², sugeng@unismabekasi.ac.id³,

setyo@unismabekasi.ac.id⁴, dianeka@unismabekasi.ac.id⁵

Abstrak – Energi matahari merupakan solusi potensial untuk mengatasi krisis energi dan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil. Namun, fluktuasi intensitas matahari memerlukan teknologi yang stabil. Penelitian ini mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) portabel berbasis Arduino Uno dengan sistem kontrol PID untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran inverter. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki margin error $\pm 0,50\%$ untuk tegangan dan $\pm 1,88\%$ untuk arus. Sistem PID mencapai setpoint tegangan dalam waktu 3-6 detik tergantung beban. Sistem proteksi inverter juga bekerja secara optimal dengan tingkat keberhasilan 100% dalam berbagai skenario pengujian, seperti perlindungan terhadap $\cos \phi$, hubung singkat, dan tegangan rendah, dengan waktu respon berkisar antara 403 ms hingga 2020 ms. Pada pengujian kontinu lima hari, tegangan keluaran stabil pada 220 volt AC dengan efisiensi rata-rata 79,61% dan durasi penggunaan 77,1 menit. Sistem ini memiliki kapasitas daya maksimum 200 VA, mendukung efisiensi dan keberlanjutan energi terbarukan.

Kata Kunci: PLTS portabel, Arduino Uno, sistem kontrol PID, Inverter, PZEM-004T.

Abstract – Solar energy is a potential solution to overcome the energy crisis and the environmental impact of fossil fuels. However, fluctuations in solar intensity require stable technology. This research develops a portable solar power generator (PLTS) based on Arduino Uno with a PID control system to maintain the stability of the inverter output voltage. Test results show that the PZEM-004T sensor has a margin of error of $\pm 0.50\%$ for voltage and $\pm 1.88\%$ for current. The PID system reaches the voltage setpoint within 3-6 seconds depending on the load. The inverter protection system also works optimally with a success rate of 100% in various test scenarios, such as protection against $\cos \phi$, short circuit and low voltage, with response times ranging from 403 ms to 2020 ms. In five days of continuous testing, the output voltage was stable at 220 volts AC with an average efficiency of 79.61% and a usage duration of 77.1 minutes. This system has a maximum power capacity of 200 VA, supporting the efficiency and sustainability of renewable energy.

Keywords: Portable Solar Power Plant (PLTS), Arduino Uno, PID Control System, Inverter, PZEM-004T

1. Pendahuluan

Pada era modern, kebutuhan akan energi terbarukan dan ramah lingkungan semakin meningkat seiring kesadaran terhadap dampak negatif bahan bakar fosil serta keterbatasan sumber daya alam [1]. Indonesia memiliki potensi besar dalam energi laut, panas bumi, bioenergi, air, angin, dan surya, namun pemanfaatannya masih terbatas akibat kendala infrastruktur, regulasi, dan investasi [2].

Energi surya sebagai sumber utama PLTS memanfaatkan sel Photovoltaic (PV) untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun, produksi energi panel surya sangat

dipengaruhi intensitas cahaya, sehingga diperlukan sistem yang mampu menjaga stabilitas dan kontinuitas daya [3], [4].

Penelitian ini mengembangkan PLTS portabel berbasis Arduino Uno yang dilengkapi sistem kontrol PID guna menstabilkan tegangan keluaran inverter. Sistem ini diharapkan mampu mengatasi fluktuasi energi dari panel surya serta meningkatkan keandalan dan keberlanjutan energi portabel [5], [6].

