

Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS *Off Grid* Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram

Dimas Ranga Rajawali Perkasa Putra

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : dimas.19003@mhs.unesa.ac.id

Joko, L. Endah Cahya Ningrum, Lilik Anifah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : joko@unesa.ac.id, endahningrum@unesa.ac.id , lilikanifah@unesa.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Perubahan secara fluktuatif besaran energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dapat terjadi dikarenakan faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, temperatur, debu, tertutup benda ataupun kondisi cuaca. Untuk menjamin produksi listrik PLTS yang optimal, PLTS perlu dimonitoring secara berkala guna menjamin keandalan perangkat tersebut. Untuk memudahkan pengguna dalam memantau PLTS, teknologi Internet of Things (IoT) dapat menjadi basis alat monitoring tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat monitoring kinerja pada PLTS *Off Grid* berbasis IoT, menggunakan NodeMCU ESP32 dan software Bot Telegram sebagai interface antara pengguna dengan alat. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan model prototipe, serta model analisis data yang digunakan deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat monitoring yang diteliti mendapatkan nilai eror 1,43% dengan tingkat akurasi alat sebesar 98,57% dan nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan yaitu sebesar 9,83% pada pukul 11.30 WIB. Pembacaan dan analisis setiap sensor dapat menghasilkan simpulan linguistik yang sesuai dengan setiap parameter yang diukur.

Kata Kunci: PLTS, Solar Panel, Internet of Think (IoT), NodeMCU ESP32

Abstract

Solar Power Plants (PLTS) can convert solar energy into electrical energy using the photoelectric effect. Fluctuating changes in the amount of electrical energy produced by PLTS can occur due to environmental factors such as light intensity, temperature, dust, covered objects or weather conditions. To ensure the optimal production of electricity from the PLTS, the PLTS needs to be monitored regularly to ensure the reliability of the device. To facilitate users in monitoring PLTS, Internet of Things (IoT) technology can be the basis of the monitoring tool. This research aims to design a performance monitoring tool for *Off Grid* PLTS based on IoT, using NodeMCU ESP32 and Telegram Bot software as an interface between the user and the tool. The research method used is an experiment with a prototype model, and the data analysis model used is quantitative descriptive. The results showed that the monitoring tool studied obtained an error value of 1.43% with a tool accuracy rate of 98.57% and the highest efficiency value obtained was 9.83% at 11:30 WIB. The reading and analysis of each sensor can produce linguistic conclusions that match each parameter measured.

Keywords: PLTS, Solar Cell, Internet of Think (IoT), NodeMCU ESP32

Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Energi listrik di era saat ini merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat untuk menjalankan segala aktivitas. Meningkatnya pertumbuhan ekonomi nasional dan bertambahnya jumlah penduduk setiap harinya serta berkembangnya teknologi di masa kini, jumlah permintaan pasokan energi listrik setiap tahunnya secara berkala akan mengalami peningkatan dan mempengaruhi jumlah ketersediaan energi di Indonesia (Ahmad & Zhang, 2020). Peningkatan kebutuhan energi yang dibutuhkan mengakibatkan kinerja tiap pembangkit

energi listrik semakin berat. Jika kondisi tersebut dibiarkan saja, bahan bakar minyak bumi atau batu bara yang dibutuhkan pada pembangkit listrik pun setiap tahunnya akan semakin meningkat, hal ini berbanding terbalik dengan jumlah cadangan minyak bumi dan batu bara yang setiap tahunnya semakin menurun. Oleh karena itu, ketergantungan pembangkit listrik dengan bahan baku tidak terbarukan perlu dikurangi, dan dialihkan dengan teknologi alternatif untuk meningkatkan ketahanan energi (Nandar, 2015). Teknologi alternatif yaitu pembangkit listrik menggunakan energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan seperti energi angin, air, surya dan

lainnya (Prahastono dkk., 2023). Salah satu upaya pemanfaatan EBT adalah dengan memanfaatkan energi yang diperoleh dari radiasi sinar matahari (Erwanto dkk., 2020).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik menggunakan EBT dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik (Gunoto & Sofyan, 2020). Berdasarkan letak geografis negara Indonesia berpotensi dalam penerapan dan pengembangan PLTS karena setiap tahunnya pasti mendapatkan sinar matahari. Kementerian ESDM mencatat bahwasanya Indonesia mempunyai potensi pemanfaatan energi surya sangat besar sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp (ESDM, 2012).

