

Optimalisasi Sistem PLTS Berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keberlanjutan Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat

Nanang Maulana Yoeseph^{1*}, Rudi Hartono¹, Fiddin Yusufida A'la¹, Eko Harry Pratisto¹, Fendi Aji Purnomo¹

¹Sekolah Vokasi, Program Studi D3 Teknik Informatika Universitas Sebelas Maret

*Email: nanang.my@staff.uns.ac.id

Info Artikel

Kata Kunci :

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Internet of Things (IoT), Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS), Optimalisasi, Keberlanjutan, Pemberdayaan Masyarakat

Keywords :

Solar Power Plant, Internet of Things (IoT), Community-Based Water Supply and Sanitation, Optimization, Sustainability, Community Empowerment

Tanggal Artikel

Dikirim : 21 Juli 2024

Direvisi : 6 November 2024

Diterima : 11 November 2024

Abstrak

Akses air minum dan sanitasi yang layak masih menjadi tantangan di daerah terpencil. Penelitian ini mengkaji optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam Program Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi energi, keandalan sistem, dan keberlanjutan operasional PAMSIMAS melalui pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara *real-time*. Metode penelitian mencakup perencanaan sistem, pemilihan komponen optimal, instalasi profesional, dan pemeliharaan rutin. Data kinerja sistem dikumpulkan dan dianalisis menggunakan platform IoT. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi energi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan keandalan sistem. Pemantauan jarak jauh memungkinkan deteksi dini masalah, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum kerusakan terjadi. Optimalisasi PLTS berbasis IoT terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas layanan penyediaan air minum dan sanitasi bagi masyarakat. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti peran penting teknologi IoT dalam memberdayakan masyarakat untuk mengelola sumber daya energi dan air secara mandiri, sehingga berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Abstract

Access to clean water and sanitation remains a challenge in remote areas. This research examines the optimization of Solar Power Plants based on the Internet of Things (IoT) in Community-Based Water Supply and Sanitation Installations to address this issue. The research focuses on improving energy efficiency, system reliability, and operational sustainability of Community-Based Water Supply and Sanitation Installations through real-time remote monitoring and control. The research methods include comprehensive system planning, selection of optimal components, professional installation, and routine maintenance. System performance data is collected and analyzed using an IoT platform. The results show improvements in energy efficiency, reduction of operational costs, and increased system reliability. Remote monitoring allows for early detection of problems, enabling preventive action before damage occurs. Optimization of IoT-based Solar Power Plants proves to be effective in improving the quality of water and sanitation services for the community. Furthermore, this research also highlights the important role of IoT technology in empowering communities to manage energy and water resources independently, thus contributing to the achievement of Sustainable Development Goals.

PENDAHULUAN

Akses terhadap air minum dan sanitasi yang layak merupakan hak asasi manusia yang mendasar, namun masih menjadi tantangan di banyak wilayah, terutama daerah terpencil dan pedesaan. Pemenuhan kebutuhan ini seringkali terkendala oleh keterbatasan akses terhadap energi listrik yang andal dan terjangkau. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan solusi potensial, memanfaatkan sumber energi terbarukan yang melimpah di Indonesia. PLTS mendukung penyediaan air bersih adalah melalui sistem pemompaan air yang didukung oleh energi surya. Salah satu pendekatan yang efektif adalah dengan mengintegrasikan PLTS dengan sistem pemompaan air yang efisien. Penggunaan motor pompa yang didukung oleh energi surya dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan meningkatkan keberlanjutan operasional. Hal ini disebabkan karena sistem pemompaan yang digerakkan oleh tenaga surya dapat mencapai efisiensi tinggi, dengan penghematan energi yang signifikan dibandingkan dengan sistem konvensional [1]. Namun, optimalisasi kinerja PLTS dan keberlanjutannya dalam konteks Program Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) memerlukan pendekatan yang holistik dan inovatif.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah integrasi teknologi *Internet of Things (IoT)* ke dalam sistem PLTS. IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh terhadap komponen PLTS secara real-time [2], sehingga memungkinkan optimalisasi kinerja secara dinamis berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan aktual. Penelitian oleh [3][4][5], menunjukkan bahwa penggunaan sistem PLTS lebih ekonomis daripada dengan menggunakan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Lebih lanjut, IoT dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah potensial sebelum menyebabkan kerusakan signifikan, sehingga mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan keandalan sistem [6]. Solusi IoT yang cerdas dapat meningkatkan efisiensi sistem PLTS hingga 40% dibandingkan dengan panel surya konvensional [7]. Pengembangan sistem manajemen energi yang mengintegrasikan IoT dalam suatu smart grid mampu mengoptimalkan distribusi energi dan meningkatkan kualitas daya [8][9]. Integrasi IoT dalam sistem PLTS dan pemompaan air juga memungkinkan pengumpulan data yang lebih baik untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Dengan analisis data yang akurat, pengelola dapat membuat keputusan yang lebih baik terkait pengelolaan air dan energi, serta merespons perubahan kondisi lingkungan dengan lebih efektif [10].

