

**PENGEMBANGAN RANCANG BANGUN SOLAR MONITORING SYSTEM
BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)**

Ni Made Dwi Andayani¹, I Gede Aris Gunadi², Luh Putu Budi Yasmini³

^{1,2,3} Universitas Pendidikan Ganesha

¹madeandayani22@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to develop an online integrated monitoring system for photovoltaic (PV) or solar panels using Arduino, the Internet of Things (IoT), and the Blynk digital application. The developed system is used to collect data for further testing of measurable variables, including voltage, current, and power. This study employs a descriptive-associative research design with a three-predictor regression analysis method. The variables are classified into two categories: measured variables and research variables. The research sample consists of 70 time-series data points. The monitoring system was developed by integrating an ACS712 current sensor, a voltage sensor, and a DHT22 sensor with Arduino programming connected to a Wi-Fi module and NodeMCU, while the Blynk platform was used to display the monitoring results. The study began with the design of the software and hardware components, followed by system performance testing and hypothesis testing to determine the significance of and relationships among the research variables. To evaluate the feasibility of the developed system, sensor accuracy was analyzed using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) method. The test results demonstrated the measurement accuracy of the developed digital solar monitoring system compared with conventional manual measuring instruments. The MAPE values obtained for current and voltage were 9.9% and 2.2%, respectively. These error values met the testing requirements and were classified as having a very good level of accuracy.

Keywords: Photovoltaic, Semikonduktor, Internet Of Things (IoT).

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan photovoltaic atau panel surya dengan merancang alat yang terintegrasi secara online menggunakan arduino, Internet of Things serta aplikasi digital Blynk. Sistem yang dibangun digunakan sebagai alat pengambilan data terhadap uji lanjutan variable terukur berupa tegangan, arus dan daya. Penelitian ini memadukan jenis penelitian asosiatif deskriptif dengan analisis data regresi tiga prediktor yang terdiri atas dua jenis variabel yakni variabel terukur dan variabel penelitian. Sampel data pada penelitian ini bersifat time series sejumlah 70 data. Pengembangan sistem alat dilakukan dengan memadukan sensor arus (ACS712), sensor tegangan, sensor DHT22, dengan pengkodean arduino yang terkoneksi dengan modul Wi-Fi dan

NodeMCU serta platform Blynk sebagai penampilnya. Penelitian diawali dengan merancang komponen software dan hardware yang dilanjutkan dengan pengujian keberhasilan sistem serta uji hipotesis guna menentukan signifikansi dan hubungan antar variabel penelitian terkait. Sebagai penguji kelayakan sistem yang dikembangkan, dilakukan analisis akurasi sensor menggunakan Main Percentage Error atau MAPE. Hasil uji menunjukkan persentase akurasi pengukuran digital solar monitoring yang dikembangkan dengan alat ukur manual. Besar MAPE yang diperoleh pada variabel terukur arus dan tegangan secara berurutan yakni 9,9% dan 2,2%. Besaran hasil galat yang diperoleh memenuhi syarat uji dengan kualifikasi sangat baik..

Kata Kunci: Photovoltaic, Semikonduktor, Internet Of Things (IoT).

A. Pendahuluan (12 pt dan Bold)

Pesatnya perkembangan zaman yang diiringi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong terjadinya inovasi industri yang semakin massif sehingga berdampak terhadap timbulnya krisis energi. Urgensi krisis energi semakin serius seiring dengan adanya perubahan iklim global. Indonesia sebagai negara berpenduduk terbanyak ke-4 dunia, memiliki kebutuhan energi yang sebanding dengan peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya. Berdasarkan data Perusahaan Listrik Negara Indonesia (PLN), kebutuhan listrik nasional pada 2018 sebesar 232.296 terawatt-jam (TWh) dan akan mengalami peningkatan 5,1% setiap tahunnya, dimana sumber energi ini didominasi oleh batubara dan bahan bakar fosil sebesar 59,6%. (Afif & Martin, 2022)

Pemanfaatan energi matahari dengan photovoltaic menjadi salah satu sumber energi yang tidak berbahaya serta ramah lingkungan. Adapun energi listrik yang dihasilkan atau besar daya keluaran yang dihasilkan dari proses konversi cahaya matahari menjadi listrik ditentukan oleh beberapa kondisi lingkungan, yakni: intensitas cahaya, suhu, kelembapan udara, arah datangnya sinar matahari serta spektrum cahaya matahari. Kondisi lingkungan tempat dipasangnya photovoltaic sangat mempengaruhi daya keluaran photovoltaic yang sekaligus menjadi faktor eksternal sehingga terjadinya fluktuasi besaran yang dihasilkan.