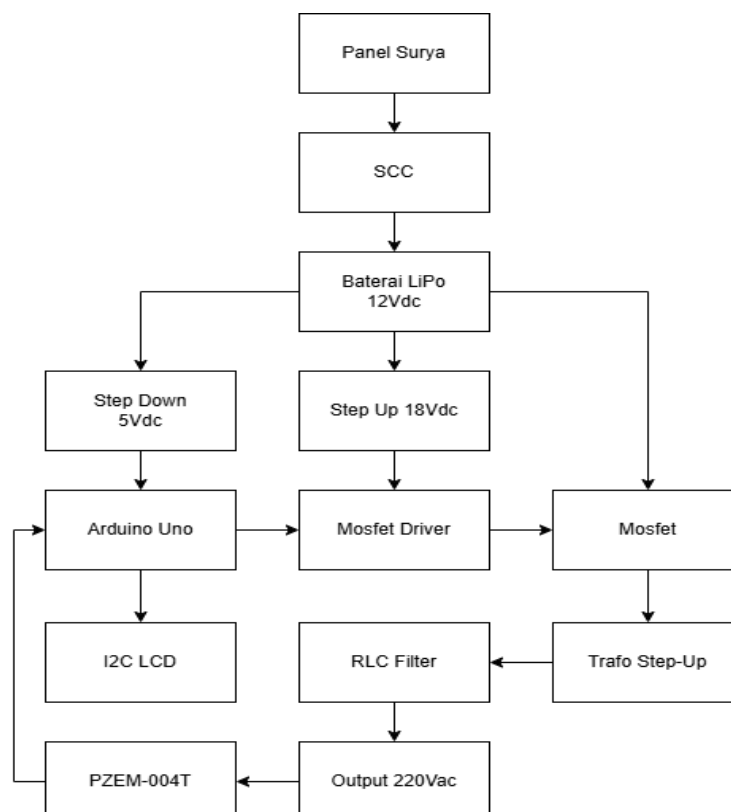
Sebagai pembaruan dari penelitian sebelumnya oleh Maghfiroh (2021) tentang *Single Phase Inverter with Power Monitoring using Arduino* dan Rachwanto (2022) tentang *Implementasi Inverter Berbasis Square Wave dan Sinusoidal PWM Menggunakan Arduino Uno*, penelitian ini berfokus pada perbaikan kestabilan tegangan output inverter pada sistem PLTS portabel.

2. Metode Penelitian

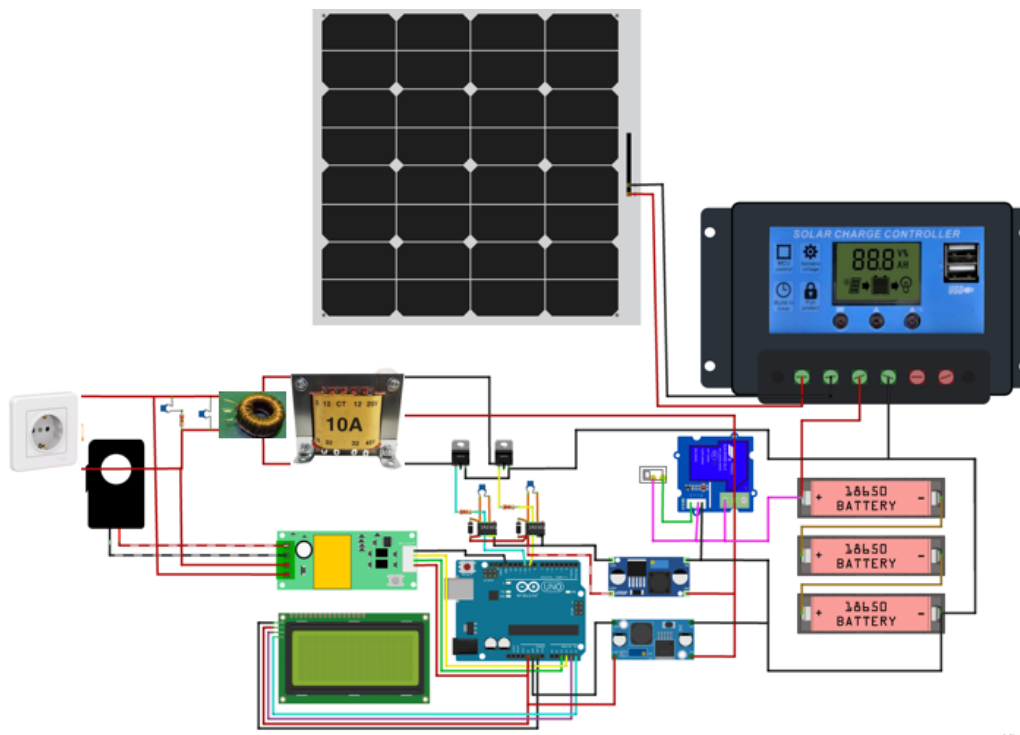
Pada penelitian ini. Objek yang akan diteliti berfokus utama yaitu untuk menciptakan sistem PLTS portabel yang memiliki kemampuan menstabilkan *output* arus ac. Penelitian PLTS portabel ini menggunakan inverter berbasis arduino uno, beserta sistem kontrol PID dengan sensor tegangan dan arus ac PZEM-004T sebagai feedback untuk sistem PID.