Dalam konteks PAMSIMAS, optimalisasi PLTS berbasis IoT tidak hanya berdampak pada peningkatan efisiensi energi, tetapi juga pada keberlanjutan operasional dan kualitas layanan [11]. Dengan pemantauan yang akurat dan pengendalian yang responsif, sistem dapat dioperasikan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan air minum dan sanitasi masyarakat secara konsisten [3]. Dengan memanfaatkan energi terbarukan dari matahari, PLTS dapat menyediakan daya untuk sistem pemompaan air yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, IoT berfungsi untuk memantau dan mengontrol sistem pemompaan air secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan ketersediaan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam bagaimana penerapan IoT dapat mengoptimalkan kinerja PLTS dalam PAMSIMAS, dengan fokus pada peningkatan efisiensi energi, keandalan sistem, dan dampaknya terhadap keberlanjutan layanan air minum dan sanitasi bagi masyarakat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan terstruktur dan sistematis untuk mengimplementasikan pemanfaatan energi surya dalam sistem penyediaan air minum dan sanitasi berbasis masyarakat [12] dan [13]. Tahap awal penelitian melibatkan perencanaan komprehensif, di mana kebutuhan energi pompa air, lokasi optimal panel surya, kapasitas penyimpanan energi, dan jenis pompa yang sesuai akan dianalisis secara cermat. Penggunaan jenis dan daya panel surya akan didasarkan pada besarnya kapasitas dan kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan daya pompa, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran, efisiensi, kualitas, serta kondisi iklim dan intensitas sinar matahari di lokasi penelitian.

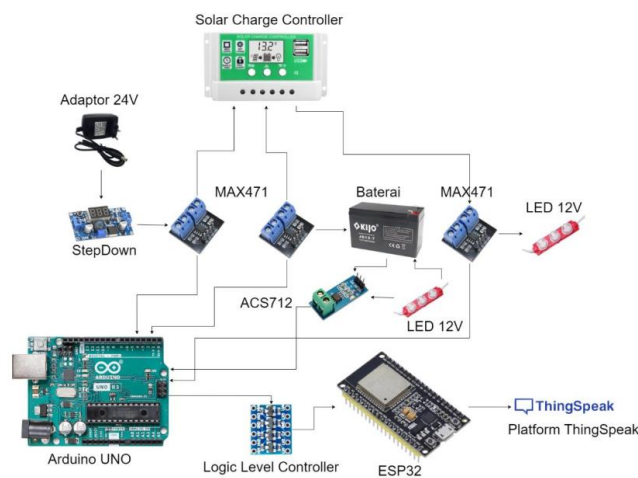
Pemilihan pompa air yang efisien energi dan sesuai dengan kapasitas panel surya akan menjadi fokus utama. Jenis pompa yang dipilih harus sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan mampu bekerja optimal dengan sistem energi surya. Tahap instalasi dan integrasi dilakukan dengan mengikuti pedoman dan standar yang berlaku. Orientasi dan kemiringan panel surya akan dioptimalkan untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari [14], sementara pompa air akan dihubungkan dengan inverter dan sistem penyimpanan energi.