Berdasarkan jenis sambungannya PLTS diklasifikasikan menjadi dua jenis diantaranya PLTS *On Grid* yaitu sistem PLTS yang terhubung langsung dengan PLN dan PLTS *Off Grid* yaitu sistem PLTS yang berdiri sendiri (Hasanah dkk., 2018). Selain itu berdasarkan jenis bahannya, PLTS dibedakan menjadi dua jenis yaitu PLTS bahan silikon polikristalin dan silikon monokristalin. Perbedaan utama antara sel Surya jenis silikon monokristalin dan silikon polikristalin, adalah efisiensi monokristalin lebih besar dari polikristalin dan biaya produksi polikristalin lebih murah dari pada monokristalin (Pagan dkk., 2018).

Jumlah energi listrik yang dihasilkan PLTS fluktuatif dan linier dengan jumlah radiasi matahari yang diterima oleh panel, serta dapat dipengaruhi juga oleh faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, temperatur, debu, tertutup benda ataupun kondisi cuaca (Huwaida dkk., 2020). Kemiringan pada permukaan panel pun dapat mempengaruhi daya *output* dari panel surya, dengan panel surya 20 Wp dan sudut kemiringan sebesar 0° didapatkan daya output maksimum 17,01 W, tegangan maksimum sebesar 19,5 V serta arus maksimum sebesar 1 A (Rudawin dkk., 2020).

Untuk menjamin produksi listrik yang optimal, PLTS perlu dimonitoring secara berkala guna menjamin keandalan perangkat tersebut. Monitoring dapat dilakukan secara manual menggunakan alat ukur, akan tetapi kurang efektif dan memerlukan pengukuran pada panel surya dengan jarak yang berdekatan (Silaban dkk., 2022). Oleh karena itu perlu adanya sebuah perangkat monitoring yang dapat berguna untuk memudahkan memantau kondisi PLTS dari jarak jauh dan sulit terjangkau (Putra Ardiansyah dkk., 2022).

Node Microcontroller Unit Espressif Systems Platform 32 (NodeMCU ESP 32) serta internet dapat digunakan untuk menjawab permasalahan keterbatasan tersebut, karena modul ESP dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh secara *realtime* sehingga dapat memonitoring PLTS dengan baik. Penerapan teknologi ini dapat disebut

dengan *Internet of Things* (IoT). IoT merupakan sebuah konsep jaringan yang dapat menghubungkan atau berkomunikasi dengan berbagai objek yang memiliki alamat *Internet Protocol* (IP) dan terhubung dengan internet (Wijayanto dkk., 2022).

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka diperlukan alat IoT dengan sebuah sistem monitoring kinerja pada PLTS secara *realtime* dan dapat dipantau secara jarak jauh. Maka peneliti mengambil judul “Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS *Off Grid* Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram”.

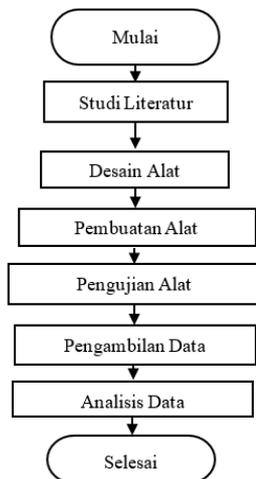
Telegram merupakan aplikasi layanan pesan instan *multiplatform* berbasis *cloud* yang bersifat gratis dan dapat difungsikan pada perangkat *mobile* secara bersamaan (Ratnasari dkk., 2022). Penggunaan Telegram yang terkoneksi pada alat ini yaitu sebagai *interface* dan bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring PLTS.

Penelitian ini dilengkapi dengan beberapa sensor pendukung agar alat dapat bekerja optimal. Diantaranya yaitu sensor *Digital Humidity and Temperature* (DHT22) yang berfungsi untuk mengukur nilai suhu dan kelembaban udara, sensor BH1750 yang berfungsi untuk mengukur nilai intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya, sensor INA219 yang berfungsi untuk mengukur nilai tegangan dan arus DC *output* dari PLTS yang selanjutnya digunakan sebagai parameter nilai efisiensi panel surya, dan sensor *Power and Energy Meter* (PZEM-004T) yang berfungsi untuk mengukur nilai arus dan tegangan AC dari beban listrik yang digunakan.

