

Sistem Kontrol dan *Monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *Human Machine Interface* dan *Internet of Thing*

Rahmawati Mayangsari^{1*}, Muldi Yuhendri²

^{1,2} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*Corresponding author, rahmawati250695@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali dan monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis antarmuka manusia mesin (HMI) dan Internet of Things (IoT). Sistem ini menghubungkan antara manusia dengan mesin yang peka terhadap teknologi IoT untuk memantau dan mengendalikan PLTS secara efisien. Melalui antarmuka HMI, operator dapat memonitor parameter penting seperti suhu, arus, tegangan, daya, radiasi, dan produksi energi PLTS. HMI menyediakan visualisasi real-time yang memberikan informasi yang berguna untuk kinerja PLTS. Sementara itu, melalui konektivitas IoT, sistem ini memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dari sensor-sensor yang terpasang di PLTS. Data ini dapat diakses dan dianalisis melalui aplikasi web atau perangkat seluler, memungkinkan pemantauan kinerja PLTS secara real-time. Dengan memanfaatkan Programmable Logic Controller (PLC) Siemens TIA Portal. Dengan implementasi sistem kendali dan monitoring PLTS berbasis HMI dan IoT ini, diharapkan efisiensi, kinerja, dan keandalan PLTS dapat ditingkatkan secara signifikan. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memonitoring dan mengontrol operasional PLTS secara efektif, melakukan proteksi dan meningkatkan produktivitas energi terbarukan.

INFO.

Info. Artikel:

No. 485

Received. August, 3, 2023

Revised. August, 15, 2023

Accepted. August, 18, 2023

Page. 738 – 749

Kata kunci:

- ✓ PLTS
- ✓ Stand Alone
- ✓ PLC Siemens
- ✓ HMI
- ✓ Internet of Thing

Abstract

This research aims to develop a control and monitoring system for Solar Power Generation (SPG) based on Human Machine Interface (HMI) and Internet of Things (IoT). The system connects humans with machine that is sensitive to IoT technology to efficiently monitor and control the SPG. Through the HMI interface, operators can monitor important parameters such as temperature, current, voltage, power, radiation, and energy production of the SPG in real-time. HMI provides real-time visualization that offers valuable information on SPG performance. Meanwhile, through IoT connectivity, the system enables continuous data collection from sensors installed in the SPG. This data can be accessed and analyzed through web applications or mobile devices, allowing real-time monitoring of SPG performance. By utilizing Siemens TIA Portal Programmable Logic Controller (PLC), the implementation of this HMI and IoT-based control and monitoring system for SPG is expected to significantly improve efficiency, performance, and reliability of the SPG. The system enables users to effectively monitor and control SPG operations, implement protection measures, and enhance the productivity of renewable energy.

PENDAHULUAN

Indonesia ternyata masih bergantung sepenuhnya pada energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, batu bara, dan gas. Dalam menghadapi proses sumber energi yang tak dapat diperbaharui ini, perlu diimbangi dengan sumber energi alternatif [1]. Salah satu solusinya menggunakan Hybrid System yang tepat untuk perumahan dengan beban tinggi. Sistem ini menggabungkan energi terbarukan dengan listrik PLN, memberikan sumber tegangan yang lebih efisien, efektif, dan handal untuk kebutuhan energi listrik perumahan [2]. Dimana wilayah Indonesia terletak di daerah ekuator, sehingga sinar matahari tersedia hampir sepanjang tahun, kecuali saat

musim hujan dan awan tebal menghalangi [3] [4]. Potensi energi listrik surya di Indonesia sangat besar dan berpotensi mengatasi masalah yang terkait dengan pembangkitan energi dari bahan bakar fosil.

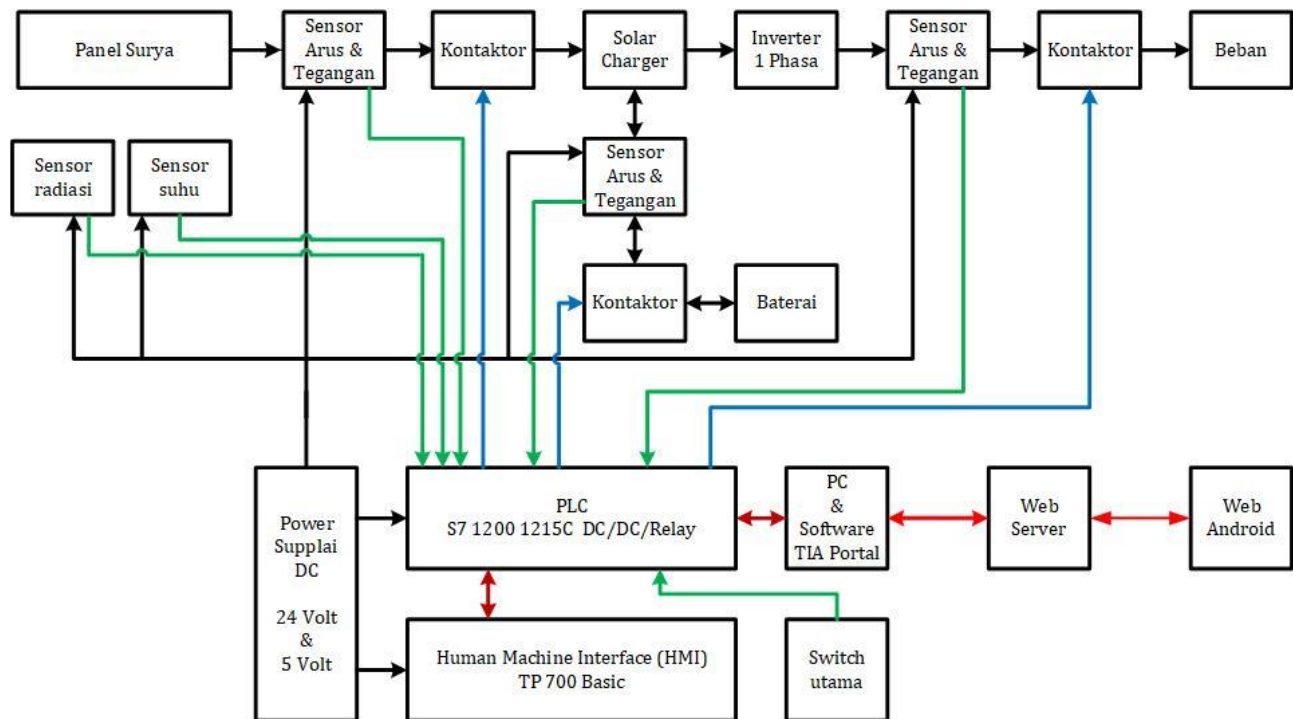
Pemanfaatan energi terbarukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan sel surya sebagai pengubah energi matahari menjadi energi listrik [5][6]. Sistem PLTS dilengkapi dengan baterai dan *inverter* untuk mengubah energi searah (DC) menjadi energi bolak-balik (AC)[7]. Untuk menjaga pasokan listrik yang konsisten pada jaringan *Stand Alone* dan mengatasi ketidakberaturan, biasanya digunakan sistem penyimpanan berupa baterai [8][4]. Namun, dalam penelitian pada tahun 2014, metode pemantauan panel surya hanya mengumpulkan data parameter keluaran panel surya dalam format teks tertentu, yang tidak dapat diakses secara *real time* [9][10]. Kemajuan industri saat ini memungkinkan penggunaan *Programmable Logic Controller* (PLC) dan antarmuka *Human Machine Interface* (HMI) untuk memonitoring dan mengontrol PLTS secara otomatis, memperbaiki komunikasi antara pengguna dan mesin, serta mengoptimalkan penggunaan energi listrik [11][12][13]. *Interface* berbasis *Internet of Things* (IoT) juga diperlukan untuk memudahkan pengguna dalam mengontrol dan memantau secara *real time*, mengingat pentingnya konektivitas internet dalam dunia industri modern [14][15].