Dalam meninjau kinerja photovoltaic, perlu dilakukan pengecekan atau monitoring terhadap kerja sistem yang dapat mengarah pada kerusakan, dan penurunan kinerja photovoltaic, dalam

hal ini dibutuhkan sebuah alat yang berfungsi untuk memonitor kinerja sistem yang dapat memberikan informasi spesifik terhadap kinerja photovoltaic. Beberapa penelitian telah membahas berbagai aplikasi sistem monitoring energi listrik terutama pada photovoltaic.(Muhammad, 2020). Dalam perkembangannya, sistem monitoring dirancang dapat dipantau secara lokal (Zahran et al. 2010). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sutedjo (2014), penggunaan web-scada digunakan untuk menyaring dan mengontrol kerangka kerja yang berfungsi untuk memonitor dan mengontrol sistem pembangkit hibrida surya–angin secara remote melalui jaringan internet. Asosiasi dengan jaringan web dilakukan melalui PC server dengan komunikasi antara sensor, remote terminal,dan PC server. Akantetapi, dalam penelitian tersebut masih memakai jaringan kabel menggunakan komunikasi serial dan Local Area Network. Sistem pemantauan menggunakan teknologi Wireless Sensor Network (WSN) (Pamungkas et al. 2015), serta sistem pemantauan atau monitoring menggunakan media telekomunikasi

yaitu dengan layanan SMS gateway (Fitriandi et al. 2016).

Internet of Things (IoT) adalah sebuah inovasi dimana suatu objek dapat dideteksi, diamati dan dikendalikan dari jarak jauh menggunakan penyimpanan data digital.(Winasis et al., 2016) Dengan menggunakan teknologi ini, perangkat dapat berkomunikasi tanpa membutuhkan banyak tenaga manusia, sehingga memudahkan dalam memantau kondisi system yang meliputi; tegangan, kuat arus dan daya melalui server aplikasi maupun website menggunakan internet.

Berdasarkan tinjauan masalah tersebut, pentingnya pengoptimalan pengembangan energi baru terbarukan (EBT) sebagai upaya konservasi energi terhadap energi konvensional saat ini, penulis melakukan pengembangan rancang bangun dan sistematika pemodelan sistem photovoltaic terintegrasi dengan perangkat mikrokontroler Arduino Uno berbasis data digital cloud storage pada aplikasi atau platform Blynk. Oleh karena itu, penulis terinspirasi untuk mengembangkan penelitian dengan judul “Pengembangan Rancang

Bangun *Solar Monitoring System Berbasis Internet Of Things (IoT)*"

B. Penelitian (Huruf 12 dan Ditebalkan)

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Alat dan Fungsinya

No	Nama	Fungsi
1.	Perangkat Laptop	Sebagai alat bantu dalam perancangan system
2.	<i>Toolkit Elektronika</i>	Sebagai alat bantu dan komponen skunder dalam perakitan sistem.
3.	<i>Software Proteus</i>	Membuat sketsa dan rancangan awal sistem.
4.	<i>Software Arduino IDE</i>	Sebagai <i>platform</i> pengkodean perintah sensor dan program pada Arduino Uno
5.	Aplikasi <i>Blynk</i>	sebagai <i>platform output system</i> penampil data hasil penelitian berbasis <i>cloud</i>
6.	Catu Daya	Sebagai sumber daya sistem.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Bahan dan Fungsinya