2.1. Perancangan Sistem

Pada tahap ini perancangan alat yang dilakukan yaitu agar mempermudah dalam penyelesaian penelitian. Perancangan sistem dibuat dalam bentuk blok diagram.



Gambar 1. Diagram Perancangan Sistem



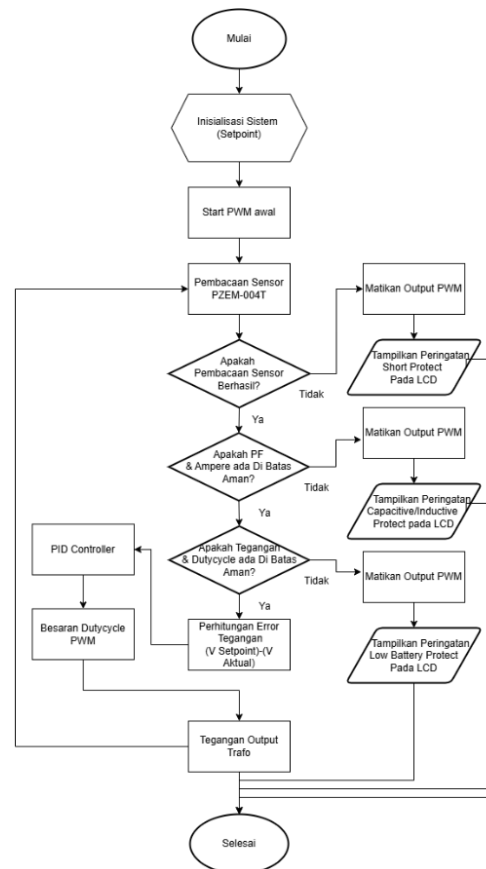
Gambar 2. Perancangan Hardware

Dalam pembuatan PLTS portabel berbagai komponen diperlukan untuk membentuk sistem, seperti panel surya yang berfungsi untuk merubah radiasi matahari menjadi energi listrik, lalu *Solar Charge Control* berfungsi untuk mengatur arus pengisian yang mengalir ke baterai, baterai berguna untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya, listrik dari baterai masih berbentuk DC untuk merubahnya dibutuhkan inverter DC to AC. Inverter ini dirancang menggunakan mikrocontroller berjenis arduino uno, dengan sistem pembangkitan PWM Squarewave, yang akan diumpankan ke mosfet melalui mosfet driver untuk memperkuat sinyal PWM tersebut, kemudian output mosfet tersebut akan diumpankan ke transformer step-up, merubah tegangan yang awalnya DC menjadi AC sekaligus menaikkan tegangannya ke 220 volt AC. Sensor arus dan tegangan PZEM-004T digunakan untuk memantau tegangan dan arus output trafo, lalu mengirimkan informasi tersebut ke arduino nano untuk diolah oleh sistem kendali PID, guna mengatur besaran dutycycle yang akan diumpankan ke mosfet, yang akan menstabilkan tegangan output trafo atau inverter DC to AC pada setpoint yaitu 220 volt AC. Dengan ini output 220 volt AC dari PLTS portabel siap dibebankan ke beban arus AC

2.2. Perancangan Software

Kontrol utama pada PLTS portabel ini menggunakan Arduino uno yang digunakan untuk mengatur sinyal keluaran PWM yang diumpankan ke mosfet dan mengatur kerja sensor serta menjalankan algoritma program dari sistem kontrol PID yang akan menstabilkan tegangan output inverter pada PLTS portabel. Arduino membutuhkan perangkat lunak untuk memasukkan kode program ke dalam memori, dengan begitu software seperti Arduino IDE menjadi pilihan utama dalam memprogram dan mengupload hasil program ke Arduino uno. Kode program mencakup inisialisasi perangkat keras, pembacaan data sensor, perhitungan PID, dan pengendalian lebar duty cycle yang diumpankan ke mosfet, untuk mengatur tegangan output inverter tetap berada pada setpoint yang telah ditentukan. Kode program juga mencakup sistem proteksi dasar seperti disaat sensor gagal; membaca maka output PWM akan dimatikan, hal ini berguna untuk

memproteksi disaat ada kesalahan saat pengujian. Pengujian software juga dilakukan untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai rancangan.



