SISTEM MONITORING PLTS HYBRID OFF-GRID PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH PABRIK KRIPIK KAWASAN MOJOKERTO

Yuditya Adi Pradana[1], Widodo Pudji Muljanto[2], Irmalia Suryani Faradisa[3]
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: [1]yuditpradana@gmail.com, [2]widodo_pm@lecturer.itn.ac.id,
[3]irmalia_suryani_faradisa@lecturer.itn.ac.id

Abstract. *This paper focuses on the design and implementation of a monitoring system for a 1.2 kWp Off-Grid Hybrid Solar Power Plant, emphasizing the use of the Modbus protocol as the standard for data communication. The Modbus TCP/IP protocol was selected for its capability to integrate various measurement devices, such as the PZEM-017 sensor and Multifunction Power Meter, through RS485 communication. Node-RED is utilized as a SCADA platform for real-time visualization of electrical parameters, including voltage, current, power, and energy (kWh). The test results indicate that the designed monitoring system successfully provides data with an average error below the standard tolerance limit of 5% for solar power plant monitoring. The highest error in PV data was observed in power measurement at 1.82%. Additionally, the battery data showed a power measurement error of 1.34%, while the Power Meter data recorded a power measurement error of 1.12%. These discrepancies are attributed to variations in solar irradiance and the imperfections in power conversion by the inverter.*

Keywords: *Monitoring System, Off-Grid Hybrid Solar Power Plant, Modbus Protocol, Node-RED, RS485, PZEM-017.*

Abstrak. *Paper ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem monitoring untuk PLTS Hybrid Off-Grid 1,2 KWp dengan penekanan pada penggunaan protokol Modbus sebagai standar komunikasi data. Protokol Modbus TCP/IP dipilih karena kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai perangkat pengukuran seperti sensor PZEM-017 dan Multifunction Power Meter melalui media komunikasi RS485. Node-RED digunakan sebagai platform SCADA untuk visualisasi parameter listrik secara real-time, seperti tegangan, arus, daya, dan energi (kWh). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dirancang berhasil memberikan data dengan rata-rata error yang berada di bawah batas toleransi standar 5% untuk sistem monitoring PLTS. Error tertinggi pada data PV terjadi pada data daya sebesar 1.82%. Selanjutnya, pada data Baterai terjadi pada data daya sebesar1.34%. Terakhir, pada data daya Power Meter sebesar 1.12%. Faktor ini terjadi karena faktor intensitas cahaya matahari dan kurang sempurnanya konversi daya oleh inverter.*

Kata Kunci: *Sistem Monitoring, PLTS Hybrid Off-Grid, Protokol Modbus, Node-RED, RS485, PZEM-017.*

1. Pendahuluan

Energi listrik adalah kebutuhan yang sudah harus ada di jaman sekarang ini. Dalam hal ini masyarakat bisa mendapatkan listrik selain dari PLN yaitu dari energi terbarukan atau *renewable energy*. Indonesia adalah negara yang memiliki berbagai sumber daya energi terbarukan terutama energi yang memanfaatkan cahaya matahari. Sebab, Indonesia memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun karena terletak di daerah katulistiwa dan terletak di daerah ekuator. Daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan peta insolasi matahari, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 4.5 kW/m2 /hari.(Ariprihata dkk., 2023; Muslim dkk., 2020)

 ISSN: 2579-566X (Online)
ISSN: 2477-5274 (Print)

Hal ini membuat energi alternatif ini sangat berguna di masa depan, karena tidak mungkin kita terus bergantung pada pembangkit yang menggunakan bahan bakar, pasti lama kelamaan akan habis suatu saat nanti. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang pertama kali diperkenalkan pada 1950-an yang tidak memiliki polusi, kebisingan, bahan bakar, dan karakteristik perawatan yang mudah dibandingkan dengan sistem pembangkit konvensional lainnya. (Waluyo dkk., 2024) PLTS merupakan salah satu aplikasi penggunaan energi matahari sebagai sumber energi listrik, dengan memanfaatkan teknologi sel surya (fotovoltaik) untuk menghasilkan energi listrik.(Syahwil & Kadir, 2021)