METODE

Analisis Penelitian

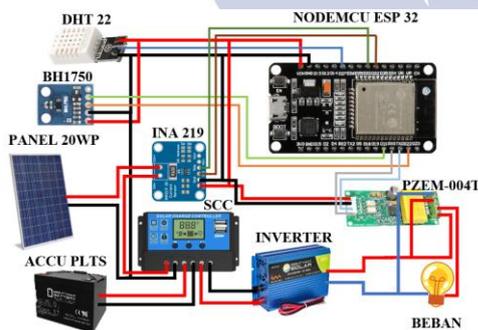
Metode yang diterapkan menggunakan jenis penelitian eksperimen dengan model prototipe dan pengambilan data dilakukan dengan cara perbandingan nilai pengujian secara manual menggunakan alat ukur dengan nilai yang diperoleh Bot Telegram yang dikirimkan secara periodik setiap 30 menit pada pukul 10.00 WIB hingga 17.00 WIB untuk memastikan keoptimalan pembacaan sensor serta pengambilan keputusan kondisi PLTS sesuai dengan parameter yang diterima. Data kemudian diolah dan dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif. Tahapan rancangan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur yaitu mengumpulkan data dari berbagai sumber yang relevan, kemudian membuat desain alat, dilanjutkan pembuatan alat sesuai dengan desain. Kemudian alat di uji coba dan dilakukan pengambilan data. Tahap yang terakhir ialah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil pengujian alat.



Gambar 1. Tahapan Rancangan Penelitian

Desain Alat

Gambar 2 merupakan rancangan desain alat monitoring kinerja pada PLTS *Off Grid* berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP32 dan Telegram. Dalam perancangan alat tersebut terdapat beberapa komponen utama yang digunakan sebagai parameter pengukuran dan pendeteksi kondisi PLTS yaitu sensor DHT22, sensor BH1750, sensor INA219 dan sensor PZEM-004T. Pada penelitian ini mikrokontroler dan sensor lainnya dikemas menggunakan box panel *waterproof* dengan material plastik berukuran 12x20x7,5 cm. Panel surya yang digunakan sebesar 20 Wp dengan *Solar Charge Controller* (SCC) 10A dan baterai 12V 7,5Ah.



Gambar 2. Perancangan *Hardware* Alat Monitoring

Gambar 2 menunjukkan jalur kabel dari setiap komponen yang terhubung. Jalur kabel warna merah yang terhubung dari mikrokontroler ke setiap sensor serta dari panel merupakan jalur kabel positif DC dan warna hitam jalur kabel negatif DC. Jalur kabel warna merah terang dan biru yang terhubung antara inverter PZEM-004T dan beban merupakan jalur kabel fasa dan netral. Selain keempat warna tersebut merupakan jalur data dari setiap sensor ke mikrokontroler.

Desain *Hardware*

Desain *Hardware* pada penelitian ini menggunakan box panel *waterproof* untuk mikrokontroler dan sensor-

sensornya serta menggunakan panel instalasi untuk perangkat PLTS. Perangkat PLTS tersebut terdiri dari Panel Surya, SCC, Baterai, Inverter dan Stopkontak. Alur penggunaan PLTS dimulai ketika panel surya mendapatkan sinar matahari yang kemudian diproses menggunakan efek fotoelektrik dan menghasilkan tegangan dan arus DC yang fluktuatif. Agar baterai mendapatkan tegangan dan arus yang stabil, maka arus tegangan dari PLTS melalui SCC untuk distabilkan terlebih dahulu dan selanjutnya disimpan ke baterai. Agar dapat dimonitoring tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya, maka ditambahkan sensor INA219 diantara panel surya dan SCC.

Supaya daya yang dihasilkan PLTS dapat digunakan pada jaringan atau beban AC, maka beban pada SCC dihubungkan ke inverter untuk mengkonversi listrik DC ke listrik AC. Untuk memonitoring tegangan dan arus AC maka diantara inverter dan stopkontak ditambahkan sensor PZEM-004T.