Gambar 3. Flowchart Program

2.3. Pengujian Sistem

Ada 2 hal yang akan menjadi fokus pengujian, yaitu akurasi sensor dan sistem kendali PID.

A. Pengujian Sensor

Keakuratan sensor arus dan tegangan PZZEM-004T akan menentukan keberhasilan sistem Kendali PID pada penelitian ini, parameter utama yang akan diuji dalam pengujian sensor, yaitu pembacaan tegangan AC, standarisasi tegangan listrik rumahan dari PLN adalah 220 volt AC, pengujian akan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor PZEM-004T dengan pembacaan dari avo meter lalu memperhitungkan margin errornya.

B. Pengujian Control PID

Pengujian sistem kendali PID dilakukan dengan menggunakan setpoint standarisasi dari PLN yaitu 220volt AC yang diatur secara tetap di dalam mikrokontroller, serta komponen pendukung seperti mosfet, driver, dan trafo, dan sensor arus dan tegangan PZEM-004T. Pada tahap ini, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem kendali dapat mempertahankan tegangan output pada inverter sesuai setpoint walaupun beban yang di bebaskan pada output inverter berbeda-beda, pengujian ini baru bisa dilakukan setelah inverter selesai dibuat, bertujuan untuk keamanan saat pengujian, pengujian dilakukan dengan cara mengambil data daya input dan daya output inverter dengan data logger dan diolah menjadi grafik dengan bantuan microsoft excel,

pengujian ini dibagi menjadi 2 kategori yaitu. Pertama yaitu pengujian waktu singkat dengan berbagai beban yang akan dilakukan dengan mengambil data baik dari daya input maupun output inverter, pengambilan data memiliki sampling sebanyak 5 data perdetik, untuk melihat berapa waktu yang dibutuhkan sistem PID untuk mencapai setpoint untuk masing-masing beban. Kedua yaitu pengujian berkala yang dilakukan selama 5 hari dengan 2 kali pengambilan data setiap harinya baik dari daya input maupun output inverter dengan sampling 1 data per 5 detik.'

2.4. Metode Pengambilan dan Analisis Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini adalah menguji kinerja sistem. Data akan diambil dari pembacaan sensor PZEM-004T. kemudian untuk mendapatkan data digunakan sebuah software data logger yang akan terhubung ke mikrokontroller dan mengambil data tersebut kedalam bentuk file .txt kemudian data tersebut akan diolah dengan Ms.excel untuk mendapatkan bentuk grafik dan nilai rata-rata dari data yang diambil.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu dengan mengolah hasil pengukuran yang telah terkumpul menjadi bentuk grafik dan tabel untuk kemudian dianalisis secara numerik.

Data yang diperoleh dari sensor digunakan untuk menilai tiga aspek utama:

1. Respon sistem kendali PID, untuk mengetahui kecepatan sistem dalam mencapai kestabilan tegangan terhadap perubahan beban.
2. Efisiensi PLTS portabel, untuk mengukur kemampuan sistem dalam mengonversi energi dari panel surya hingga menjadi keluaran listrik AC.
3. Akurasi sensor, dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar guna mengetahui tingkat kesalahan pengukuran.

Selain itu, dilakukan juga analisis waktu pengisian dan pengosongan baterai guna mengevaluasi performa sistem penyimpanan energi. Hasil dari seluruh pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan pembacaan pola perubahan data serta kesimpulan terhadap kinerja keseluruhan sistem PLTS portabel.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, ada lima parameter utama yang diuji untuk melihat kinerja sistem ini termasuk pengujian sensor tegangan dan arus baik itu AC maupun DC untuk memastikan keakuratan data yang diambil dalam penelitian ini, selain itu pengujian dilakukan pada sistem kendali PID, karakteristik pengisian daya dan juga efisiensi inverter. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan akurasi dari sensor, efisiensi konversi energi, dan kinerja sistem kendali PID dalam menstabilkan output inverter.