Solar cell sangat efektif digunakan di daerah khatulistiwa. Energi yang dihasilkan oleh *solar cell* ini sangat bergantung pada kondisi cahaya matahari. Sehingga, untuk mengetahui kinerja *solar cell* yaitu dengan memonitor arus, tegangan, daya dan intensitas cahaya pada pembangkit, supaya terlihat kinerja dari pembangkit itu sendiri. Akan tetapi di jaman sekarang ini monitoring masih menggunakan metode manual, yaitu dengan melakuakan pengecekan langsung ke lokasi *solar cell* berada. Tentu hal ini sangat tidak efektif dan efisien apabila kita ingin memonitor *solar cell* secara rutin. Karena kondisi lingkungan selalu berubah, maka akan sulit mengetahui kinerja sebuah *solar cell* yang terpasang pada lokasi tertentu tanpa mengetahui kondisi perubahan intensitas radiasi matahari dan parameter-parameter lainnya di lokasi tersebut. Untuk mendapatkan hasil kinerja dari panel surya dibutuhkan sebuah pengukuran pada daya keluaran dari panel surya, pengukuran ini dapat menggunakan multimeter, tetapi pengukuran menggunakan metode ini masih memiliki banyak kekurangan yaitu pengukuran yang tidak bisa dilakukan secara terus menerus. Karena itulah pada penelitian ini dibutuhkan suatu perangkat lunak untuk mempermudah merekam data output dari panel surya secara otomatis agar mendapatkan hasil data pengukuran yang efektif dan juga memudahkan peneliti dalam memantau performa *solar cell*.(Ariyani dkk., 2021)

Pada paper ini melakukan perancangan hardware dan software untuk mengumpulkan informasi kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi (KWh) menggunakan sistem perangkat lunak *Node RED*. Hal ini bertujuan untuk memudahkan peneliti memantau PLTS *Hybrid off-grid* 1,2 KWp pada Instalasi Pengolahan Limbah Pabrik Usus UD. Ratna, Desa Modopuro, Kec. Mojosari, Kab. Mojokerto secara *real time* dan *online*.

2. Tinjauan Pustaka

Solar cell sangat efektif digunakan di daerah khatulistiwa. Energi yang dihasilkan oleh *solar cell* ini sangat bergantung pada kondisi cahaya matahari. Sehingga, untuk mengetahui kinerja *solar cell* yaitu dengan memonitor arus, tegangan, daya dan intensitas cahaya pada pembangkit, supaya terlihat kinerja dari pembangkit itu sendiri. Akan tetapi di jaman sekarang ini monitoring masih menggunakan metode manual, yaitu dengan melakuakan pengecekan langsung ke lokasi *solar cell* berada. Tentu hal ini sangat tidak efektif dan efisien apabila kita ingin memonitor *solar cell* secara rutin. Karena kondisi lingkungan selalu berubah, maka akan sulit mengetahui kinerja sebuah *solar cell* yang terpasang pada lokasi tertentu tanpa mengetahui kondisi perubahan intensitas radiasi matahari dan parameter-parameter lainnya di lokasi tersebut. (Alfa Z Fikri dkk., 2022) Untuk mendapatkan hasil kinerja dari panel surya dibutuhkan sebuah pengukuran pada daya keluaran dari panel surya, pengukuran ini dapat menggunakan multimeter, tetapi pengukuran menggunakan metode ini masih memiliki banyak kekurangan yaitu pengukuran yang tidak bisa dilakukan secara terus menerus. Karena itulah pada penelitian ini dibutuhkan suatu perangkat lunak untuk mempermudah merekam data output dari panel surya secara otomatis agar mendapatkan hasil data pengukuran yang efektif dan juga memudahkan peneliti dalam memantau performa *solar cell*.(Ariyani dkk., 2021)

Berikut adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya: S. Ariyani, D. A. Wicaksono, F. Fitriana, R. Taufik, dan G. Germenio (2021) melakukan penelitian tentang system monitoring PLTS *remote area* pada rooftop menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi parameter arus, tegangan, daya dan energi yang terkoneksi dengan telepon seluler. Namun kelemahan alat ini ketika perangkat terletak terlalu jauh dari batas dan memiliki kekuatan sinyal internet yang rendah maka transfer data akan terganggu.(Ariyani dkk., 2021)

G. W. Kurniawan, I. G. A. P. R. Agung, dan P. Rahardjo (2023) melakukan penelitian tentang system pemantauan panel surya berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi parameter arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya serta keaadaan suhu dan kelembapan di sekitar panel surya dapat dipantau secara *wireless.* Namun pada penelitian ini sensor yang digunakan masih belum standar industri dan tidak *support* komunikasi RS485. Serta harus terkoneksi dengan sinyal internet yang kuat. (Kurniawan dkk., 2023)

