

Perancangan Sistem Energi Terintegrasi Berbasis MPPT, Baterai 48V, dan Inverter untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro

Erwin Alvito ^{1*}, Dimas Fahim Alkahfi ², Isac Ilham Akbar Habibi ³, Kholid Yovanda ⁴,
Jenko Antofa Gasta ⁵, Naufal Adib Ramadhani ⁶

^{1-2,4-6} D4 Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³ Dosen D4 Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Penulis korespondensi : erwalvito@gmail.com

Abstract. *Pico-hydro power plants (PLTPH) are renewable energy solutions suitable for rural areas with low water discharge. However, voltage fluctuations significantly affect battery charging stability. This research develops a 48V charging system using an MPPT converter combined with a DC-AC inverter and an Arduino-based monitoring system for cell voltage, current, and LiFePO₄ 15S battery protection. The system integrates a pico-hydro generator, three-phase rectifier, MPPT 60A module, 48V 50Ah battery, sinusoidal inverter, and BMS equipped with INA219 sensors and voltage dividers. Experimental results show MPPT efficiency of 90–98% under light loads, and the inverter delivers stable AC output for household consumption. The monitoring subsystem accurately measures per-cell voltage and triggers protection during overcharge and overdischarge scenarios. Overall, this integrated system is feasible and reliable for off-grid renewable energy applications in remote areas provide benefits to communities with limited resources. Overall, this system can be a model for effective and efficient renewable energy development to improve the quality of life of people in remote areas.*

Keywords: 48V Charging, Inverter, LiFePO₄, Monitoring System, Pico-Hydro.

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) merupakan sumber energi terbarukan yang cocok untuk wilayah pedesaan dengan debit air rendah. Tantangan utama sistem ini adalah fluktuasi tegangan dan arus yang menyebabkan proses pengisian baterai menjadi tidak stabil. Penelitian ini merancang sistem charging 48V berbasis MPPT (Maximum Power Point Tracking) dan inverter DC-AC yang terintegrasi dengan monitoring berbasis Arduino untuk pengukuran tegangan per sel, arus, dan status proteksi baterai LiFePO₄ 15S. Sistem dibangun dari komponen PLTPH, penyearah 3 fasa, MPPT 60A, baterai 48V 50Ah, inverter sinusoidal, serta BMS yang digabungkan dengan sensor INA219 dan pembagi tegangan. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi konversi MPPT mencapai 90–98% pada kondisi beban rendah, sedangkan inverter mampu memberikan daya stabil untuk beban rumah tangga. Monitoring berhasil mencatat tegangan per cell dengan akurasi tinggi serta memicu proteksi ketika terjadi overcharge maupun overdischarge. Sistem ini layak diterapkan sebagai solusi energi mandiri di daerah terpencil memberikan manfaat bagi masyarakat dengan sumber daya terbatas. Secara keseluruhan, sistem ini dapat menjadi model pengembangan energi terbarukan yang efektif dan efisien untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat di wilayah terpencil.

Kata kunci: Charging 48V, Inverter, LiFePO₄, Monitoring Arduino, Picohidro.

1. LATAR BELAKANG

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang potensial untuk diterapkan di daerah terpencil dengan ketersediaan sumber daya air berdebit kecil. Namun, sistem PLTPH umumnya mengalami fluktuasi tegangan dan arus akibat perubahan debit air, sehingga diperlukan sistem penyearah dan pengatur daya yang mampu menjaga kestabilan output listrik (Abbo et al., 2018).

memiliki kapasitas daya yang relatif kecil, PLTPH tetap mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat apabila dikombinasikan dengan sistem penyimpanan energi, seperti baterai LiFePO₄. Namun demikian, salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah ketidakstabilan tegangan keluaran generator, yang dapat mempengaruhi efisiensi proses pengisian baterai. Proses pengisian baterai lithium-ion umumnya menggunakan metode constant current–constant voltage (CC–CV) yang membutuhkan sumber tegangan stabil. Kondisi input yang berfluktuasi dapat menyebabkan penurunan efisiensi pengisian serta mempercepat degradasi baterai (Anshori et al., 2020).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penggunaan konverter DC–DC yang mampu menyesuaikan tegangan input dan menjaga efisiensi sistem. Ketidaksesuaian tegangan dapat menyebabkan rugi daya yang signifikan, sehingga penggunaan teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) menjadi solusi yang efektif (Lim & Lee, 2018). MPPT mampu mempertahankan operasi pada titik daya maksimum meskipun terjadi perubahan kondisi input, dengan efisiensi yang dapat mencapai lebih dari 95% (Lee & Kim, 2019).