3.1. Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan yang diharapkan. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 10 kali lalu membandingkan hasil pengukuran dengan pengukuran alat ukur avometer untuk mendapatkan margin error dari sensor. Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi dan karakteristik sensor agar dapat dimanfaatkan secara optimal dalam pembuatan sistem kontrol PID pada inverter yang digunakan pada PLTS portabel berbasis arduino uno.

A. Tegangan dan Arus Sensor

Sensor tegangan dan arus AC PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang berjenis *Alternate Current* (AC). Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus

output dari inverter PLTS portabel, lalu membandingkannya dengan pengukuran pada alat ukur AVometer.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sensor Tegangan AC

Nomor	AC Sensor Volt	(Alat ukur)	Error
1	220.5	220	-0.23%
2	220.6	220	-0.27%
3	220.2	219	-0.55%
4	220.8	221	0.09%
5	220	219	-0.46%
6	219.8	219	-0.37%
7	216.4	216	-0.19%
8	214.8	214	-0.37%
9	211.2	210	-0.57%
10	208.4	207	-0.68%
11	200.9	199	-0.95%
12	236.5	236	-0.21%
13	241.9	241	-0.37%
14	162.5	161	-0.93%
15	150.8	149	-1.21%
Rata-rata			+/- 0.50%

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sensor Arus AC

Nomor	AC Sensor Amp	(Alat ukur)	Error
1	0.06	0.057	-5.26%
2	0.06	0.058	-3.45%
3	0.09	0.088	-2.27%
4	0.12	0.118	-1.69%
5	0.20	0.198	-1.01%
6	0.11	0.108	-1.85%
7	0.14	0.138	-1.45%
8	0.15	0.148	-1.35%
9	0.16	0.158	-1.27%
10	0.17	0.168	-1.19%
11	0.19	0.187	-1.60%
12	0.24	0.237	-1.27%
13	0.50	0.491	-1.83%
14	1.04	1.056	1.52%
15	0.82	0.810	-1.23%
Rata-rata			+/- 1.88%

B. Tegangan dan Arus Sensor

Sensor tegangan dan arus DC, ACS digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang berjenis *Direct Current* (DC). Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus input

dari inverter PLTS portabel, lalu membandingkannya dengan pengukuran pada alat ukur AVOMeter.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor Tegangan DC

Nomor	DC Sensor Volt	(Alat ukur)	Error
1	12.40	12.38	-0.16%
2	12.24	12.25	0.08%
3	12.13	12.12	-0.08%
4	12.05	12.02	-0.25%
5	11.96	11.93	-0.25%
6	11.88	11.86	-0.17%
7	11.76	11.74	-0.17%
8	11.66	11.63	-0.26%
9	11.46	11.43	-0.26%
10	11.23	11.20	-0.27%
11	11.08	11.05	-0.27%
12	10.96	10.94	-0.37%
13	10.78	10.75	-0.56%
14	10.50	10.48	-0.96%
15	10.20	10.18	-0.99%
Rata-rata			+/- 0.34%

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor Arus DC

Nomor	DC Sensor Amp	(Alat ukur)	Error
1	0.95	0.96	1.04%
2	1.04	1.06	1.89%
3	1.42	1.43	0.70%
4	1.83	1.90	1.08%
5	2.10	2.18	0.94%
6	2.64	2.59	-1.93%
7	2.85	2.90	1.72%
8	3.06	3.10	1.29%
9	3.68	3.73	1.34%
10	4.11	4.23	1.20%
11	5.54	5.65	1.25%
12	6.78	6.84	1.02%
13	9.67	9.75	0.82%
14	10.23	10.30	0.68%
15	11.43	11.51	0.70%
Rata-rata			+/- 1.17%