HMI adalah sistem yang dapat mempertemukan manusia dan teknologi mesin [12][13][16]. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Tujuannya adalah meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer, memenuhi kebutuhan informasi sistem, dan mempermudah pekerjaan fisik [16]. IoT adalah jaringan objek fisik yang terhubung dengan perangkat elektronik, perangkat lunak, sensor, dan konektivitas jaringan, memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data [14][17]- [18]. IoT memungkinkan objek untuk dikendalikan dan dipantau dari jarak jauh, meningkatkan efisiensi, akurasi, dan tentunya memudahkan *user* dalam melakukan kontrol dan *monitoring* secara *real time*[14][19]. Setiap objek memiliki identifikasi unik melalui sistem komputasi tertanam dan beroperasi dalam infrastruktur internet yang ada [20].

Berdasarkan latar belakang diatas pada penelitian ini akan mengembangkan pemantauan PLTS menggunakan sistem *monitoring* HMI dan IoT. Dimana HMI menggunakan KTP 700 dengan PLC Siemens S7-1200 yang dihubungkan ke internet, menggunakan aplikasi Siemens TIA Portal V17. *Monitoring* ini menggunakan data akusisi dari PLC. Dimana PLC merupakan suatu *controller* yang umum digunakan pada dunia industry [11]. PLC digunakan untuk memonitoring sistem kerja panel dalam jarak jauh dengan memanfaatkan komunikasi PLC sebagai indikator status pembacaan tegangan, arus, daya, radiasi dan suhu. PLC dipilih karena memiliki keunggulan menyederhanakan komponen sistem kontrol dan kecepatan akurasi pembacaan yang lebih cepat dibanding mikrokontroler lainnya.

METODE PENELITIAN

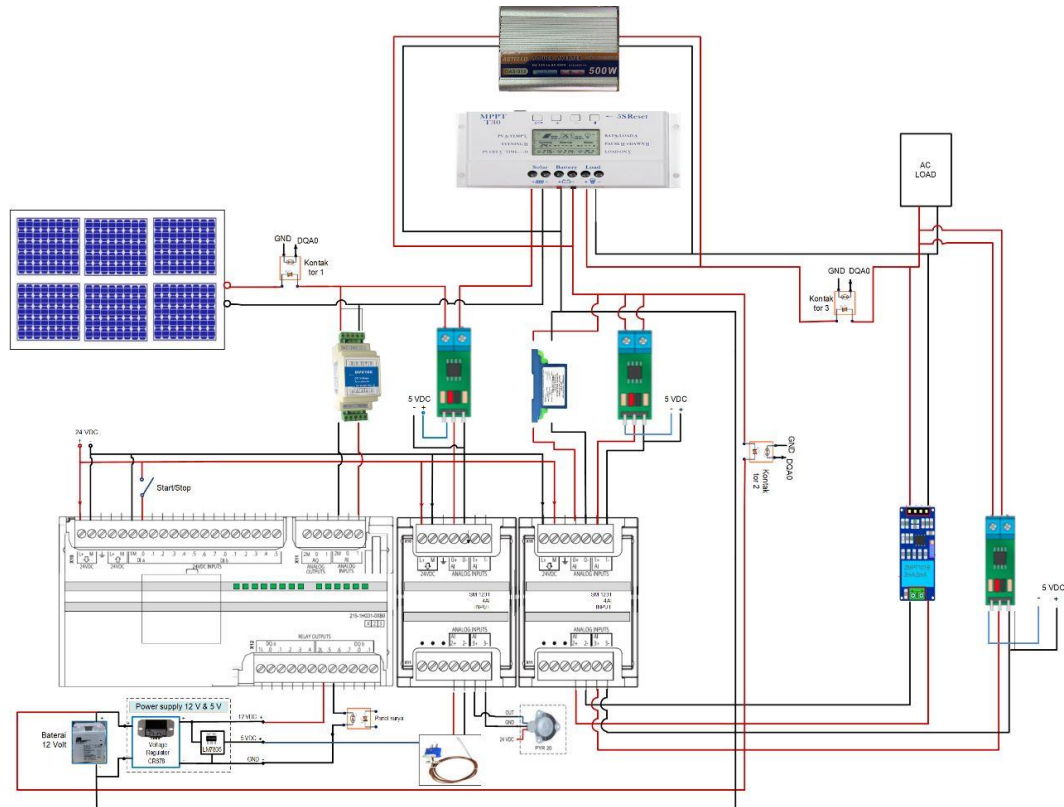
Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali dan *monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Human Machine Interface* (HMI) dan *Internet of Things* (IoT). Tujuan utamanya memungkinkan pengguna untuk memudahkan dalam mengendalikan dan memonitor PLTS saat beroperasi. Sistem monitoring PLTS yang dikembangkan dalam penelitian ini dijelaskan melalui blok diagram yang terlihat pada Gambar 1. Untuk mencapai pengendalian dan pemantauan PLTS, digunakan empat *interface* yang berbeda, yaitu HMI SIMATIC KTP 700 *Comfort*, dua PC (*Personal Computer*), dan *smartphone*. Selain itu, sistem dapat diakses melalui *web server* menggunakan jaringan LAN (*Local Area Network*), dengan menggunakan wifi sebagai jaringan nirkabel pada penelitian ini. Keempat interface tersebut memungkinkan komunikasi dengan PLC SIMATIC S7-1200, yang bertindak sebagai otak program sistem. PLC juga berkomunikasi dengan sensor-sensor yang terpasang di PLTS. Selama sistem berjalan, semua input dan informasi output dari sensor-sensor dapat ditampilkan pada layar *interface*, memudahkan pengguna untuk mengawasi dan mengelola PLTS dengan lebih praktis..