Pemeliharaan dan pengawasan rutin terhadap sistem panel surya, pompa air, dan komponen terkait akan menjadi bagian integral dari penelitian ini. Langkah ini bertujuan untuk memastikan kinerja optimal, memperpanjang umur pakai peralatan, serta mengidentifikasi potensi masalah atau peluang peningkatan efisiensi. Pemantauan produksi energi surya dan konsumsi energi pompa air akan dilakukan secara berkala untuk mengevaluasi efektivitas sistem secara keseluruhan.

2.1 Desain Sistem Monitoring Daya Panel Surya

Prototipe sistem monitoring tegangan dan arus panel listrik tenaga surya berbasis mikrokontroler ini menggunakan adaptor sebagai pengganti panel surya untuk tujuan demonstrasi. Energi dari adaptor pertama-tama dihubungkan dengan *StepDown* untuk mengurangi tegangan, mencegah kerusakan pada *Solar Charge Controller (SCC)* akibat tegangan berlebih. Energi yang telah disesuaikan ini kemudian masuk ke SCC dan disimpan dalam baterai. Selanjutnya, energi dari baterai disalurkan melalui load output SCC dalam bentuk tegangan DC. Sensor MAX471 berperan penting dalam mengukur tegangan dan arus pada berbagai titik dalam sistem, termasuk dari adaptor dan *StepDown* menuju SCC, dari SCC menuju baterai, dan dari SCC menuju beban. Sementara itu, sensor ACS712 mengukur arus yang mengalir antara baterai dan beban secara seri [15].

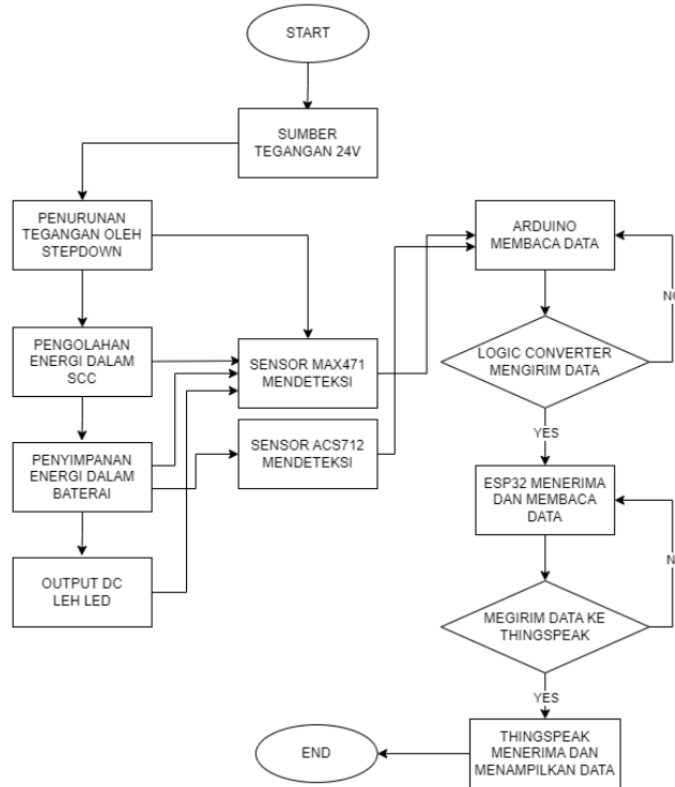
Data analog yang diperoleh dari kedua sensor ini kemudian dibaca oleh Arduino Uno. Untuk memastikan kompatibilitas level logika, data ini diubah menggunakan *logic level converter* sebelum dikirim ke ESP32. ESP32 selanjutnya mengirimkan data tersebut ke platform ThingSpeak. Pada platform ini, data tegangan dan arus dapat ditampilkan dan dianalisis secara real-time. Dengan demikian, prototipe ini memberikan gambaran jelas tentang kinerja sistem, memungkinkan pemantauan yang akurat, dan membuka peluang untuk optimalisasi lebih lanjut. Arsitektur sistem monitoring daya panel surya ditunjukkan oleh Gambar 1.