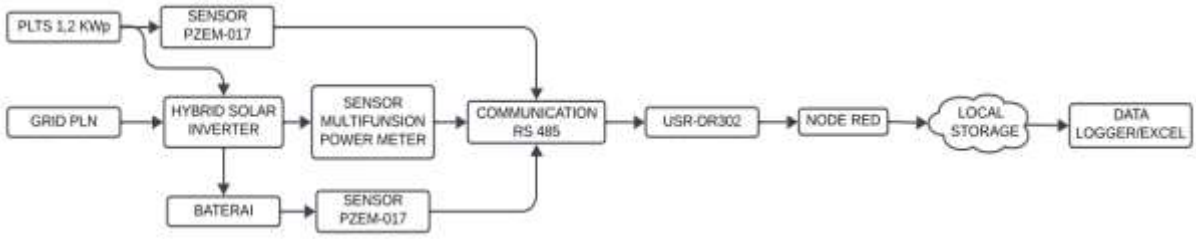
Solihin, M. W. (2022) Melakukan penelitian tentang sistem monitoring PLTS off-grid 4 kWp leb elektro kampus II ITN Malang menggunakan alat USR-DR302 sebagai alat pengubung port serial ke dalam sebuah jaringan komputer. Namun pada pada penelitian ini menggunakan *Scada Haiwell*. (Solihin, 2021)

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Sistem

Dalam paper ini, desain sistem monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Off-Grid (PLTS) dikembangkan untuk mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk pemantauan parameter listrik secara real-time. Sistem ini terdiri dari sensor PZEM-017 dan Multifungsion Power Meter untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi, yang terhubung melalui komunikasi RS485 ke modul USR-DR302. (Wahyu, 2021) Data pengukuran dikirim ke cloud dan divisualisasikan melalui antarmuka SCADA Node-RED. Desain perangkat lunak mencakup alur kerja pemrosesan data, validasi konektivitas, konfigurasi alamat IP, dan kalibrasi parameter sistem. Desain ini memastikan pemantauan yang andal dan analisis yang efisien terhadap kinerja PLTS Hybrid secara terintegrasi.

Berikut blok diagram dari desain alat ini, yang bertujuan untuk memperoleh skema atau rangkaian dari alat yang sedang dibuat.