Gambar 1. Blok diagram kontrol dan *monitoring* PLTS

Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem kendali dan *monitoring* menggunakan HMI TP 700 Basic PN, PLC S7 1200 DC/DC/Relay, panel surya, *inverter*, baterai, sensor tegangan, sensor arus, sensor suhu, sensor radiasi, beban AC dan kontaktor. PLC berfungsi sebagai pusat pengolahan data, dimana data akan dikirim ke HMI dan IoT yang digunakan sebagai kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone*. Parameter PLTS yang dimonitor mencakup tegangan, arus, daya, suhu, radiasi panel surya, tegangan dan arus serta *State of Charge* (SOC) baterai, tegangan dan arus *output inverter*. Data setiap parameter diperoleh dari sensor. Pengendalian PLTS mencakup *ON* atau *OFF* panel surya, baterai dan beban AC menggunakan kontaktor yang dapat dioperasikan pada layar HMI dan PC *server*. Proteksi arus lebih juga menggunakan kontaktor, dimana kontaktor akan memutuskan arus dari panel surya jika besaran arus yang dihasilkan melebihi nilai sensor arus yang diseting. Begitu juga untuk proteksi baterai maupun proteksi beban AC.

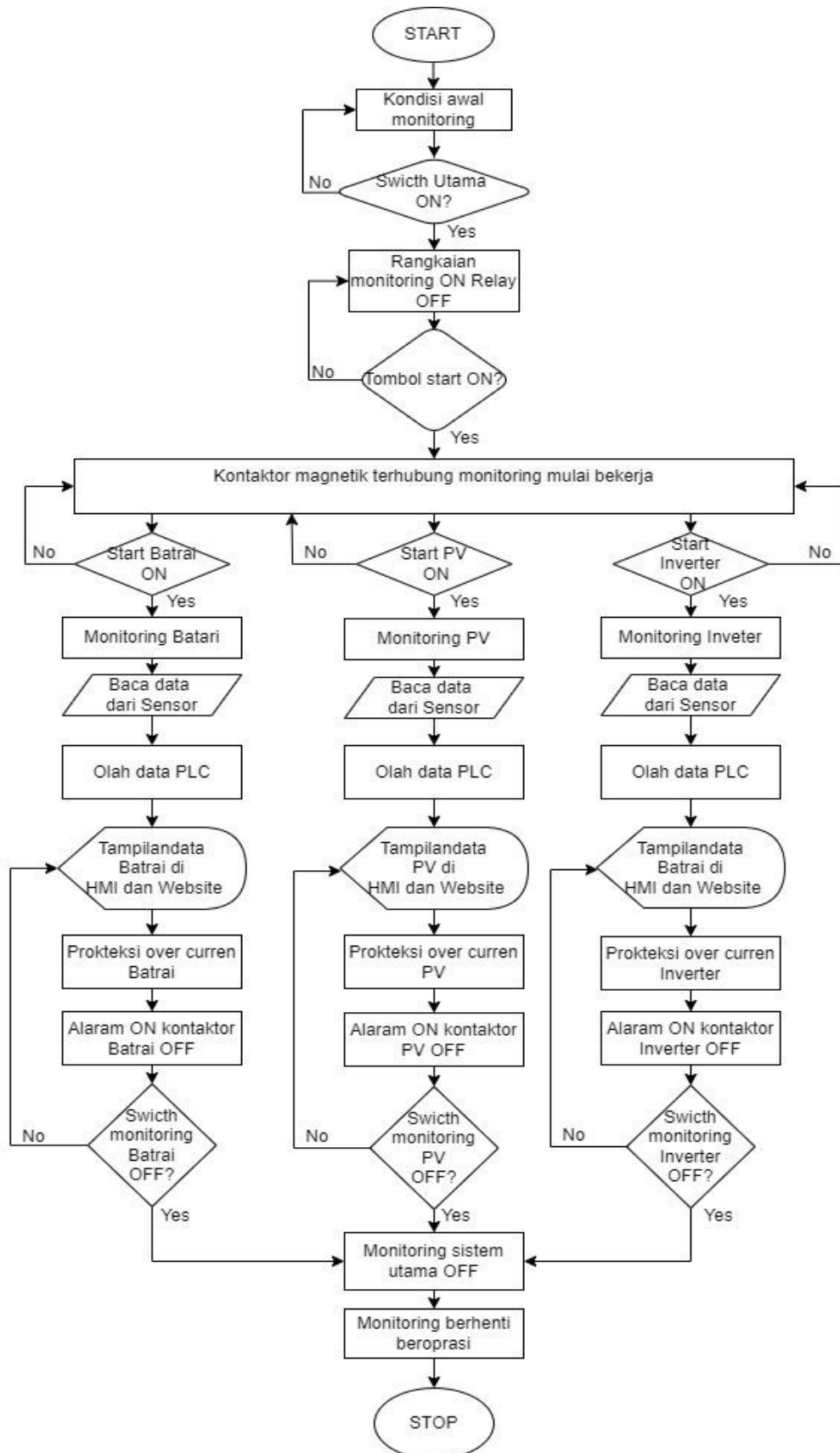
Tugas Akhir ini menggunakan Panel surya jenis *polycrystalline* dengan kapasitas 50 WP sebanyak delapan buah. Untuk pengujian panel surya dihubungkan dalam bentuk rangkaian paralel dimana untuk mendapatkan data arus baterai, *inverter*, dan panel surya menggunakan sensor arus ACS712. Data tegangan baterai dan panel surya menggunakan sensor tegangan DC DVV 100, sedangkan untuk data tegangan *output inverter* menggunakan sensor tegangan ZMPT101B. Data suhu panel surya menggunakan sensor *Thermocouple type K*. Data radiasi panel surya menggunakan sensor *Pyranometer* PYR20. Kapasitas baterai atau SOC ditentukan berdasarkan nilai tegangan pada baterai. Untuk pengaturan tegangan *charger* baterai dan tegangan untuk *input inverter* digunakan *solar charger* yang sudah dilengkapi dengan sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) kapasitas 30 *Ampere*. Baterai yang digunakan berupa baterai kering dengan kapasitas 12 Volt 12 Ah. Tegangan *charger* baterai ini diatur pada *solar charger* sebesar 13,5 Volt. Beban AC yang digunakan dalam pengujian berupa lampu pijar. PLC yang digunakan dilengkapi dengan dua modul analog *input* yang berfungsi sebagai terminal *input* dari semua sensor. Gambar 2 menunjukkan rangkaian *hardware* dari sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* yang dibuat dalam penelitian ini.