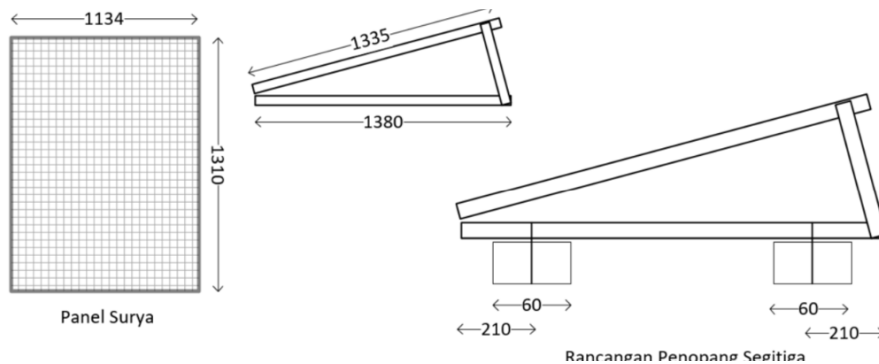
Gambar 1. Arsitektur sistem monitoring daya panel surya

Diagram alir pada Gambar 2 menggambarkan proses monitoring tegangan dan arus pada sebuah prototipe sistem listrik tenaga surya. Sistem dimulai dengan sumber tegangan 24V yang kemudian diturunkan tegangannya menggunakan *stepdown* untuk menyesuaikan dengan kebutuhan sistem. Setelah tegangan diturunkan, energi selanjutnya diolah dalam *Solar Charge Controller (SCC)*. Pada tahap ini, sensor MAX471 berperan aktif dalam mendeteksi tegangan dan arus yang masuk ke SCC. Secara paralel, sensor ACS712 juga bekerja mendeteksi arus yang mengalir. Data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut kemudian dibaca oleh Arduino. Selanjutnya, data ini diubah formatnya oleh *logic converter* agar sesuai dengan kebutuhan ESP32. Jika ESP32 siap menerima data, maka data akan diteruskan ke ESP32. Jika tidak, proses akan kembali ke pembacaan data oleh Arduino. ESP32 yang telah menerima data akan memprosesnya dan menentukan apakah akan mengirimkannya ke platform ThingSpeak. Jika ya, data akan dikirimkan dan ditampilkan pada ThingSpeak. Jika tidak, proses akan berakhir. ThingSpeak berperan sebagai platform untuk menampilkan dan menyimpan data tegangan dan arus yang telah dikirimkan oleh ESP32, sehingga memungkinkan pemantauan sistem secara real-time dan analisis lebih lanjut [16][17].

Desain dudukan untuk panel surya ditunjukkan oleh Gambar 3. Dudukan ini digunakan untuk menempatkan panel surya. Dudukan didesain menggunakan model pondasi [18].