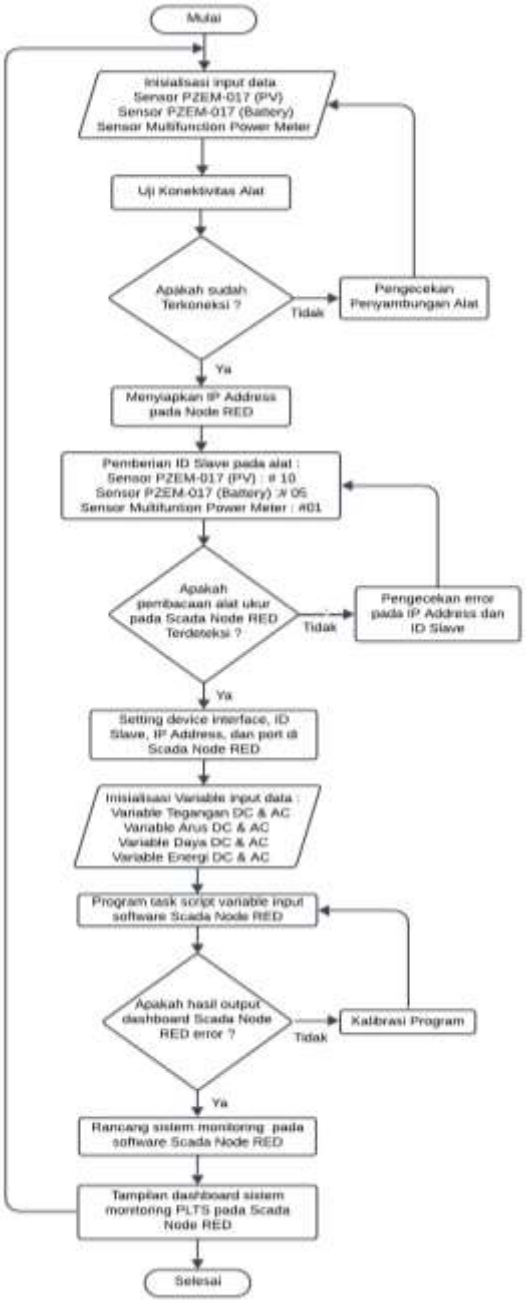


Gambar 1. Blok Diagram

Pada gambar 1 blok diagram bertujuan untuk menjelaskan gambaran skema alur rangkaian dari panel surya ke alat. Pada penelitian ini menggunakan Multifungsion Power Meter, PZEM-017, sebagai alat ukur untuk mengetahui tingkat tegangan, daya, arus, dan total pemakaian energi(kWh) pada PLTS Hybrid *Off-Grid* Hybrid. Prinsip kerjanya panel surya menghasilkan arus listrik DC, lalu sensor PZEM-017 membaca untuk mengetahui parameter tegangan, arus, daya aktif dan energi (kWh) yang dihasilkan panel surya. Sensor PZEM-017 sendiri dibundle dengan *shunt resistor* 100A berfungsi untuk membuat jalur hambatan atau resistansi yang lebih rendah pada suatu aliran tinggi pada sirkuit elektorika hasil. Hasil dari panel surya juga dapat disimpan dibaterai sebagai cadangan untuk malam hari yang diukur juga dengan sensor PZEM-017 untuk mengetahui parameter yang disimpan didalam baterai. Selanjutnya, terdapat hasil dari panel surya diolah oleh inverter *hybrid* untuk merubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak baik (AC). Sehingga hasil dari inverter dibaca oleh sensor Power Energy Meter untuk mengetahui parameter tegangan, arus, daya dan energi (kWh) yg dihasilkan oleh inverter. Selanjutnya kita hubungkan kedua sensor tersebut secara pararel untuk kita komunikasikan dengan USR- DR302 menggunakan komunikasi RS485. (Tosin, 2021) Dan semua hasil dari sensor – sensor tersebut ditampilkan pada web Node RED yang dapat ditaampilan di device Laptop/Handphone secara online dan jarak jauh. Data tersimpan semua secara bersamaan di local storage dan data langsung terexport ke data logger atau excel.

ISSN: 2579-566X (Online)
ISSN: 2477-5274 (Print)

Flowchart sistem dalam paper ini menggambarkan alur proses perangkat lunak dalam memantau parameter listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid *Off-Grid* secara real-time menggunakan SCADA Node-RED.



Gambar 2. Flowchart Sistem

Pada gambar 2 merupakan flowchart yang menggambarkan urutan sistem monitoring mulai menginisialisasi data sensor atau *hardware* (PZEM-017 dan Multifungsion Power Meter) dan *software* (*Scada Node RED* dan program *task script*). Selanjutnya, uji konektifitas alat, jika terjadi kegagalan maka melakukan pengecekan alat *hardware* apakah sudah terpasang dengan benar. Setelah alat yang terpasang sudah berhasil uji konektifitas. Maka selanjutnya, menyiapkan titik akses ethernet untuk menghubungkan alat dengan Scada Node RED. Kemudian dengan pemberian ID Slave yang berbeda pada setiap alat, hal ini bertujuan untuk mengirim/pembacaan data pada *Scada Node* RED jika *IP Address* Maupun ID Slave yang diberikan sama maka komunikasi alat ukur menuju *Scada Node RED* terjadi error atau kegagalan transfer data. Setelah itu, membuka software Scada Node RED, hal pertama

yang dilakukan yaitu setting device TCP/IP, ID Slave, IP *Address* dan port kemudian menyesuaikan dengan alat agar terhubung dan transfer data berhasil. Hal yang paling penting pada *Scada Node RED* yaitu inisialisai Variable Input Data eksternal maupun internal bertujuan mensukseskan penerimaan data sesuai hasil pengukuran dan pembacaan yang dikirimkan dari alat ukur dengan input data. Setelah inisialisai variable berhasil, lakukan perancangan system monitoring dan pemograman padaa software Scada Node RED untuk menampilkan hasil pengukuran PLTS yang dikeluarkan dari alat ukur PZEM-017 dan Multifungsion Power Meter yang dilengkapi Protocol Modbus dan serial komunikasi RS 485 melalui tampilan dashboard pada *Scada Node RED* secara *online.* (Lee dkk., 2021; Tamboli dkk., 2015; Yulianti dkk., 2023)

3.2 Konfigurasi Protokol Modbus

Konfigurasi ini bertujuan untuk interkoneksi antara USR-DR302 dengan Scada Node-RED sehingga dapat melakukan pengiriman dan pengukuran data yang akan dimonitor.