Selain sistem charging, pemilihan media penyimpanan energi juga menjadi faktor penting. Baterai LiFePO₄ dipilih karena memiliki stabilitas termal yang tinggi, umur siklus yang panjang, serta tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan jenis baterai lithium-ion lainnya (Roy et al., 2020).

Untuk mendukung keamanan dan keandalan sistem, diperlukan sistem proteksi dan monitoring. Penggunaan Battery Management System (BMS) serta monitoring berbasis mikrokontroler memungkinkan pengawasan tegangan tiap sel, arus masuk–keluar, serta kondisi baterai secara real-time (Song & Park, 2017).

Pada sisi konversi energi, inverter berperan dalam mengubah tegangan DC menjadi AC yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga. Inverter low frequency berbasis modul EGS002 mampu menghasilkan gelombang sinusoidal yang stabil melalui teknik sinusoidal pulse width modulation (SPWM), serta dilengkapi dengan sistem proteksi yang memadai (Saha & Islam, 2022).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem charging 48V berbasis MPPT yang terintegrasi dengan baterai LiFePO₄, inverter, serta sistem monitoring berbasis Arduino pada PLTPH. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, stabilitas, dan keandalan sistem pembangkit listrik skala kecil, khususnya untuk aplikasi di daerah terpencil.

2. KAJIAN TEORITIS

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) merupakan sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang memanfaatkan aliran air dengan debit rendah untuk menghasilkan energi listrik. Sistem ini banyak digunakan di daerah terpencil karena memiliki biaya operasional rendah dan ramah lingkungan. Namun, karakteristik output generator pada PLTPH cenderung tidak stabil akibat fluktuasi debit air, sehingga diperlukan sistem pengkondisian daya yang mampu menjaga kestabilan tegangan dan arus keluaran (Abbo et al., 2018).

Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengisian baterai adalah metode constant current–constant voltage (CC–CV). Metode ini membutuhkan sumber tegangan yang stabil agar proses pengisian berlangsung optimal. Ketidakstabilan sumber daya dapat menyebabkan efisiensi pengisian menurun serta berpotensi mempercepat degradasi baterai (Anshori et al., 2020).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan konverter DC–DC yang berfungsi untuk menyesuaikan tegangan input agar sesuai dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan energi. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah Maximum Power Point Tracking (MPPT), yang mampu mengoptimalkan daya keluaran dengan cara mempertahankan sistem pada titik daya maksimum meskipun terjadi perubahan kondisi input. Penggunaan MPPT terbukti dapat meningkatkan efisiensi sistem hingga di atas 95% (Lee & Kim, 2019).

Baterai LiFePO₄ merupakan salah satu jenis baterai lithium-ion yang memiliki keunggulan dalam hal stabilitas termal, umur siklus yang panjang, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan baterai lithium-ion konvensional. Selain itu, baterai ini memiliki karakteristik tegangan yang relatif stabil selama proses pengisian dan pengosongan, sehingga cocok digunakan dalam sistem energi terbarukan (Roy et al., 2020).

Dalam sistem penyimpanan energi, diperlukan Battery Management System (BMS) yang berfungsi untuk melindungi baterai dari kondisi abnormal seperti overcharge, overdischarge, overcurrent, dan overtemperature. Selain itu, sistem monitoring berbasis mikrokontroler dapat digunakan untuk memantau kondisi baterai secara real-time melalui pengukuran tegangan dan arus menggunakan sensor berbasis shunt dan pembagi tegangan (Song & Park, 2017).

Pada sisi konversi energi, inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga. Inverter low frequency (LF) berbasis modul EGS002 menggunakan teknik sinusoidal pulse width modulation (SPWM) untuk menghasilkan gelombang sinusoidal yang stabil. Teknologi ini memungkinkan

inverter menghasilkan kualitas daya yang baik serta dilengkapi dengan sistem proteksi yang mendukung keandalan sistem (Saha & Islam, 2022).