Gambar 2. Flowchart cara kerja perangkat monitoring daya panel surya



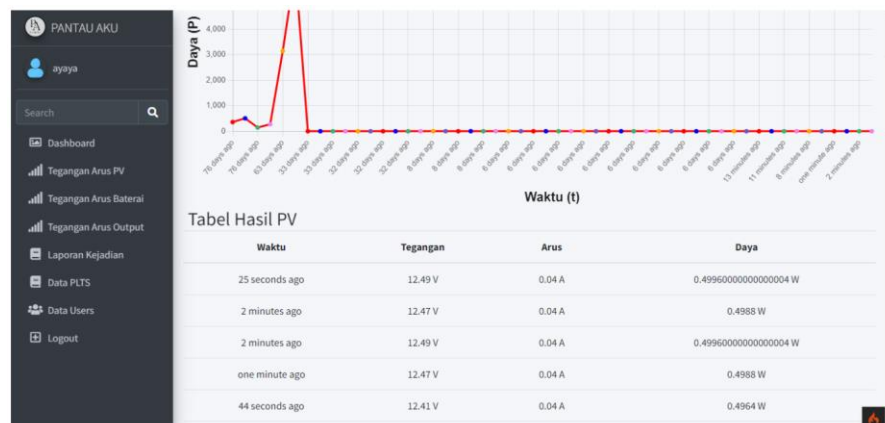
Gambar 3. Rancangan dudukan panel surya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

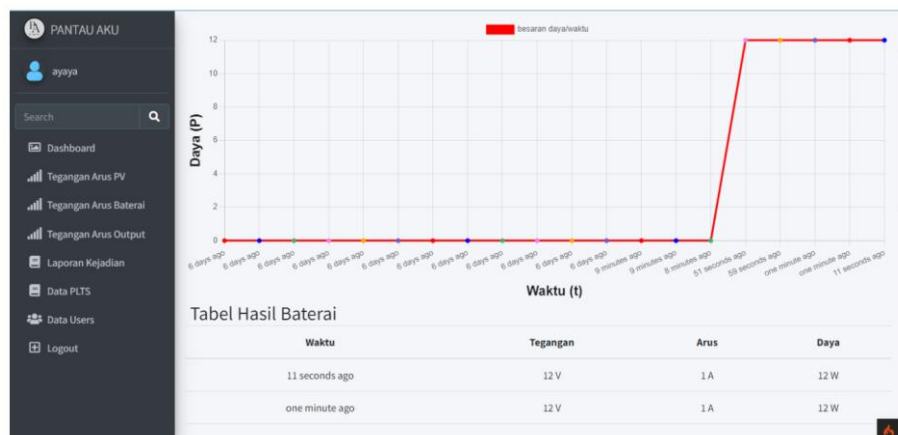
Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menampilkan antarmuka aplikasi pemantauan sistem panel surya. Aplikasi ini menyajikan informasi mengenai kinerja sistem PLTS secara *real-time* dan historis. Terdapat grafik yang menunjukkan fluktuasi daya (P) yang dihasilkan oleh sistem PLTS dari waktu ke waktu. Sumbu horizontal merepresentasikan waktu (t), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan daya dalam satuan watt (W). Grafik ini memberikan gambaran tentang bagaimana kinerja sistem PLTS berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Ditunjukkan juga tabel hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya dari panel surya (PV). Tabel ini menampilkan data terbaru dengan stempel waktu, menunjukkan tegangan dalam satuan volt (V), arus dalam satuan ampere (A), dan daya dalam satuan watt (W). Data ini memberikan informasi detail tentang kinerja panel surya saat ini. Selain itu, terdapat menu navigasi yang memungkinkan pengguna untuk mengakses berbagai bagian aplikasi, termasuk Dashboard (tampilan utama), Tegangan Arus PV (informasi detail tentang tegangan dan arus panel surya), Tegangan

Arus Baterai (informasi tentang tegangan dan arus baterai), Tegangan Arus Output (informasi tentang tegangan dan arus keluaran sistem), Laporan Kejadian (riwayat kejadian atau gangguan pada sistem), Data PLTS (data lengkap tentang sistem PLTS), Data Users (informasi tentang pengguna aplikasi), dan Logout (keluar dari aplikasi).