No	Nama	Fungsi
1.	Arduino Uno	Sebagai papan perintah atau mikrokontroler sistem yang dikembangkan.
2.	Sensor ACS712	Sebagai pengukur besaran arus yang akan dipantau.
3.	Sensor DHT22	Sebagai sensor pengukuran temperatur dan kelembapan atau humidity dipangsangnya photovoltaic.
4.	Sensor LDR	Sebagai sensor pengukuran besaran intensitas cahaya yangmana dinyatakansebagai besaran cuaca.
5.	ESP8266	Sebagai modul tambahan koneksi

		dengan jaringan Wi-Fi.
6.	PCB Bread Board	Berfungsi sebagai wadah untuk mengkoneksikan sistem.
7.	Kabel	Sebagai bahan skunder yang berfungsi sebagai penghubung antar komponen alat system
8.	Baut dan mur	Berfungsi sebagai pengait antar komponen dan badan sistem.
9.	Handphone atau laptop	Sebagai media sekaligus alat dalam penyusunan, penampil, serta pelaporan besaran terukur dalam penelitian.

Variabel penelitian adalah obyek penelitian yang difokuskan menjadi sumber bahasan atau hipotesis sebagai subjek dalam sebuah penelitian. Dalam penelitian adapun objek

penelitian atau variabel penelitiannya adalah data hasil pemantauan kinerja photovoltaic berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan platform Blynk yang meliputi tegangan, arus sebagai variabel bebas atau Independent variable. Sedangkan variabel sistem dari hasil pemantauan besaran tegangan dan arus pada photovoltaic, sebagai variabel terikat atau dependent variable. Berdasarkan variabel penelitian yang ditetapkan, selanjutnya dapat dilakukan analisis lanjutan dari hasil pengukuran besaran ketiga variabel tersebut. Adapun analisis dan uji lanjutan yang dilakukan adalah analisis regresi tiga predictor. Adapun perumusan variabel penelitiannya yakni sebagai berikut:

a) Variabel bebas (independent)

- X1 = Tegangan
- X2 = Arus
- X3 = Suhu atau Temperatur

b) Variabel terikat (dependent)

- Y = Daya Photovoltaic

Tahapan pengambilan data dilakukan setelah seluruh komponen rancangan sistem monitoring photovoltaic selesai dibuat. Pengambilan data dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap uji akurasi dan tahap pengambilan sampel. Pada tahap uji akurasi, pengambilan data

dilakukan sebanyak lima kali untuk mengetahui kelayakan alat yang telah dikembangkan. Data yang diperoleh pada tahap pertama selanjutnya dianalisis menggunakan metode ****Mean Absolute Percentage Error**** atau ****MAPE****. Adapun kriteria alat dinyatakan memenuhi syarat apabila nilai MAPE tidak lebih dari 50% (Elektro et al., n.d.; Stefanie & Suci, 2021).

Setelah uji akurasi dilakukan dan nilai yang diperoleh memenuhi persyaratan, tahap kedua berupa pengambilan data sampel dapat dilaksanakan. Pengambilan data dilakukan secara berkala atau ****time series**** selama tujuh hari berturut-turut, dengan pengukuran sebanyak sepuluh kali setiap hari. Waktu pengukuran atau pengambilan data dilakukan mulai pukul 09.00 WITA hingga 18.00 WITA. Pada tahap pemantauan atau pengambilan data kedua, jumlah keseluruhan data atau sampel **** (n) **** adalah sebanyak 70 data. Selanjutnya, data tersebut dianalisis berdasarkan variabel penelitian yang telah ditentukan menggunakan analisis deskriptif asosiatif dengan uji regresi tiga prediktor.

Pada penelitian ini digunakan teknik analisis data berupa ****regresi dengan tiga prediktor****. Analisis tersebut bertujuan untuk mengukur hubungan antara variabel terikat dan lebih dari dua variabel bebas atau prediktor. Adapun tahapan analisis data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik merupakan uji prasyarat yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis regresi agar metode statistik parametrik dapat diterapkan. Uji asumsi klasik dalam penelitian ini meliputi uji normalitas, uji linearitas dan keberartian arah regresi, uji multikolinearitas, uji autokorelasi, serta uji heteroskedastisitas. Penjelasan setiap pengujian adalah sebagai berikut.

a. Uji Normalitas

Menurut Nuryadi et al. (2017), uji normalitas merupakan prosedur yang digunakan untuk mengetahui apakah data penelitian berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

Dalam penelitian ini, uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pengukuran tegangan, arus, suhu atau temperatur, serta daya yang dihasilkan oleh photovoltaic telah berdistribusi normal. Distribusi normal merupakan distribusi yang berbentuk simetris, dengan nilai modus, rata-rata, dan median berada di bagian tengah distribusi.