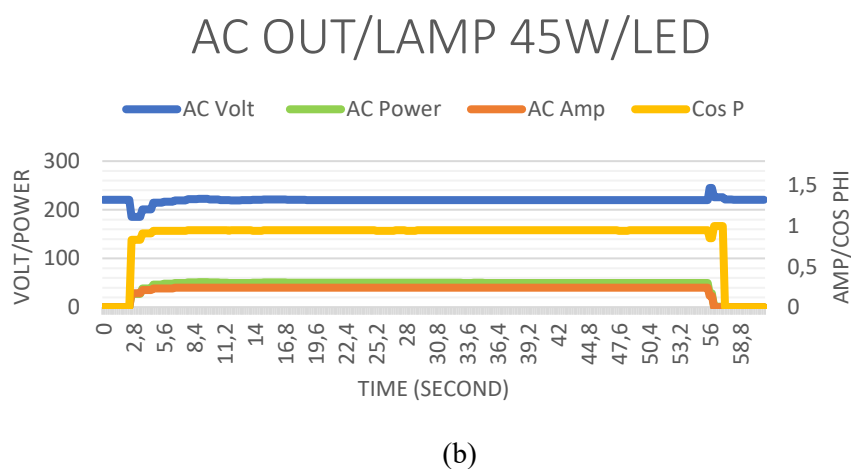
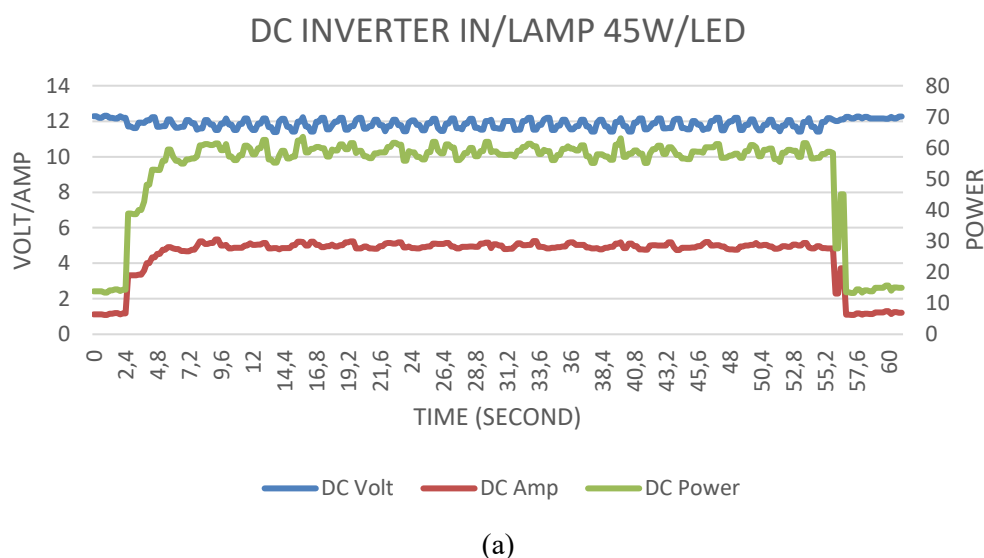
3.2. Pengujian Kerja PID

Pengujian dilakukan untuk memastikan kinerja dari sistem kontrol PID bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan kondisi pemakaian PLTS portabel secara kontinyu, yaitu pemakaian energi bersamaan dengan pengisian energi. Pengambilan data sensor dilakukan dengan sistem data logger, dengan menggunakan software seperti serial monitor Arduino IDE, data yang didapat lalu diolah dengan Ms.Excel untuk mendapatkan grafik dari respon sistem kendali PID, terdapat 2 jenis pengujian, yaitu Pertama pengujian singkat yang hanya mengambil sampel saat sistem kendali PID menstabilkan tegangan output inverter yang dibebani berbagai macam peralatan elektronik dan Pengujian kedua, yaitu pengujian menggunakan beban berupa kipas angin 45 watt selama 5 hari, waktu pengujian 1 pada pukul 10-12 dan pengujian 2 pada waktu 14-16.

A. Pengujian Singkat

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban, yaitu lampu 45 watt dan kipas 45 watt, berikut grafik dari hasil pengujian.