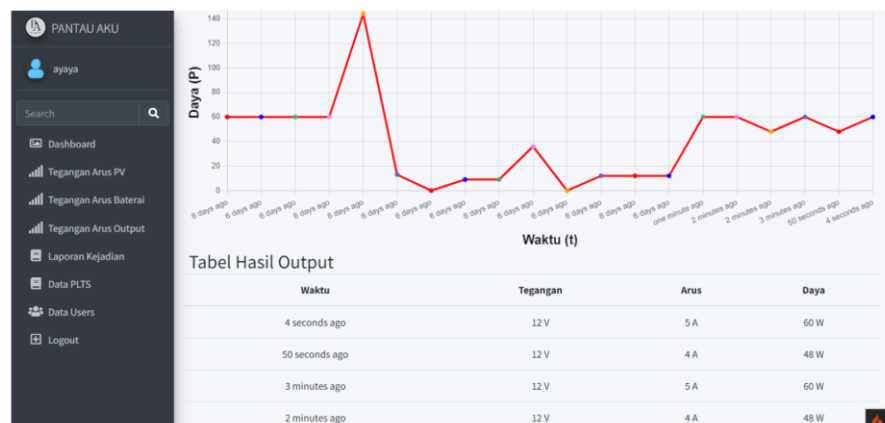
Secara keseluruhan, aplikasi ini memberikan antarmuka yang intuitif dan informatif bagi pengguna untuk memantau kinerja sistem PLTS mereka. Dengan informasi *real-time* dan historis yang disajikan, pengguna dapat mengidentifikasi masalah potensial, mengoptimalkan kinerja sistem, dan memastikan keberlanjutan operasional PLTS. Perangkat monitoring akan membantu dalam pengoptimalan penggunaan energi dari PLTS. Berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sistem monitoring, analisis terhadap konsumsi daya pompa listrik memungkinkan penyesuaian operasional pompa sesuai kebutuhan energi yang tersedia. Selain itu, pemantauan *real-time* memungkinkan pengawasan secara kontinu terhadap kondisi panel surya dan pompa.