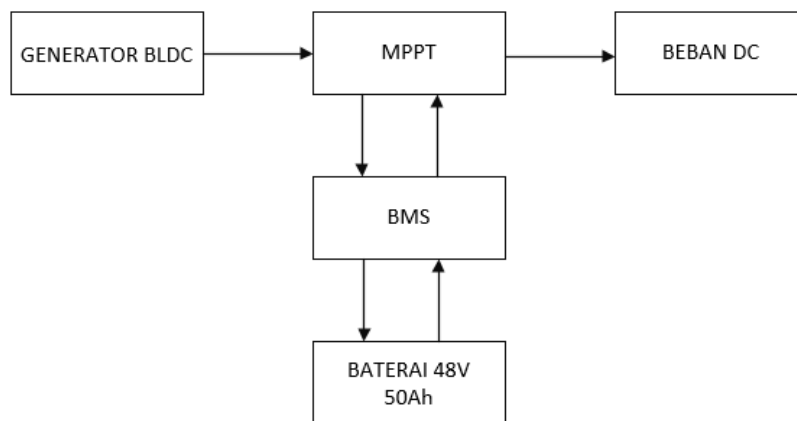
Berdasarkan kajian teoritis tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara sistem MPPT, baterai LiFePO₄, BMS, inverter, dan sistem monitoring merupakan solusi yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem PLTPH, khususnya dalam menghadapi permasalahan fluktuasi daya pada sumber energi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimen. Metode ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis, tetapi juga pada perancangan, pembuatan, serta pengujian sistem secara langsung. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data teknis PLTPH, perancangan sistem, pembuatan perangkat, pengujian, validasi, serta analisis kinerja sistem.

Desain Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari empat bagian utama, yaitu sistem charging berbasis MPPT, sistem penyimpanan energi, sistem monitoring, dan sistem inverter DC-AC. Keempat subsistem tersebut saling terintegrasi untuk menghasilkan sistem pembangkit listrik yang stabil dan andal.

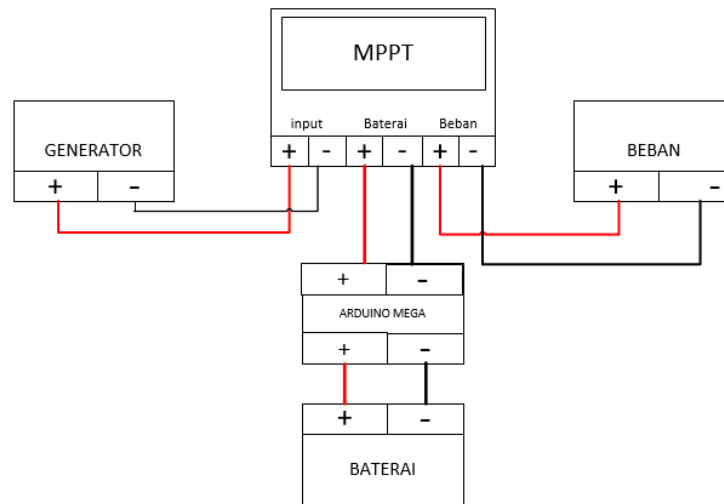


Gambar 1 blok diagram sistem charging dan discharging.

Sistem Charging 48V Berbasis MPPT

Sistem charging diawali dari generator PLTPH yang menghasilkan tegangan AC, kemudian disearahkan menggunakan penyearah tiga fasa menjadi tegangan DC. Tegangan DC tersebut selanjutnya diproses oleh konverter MPPT tipe POWMR 60A yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan serta mengoptimalkan daya keluaran.

Tegangan keluaran MPPT diatur pada rentang 54,5–55 V agar sesuai dengan spesifikasi baterai LiFePO₄ tipe Shoto SDA10-4850. Pengaturan ini bertujuan untuk memastikan proses pengisian berlangsung secara efisien dan aman.

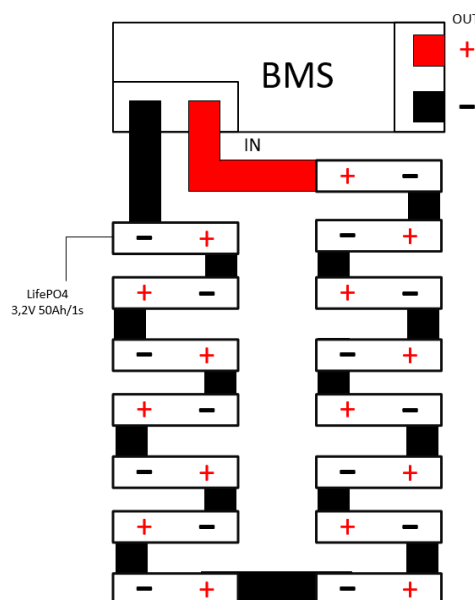


Gambar 2 Sistem Charging 48V Berbasis MPPT.