Untuk sensor BH1750 pengukur intensitas cahaya diletakkan disamping panel surya agar pembacaan nilai intensitas cahaya yang diterima oleh panel akurat. Sedangkan untuk sensor DHT22 untuk mengukur tingkat kelembaban dan suhu udara diletakkan didalam box panel.

Desain *Software*

Perancangan desain *software* menggunakan aplikasi Arduino IDE untuk membuat dan memproses program pada penelitian ini. Program koding dari *software* ini berisikan *library-library*, fuzzy dari parameter yang akan ditentukan dan pembuatan menu untuk Bot Telegram.

Program dimulai dengan memasukkan *library* sebagai pembacaan data dari setiap sensor. Setelah itu data akan diproses menggunakan metode fuzzy yang berfungsi untuk mengubah nilai variabel numerik menjadi variabel linguistik. Setelah diproses, data-data yang diperoleh akan dikirim ke Bot Telegram.

Metode fuzzy dalam penelitian ini berfungsi untuk menentukan atau mengklasifikasikan nilai keluaran dari sensor menjadi variabel linguistik yang mudah dipahami. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Putra Ardhiyansyah dkk., 2022), terdapat 4 parameter *input* utama yang digunakan, diantaranya yaitu parameter suhu (T), parameter kelembaban (H), parameter intensitas cahaya (I), dan parameter efisiensi (η) yang didapatkan menggunakan rumus persamaan (1) (Putra Ardhiyansyah dkk., 2022).

$$\eta = \frac{P_{max}}{I_r \times A} \times 100\% \quad (1)$$

Rumus persamaan di atas, nilai daya keluaran panel surya yang dilambangkan dengan P dibagi dengan hasil

perkalian I_r dengan nilai ketetapan satuan panel surya yaitu 1000W/m^2 dan dikalikan dengan luas panel 20 Wp yang dilambangkan dengan A dengan nilai $0,1935\text{ M}^2$.

Pengelompokan klasifikasi keanggotaan parameter dan pengelompokan range nilai dalam penelitian ini pada setiap parameter yang digunakan menggunakan *range* nilai yang telah diatur berdasarkan penelitian sebelumnya (Putra Ardhiyansyah dkk., 2022). Berdasarkan 4 parameter yang digunakan, parameter-parameter tersebut diklasifikasikan dan membentuk himpunan sebagai berikut:

- Variabel suhu (T) = {low, medium, high}
- Variabel kelembaman (H) = {low, medium, high}
- Variabel Intensitas (I) = {very low, low, medium, high}
- Variabel Efisiensi (η) = {very low, low, medium, high}

Pengelompokan nilai data keanggotaan pada variabel *input* suhu (T) dapat dikelompokkan dengan *range* sebagai berikut:

- $T_{low} = 0^\circ\text{C} \leq T < 30^\circ\text{C}$, dengan nilai puncak 0°C
- $T_{medium} = 29^\circ\text{C} \leq T < 33^\circ\text{C}$, dengan nilai puncak 31°C
- $T_{high} = 32^\circ\text{C} \leq T < 50^\circ\text{C}$, dengan nilai puncak 50°C

Pengelompokan nilai data keanggotaan pada variabel *input* kelembaban (H) dapat dikelompokkan dengan *range* sebagai berikut:

- $H_{low} = 0\% \leq H < 60\%$, dengan nilai puncak 0%
- $H_{medium} = 50\% \leq H < 75\%$, dengan nilai puncak $62,5\%$
- $H_{high} = 70\% \leq H < 100\%$, dengan nilai puncak 100%

Pengelompokan nilai data keanggotaan pada variabel *input* intensitas cahaya (I) dapat dikelompokkan dengan *range* sebagai berikut:

- $I_{verylow} = 0\text{ lux} \leq I < 400\text{ lux}$, dengan nilai puncak 0 lux
- $I_{low} = 200\text{ lux} \leq I < 5000\text{ lux}$, dengan nilai puncak 2400 lux
- $I_{medium} = 4000\text{ lux} \leq I < 20000\text{ lux}$, dengan nilai puncak 12000 lux
- $I_{high} = 15000\text{ lux} \leq I < 60000\text{ lux}$, dengan nilai puncak 60000 lux