Gambar 4. Grafik pantauan penggunaan daya panel surya



Gambar 5. Grafik pantauan penggunaan baterai



Gambar 6. Grafik pantauan penggunaan daya oleh pompa air

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam Instalasi Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) memberikan dampak positif yang signifikan. Dengan pemantauan dan pengendalian jarak jauh, sistem PLTS dapat beroperasi lebih efisien, handal, dan berkelanjutan. Peningkatan efisiensi energi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kualitas layanan air minum dan sanitasi menjadi bukti nyata manfaat integrasi IoT. Lebih dari itu, penelitian ini juga menyoroti peran penting optimalisasi PLTS berbasis IoT dalam memberdayakan masyarakat untuk mengelola sumber daya energi dan air secara mandiri, sehingga berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai menggunakan pendanaan skema Program Kemitraan Masyarakat (PKM-UNS) dengan nomer kontrak 195.1/UN27.22/PT.01.03/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Murshid And B. Singh, "Energy-Efficient Single-Stage Solar Pv Powered Sensorless Pmsm Drive For Water Pumping," *Iet Renew. Power Gener.*, Vol. 13, No. 13, Pp. 2267–2277, 2019, Doi: 10.1049/iet-Rpg.2018.6205.
- [2] A. Buchori And A. Kusmantoro, "Monitoring Energi Panel Surya Berbasis Iot Untuk Kebutuhan Energi Listrik Pompa Air," In *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan E-Issn: 2985-7015 Pengabdian Kepada Masyarakat (Snhp)*, 2022, Pp. 668–684.
- [3] G. Setiaji And N. I. Said, "Perancangan Pengolahan Air Minum Tenaga Surya Kapasitas 50 M3/Hari (Dengan Menggunakan Proses Biofiltrasi Dan Ultrafiltrasi)," *J. Air Indones.*, Vol. 9, No. 1, 2018, Doi: 10.29122/Jai.V9i1.2472.
- [4] W. H. S. Molle, V. C. Poekoel, And F. D. Kambey, "Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Air Bersih Bertenaga Surya Di Kawasan Relokasi Korban Banjir Pandu," *J. Tek. Inform.*, Vol. 15, No. 2, Pp. 119–126, 2020.
- [5] M. H. R Bolton, "Solar Water Pumps : Technical , Systems , And Business Model Approaches TO," 2016.
- [6] F. Rohman And M. Iqbal, "Implementasi Iot Dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Arduino," In *Prosiding Snatif Ke-3*, 2016, Pp. 96–101.
- [7] S. Kakade And A. M. Umbarkar, "Harnessing Solar Power With A Smart Flower Prototype: Design And Fabrication," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, Vol. 11, No. 6, Pp. 2277–2291, 2023, Doi: 10.22214/Ijrasnet.2023.54029.
- [8] P. Balakishan, I. A. Chidambaram, And M. Manikandan, "Improvement Of Power Quality In Grid-Connected Hybrid System With Power Monitoring And Control Based On Internet Of Things Approach," *Electr. Eng. Electromechanics*, No. 4, Pp. 44–50, 2022, Doi: 10.20998/2074-272x.2022.4.06.
- [9] Y. M. Esmail, A. H. K. Alaboudy, M. S. Hassan, And G. M. Dousoky, "Mitigating Power Quality Disturbances In Smart Grid Using Facts," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, Vol. 22, No. 3, P. 1223, 2021, Doi: 10.11591/Ijeecs.V22.I3.Pp1223-1235.
- [10] Y. M. Esmail, A. H. K. Alaboudy, M. S. Hassan, And G. M. Dousoky, "Mitigating Power Quality Disturbances In Smart Grid Using Facts," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, Vol. 22, No. 3, P. 1223, 2021, Doi: 10.11591/Ijeecs.V22.I3.Pp1223-1235.
- [11] A. K. Irawan Et Al., "Design-Construction Of A Solar Cell Energy Water Pump As A Clean Water Source For People In Sirnajaya Village, Gununghalu District," *Asean J. Sci. Eng. Educ.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 15–20, 2021, Doi: 10.17509/Ajsee.V1i1.32402.
- [12] World Bank, "Solar Water Pumping Systems System Design , Selection And Installation Guidelines," 2017.
- [13] Who, "Solar Pumping The Basics," *Int. Bank Reconstr. Dev. World Bank*, 2018.
- [14] Q. Zhao, P. Wang, And L. Goel, "Optimal Pv Panel Tilt Angle Based On Solar Radiation Prediction," 2010, Doi: 10.1109/Pmaps.2010.5528960.

- [15] T. P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, And E. R. M. Saragih, "Perancangan Dan Analisis Sistem Alat Ukur Arus Listrik Menggunakan Sensor Acs712 Berbasis Arduino Uno Dengan Standard Clampmeter," *Simetris J. Tek. Mesin Elektro Dan Ilmu Komput.*, Vol. 11, No. 1, Pp. 39–44, 2020, Doi: 10.24176/Simet.V11i1.3548.
- [16] M. Jamil And M. H. Said, "The Utilization Of Internet Of Things (Iot) For Multi Sensor Data Acquisition Using Thingspeak," *Volt J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, Vol. 3, No. 1, P. 13, 2018, Doi: 10.30870/Volt.V3i1.1962.
- [17] A. Nurmalasari, I. Salamah, And A. Rakhman, "Rancang Bangun Extractor Susu Kedelai Menggunakan Metode Komunikasi Serial Asinkron Berbasis Iot," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, Vol. 6, No. 1, Pp. 43–48, 2023, Doi: 10.31598/Jurnalresistor.V6i1.1408.
- [18] B. Rudianto, R. E. Rachmanita, And A. Budiprasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. 2023. [Online]. Available: [https://sipora.polije.ac.id/27973/2/Ebook Panel Surya.Pdf](https://sipora.polije.ac.id/27973/2/Ebook%20Panel%20Surya.Pdf)