Uji normalitas dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, seperti uji Lilliefors, Kolmogorov–Smirnov, Chi-Square, dan metode lainnya. Data penelitian dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi hasil pengujian lebih besar dari taraf signifikansi 0,05.

b. Uji Linearitas dan Keberartian Arah Regresi

Menurut Sugiyono dan Susanto (2015), uji linearitas digunakan untuk menguji hubungan linear antara variabel bebas atau prediktor dan variabel terikat atau kriterium.

Uji linearitas dalam penelitian ini dilakukan terhadap hubungan antara:

1. Tegangan ((X₁)) dan daya sistem ((Y));
2. Arus ((X₂)) dan daya sistem ((Y)); serta
3. Suhu atau temperatur pemasangan photovoltaic ((X₃)) dan daya sistem ((Y)).

Pengujian linearitas dapat dilakukan menggunakan statistik ****Test of Linearity****. Kriteria pengambilan keputusan dalam uji linearitas adalah sebagai berikut:

1. Apabila nilai signifikansi pada bagian ****Deviation from Linearity**** lebih besar dari 0,05, hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dinyatakan linear. Selain itu, nilai signifikansi pada bagian ****Linearity**** harus lebih kecil dari 0,05.
2. Apabila nilai signifikansi pada bagian ****Deviation from Linearity**** lebih kecil dari 0,05, hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dinyatakan tidak linear.

c. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan linear yang kuat atau sempurna di antara variabel-variabel

bebas dalam suatu model regresi (Ghozali, 2018). Ada atau tidaknya multikolinearitas dapat diketahui melalui nilai **tolerance** dan **Variance Inflation Factor (VIF)**. Pengujian dilakukan menggunakan analisis regresi pada perangkat lunak IBM SPSS Statistics 24 (Pertiwi, 2017).

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji multikolinearitas adalah sebagai berikut:

1. Apabila nilai *tolerance* lebih besar dari 0,10 dan nilai VIF lebih kecil dari 10, variabel bebas dinyatakan tidak mengalami multikolinearitas.
2. Apabila nilai *tolerance* lebih kecil dari 0,10 dan nilai VIF lebih besar dari 10, variabel bebas dinyatakan mengalami multikolinearitas.

d. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi antara kesalahan pengganggu pada suatu periode dan kesalahan pengganggu pada periode sebelumnya. Autokorelasi umumnya dapat terjadi pada data yang dikumpulkan secara berkala atau **time series**, karena nilai suatu pengamatan dapat dipengaruhi oleh nilai pengamatan sebelumnya.

Menurut Santoso (2018), uji autokorelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi antara kesalahan pengganggu pada periode (t) dan kesalahan pengganggu pada periode (t-1) dalam model regresi linear. Apabila terdapat autokorelasi, model regresi menjadi kurang tepat untuk digunakan dalam memperkirakan nilai variabel terikat berdasarkan variabel bebas.

Pengujian autokorelasi dapat dilakukan menggunakan uji **Durbin–Watson (D-W)**. Kriteria pengambilan keputusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Apabila nilai D-W berada di bawah -2, terdapat autokorelasi positif.
2. Apabila nilai D-W berada di antara -2 dan +2, tidak terdapat autokorelasi.
3. Apabila nilai D-W berada di atas +2, terdapat autokorelasi negatif.

e. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians residual pada setiap pengamatan memiliki nilai yang sama. Apabila varians residual dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya tetap, kondisi tersebut disebut **homoskedastisitas**. Sebaliknya, apabila varians residual

berbeda, kondisi tersebut disebut *heteroskedastisitas* (Situmorang dan Lufti dalam Wakhyuni & Andika, 2019).