Pengelompokan nilai data keanggotaan pada variabel *input* efisiensi (η) dapat dikelompokkan dengan *range* sebagai berikut:

- $\eta_{verylow} = 0\% \leq \eta < 0,5\%$, dengan nilai puncak 0%
- $\eta_{low} = 0,3\% \leq \eta < 2,2\%$, dengan nilai puncak $1,2\%$
- $\eta_{medium} = 1\% \leq \eta < 6\%$, dengan nilai puncak $3,5\%$
- $\eta_{high} = 4\% \leq \eta < 17\%$, dengan nilai puncak 17%

Berdasarkan pengelompokan parameter-parameter di atas, maka data sensor yang telah didapatkan dapat

menyimpulkan hasil sensor yang berupa variabel data numerik menjadi simpulan variabel data linguistik

Desain Interface

Penelitian ini menggunakan Bot Telegram sebagai *interface* penghubung pengguna dan alat dengan menampilkan data sesuai pesan perintah yang dikirimkan oleh pengguna. Bot diberi nama ESP32PLTSoFFGrid_Bot dengan tampilan menu berupa pesan perintah setelah mengirimkan pesan perintah “/start” seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Menu Pesan Perintah Bot Telegram

Penelitian ini, *user* yang berhak untuk mengirimkan pesan merupakan *user* yang telah didaftarkan ID Chat pengguna pada program Arduino IDE. *User* yang tidak memiliki akses akan menerima pesan “Unauthorized User”.

Pengembangan

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Putra Ardhiyansyah dkk., 2022). Pada penelitian sebelumnya alat monitoring gangguan pada panel surya memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan menggunakan *website* yang memperbarui data setiap 30 detik.

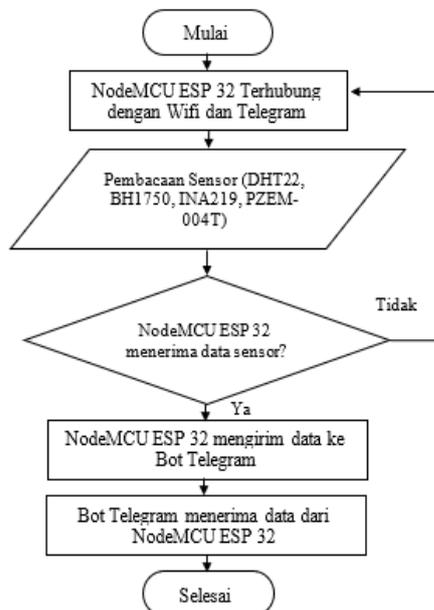
Penelitian terkini menggunakan alat kendali atau mikrokontroler versi terbaru dari NodeMCU ESP 8266 yaitu menggunakan NodeMCU ESP32 yang merupakan NodeMCU dengan pembacaan lebih handal serta jumlah pin GPIO lebih banyak (Muliadi dkk., 2020).

Untuk bagian media komunikasi antara alat dan *user*, penelitian ini melakukan pengembangan menggunakan Bot Telegram sebagai *interface* karena Telegram merupakan aplikasi pesan instan yang lebih umum digunakan dan mudah diakses oleh pengguna daripada *website*. Selain itu penggunaan Telegram dapat mempermudah penampilan data yang diinginkan hanya dengan mengirimkan pesan perintah yang telah dibuat.

Implementasi

Gambar 4 menunjukkan *flowchart* proses kerja alat monitoring kinerja PLTS *Off Grid*. Mikrokontroler harus terkoneksi dengan jaringan WiFi agar dapat terkoneksi

dengan Telegram sebelum melalui proses pembacaan sensor. Data hasil pembacaan dari setiap sensor dikirimkan ke NodeMCU ESP32. Ketika data belum diterima, maka program akan melakukan *looping* hingga data diterima mikrokontroler. Data yang diterima berupa data numerik dan hasil simpulan linguistik dari setiap parameter. Data yang telah diterima dan diolah akan ditampilkan ke Telegram.



Gambar 4. Tahapan Rancangan Penelitian

Evaluasi

Evaluasi merupakan tahapan setelah melalui proses tahap analisis penelitian dan tahap implementasi. Tahapan ini merupakan tahap untuk mengujicoba alat yang telah dibuat untuk mengetahui tingkat akurasi sensor yang digunakan serta keoptimalan kinerja alat yang telah dirancang. Pengukuran yang dilakukan dengan cara membandingkan nilai keluaran sensor atau parameter dengan alat ukur yang tersedia.