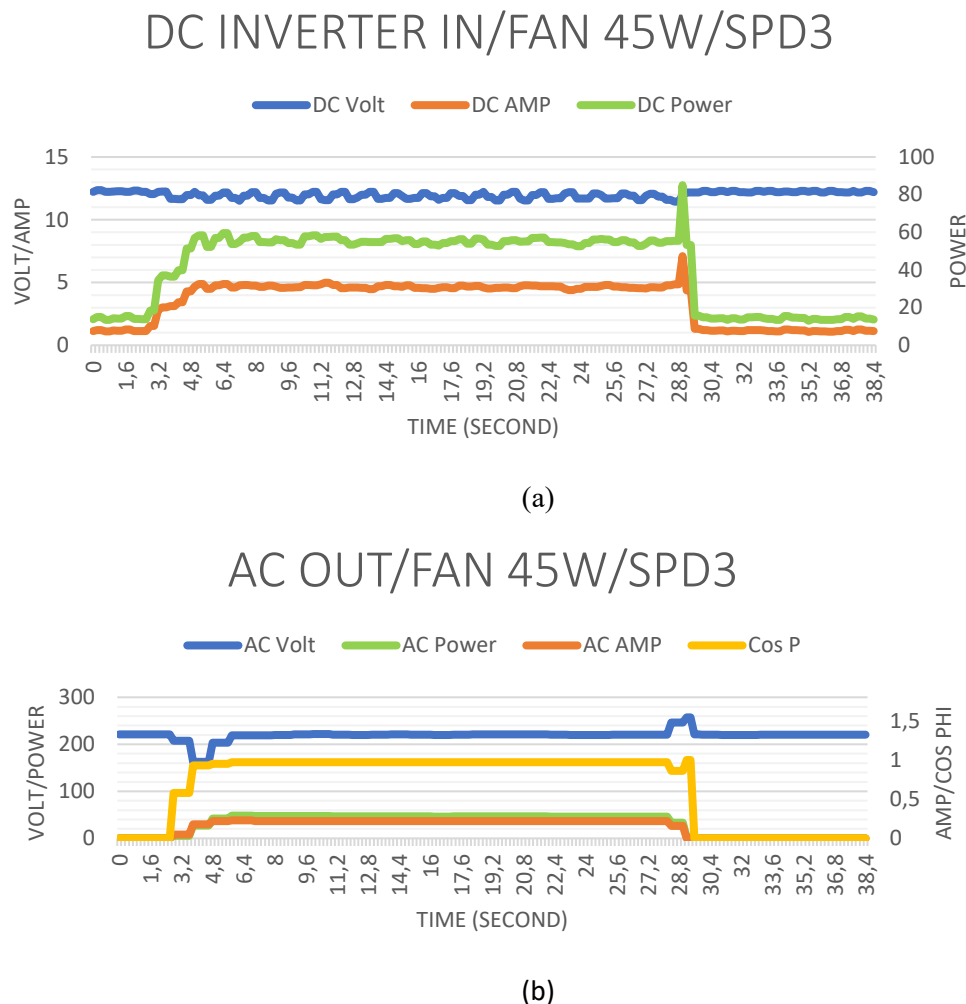
- Lampu 45 watt



Gambar 4. Grafik 1. Pengujian Respon Lampu Led 45 watt (a)DC input, (b)AC output

Grafik 1. (a) menunjukkan penggunaan energi DC pada saat sistem PID menstabilkan tegangan, (b) menunjukkan respon sistem PID terhadap beban lampu led 45 watt, dimana sistem PID berhasil mencapai setpoint dalam waktu 3 detik.

- Kipas 45 watt



Gambar 5. Grafik 2. Pengujian Respon Kipas 45 watt (a)DC input, (b)AC output

Grafik 2. (a) menunjukkan penggunaan energi DC pada saat sistem PID menstabilkan tegangan, (b) menunjukkan respon sistem PID terhadap beban kipas 45 watt, dimana sistem PID berhasil mencapai setpoint dalam waktu 3 detik.