Gambar 2. Skema rangkaian hardware sistem kendali dan monitoring PLTS stand alone

Gambar 2 menunjukkan *input* digital PLC berupa *switch* utama yang mengaktif sistem kendali. Untuk analog *input* pada modul analog berupa sinyal tegangan dan arus dari sensor. Dimana sensor tegangan DC DVV 100, sensor *Thermocouple*, dan sensor *Pyranometer* PYR20 akan menghasilkan sinyal analog berupa arus dengan rentang 4-20 mA. Untuk sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ACS712 akan menghasilkan sinyal analog berupa tegangan dengan rentang 0-5 Volt. Semua sinyal analog ini diinputkan pada modul analog *input* PLC yang kapabel untuk sinyal tegangan dan arus. Dalam penelitian ini menggunakan tiga terminal *output* PLC, yaitu untuk kontaktor satu berfungsi untuk mengaktifkan rangkaian panel surya, kontaktor dua mengaktifkan rangkaian baterai dan kontaktor tiga mengaktifkan rangkaian beban AC. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa rangkaian juga dilengkapi dengan *power supply* untuk PLC dan HMI sebesar 24 VDC dan untuk sensor tegangan dan arus sebesar 5 VDC.

Prinsip kerja dari sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* ini adalah sistem dapat diaktifkan melalui tombol *pushbutton* ON di layar HMI utama HMI. Setelah sistem aktif, maka rangkaian panel surya, batrai, dan *inverter* dapat dikatifkan melalui tombol ON yang ada di layer HMI dan PC *server*. Ketika tombol panel surya, batrai, dan *inverter* sudah aktif, maka kontaktor satu, dua, dan tiga akan menghubungkan rangkaian panel surya, batrai, dan *inverter* dengan *solar charger*, sehingga arus akan mengalir ke *solar charger*. Kontaktor satu, dua, dan tiga juga berfungsi untuk melindungi panel surya dari arus lebih, dimana kontaktor akan memutuskan aliran arus dari panel surya, batrai, dan *inverter* ke *solar charger* jika arus yang mengalir melebihi arus yang disetting. Prinsip kerja sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* berbasis HMI dan IoT yang diusulkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram alir sistem kendali dan *monitoring* PLTS stand alone

Gambar 2 menunjukkan bahwa pengoperasian sistem kendali dan *monitoring* PLTS berbasis HMI dan IoT yang dibuat dalam penelitian ini dimulai dengan menekan *push button* START yang disediakan di layar *interface* HMI. Setelah *switch* utama ON maka rangkaian *monitoring* akan ON dan *relay* OFF. Tombol *start ON* kontaktor magnetik terhubung dan *monitoring* mulai bekerja. Tombol start pada baterai, PV, dan *inverter ON monitoring* bekerja, dimana sensor sensor akan mengirim data ke PLC dan PLC akan mengolah data. Data pada sensor sensor akan di tampilkan pada HMI, PC server, PC celint, dan *smartphone*. Dalam program terdapat rangkaian proteksi *over current* bila terjadi kelebihan arus maka alarm ON kontaktor OFF. *Switch monitoring* baterai, PV, *inverter OFF*, maka *monitoring* utama OFF dan berhenti beroperasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* yang dibuat pada penelitian ini di uji di laboratorium. Pengendalian dan *monitoring* dilakukan melalui layer HMI dan IoT. Gambar 4 menunjukkan instalasi pengujian alat sistem kendali dan *montoring* PLTS berbasis HMI dan IoT yang dibuat dalam penelitian ini. Dimana dalam penelitian ini data akan di tampilkan di layer HMI, PC server, PC client, dan *smartphone* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.

PLC dan HMI beserta sensor ditempatkan dalam satu panel ukuran 80 x 60 x 30 cm dan untuk *solar charger* ditempatkan dalam panel lain ukuran 30 x 40 x 20 cm, sedangkan untuk PC ditempatkan pada meja labortorium. Untuk panel surya yang akan diuji dalam penelitian ini dipasangkan di atas atap laboratorium. PLC dan HMI yang digunakan dalam penelitian ini dihubungkan dengan kabel *profinet* atau kabel LAN. PLC dan HMI deprogram dengan *software* TIA Portal V.17.