Gambar 3. Konfigurasi Modbus TCP

Pada gambar 3 merupakan konfigurasi modbus pada USR-DR302 yang awalnya masih menggunakan settingan modbus RTU, lalu kita ubah menjadi modbus TCP. Sehingga dapat mengirimkan data melalui koneksi jaringan internet dengan bantuan koneksi kabel LAN (*Local Area Network*) yang dikoneksikan dengan router. Sehingga dapat dijangkau secara jarak jauh. (Ariwisono & Muljanto., 2023; Muljanto dkk., 2023)



Gambar 4. Setting Serial Port

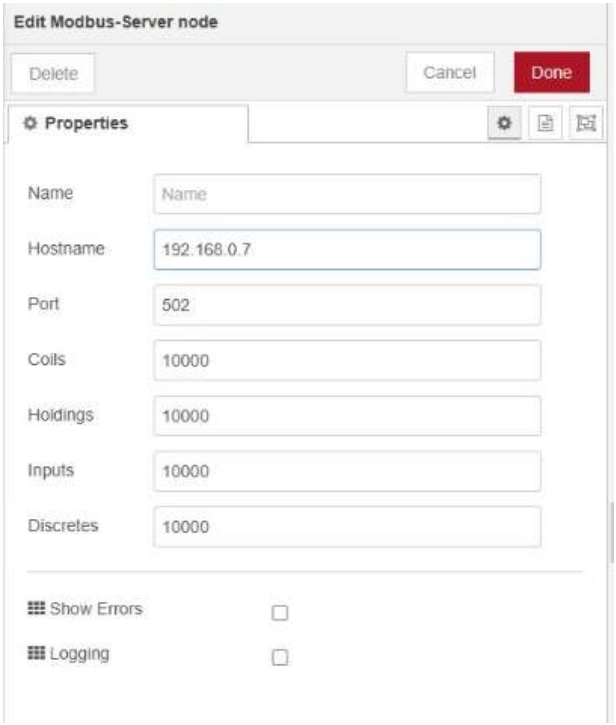
 ISSN: 2579-566X (Online)
ISSN: 2477-5274 (Print)

Pada gambar 4 merupakan setting serial port USR-DR302 yang akan disesuaikan dengan setiap sensornya. Pertama, pada *baud rate* peneliti menggunakan 9600, karena pada setiap sensor menggunakan settingan default *baud rate* 9600. Kedua, data size yang digunakan 8 bit, karena setiap sensor settingan default data size 8 bit. Ketiga, stop bits menggunakan 2 bit, karena pada sensor multifungsion menggunakan settingan default stop bit 1 dan pada sensor PZEM-017 menggunakan settingan default stop bit 2. Selanjutnya, *Local Port Number* menggunakan 502 adalah kode pintu *network* untuk Node RED memanggil data. (Rahadjeng, 2018)



Gambar 5. Setting Local IP Config

Pada gambar 5 merupakan setting Local IP *Config* yang akan digunakan. Lalu, terdapat IP type yang akan digunakan *Static IP.*



Gambar 6. Edit Server Modbus pada Node RED

Pada gambar 6 merupakan edit server modbus yang berfungsi untuk memanggil data pada USR-DR302. Dengan settingan *Hostname* Static IP yang sudah disetting sebelumnya pada *Local IP Config.* Selanjutnya, menggunakan port yang sudah disetting pada *serial port.*

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan perancangan maupun monitoring pada PLTS *Off-Grid* 1,2 kwp maka dilakukan analisa bahwa sistem pada PLTS *Off-Grid* dapat berjalan dengan lancar maupun pengiriman data dari

sensor menuju *Scada Node RED* mendapatkan hasil yang kompatibel dimana penulis maupun pengamat dapat melakukan monitoring setiap saat, dimana dan kapan saja tanpa harus datang ke lokasi secara langsung.

Tabel 1. Pengambilan Data PV

Time	*Pengu-kuran (Volt)*	*Monit oring (Volt)*	*Selisih (Volt)*	*Pengu-kuran (Ampere)*	*Monit-oring (Ampere)*	*Selisih (Ampere)*	*Pengu-kuran (Watt)*	*Monit-oring (Watt)*	*Selisih (Watt)*
12.30	12.9	12.79	0.11	3.31	3.38	0.07	42.7	43.2	0.53
12.45	12.1	12.02	0.08	3.61	3.56	0.05	43.7	42.8	0.89
13.00	12.3	12.41	0.11	4.06	3.96	0.10	49.9	49.1	0.79
13.15	11.7	11.79	0.09	3.1	3.13	0.03	36.3	36.9	0.63
13.30	11.94	11.89	0.05	3.57	3.54	0.03	42.6	42.1	0.54
13.45	12.08	11.96	0.12	3.54	3.48	0.06	42.8	41.6	1.14
14.00	11.55	11.61	0.06	4.4	4.36	0.04	50.8	50.6	0.20
14.15	11.84	11.78	0.06	3.91	4	0.09	46.3	47.1	0.83
14.30	11.8	11.87	0.07	3.67	3.74	0.07	43.3	44.4	1.09
14.45	11.5	11.49	0.01	2.65	2.72	0.07	30.5	31.3	0.78
15.00	11.7	11.65	0.05	2.62	2.58	0.04	30.7	30.1	0.60
15.15	11.7	11.74	0.04	0.90	0.92	0.02	10.5	10.8	0.27
15.30	12.2	12.33	0.13	2.03	2.05	0.02	24.8	25.3	0.51
15.45	11.4	11.27	0.13	1.62	1.65	0.03	18.5	18.6	0.13
16.00	9.8	9.7	0.10	1.60	1.58	0.02	15.7	15.3	0.35
Rata - rata error			0.72%	Rata - rata error		1.66%	Rata - rata error		1.82%