Sistem Penyimpanan Energi

Sistem penyimpanan energi menggunakan baterai LiFePO₄ dengan konfigurasi 15 sel seri (15S). Pemilihan baterai ini didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki resistansi internal rendah, tegangan cut-off sebesar 3,6 V per sel, serta umur siklus yang dapat mencapai hingga 3.000 kali pengisian.

Baterai ini berfungsi sebagai penyimpan energi sekaligus penyuplai daya ke beban saat terjadi penurunan debit air pada sistem PLTPH.

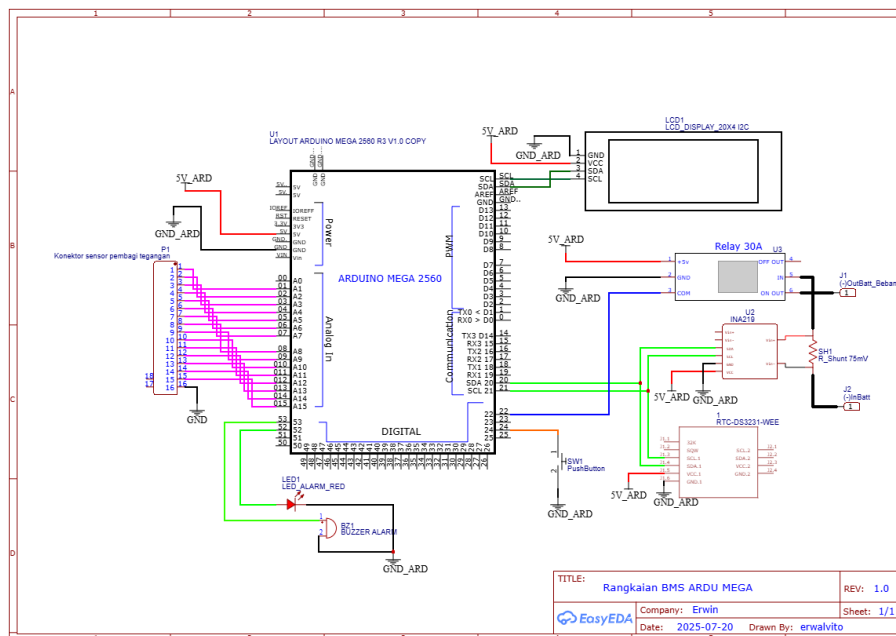


Gambar 3 Perancangan sistem penyimpanan baterai Lifepo4 dengan BMS.

Sistem Monitoring Berbasis Arduino

Sistem monitoring menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang berfungsi untuk memantau kondisi sistem secara real-time. Pengukuran tegangan tiap sel baterai dilakukan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, sedangkan pengukuran arus masuk dan keluar dilakukan menggunakan sensor INA219 berbasis shunt 75 mV.

Data yang diperoleh kemudian dicatat menggunakan modul Real Time Clock (RTC) DS3231 dan ditampilkan melalui LCD 20×4. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan relay 60A yang berfungsi sebagai proteksi otomatis ketika terjadi kondisi abnormal.