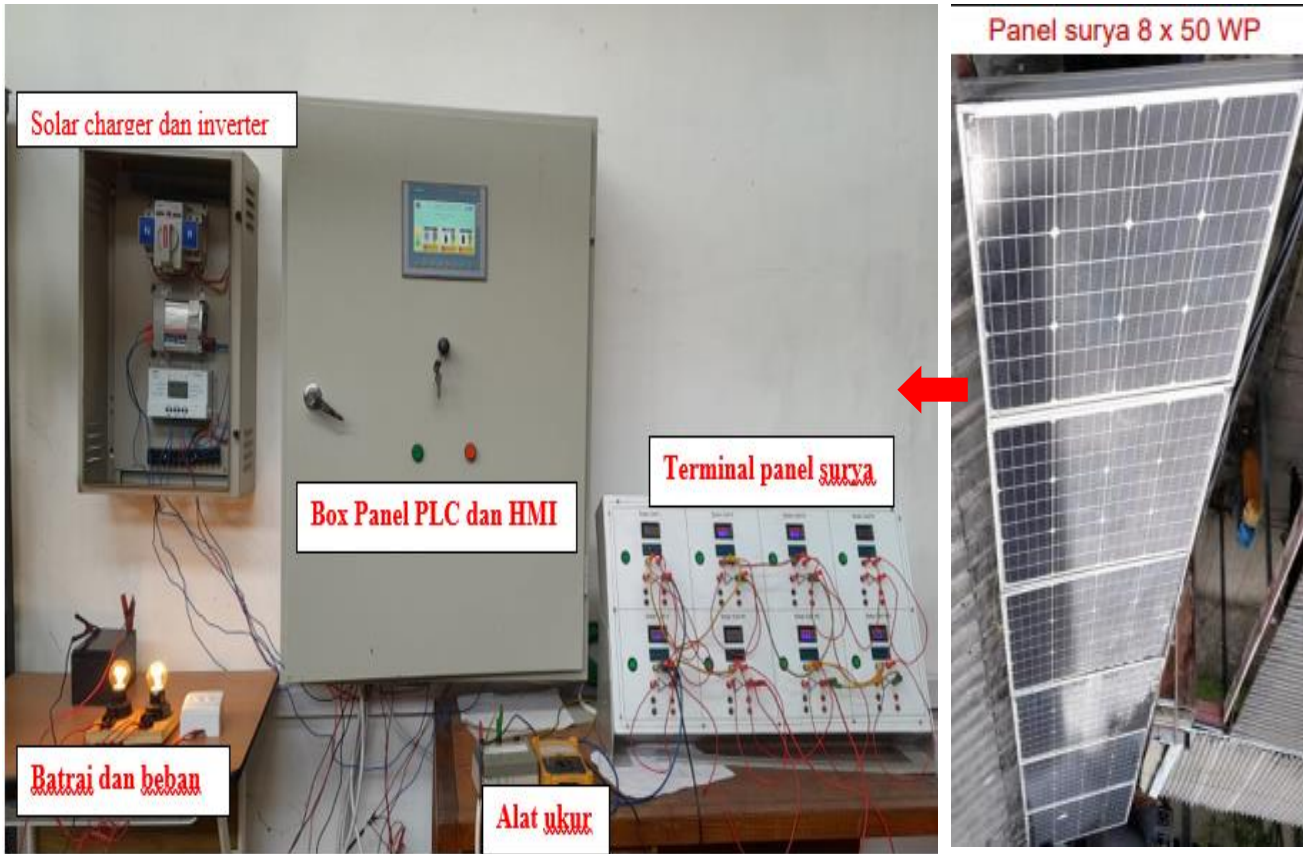
Perancangan *interface* yang digunakan sebagai remote control PLTS dirancang menggunakan aplikasi TIA portal. Dimana terdiri dari Judul, indikator sistem utama, bagian kontrol baterai, *inverter* dan Panel surya (PV). Indikator sistem utama menunjukkan sistem sudah aktif atau belum, dimana pengaktifan sistem ini dapat dilakukan melalui *switch* utama yang ditempatkan di depan panel utama. Pada bagian baterai, *inverter*, dan PV terdapat tombol ON dan OFF untuk mengaktifkan rangkaian baterai, *inverter*, dan PV. Pada tombol baterai, *inverter*, dan PV untuk masuk ke halaman *monitor* parameter parameter. Untuk mengaktifkan rangkaian baterai, *inverter*, dan PV dapat dilakukan dengan menekan tombol ON pada tombol ON yang ditampilkan. Rangkaian baterai, *inverter*, dan PV dalam kondisi ON ketika indikatornya berwarna hijau, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada Gambar 5 (a) menunjukkan tampilan slide home pada HMI, Gambar 5 (b) menunjukkan tampilan PC server, Gambar 5 (c) menunjukkan tampilan PC client, Gambar 5 (d) menunjukkan tampilan *smartphone*.

Gambar 6 menunjukkan tampilan untuk *monitoring* baterai. Pada saat pengujian tegangan pada baterai sekitar 11,8 Volt dengan aliran arus masuk ke baterai sebesar 2,5 Ampere. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa SOC baterai $\pm 50\%$ saat pengujian berlangsung. Pada kondisi ini, arus mengalir dari *solar charger* ke baterai. Dimana baterai dalam kondisi *charging* untuk mengisi. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya bekerja untuk menyuplai beban dan juga baterai. Kondisi ini bisa terjadi karena daya yang dibutuhkan beban lebih rendah dari daya yang dihasilkan panel surya serta kondisi baterai yang belum penuh.

Gambar 7 menunjukkan tampilan untuk kendali dan *monitoring output inverter* dan beban AC. Untuk mengaktifkan aliran arus pada *output inverter* ke beban, maka tombol ON pada layar di aktifkan, sehingga lampu indikator berwarna hijau, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(a). Pada saat pengujian berlangsung tegangan AC yang dihasilkan *inverter* sebesar 235 Volt dengan arus sebesar 2,3 Ampere. Pada nilai tegangan ini sesuai dengan standar nilai tegangan AC 1 fasa yang digunakan untuk beban listrik 1 fasa. Untuk pengujian ini, beban AC yang digunakan adalah dua buah lampu pijar yang dipasang secara paralel.

Pada bagian PV untuk mengaktifkan rangkaian panel surya dapat dilakukan dengan menekan tombol ON pada bagian PV. Rangkaian PV dalam kondisi ON ketika lampu indikator berwarna hijau, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(a) berikut. Gambar 8(b) dan 8(c) menunjukkan tampilan *monitor* PV pada layar PC server, PC client, dan *smartphone*. Data pada tampilan tersebut menunjukkan bahwa panel surya bekerja dengan daya 38,1 W, arus 2,1 I, tegangan 20,93 V, suhu 123 °c, dan radiasi sebesar 0,140 W/m². Nilai tegangan dan arus ini sudah sesuai dengan nilai yang terbaca pada alat

ukur saat pengujian, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(d). Gambar 8(a) juga menunjukkan bahwa nilai arus yang mengalir ke *solar charger* masih di bawah nilai nominal arus yang di *setting* pada program, sehingga proteksi arus yang pada lebih panel surya tidak bekerja.