Pada tabel 1 merupakan produksi yang dihasilkan oleh PLTS *Off-Grid* 1,2 kWp seperti tegangan, arus, daya aktif dan energi. Dimana pengambilan data DC Output PV tersebut diambil setiap 15 menit sekali agar mengetahui perubahan produksi PLTS dari pukul 12.30 sampai pukul 16.00

Tabel 2. Pengambilan Data Baterai

Time	*Pengu-kuran (Volt)*	*Monit-oring (Volt)*	*Selisih (Volt)*	*Pengu-kuran (Ampere)*	*Monit-oring (Ampere)*	*Selisih (Ampere)*	*Pengu-kuran (Watt)*	*Monit-oring (Watt)*	*Selisih (Watt)*
12.30	12.2	12.38	0.18	3.8	3.78	0.02	46.36	46.80	0.44
12.45	11.3	11.42	0.12	6.2	6.25	0.05	70.06	71.38	1.32
13.00	9.4	9.53	0.13	7.63	7.71	0.08	71.72	73.48	1.75
13.15	10.6	10.47	0.13	10.89	10.77	0.12	115.43	112.76	2.67
13.30	10.5	10.38	0.12	14.84	14.96	0.12	155.82	155.28	0.54
13.45	10.5	10.43	0.07	16.81	16.76	0.05	176.51	174.81	1.70
14.00	9.4	9.53	0.13	25.37	25.48	0.11	238.48	242.82	4.35
14.15	9.9	10.03	0.13	22.18	22.12	0.06	219.58	221.86	2.28
14.30	10.4	10.49	0.09	16.59	16.39	0.20	172.54	171.93	0.60
14.45	10	10.11	0.11	14.92	14.97	0.05	149.20	151.35	2.15
15.00	10.9	10.81	0.09	8.37	8.32	0.05	91.23	89.94	1.29
15.15	11.1	11.23	0.13	8.48	8.34	0.14	94.13	93.66	0.47
15.30	11.5	11.63	0.13	6.23	6.28	0.05	71.65	73.04	1.39
15.45	10.8	10.89	0.09	4.16	4.18	0.02	44.93	45.52	0.59
16.00	10.9	10.87	0.03	3.49	3.45	0.04	38.04	37.50	0.54
Rata - rata error			1.05%	Rata - rata error		0.76%	Rata - rata error		1.34%

Pada tabel 2 merupakan produksi yang dihasilkan oleh PLTS *Off-Grid* 1,2 kWp seperti tegangan, arus, daya aktif dan energi. Dimana pengambilan data DC Output battery diambil setiap 15 menit sekali agar mengetahui perubahan produksi PLTS dari pukul 12.30 sampai pukul 16.00.

ISSN: 2579-566X (Online)
ISSN: 2477-5274 (Print)