B. Pengujian Selama 5 Hari

Tabel 3. Hasil Pengujian Efisiensi PLTS Portabel

Hari Ke-	Efisiensi	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-Rata /Hari
1		81,30%	79,54%	80,42%
2		79,50%	77,20%	78,35%

Efisiensi	Pengujian	Pengujian	Rata-Rata
Hari Ke-	1	2	/Hari
3	81,70%	79,60%	80,65%
4	82,20%	83,30%	82,75%
5	75,35%	76,44%	75,90%
Rata-rata			79,61%

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa hasil pengujian efisiensi PLTS portabel menunjukkan variasi nilai efisiensi setiap harinya selama lima hari pengujian. Pengujian dilakukan dua kali setiap hari, yaitu pada pagi dan siang hari, dengan menggunakan beban tetap berupa kipas angin 45 watt. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai efisiensi tertinggi pada hari ke-4 sebesar 82,75%, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada hari ke-5 sebesar 75,90%. Nilai efisiensi rata-rata harian selama lima hari pengujian berada pada kisaran 75% hingga 83%, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 79,61%.

Perbedaan nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi daya pengisian baterai, tingkat beban inverter saat pengujian, serta performa baterai setelah penggunaan berulang. Secara umum, nilai rata-rata efisiensi sebesar 79,61% menunjukkan bahwa sistem inverter dan kendali PID pada PLTS portabel telah bekerja dengan baik dalam proses konversi energi dari sumber DC 12 volt menjadi AC 220 volt, meskipun masih terdapat rugi-rugi daya pada proses konversi yang tidak dapat dihindari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, tujuan utama yang disampaikan pada Bab Pendahuluan, yaitu mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) portabel berbasis Arduino Uno yang dilengkapi sistem kendali PID untuk menstabilkan tegangan keluaran inverter, telah tercapai dengan baik. Sistem kendali PID mampu menjaga kestabilan tegangan pada setpoint 220 volt AC dengan waktu respon yang cepat, yaitu antara 3 hingga 6 detik, menyesuaikan dengan perubahan beban. Sensor PZEM-004T yang digunakan dalam sistem ini juga terbukti akurat, dengan margin error hanya $\pm 0,50\%$ untuk tegangan dan $\pm 1,88\%$ untuk arus, sehingga dapat diandalkan untuk memberikan umpan balik yang presisi dalam proses pengendalian.

Hasil pengujian selama lima hari menunjukkan bahwa sistem PLTS portabel mampu bekerja secara stabil dengan rata-rata efisiensi 79,61%, menandakan bahwa proses konversi energi dari sumber DC menjadi AC telah berjalan efektif meskipun terdapat variasi intensitas cahaya matahari dan perubahan beban. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan telah berhasil menjawab permasalahan utama yang disampaikan pada pendahuluan, yaitu menjaga stabilitas dan kontinuitas daya pada sistem energi surya portabel.

Keberhasilan penelitian ini juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan kapasitas daya dan efisiensi sistem, penggunaan panel surya dan baterai dengan spesifikasi lebih tinggi, serta penerapan kendali adaptif atau berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk mempercepat respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, PLTS portabel ini berpotensi diterapkan dalam berbagai kebutuhan lapangan, seperti penyediaan energi di daerah terpencil, kegiatan luar ruangan, maupun sistem cadangan energi darurat, sehingga berkontribusi terhadap upaya pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan dan mandiri.

Referensi

- [1] V. Dwisari, “Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan,” 2023.
- [2] S. Arum dan K. Jati, “Dinamika Hukum Dalam Pengembangan Energi Baru Terbarukan Di Indonesia: Tinjauan Terhadap Aspek Regulasi Dan Implementasinya Dalam Pembangunan Infrastruktur Energi Berkelanjutan (Legal Dynamics in The Development of New Renewable Energy in Indonesia: A Review of Regulatory Aspects and its Implementation in Sustainable Energy Infrastructure Development),” *Jurnal Legal Reasoning*, vol. 6, no. 2, hlm. 89–101, 2024.
- [3] M. Y. Puriza, W. Yandi, dan A. Asmar, “Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang,” *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 8, no. 1, hlm. 47–52, Apr 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
- [4] T. Berliana *dkk.*, “Analisis Perbandingan Efisiensi Buck-Boost Converter Dengan Cuk Converter Pada Panel Surya,” 2024.
- [5] L. Adi Gunawan, A. Imam Agung, M. Widyartono, dan S. Isnur Haryudo, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable,” 2021.
- [6] S. Akbar, “Rancang Bangun Sistem Mini Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Portable,” 2021.