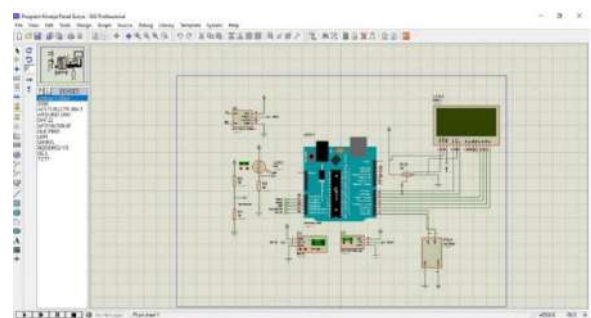
Model regresi yang baik adalah model yang memenuhi kondisi homoskedastisitas atau tidak mengalami heteroskedastisitas. Dalam penelitian ini, pengujian heteroskedastisitas dilakukan menggunakan uji Glejser. Uji Glejser dilakukan dengan meregresikan nilai absolut residual terhadap variabel independen (Ghozali, 2018).

Apabila nilai probabilitas signifikansi setiap variabel independen lebih besar dari taraf signifikansi 5% atau 0,05, dapat disimpulkan bahwa model regresi tidak mengalami heteroskedastisitas.

C. Hasil Penelitian

Rancangan sistem disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Proteus 8.0* untuk memvisualisasikan cara kerja sistem serta meminimalkan kesalahan pada tahap perakitan alat. Proses perancangan diawali dengan membuat proyek baru pada lembar kerja *ISIS*, kemudian menyusun skema rangkaian sistem. Komponen alat dan bahan dipilih melalui menu

Device dengan memasukkan nama komponen pada kolom pencarian. Setelah komponen yang diperlukan ditemukan, komponen tersebut ditambahkan ke dalam daftar perangkat dan ditempatkan pada area layout skematik. Selanjutnya, setiap komponen dirangkai dengan mengatur posisi dan menghubungkan kaki-kaki komponen menggunakan jalur penghubung sesuai dengan rancangan sistem. Arduino digunakan sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan seluruh proses kerja sistem. Adapun konfigurasi hubungan antara setiap kaki komponen dan pin Arduino ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Hasil Perancangan Hardware pada Aplikasi Proteus 8.0

Sensor arus ACS712 digunakan untuk mengukur besaran arus pada sistem pemantauan photovoltaic.

Sensor ini memiliki tiga pin, yaitu pin keluaran, ground, dan sumber tegangan. Pin keluaran sensor dihubungkan ke port analog ADC-2 atau A2 pada Arduino. Pin ground dihubungkan ke ground NodeMCU dan dipasang secara paralel dengan ground pada sensor lainnya, yaitu sensor DHT22, sensor tegangan, dan sensor LDR. Sementara itu, pin sumber tegangan dihubungkan secara paralel ke sumber daya atau port VIN pada NodeMCU bersama dengan pin sumber tegangan sensor lainnya.

Pada rangkaian tersebut, seluruh sensor menggunakan sumber tegangan dan ground bersama. Konfigurasi ini memungkinkan data hasil pengukuran setiap sensor dibaca oleh Arduino, kemudian dikirimkan ke aplikasi pemantauan melalui NodeMCU dan modul Wi-Fi dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT).

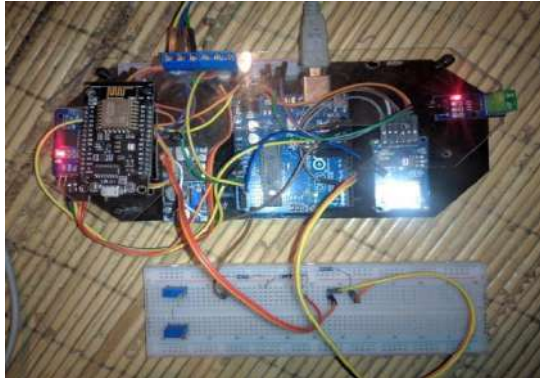
Pin keluaran sensor LDR dihubungkan ke port analog ADC-1 atau A1 pada Arduino, sedangkan pin keluaran sensor DHT22 dihubungkan ke port ADC-0 atau A0 sesuai dengan rancangan sistem. Komunikasi antara Arduino dan NodeMCU dilakukan

melalui komunikasi serial. Pin D0/RX pada Arduino dihubungkan ke pin TX pada NodeMCU, sedangkan pin D1/TX pada Arduino dihubungkan ke pin RX pada NodeMCU. Konfigurasi silang antara pin TX dan RX tersebut digunakan untuk mengirimkan data hasil pengukuran dari Arduino ke NodeMCU.