Tabel 3. Pengambilan Data Power Meter

Time	*Pengu-kuran (Volt)*	*Monit-oring (Volt)*	*Selisih (Volt)*	*Pengu-kuran (Ampere)*	*Monit-oring (Ampere)*	*Selisih (Ampere)*	*Pengu-kuran (Watt)*	*Monit-oring (Watt)*	*Selisih (Watt)*
12.30	227.8	228.01	0.21	0.069	0.069	0.0003	12.57	12.64	0.06
12.45	227.3	227.01	0.29	0.156	0.158	0.0021	28.37	28.69	0.33
13.00	210.3	209.01	1.29	0.231	0.233	0.0020	38.86	38.96	0.10
13.15	211.2	210.01	1.19	0.320	0.318	0.0020	54.07	53.43	0.64
13.30	207.7	206.01	1.66	0.516	0.512	0.0040	85.73	84.38	1.34
13.45	206.7	205.01	1.69	0.596	0.590	0.0060	98.55	96.76	1.79
14.00	188.2	187.01	1.19	1	0.993	0.0070	150.56	148.56	2.00
14.15	193.1	196.01	2.91	0.780	0.778	0.0020	120.49	122.00	1.50
14.30	207.1	206.01	1.09	0.597	0.593	0.0040	98.91	97.73	1.18
14.45	199.6	201.01	1.41	0.500	0.503	0.0030	79.84	80.89	1.05
15.00	220.4	221.01	0.61	0.232	0.234	0.0017	40.91	41.32	0.41
15.15	220.9	219.01	1.89	0.245	0.243	0.0020	43.30	42.58	0.72
15.30	226.3	226.01	0.29	0.153	0.152	0.0010	27.70	27.48	0.22
15.45	228.3	227.01	1.29	0.066	0.065	0.0002	11.98	11.88	0.10
16.00	195.4	195.01	0.39	0.060	0.061	0.0007	9.43	9.52	0.09
Rata - rata error			0.56%	Rata - rata error		0.72%	Rata - rata error		1.12%

***dengan catatan nilai cosphi = 0.8**

Pada tabel 3 merupakan produksi yang dihasilkan oleh PLTS *Off-Grid* 1,2 kWp seperti tegangan, arus, daya aktif dan energi. Dimana pengambilan data AC Output diambil setiap 15 menit sekali agar mengetahui perubahan produksi PLTS dari pukul 12.30 sampai pukul 16.00.

Tabel 4. Pengambilan Data Energi

Time	*Pengu-kuran*	*Monit-oring*	*Selisih*	*Pengu-kuran*	*Monit-oring*	*Selisih*	*Pengu-kuran*	*Monit-oring*	*Selisih*
Jam 14.00	222.4	220.9	1.50	757.96	759.15	1.19	427.77	426.09	1.68
Jam 15.00	201.7	203.4	1.70	876.03	877.611	1.58	490.71	490.49	0.22
Jam 16.00	100.1	100.1	0.05	339.98	339.66	0.32	133.31	132.77	0.54
Rata - Rata			0.62%	Rata - Rata		0.72%	Rata - Rata		0.73%

Pada tabel 4 merupakan pengambilan data energi, untuk data energi hanya keluar setiap 1 jam sekali karena faktor dari baterai yang saya gunakan penyimpanannya kurang jadi ketikan digunakan beban secara terus menerus dari jam 12.30 – 16.00 baterai akan drop dan inverter akan *value*

4.4 Analisa Hasil Pengambilan Data

(1) Analisa DC Out

(a) Solar Panel

Dari hasil pengambilan data DC Output solar panel peneliti mendapat nilai rata-rata error dari perbandingan hasil pengukuran multimeter dan monitoring dimana pada nilai perbandingan tegangan mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 0.72%. Selanjutnya, nilai perbandingan arus mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1.66%. Terakhir, nilai perbandingan daya mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1.82%. dari hasil perhitungan perbandingan error hasil pengukuran monitoring akurasinya masih dalam batas toleransi error yang wajar.

(b) Battery

Dari hasil pengambilan data DC Output Battery peneliti mendapat nilai rata-rata error dari perbandingan hasil pengukuran multimeter dan monitoring dimana pada nilai perbandingan tegangan mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1.05%. Selanjutnya, nilai perbandingan arus mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 0.76%. Terakhir, nilai perbandingan daya mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1.34%. dari hasil perhitungan perbandingan error hasil pengukuran monitoring akurasinya masih dalam batas toleransi error yang wajar.

(2) Analisa AC Output

Dari hasil pengambilan data AC Output peneliti mendapat nilai rata-rata error dari perbandingan hasil pengukuran multimeter dan monitoring dimana pada nilai perbandingan tegangan mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 0.56%. Selanjutnya, nilai perbandingan arus mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 0.72%. Terakhir, nilai perbandingan daya mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1.12%. dari hasil perhitungan perbandingan error hasil pengukuran monitoring akurasinya masih dalam batas toleransi error yang wajar.