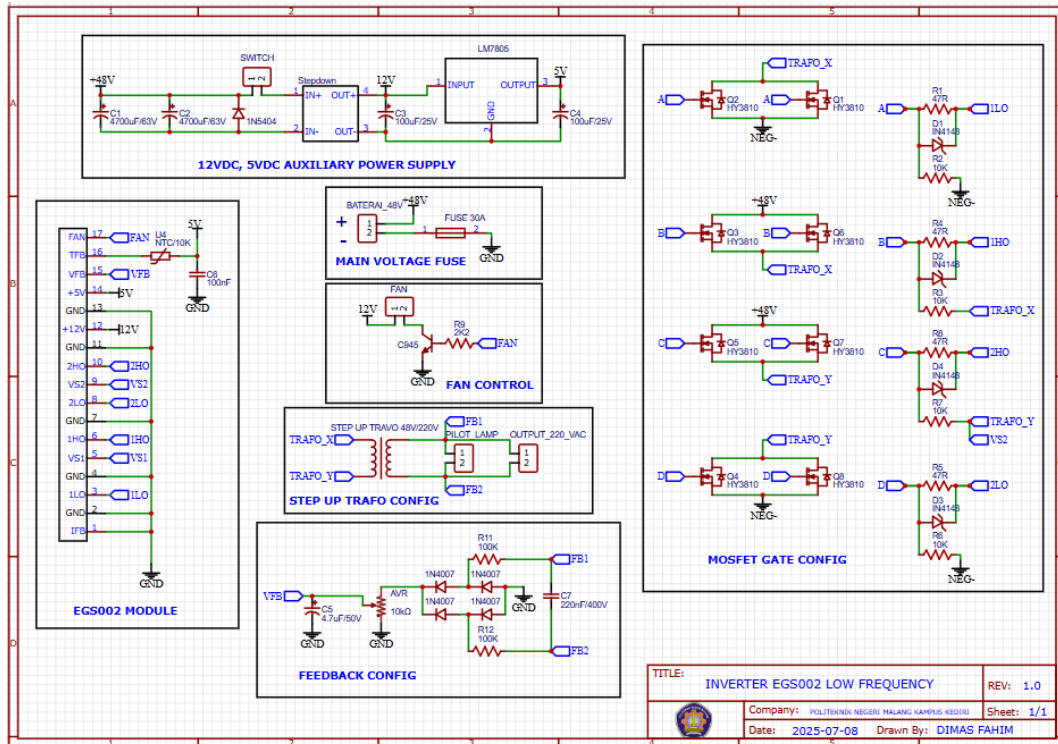


Gambar 4 Desain sistem monitoring berbasis Arduino mega 2560.

Sistem Inverter DC–AC

Sistem inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC 48V menjadi tegangan AC 220V yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga. Inverter yang digunakan merupakan inverter frekuensi rendah (low frequency) berbasis modul EGS002.

Modul EGS002 menghasilkan sinyal sinusoidal pulse width modulation (SPWM) yang digunakan untuk mengendalikan MOSFET tipe HY3810P dalam konfigurasi full-bridge. Tegangan keluaran inverter kemudian dinaikkan menggunakan transformator step-up untuk mencapai tegangan AC yang diinginkan.



Gambar 5 Desain Inverter DC-AC.

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung terhadap parameter sistem, meliputi tegangan input dan output MPPT, arus, daya, efisiensi, tegangan baterai, serta tegangan tiap sel. Data juga dikumpulkan pada kondisi charging, standby, dan discharging untuk mengetahui kinerja sistem secara menyeluruh.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap parameter teoritis serta mengevaluasi efisiensi sistem, kestabilan tegangan, dan akurasi sistem monitoring. Hasil analisis digunakan untuk menilai kinerja sistem yang telah dirancang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Sistem MPPT

Data hasil pengujian tegangan, arus, daya, dan efisiensi konverter MPPT ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Daya Input dan Output MPPT.

No	Tegangan in (V)	Tegangan out (V)	Arus In (V)	Arus out (V)	Daya In (W)	Daya Out (W)	Efisiensi (%)
1	59,3	55	0,5	0,5	29,6	27,5	92

2	60,1	54,8	0,4	0,4	24	21,9	91
3	59,4	54,9	0,5	0,5	29,7	27,45	92
4	57,4	55	0,4	0,4	22,96	22	95
5	58,1	55	0,5	0,5	29	27,5	94
6	56,1	54,9	0,5	0,5	28	27,45	98
7	57,2	55	0,5	0,5	28,6	27,5	96
8	58,6	54,8	0,5	0,5	29,3	27,4	93
9	61,1	55	0,4	0,4	24,2	22	90
10	55,8	55	0,6	0,6	33,4	33	98

Berdasarkan Tabel 1, tegangan keluaran MPPT relatif stabil pada kisaran 54,8–55 V meskipun tegangan input mengalami fluktuasi. Efisiensi konversi berada pada rentang 90% hingga 98%, menunjukkan bahwa MPPT mampu mengoptimalkan daya pada kondisi sumber energi yang tidak stabil.

Karakteristik Pengisian Baterai

Data hasil pengujian proses pengisian baterai ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengisian Baterai dan Tegangan per Sel.