(a)

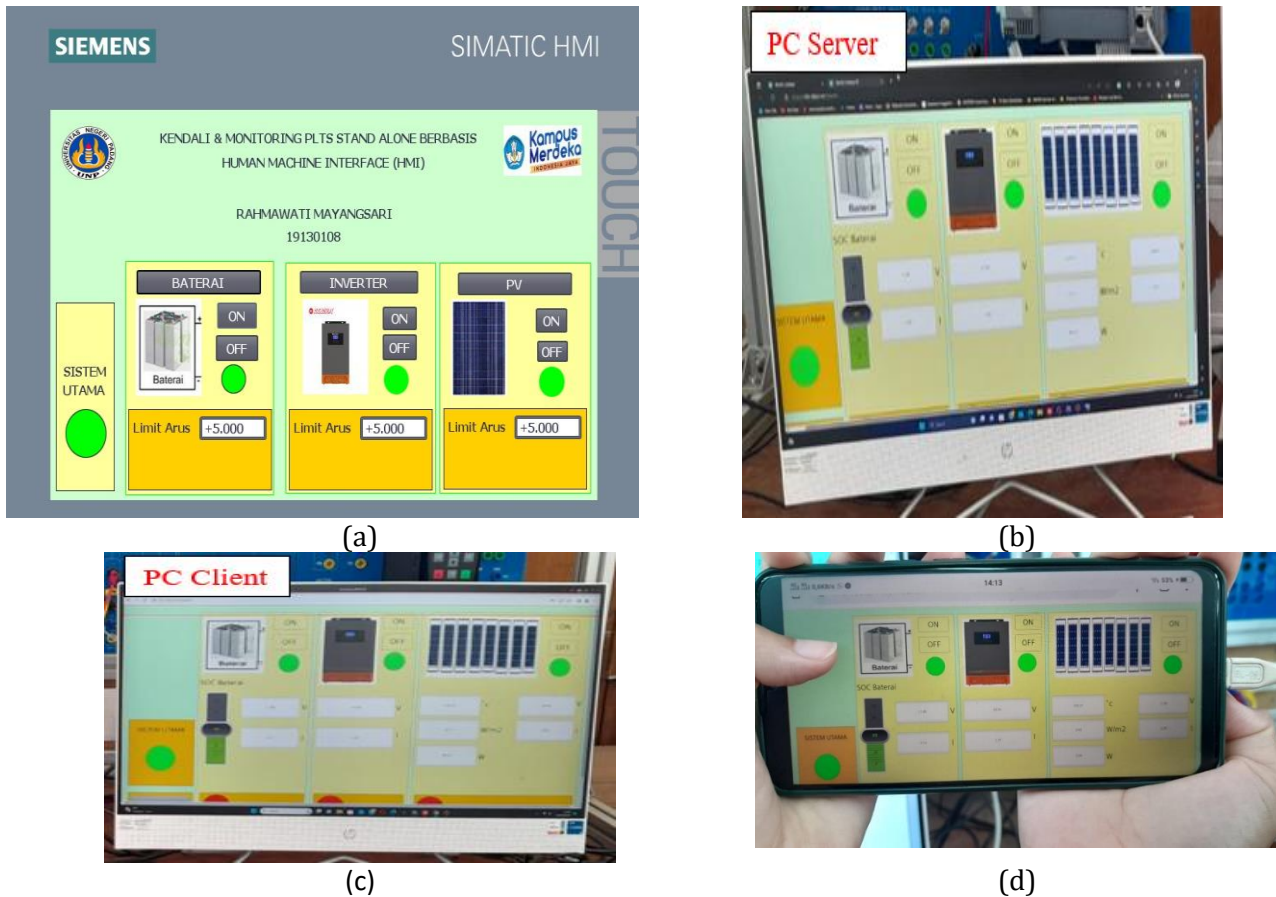


(b)

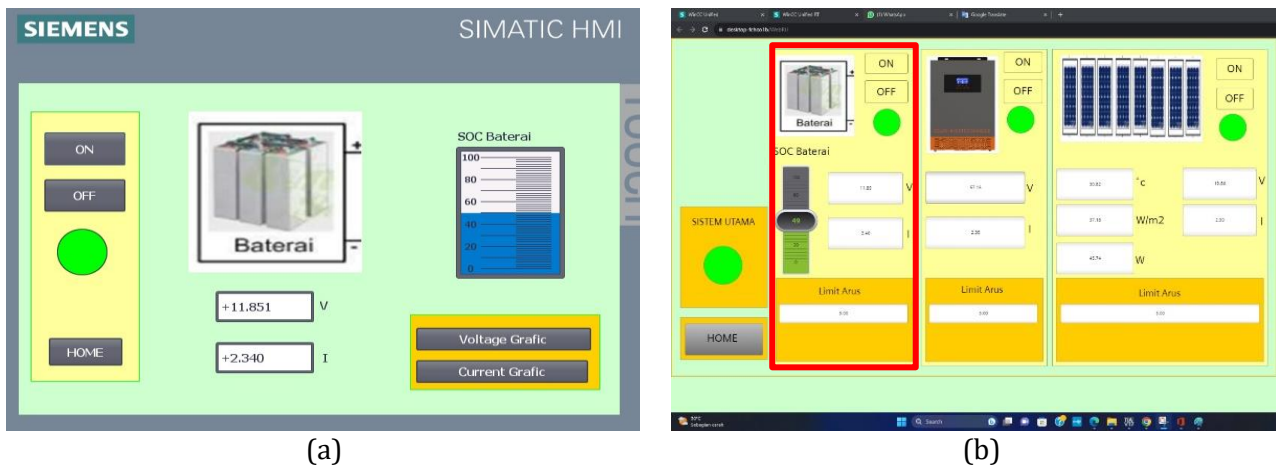


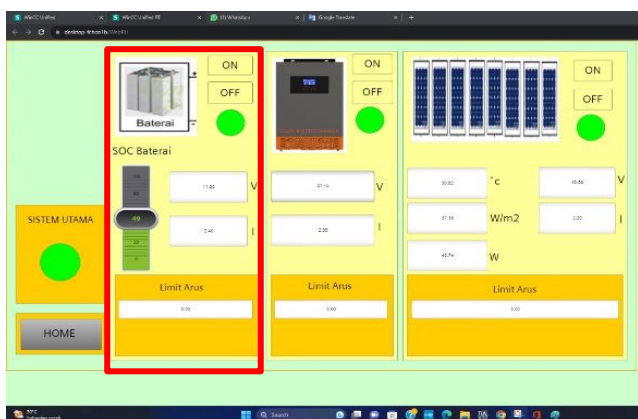
(c)

Gambar 4. Tata letak hardware pengujian (a) Instalasi pengujian, (b) *Monitoring PC*, (c) *Monitoring smartphone*