Data-data yang dihasilkan pada alat ini berupa nilai suhu, kelembaban, intensitas cahaya, arus dan tegangan DC, arus dan tegangan AC serta simpulan linguistik dari setiap parameter. Alat ini dapat bekerja dengan optimal ketika mikrokontroler mendapatkan suplai daya yang stabil dan terkoneksi dengan WiFi. Jika tidak terhubung dengan jaringan internet, maka nilai-nilai pengukuran pada sensor tidak dapat dikirimkan pada Bot Telegram dengan baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini penggunaan Bot Telegram sebagai *interface* dengan menampilkan data atau pesan sesuai dengan pesan perintah yang dikirimkan oleh *user*. Pengujian pada Bot Telegram ini bertujuan untuk memastikan seluruh pesan perintah yang telah diatur dapat berfungsi serta menampilkan pesan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Pengujian Data Sensor Diterima Bot Telegram

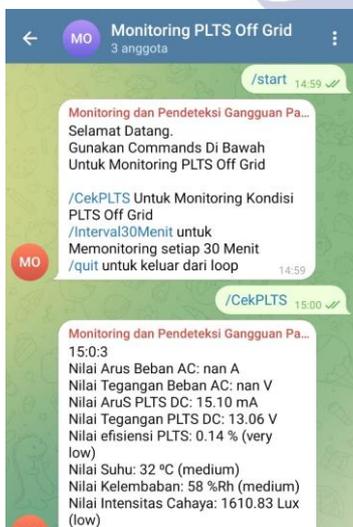
Bot Telegram											
Waktu	Arus PLTS DC (mA)	Tegangan PLTS DC (V)	Efisiensi PLTS (%)	Kategori Efisiensi	Suhu (°C)	Kategori Temperatur	Kelembaban (%)	Kategori Kelembaban	Intensitas Cahaya (Lux)	Kategori Intensitas Cahaya	
10.00	897,80	13,86	8,92	high	36,00	high	50,00	low	54.612,50	high	
10.30	1.016,20	12,78	9,31	high	36,00	high	50,00	low	54.612,50	high	
11.00	957,50	13,76	9,45	high	37,00	high	48,00	low	54.612,50	high	
11.30	1.015,20	13,50	9,83	high	37,00	high	48,00	low	54.612,50	high	
12.34	929,80	13,48	8,99	high	37,00	high	49,00	low	54.612,50	high	
13.04	915,70	13,44	8,82	high	37,00	high	48,00	low	54.612,50	high	
13.34	745,60	13,69	7,31	high	36,00	high	48,00	low	54.612,50	high	
14.04	676,70	13,74	6,66	high	36,00	high	49,00	low	54.612,50	high	
14.35	611,00	13,91	6,09	high	35,00	high	50,00	low	52.768,33	high	
15.06	472,10	13,30	4,50	medium	35,00	high	53,00	medium	33.025,00	high	
15.36	280,70	12,86	2,59	medium	34,00	high	56,00	medium	14.598,33	medium	
16.06	11,60	12,82	0,10	very low	33,00	high	62,00	medium	1.190,83	low	
16.36	4,60	12,82	0,04	very low	33,00	high	64,00	medium	977,50	low	
17.06	1,40	9,54	0,01	very low	32,00	medium	67,00	medium	350,00	very low	
Rata-Rata	609,71	13,11	5,90		35,29		53,00		38.557,85		

Tabel 2. Pengujian Dengan Alat Ukur

Waktu	Alat Ukur				
	Arus PLTS DC (mA)	Tegangan PLTS DC (V)	Efisiensi PLTS (%)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
10.00	890	13,8	8,8	35,2	51
10.30	1020	12,8	9,35	35,2	51
11.00	980	13,7	9,62	35,3	49
11.30	1010	13,5	9,77	36	50
12.34	920	13,5	8,9	36,4	49
13.04	900	13,6	8,77	36,5	48
13.34	760	13,8	7,52	35	50
14.04	680	13,7	6,68	34,5	50
14.35	600	14	6,02	34,7	51
15.06	460	13,3	4,39	34	54
15.36	270	12,8	2,48	34,4	55
16.06	11	12,8	0,1	32,3	63
16.36	4	12,8	0,04	31,9	65
17.06	3	8,7	0,01	31	66
Rata-Rata	607,71	13,06	5,89	34,46	53,71