No	Jam	Tegangan Out Konverter (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Baterai (V)	Tegangan per cell (V)	SOC (%)
1	9.00	54.8	0.5	27.38	49.4	3.30	84
2	9.10	55.0	0.5	27.49	49.4	3.30	84
3	9.20	54.9	0.4	21.96	49.4	3.30	84
4	9.30	54.8	0.4	21.94	49.4	3.30	84
5	9.40	54.7	0.3	16.40	49.4	3.30	84
6	9.50	54.7	0.4	21.86	49.5	3.31	85
7	10.00	54.6	0.6	32.77	49.5	3.31	85
8	10.10	55.0	0.5	27.48	49.6	3.31	85
9	10.20	54.8	0.5	27.42	49.6	3.31	85
10	10.30	54.9	0.5	27.44	49.7	3.32	85
11	10.40	54.6	0.5	27.30	49.8	3.32	85
12	10.50	55.0	0.5	27.50	49.8	3.33	86
13	11.00	54.9	0.5	27.46	49.8	3.33	86

Berdasarkan Tabel 2, tegangan baterai meningkat secara bertahap dan tegangan tiap sel menunjukkan distribusi yang merata. Hal ini menandakan bahwa proses pengisian berlangsung secara stabil dan seimbang.

Evaluasi Sistem Penyimpanan Energi

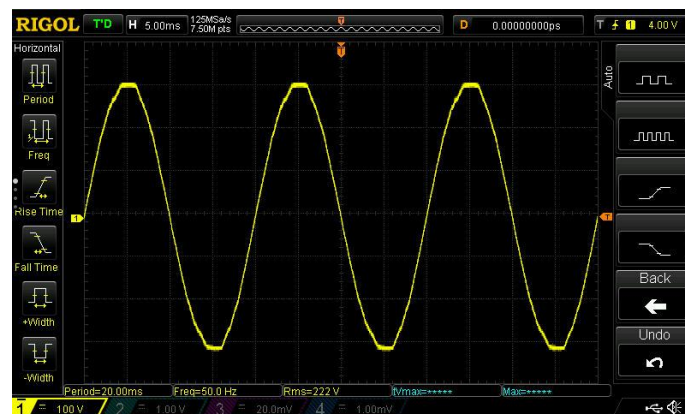
Hasil pengujian akurasi sensor tegangan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Akurasi Sensor Tegangan Baterai.

Kondisi	Jumlah Sel	Tegangan Rata-rata Alat (V)	Tegangan Sensor (V)	Error Maks (%)
Standby	15	3,33	3,33–3,34	0,3
Charging	15	3,61	3,61–3,63	0,55
Discharging	15	3,35	3,34–3,36	0,30

Kinerja Sistem Inverter

Pengujian inverter menunjukkan bahwa pada beban ringan sebesar 44 W, tegangan keluaran berada pada kisaran 219–221 V. Ketika beban meningkat hingga 370 W, tegangan sedikit menurun menjadi 216–218 V, namun masih dalam batas toleransi.



Gambar 6 Sinyal Sinus Pengujian Inverter pada Beban.

Hal ini menunjukkan bahwa inverter mampu bekerja secara stabil dalam berbagai kondisi beban.

Kinerja Sistem Proteksi dan Monitoring

Sistem proteksi bekerja dengan baik dalam menjaga keamanan sistem. Proteksi overcharge aktif pada tegangan di atas 54 V, overdischarge di bawah 45 V, serta overcurrent saat terjadi beban berlebih.

Pengujian short circuit menunjukkan bahwa sistem mampu merespons dengan cepat melalui relay proteksi, sehingga sistem tetap aman.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem charging dan inverter 48V berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Konverter MPPT mampu menstabilkan tegangan keluaran pada kisaran 54,8–55 V meskipun terjadi fluktuasi pada sisi input, serta menunjukkan efisiensi konversi yang tinggi.

Sistem penyimpanan energi menggunakan baterai LiFePO₄ menunjukkan performa yang stabil dengan distribusi tegangan per sel yang merata selama proses charging dan discharging. Sistem monitoring berbasis Arduino juga mampu memberikan pembacaan parameter secara akurat dengan tingkat kesalahan yang rendah, sehingga dapat digunakan untuk pemantauan kondisi baterai secara real-time.