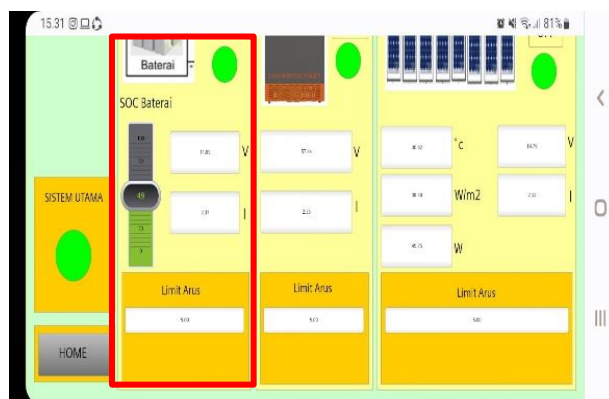


Gambar 5. Tampilan untuk kendali dan *monitoring* PLTS, (a) tampilan HMI, (b) tampilan PC server, (c) tampilan PC client, (d) tampilan *smartphone*



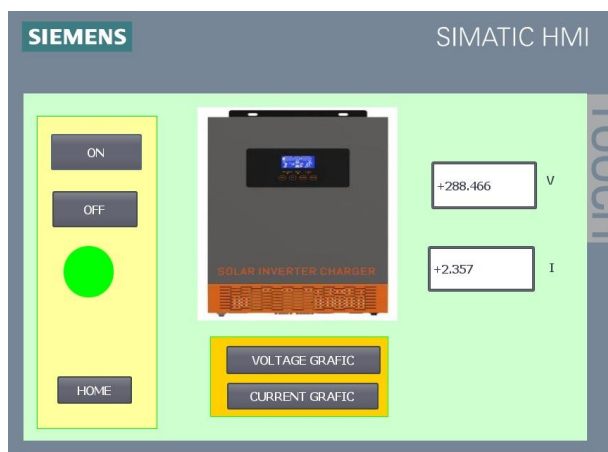


(c)

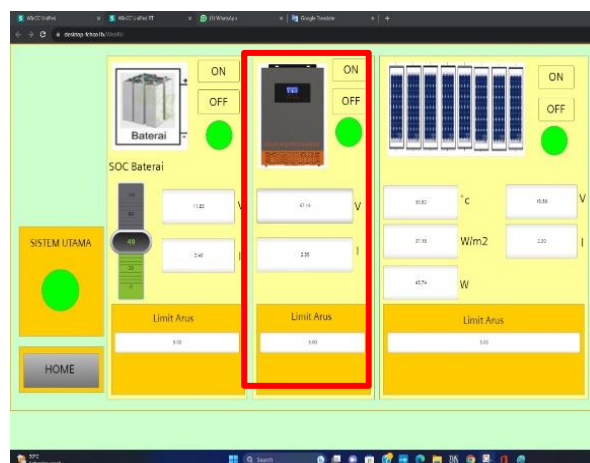


(d)

Gambar 6. Hasil pengujian batrai (a) tampilan HMI, (b) tampilan PC server, (c) tampilan PC client, (d) tampilan smartphone



(a)



(b)

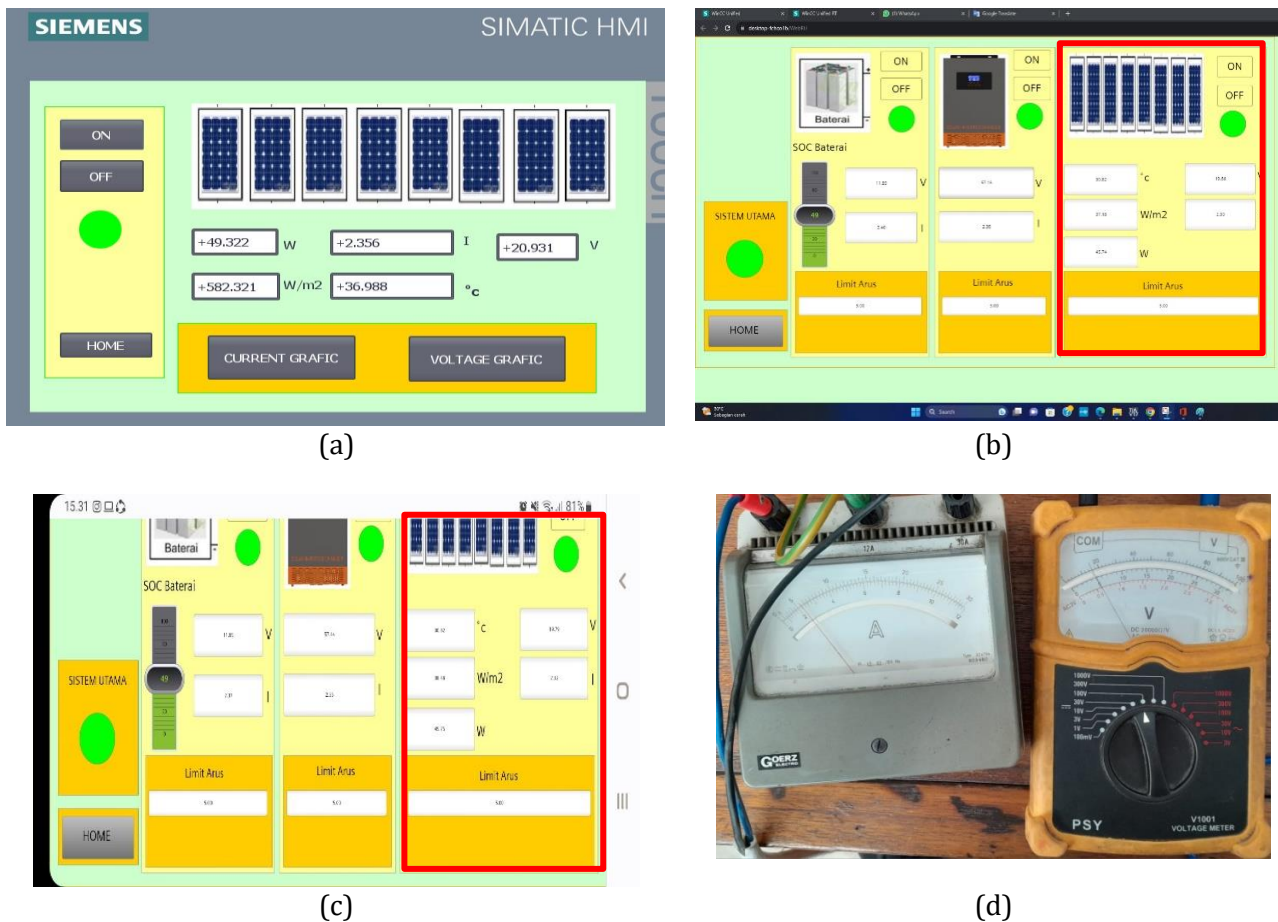


(c)



(d)

Gambar 7. Hasil pengujian inverter (a) tampilan HMI, (b) tampilan PC server, (c) tampilan PC client, (d) tampilan smartphone



Gambar 8. Hasil pengujian *inverter* (a) tampilan HMI, (b) tampilan PC server dan PC client, (c) tampilan *smartphone*, (d) pembacaan alat ukur

Untuk kendali atau proteksinya, jika terjadi arus lebih maka lampu indikator *over current* pada baterai, inverter, dan panel akan aktif seperti ditunjukkan oleh Gambar 9. Hal ini dapat dilihat dari indikator over current yang berwarna merah dimana arus yang mengalir melebihi nilai yang di setting pada program.