Tabel 3. Penghitungan Nilai Selisih dan Akurasi Sensor

Waktu	Hitung Selisih dan Akurasi					
	Selisih Efisiensi PLTS (%)	Akurasi Efisiensi PLTS (%)	Selisih Suhu (°C)	Akurasi Temperatur (%)	Selisih Kelembaban (%)	Akurasi Kelembaban (%)
10.00	0,12	98,61	0,80	97,73	1,00	98,04
10.30	0,04	99,54	0,80	97,73	1,00	98,04
11.00	0,17	98,19	1,70	95,18	1,00	97,96
11.30	0,06	99,42	1,00	97,22	2,00	96,00
12.34	0,09	99,02	0,60	98,35	0,00	100,00
13.04	0,05	99,46	0,50	98,63	0,00	100,00
13.34	0,21	97,26	1,00	97,14	2,00	96,00
14.04	0,02	99,72	1,50	95,65	1,00	98,00
14.35	0,07	98,83	0,30	99,14	1,00	98,04
15.06	0,11	97,55	1,00	97,06	1,00	98,15
15.36	0,11	95,48	0,40	98,84	1,00	98,18
16.06	0,00	95,23	0,70	97,83	1,00	98,41
16.36	0,00	96,58	1,10	96,55	1,00	98,46
17.06	0,00	95,70	1,00	96,77	1,00	98,48
Rata-Rata	0,08	97,90	0,89	97,42	1,00	98,13



Gambar 5. Pengujian Bot Telegram

Tabel 1 menunjukkan data sensor pada Bot Telegram dari pukul 10.00 WIB hingga 17.06 WIB, dengan rincian

nilai ukur tiap sensor serta simpulan linguistik dari tiap parameter. Berdasarkan data sensor yang diperoleh, nilai efisiensi panel surya tertinggi didapatkan pada pukul 11.30 WIB dengan nilai 9,83% dan alat ini dapat berfungsi dengan baik untuk menyimpulkan tiap parameter sesuai dengan range yang telah ditentukan.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran tiap sensor menggunakan alat ukur. Untuk pengukuran arus AC menggunakan alat Ampere Meter, pengukuran tegangan DC menggunakan alat Volt Meter, pengukuran suhu menggunakan Thermometer dan pengukuran kelembaban menggunakan Higrometer.

Tabel 3 menunjukkan penghitungan nilai selisih antara data sensor dengan alat ukur serta penghitungan nilai akurasi tiap sensor. Berdasarkan data tersebut, didapatkan rata-rata nilai akurasi parameter efisiensi PLTS yaitu 97,90% dan rata-rata nilai akurasi parameter temperatur sebesar 97,42% serta rata-rata nilai akurasi kelembaban sebesar 98,13%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengambilan Data Sensor PZEM-004T						
Waktu	PZEM-004T			Alat Ukur		
	Arus	Tegangan	Daya	Arus	Tegangan	Daya
13.34	0,198	216,50	42,92	0,200	217,00	43,40
14.35	0,201	214,80	43,10	0,200	215,20	43,04
15.36	0,199	215,70	42,94	0,200	215,90	43,18
16.36	0,200	214,20	42,84	0,200	214,90	42,98
17.37	0,199	216,10	43,04	0,200	216,40	43,28
Rata-Rata	0,199	215,46	42,97	0,200	215,88	43,18

Tabel 4 pengujian *output* beban AC menggunakan sensor PZEM-004T dilakukan dengan Inverter 1000W menggunakan beban lampu pijar 40W. didapatkan rata-rata selisih nilai pengukuran sebesar 0,001A dan 0,42V. Berdasarkan pengukuran tersebut, didapatkan nilai rata-rata tingkat akurasi sensor PZEM-004T untuk mengukur arus sebesar 99,58% dan untuk mengukur tegangan sebesar 99,81%.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rancangan alat monitoring kinerja panel surya dengan basis IoT menggunakan Mikrokontroler NodeMCU ESP32 dengan sensor DHT22, sensor BH1750, sensor INA219, dan sensor PZEM-004T sebagai parameternya dapat di implementasikan dengan baik dan sesuai dengan proses kerja yang diharapkan. Software yang digunakan terbukti optimal dan saling terhubung untuk memudahkan pengguna dalam memonitoring panel surya.