Selain itu, inverter berbasis modul EGS002 mampu menghasilkan tegangan AC 220 V yang stabil dengan bentuk gelombang sinusoidal yang baik, sehingga layak digunakan untuk kebutuhan rumah tangga. Sistem proteksi yang diterapkan juga bekerja dengan efektif dalam mencegah kondisi overcharge, overdischarge, overcurrent, dan short circuit.

Secara keseluruhan, integrasi sistem MPPT, baterai, inverter, dan monitoring menunjukkan kinerja yang stabil, efisien, dan andal, sehingga sistem ini layak diterapkan sebagai solusi elektrifikasi mandiri di daerah terpencil.

Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan optimasi pada sistem kontrol MPPT agar dapat mempertahankan efisiensi yang lebih stabil pada kondisi debit air yang sangat fluktuatif. Selain itu, pengujian dalam jangka waktu yang lebih panjang perlu dilakukan untuk mengetahui performa sistem secara real dalam penggunaan sehari-hari.

Pengembangan sistem juga dapat dilakukan dengan menambahkan sumber energi terbarukan lain, seperti panel surya, untuk membentuk sistem hybrid yang lebih stabil dan fleksibel. Selain itu, peningkatan fitur monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dapat dipertimbangkan agar sistem dapat dipantau secara jarak jauh.

DAFTAR REFERENSI

Abbo, M. A., Anshori, A., Siswojo, B., Hasanah, R. N., Rojabi, A. A., Zahra, H. F., Fahmi, P. A., Fadhilaturochman, N., Yovanka, D. N., Rifayl, M., Cucu, T. R., Hammami, Z., Hermawan, H., Afrisal, H., Lee, S., Kim, Y., Lim, J., Lee, H., Panigrahi, S., & Park, J. (2018). Perancangan konverter arus searah tipe synchronous buck berbasis mikrokontroler Arduino untuk pengisian baterai. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE)*

UNIBA), 7(2), 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.053>

- Abbo, M. A., Lee, S., & Kim, Y. (2019). MPPT algorithms and their applications in renewable energy systems. *Energy Reports*, 5, 1806-1813. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.009>
- Anshori, A., Siswojo, B., & Hasanah, R. N. (2020). Teknik fast charging baterai lithium-ion menggunakan logika fuzzy. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 7(1), 26–37. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v7i1.1384>
- Anwar, M., & Mahmood, H. (2021). Performance of a hybrid wind-PV-battery energy system with MPPT controller for off-grid applications. *Renewable Energy*, 174, 1605-1616. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.050>
- He, Y., & Li, J. (2020). Optimal energy storage control for battery energy storage systems in renewable energy applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(8), 6789-6798. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2942345>
- Lee, S., & Kim, Y. (2019). Performance evaluation of MPPT algorithms under rapidly changing irradiance conditions. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(12), 12393–12403. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2019.2916017>
- Lim, J., & Lee, H. (2018). Development of a high efficiency DC–DC converter for lithium iron phosphate batteries. *Energy Conversion and Management*, 171, 1463–1472. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.102>
- Omer, A. M., & Prasad, M. R. (2021). Review of control strategies for solar photovoltaic systems integrated with battery storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110547. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110547>
- Pang, Z., & Zhang, X. (2021). Energy management of a hybrid system based on solar, wind, and hydro with battery storage. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 123, 106262. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106262>
- Roy, S., Sen, S., & Banerjee, S. (2020). LiFePO₄ battery modelling and state-of-charge estimation using extended Kalman filter. *Journal of Energy Storage*, 32, 101912. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101912>
- Saha, B., & Islam, M. (2022). Design and implementation of an SPWM inverter using EGS002 module. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 13(2), 889–899. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i2.pp889-899>
- Singh, S., & Thakur, M. (2018). Review on optimization of maximum power point tracking (MPPT) algorithms for solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 453-466. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.027>
- Song, M., & Park, J. (2017). A real-time battery monitoring system based on microcontroller and shunt measurements. *Journal of Power Sources*, 342, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.01.072>

- Yao, C., & Liang, H. (2020). Development and application of battery management systems for renewable energy storage. *Energy Storage Materials*, 30, 392-411. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.07.014>
- Zhang, X., & Jiang, H. (2019). Optimization of a hybrid renewable energy system with MPPT for remote area power supply. *Energy Conversion and Management*, 184, 481-492. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.029>