Semua hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* berbasis HMI dan IoT telah bekerja dengan baik sesuai dengan yang direncang. Sistem kendali yang dipusatkan di HMI telah mampu mengendalikan PLTS secara terintegrasi dengan yang direncang. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa HMI dan IoT juga telah sukses menampilkan data-data dari parameter PLTS *stand alone* yang dimonitor secara *real time* dengan nilai yang sesuai dengan nilai yang terbaca pada alat ukur.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan sistem kendali dan *monitoring* PLTS *stand alone* berbasis HMI dan IoT. Dalam penelitian ini menggunakan PLC S7 1200 sebagai prosesor utama untuk pembacaan data dari sensor sensor yang digunakan, dengan menerapkan delapan buah panel surya 50 WP yang dihubungkan secara paralel. PLTS *stand alone* ini dilengkapi dengan *solar charger*, *inverter* 1 fasa 500 watt dan satu buah baterai 12 Volt 12 Ah. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan beban AC berupa lampu pijar yang di rangkai secara paralel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali dan *monitoring* PLTS yang diusulkan dalam penelitian ini telah bekerja dengan baik. HMI dan IoT telah sukses mengendalikan PLTS dan *memonitor* parameter-parameter PLTS secara *real time* dengan nilai yang sesuai dengan nilai yang terbaca pada alat ukur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. S. Kumara, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia," *Tekno. Elektro*, vol. 9, no. No.1, pp. 68–75, 2010, doi: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JTE>.
- [2] W. Winasis, A. W. W. Nugraha, I. Rosyadi, and F. S. T. Nugroho, "Desain Sistem Monitoring Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 4, pp. 328–333, 2016, doi: 10.22146/jnteti.v5i4.281.
- [3] F. Z. Rachman, "Smart Home Berbasis Iot," *Snitt*, vol. 2, pp. 369–374, 2017, doi: <http://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/prosiding/article/view/423>.
- [4] M. S. Utomo, I. Nugrahanto, and S. Sungkono, "Sistem Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Sel Sekunder Pada Photovoltaic," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 85–93, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2753.
- [5] H. B. Nurjaman, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Energi Terbarukan," *Edukasi Elektro*, vol. 06, no. 02, pp. 136–142, 2022, doi: [academia.edu/9106342](https://ojs.unud.ac.id/index.php/edukasi_elektro/article/view/9106342).
- [6] D. Danisworo, Yoesgiantoro and S. Thamrin, "Pemanfaatan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Lantamal III Jakarta Mendukung Pertahanan Negara," *Ketahanan Energi*, vol. 8, no. 2, pp. 1–16, 2022, doi: /4463/1095.
- [7] A. Luthfi, E. P. Walidi, D. Darmawan, B. Baharudin, and B. Sunaryo, "Web-based Monitoring System for Power Electronics Devices on Off-grid Solar Power Generator," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, p. 40, 2021, doi: 10.25077/jnte.v10n1.851.2021.
- [8] R. A. Diantari, "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS," *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 101–179, 2017, doi: 10.33322/energi.v9i2.48.
- [9] I. W. G. A. Anggara, I. N. S. Kumara, and I. A. D. Giriantari, "Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 1, no. 1, pp. 118–122, 2014, doi: [ojs.unud.ac.id/19619](https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/19619).

-
- [10] Y. Li *et al.*, "On-line Monitoring System Based on Open Source Platform for Photovoltaic Array," *Energy Procedia*, vol. 145, pp. 427–433, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.04.070.
- [11] S. Nuari, Atmam, and E. Zondra, "Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)," *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i2.2019.
- [12] K. Agung Syahputra and F. R. A Bukit, "Perancangan Hmi (Human Machine Interface) Sebagai Pengontrol Dan Pendeteksi Dini Kerusakan Kapasitor Bank Berbasis Plc," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 101–109, 2022, doi: jurnal.unsil.ac.id/4766/2145.
- [13] Prismanto, T. Herdantyo, D. T. Nugroho, Y. Ramadhani, and A. Mubyarto, "Desain Dan Simulasi Sistem HMI (Human Machine Interface) Berbasis Citect SCADA Pada Konveyor Proses Di Industri," *Semin. Nas. Edusaintek*, pp. 253–262, 2018.
- [14] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *J. Comput. Commun.*, vol. 03, no. 05, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [15] S. U. Anggono, E. Siswanto, L. Rajendra, and H. Azani, "User Interface Berbasis Web Pada Perangkat Internet Of Things," *J. Ilmu Tek. dan Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–54, 2023, doi: org/10.51903/teknik.v3i1.326.
- [16] HaryantoHeri and S. Hidayat, "Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 9–16, 2012, doi: 10.36055/setrum.v1i2.476.
- [17] D. Sawitri, "Internet Of Things Memasuki Era Society5.0," *KITEKTRO J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 31–35, 2023, doi: jurnal.usk.ac.id/28578/17882.
- [18] M. Khalidi, Atthariq, and F. yanuar rudi F, "Sistem Monitoring Panel Hibrida PLN dan PLTS Berbasis IoT (Internet Of Things)," *J. Teknol. Rekayasa Inf. dan Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2019, doi: article/view/2582.
- [19] Y. Efendi, "Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 19–26, 2018, doi: 10.35329/jiik.v4i2.41.
- [20] and L. Siregar, Riki Ruli ., Wardana, N., "Sistem Monitoring Kinerja Panel Listrik Tenaga Surya Menggunakan Arduino Uno, Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta," *JETri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 81–100, 2017, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.25105/jetri.v14i2.1607>