Penggunaan Bot Telegram dapat mempermudah pengguna dalam memonitoring panel Surya serta mengetahui simpulan linguistik dari setiap parameter. Untuk pengujian setiap sensor yang digunakan, didapatkan rata-rata tingkat akurasi sebesar 98,57%, hal ini menandakan sensor layak digunakan sebagai parameter alat IoT ini. Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada pukul 11.30 WIB dengan nilai 9,83%.

Saran

Berdasarkan pengujian pada penelitian ini yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa saran dari penulis untuk pengembangan alat penelitian ini menjadi lebih baik:

1. Menggunakan RTC sebagai komponen waktu perangkat, agar dapat melakukan monitoring atau pengiriman data secara periodik tanpa adanya galat yang diakibatkan gangguan jaringan.
2. Menggunakan modem sebagai jaringan internet pribadi, untuk mengurangi *delay* waktu penerimaan data.

3. Menambahkan monitoring pada baterai untuk mengetahui persentase kapasitas dari baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, T., & Zhang, D. (2020). *A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far*. Energy Reports, Elsevier.
- Erwanto, D., Widhining K., D. A., & Sugiarto, T. (2020). *Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things*. Multitek Indonesia, Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
- ESDM, K. (2012). *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*. Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Gunoto, P., & Sofyan, S. (2020). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan*. Sigma Teknika, Universitas Riau Kepulauan.
- Hasanah, A. W., Koerniawan, T., & Yuliansyah. (2018). *Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off Grid*. Jurnal Energi & Kelistrikan, Institut Teknologi PLN.
- Huwaida, N., Prapanca, M. Y., Nadandi, Q., Kurniawan, F., Reynaldi, J., & Fathurrahman, N. (2020). *Pemanfaatan Solar Cell sebagai Sumber Energi Listrik Hydroponic Drip System*. Electrics, Politeknik Negeri Jakarta.
- Muliadi, Imran, A., & Rasul, M. (2020). *Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32*. Jurnal Media Elektrik, Universitas Negeri Makassar.
- Nandar, C. S. A. (2015). *Kebijakan Pengalihan Subsidi Listrik Dengan Sistem Listrik Pintar Berbasis Energi Terbarukan Hibrida di Perkotaan*. Bappenas International Conference on Best Development Practices and Policies, Bappenas Int. Conf. Best Dev. Pract. Policies, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional / Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Pagan, S. E. P., Sara, D. I., & Hasan, H. (2018). *Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal Dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh*. Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala.
- Prahastono, S. A., Setiawan, A. A., & Wilopo, W. (2023). *Perancangan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Berbasis Tenaga Hibrida Untuk Meningkatkan Rasio Elektrifikasi (Studi Kasus: Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan)*. Jurnal Elektronika, Sains dan Sistem Energi. Universitas Teknologi Sumbawa.

- Putra Ardhiansyah, R., Endryansyah, & Kholis, N. (2022). *Rancang Bangun Alat Monitoring Gangguan Pada Panel Surya Menggunakan NodeMCU Berbasis Website*. Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET), Universitas Negeri Surabaya.
- Ratnasari, D. A., Suprianto, B., & Baskoro, F. (2022). *Monitoring Daya Listrik Pada Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram*. Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET), Universitas Negeri Surabaya.
- Rudawin, L., Rajabiah, N., & Irawan, D. (2020). *Analisa sistem kerja photovoltaic berdasarkan sudut kemiringan menggunakan monocrystalline dan polycrystalline*. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Silaban, S., Damanik, T. N., & Rahmawaty. (2022). *Perancangan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 450 Watt*. Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP) 2022, Politeknik Negeri Medan.
- Wijayanto, D., Haryudo, S. I., Wrahatnolo, T., & Nurhayati. (2022). *Rancang Bangun Monitoring Arus Dan Tegangan Pada Plts Sistem On Grid Berbasis Internet Of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya.