Arduino, NodeMCU, dan seluruh modul sensor selanjutnya dihubungkan dengan konverter serta catu daya pada sistem photovoltaic. Melalui rangkaian tersebut, besaran listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic dapat diukur, diproses, dan dikirimkan melalui koneksi internet. Data hasil pengukuran kemudian ditampilkan secara digital pada aplikasi Blynk sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara daring dan real-time.

Setelah perancangan perangkat keras menggunakan perangkat lunak *Proteus 8.0* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah perakitan seluruh komponen pada sistem yang dikembangkan. Proses perakitan dilakukan berdasarkan skema rangkaian yang telah dirancang dan disimulasikan sebelumnya. Adapun hasil perakitan alat pemantau kinerja

photovoltaic ditunjukkan pada gambar berikut.

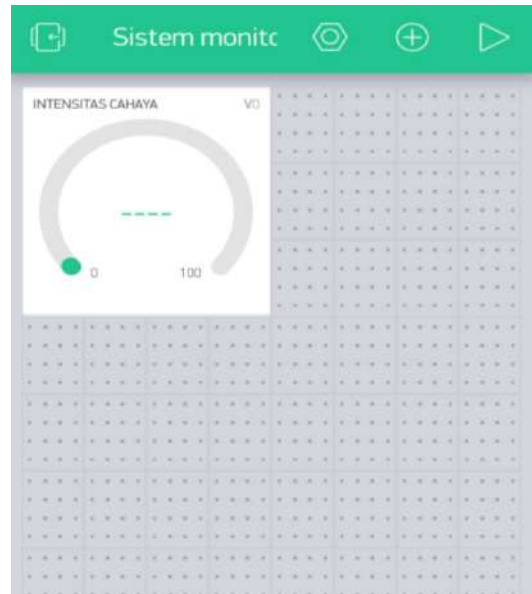


Gambar 4. 2 Hasil Perancangan Wadware Solar Monitoring Sistem dengan Komponen Arduino Uno

Alat pemantauan yang telah dirakit selanjutnya dihubungkan dengan konverter dan catu daya pada sistem data server photovoltaic. Setelah seluruh komponen terhubung dan sistem diaktifkan, alat dapat membaca berbagai parameter pengukuran, meliputi arus, tegangan, kelembapan, suhu, serta intensitas cahaya pada lingkungan photovoltaic. Data hasil pengukuran kemudian diproses dan ditampilkan melalui aplikasi Blynk sehingga proses pemantauan kinerja photovoltaic dapat dilakukan secara digital dan real-time.

Adapun hasil perancangan sistem pemantauan digital berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan platform *Blynk* yang

terintegrasi dengan perangkat Arduino untuk memantau kinerja photovoltaic ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 3 Hasil Perancangan Sofwarere Solar Monitoring Sistem dengan koneksi internet menggunakan IoT

Pemrograman sistem pemantauan photovoltaic dilakukan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program dikembangkan untuk mengatur proses pembacaan dan pengolahan data dari setiap sensor yang terintegrasi dalam sistem, meliputi sensor arus ACS712, sensor tegangan, sensor suhu dan kelembapan DHT22, serta sensor intensitas cahaya LDR.

Data hasil pembacaan sensor selanjutnya diproses oleh mikrokontroler Arduino dan dikirimkan melalui modul Wi-Fi ke platform Blynk. Dengan demikian, parameter kinerja photovoltaic dapat dipantau secara digital dan real-time melalui perangkat yang terhubung ke internet.