5. Kesimpulan

Paper ini berhasil merancang dan implementasi perangkat lunak untuk sistem monitoring PLTS Hybrid Off-Grid 1,2 KWp dengan hasil yang menunjukkan tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan. Berdasarkan pengujian, nilai rata-rata error pada setiap parameter pengukuran, seperti data solar panel, baterai, dan Power Meter, tercatat berada di bawah batas toleransi standar sebesar 5%. Rata-rata error tertinggi adalah 1,82% pada parameter daya solar panel, yang masih berada dalam ambang batas toleransi umum untuk sistem PLTS. Rancangan instalasi sistem monitoring ini mampu mengambil data secara real-time, sehingga memberikan manfaat penting dalam proses pemantauan dan pemeliharaan PLTS Hybrid Off-Grid 1,2 KWp. Dengan demikian, hasil penelitian ini berkontribusi dalam mendukung pengelolaan energi terbarukan yang lebih mudah, efisien, dan berkelanjutan secara real-time dan online.

Referensi

Alfa Z Fikri, M., Sakhalish Zayyan, M., Edo Mikrado, J., B Sulistiawati, I., Soetedjo, A., Somawirata, I. K., & Sotyohadi, S. (2022). Sistem SCADA pada miniatur Smart Home Bertenaga Surya. *Jurnal FORTECH*, *3*(2), 93–100. https://doi.org/10.56795/fortech.v3i2.106

Ariprihata, A., Erfandy, E., Susilo, S. W., & Sujito, S. (2023. Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid Untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, *4*(3), 224–245. https://doi.org/10.14710/jebt.2023.19665

Ariyani, S., Wicaksono, D. A., Fitriana, F., Taufik, R., & Germenio, G. (2021). Studi Perencanaan dan Monitoring System Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Remote Area. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, *20*(2), 113–124. https://doi.org/10.31358/techne.v20i2.273

Fransiscus Xaverius Ariwibisono and Widodo Pudji Muljanto, "Implementasi Sistem Monitoring Produksi Energi PLTS Berbasis Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP" *Nuansa Informatika*, vol. 17, no. 2, pp. 109–118, Jul. 2023, doi: 10.25134/ilkom.v17i2.28.

Kurniawan, G. W., Agung, I. G. A. P. R., & Rahardjo, P. (2023). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *22*(1), 133. https://doi.org/10.24843/MITE.2023.v22i01.P17

Lee, J., Lee, J., & Jeong, J. (2021). Design and Implementation of Injection Data Preprocessing & Monitoring System Based on Node-RED. *2021 15th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*, 19–23. https://doi.org/10.1109/ISMICT51748.2021.9434942

Muljanto, W. P., Priyanto, S., Salam, M. F., & Budi Sulistiawati, I. (2023). Design of Data Acquisition for The Production and Utilization of 500kWP Solar Power Plant at Campus II ITN Malang Using SCADA Haiwell Software. *Journal of Sustainable Technology and Applied Science (JSTAS)*, *4*(1), 17–24. https://doi.org/10.36040/jstas.v4i1.5894

Muslim, S., Khotimah, K., & Azhiimah, A. N. (2020). *Analisis Kritis Terhadap Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Tipe Photovoltaic (PV) Sebagai Energi Alternatif Masa*. *3*.

Rahadjeng, I. R. (2018). *Analisis JAringan Local Area Network (LAN) pada PT. Mustika Ratu Tbk Jakarta Timur*. *5*(1).

Solihin, Muhammad Wahyu (2022) Rancang BAngun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Kapasitas 4kWP Lab. Elektro Kampus II ITN Malang Menggunakan SCADA Haiwell. Skripsi thesis, ITN Malang.

Syahwil, M., & Kadir, N. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, *3*(1), 26–35. https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.26-35

Tamboli, S., Rawale, M., Thoraiet, R., & Agashe, S. (2015). Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP communication using Siemens S7-1200 PLC for batch process. *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, 258–263. https://doi.org/10.1109/ICSTM.2015.7225424

Tosin, T. (2021). Perancangan dan Implementasi Komunikasi RS-485 Menggunakan Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP Pada Sistem Pick-By-Light. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, *10*(1), 85–91. https://doi.org/10.34010/komputika.v10i1.3557

Waluyo, B. D., Rahman Sembiring, M. A., Sinaga, N., Lubis, A. A., & Br Tarigan, S. V. (2024). Sistem Monitoring PLTS Berbasis IoT Sebagai Media Pembelajaran. Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi dalam Pendidikan, *11*(1). https://doi.org/10.24114/jtikp.v11i1.60282

Yulianti, D., Ifa Fauziah, Hamid Abdillah, Kurniawan, & Irma Yulianti. (2023). Desain Sisitem Monitoring Flowmeter Komunikasi RS 232 Menggunakan Software Node-RED pada Fuel Cell Electric Vehicle. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, *8*(2). https://doi.org/10.21009/JKEM.8.2.5