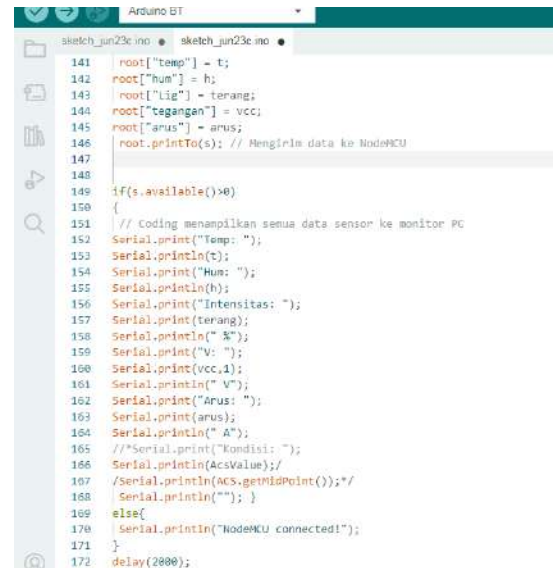


Gambar 4.4. Pengkodean dan Perintah Program pada Arduino IDE

Pada tahap ini, NodeMCU diprogram untuk menerima data hasil pembacaan sensor yang dikirimkan oleh Arduino dalam format *JSON*. Data tersebut selanjutnya diproses dan diteruskan ke platform *Blynk* melalui koneksi internet menggunakan modul Wi-Fi.

Pemrograman NodeMCU juga mencakup konfigurasi komunikasi dengan aplikasi Blynk menggunakan ****authentication token**** atau kode akses yang diperoleh setelah pengguna melakukan pendaftaran dan membuat akun pada platform Blynk. Kode akses tersebut digunakan untuk menghubungkan perangkat

NodeMCU dengan proyek pemantauan pada aplikasi Blynk sehingga data hasil pengukuran dapat dikirimkan dan ditampilkan secara digital serta real-time.



Gambar 4. 5 Pengkodean dan Perintah Koneksi program NodeMCU

Dalam proses pengukuran, terdapat perbedaan antara hasil pembacaan sensor pada platform digital Blynk dan hasil pengukuran manual menggunakan multimeter. Berdasarkan data pengukuran pada Tabel 4.1, hasil pembacaan kedua instrumen menunjukkan nilai yang relatif sama. Rata-rata selisih pengukuran yang diperoleh adalah sebesar 0,28 A untuk variabel arus dan 0,78 V untuk variabel tegangan.

Selanjutnya, tingkat galat (error) pada sistem dianalisis menggunakan metode Mean Absolute Percentage

Error (MAPE). Adapun perhitungan nilai galat sistem berdasarkan metode MAPE adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Nilai Bantu
Perhitungan MAPE Besaran Arus

Dat a Akt ual Yt	Peram alan y'	Erro r Yt - y'	MAD Yt - y'	MSE Yt - y' ²	MAPE Yt - y' /Yt
2.60	2.30	0.30	0.30	0.09	0.115
2.50	2.30	0.20	0.20	0.04	0.080
2.70	2.40	0.30	0.30	0.09	0.111
2.60	2.30	0.30	0.30	0.09	0.115
2.60	2.40	0.20	0.20	0.04	0.077
1.30	11.7	1.30	1.30	1.69	0.499

Arus

MAPE =

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Y_t - y'|}{Y_t} \times 100\%$$

$$= \frac{1}{5} \sum_{t=1}^5 0,499 \times 100\%$$

$$= 0.0998 \times 100\%$$

$$= 9.9 \%$$

Data hasil pemantauan meliputi tegangan, arus, daya, suhu atau temperatur lingkungan, kelembapan (humidity), serta kondisi cuaca di lokasi penelitian. Pengambilan data dilakukan selama tujuh hari menggunakan sistem pemantauan

berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan platform Blynk.

Data hasil pengamatan selanjutnya digunakan untuk menganalisis kinerja photovoltaic (PV) melalui pendekatan penelitian kuantitatif asosiatif dengan analisis regresi tiga prediktor. Kondisi cuaca ditentukan berdasarkan persentase intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor Light Dependent Resistor (LDR). Adapun klasifikasi hasil pembacaan sensor LDR adalah sebagai berikut:

1–20% = Gelap atau malam hari

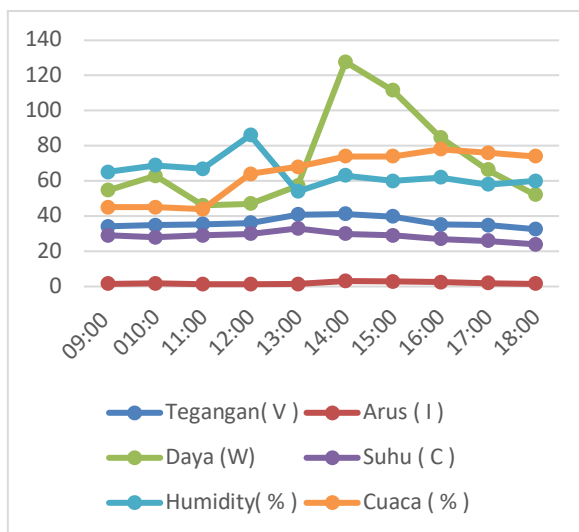
21–50% = Hujan atau mendung

51–75% = Berawan

76–100% = Cerah

Klasifikasi tersebut digunakan sebagai indikator kondisi pencahayaan dan cuaca selama proses pemantauan kinerja photovoltaic.

Berdasarkan data tabel 4.4, pada hari pertama pengukuran, nilai rata-rata tegangan 36,55 dV, arus 1,92 dA, daya 71,04 watt, suhu 28,5°C, kelembaban 64,4%, dan cuaca 64,2%. Adapun grafik variabel data terukur disajikan dalam gambar grafik berikut:



Gambar 4. 4 Grafik pengukuran data variable terukur pada hari

Berdasarkan Gambar 4.19, nilai tegangan tertinggi terjadi pada pukul 14.00 WITA, sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada pukul 18.00 WITA. Nilai arus tertinggi juga terjadi pada pukul 14.00 WITA, sementara nilai arus terendah terjadi pada pukul 12.00 WITA. Dengan demikian, daya tertinggi yang dihasilkan oleh photovoltaic (PV) terjadi pada pukul 14.00 WITA,

sedangkan daya terendah terjadi pada pukul 10.00 WITA.

D.Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pemantauan kinerja photovoltaic berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan platform Blynk mampu menampilkan data pengukuran secara real time dengan tingkat akurasi yang sangat baik. Hasil perbandingan antara pembacaan sensor dan alat ukur manual menunjukkan rata-rata selisih sebesar 0,28 A pada pengukuran arus dan 0,78 V pada pengukuran tegangan. Berdasarkan perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), diperoleh nilai galat sebesar 9,9% untuk sensor arus dan 2,2% untuk sensor tegangan. Kedua nilai tersebut berada di bawah 10%, sehingga sensor termasuk dalam kategori sangat baik dan sistem dinilai layak digunakan untuk pemantauan serta pengembangan penelitian selanjutnya.

Hasil pemantauan selama tujuh hari menunjukkan nilai rata-rata tegangan sebesar 24,83 V, arus sebesar 1,72 A, daya sebesar 60,68 W, suhu sebesar 20,09 °C,

kelembapan sebesar 52,62%, dan kondisi cuaca sebesar 48,58%. Tegangan tertinggi tercatat sebesar 37,31 V pada hari ketujuh, sedangkan tegangan terendah sebesar 31,52 V terjadi pada hari kedua. Arus tertinggi sebesar 2,95 A terjadi pada hari kedua, sementara arus terendah sebesar 1,92 A terjadi pada hari pertama. Daya keluaran tertinggi tercatat sebesar 94,692 W pada hari ketujuh dan daya terendah sebesar 71,036 W pada hari pertama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai tegangan dan arus berkaitan dengan perubahan daya keluaran yang dihasilkan oleh sistem photovoltaic.

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda, variabel tegangan (X_1) memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,382, sehingga secara parsial tidak berpengaruh signifikan terhadap daya keluaran photovoltaic. Variabel arus (X_2) memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 dan variabel suhu atau temperatur (X_3) memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,013. Kedua nilai tersebut lebih kecil dari 0,05, sehingga arus dan suhu secara parsial berpengaruh signifikan terhadap daya

keluaran photovoltaic. Sementara itu, hasil uji simultan memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000, yang menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan suhu secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap daya keluaran photovoltaic.

Nilai koefisien determinasi atau R Square sebesar 0,868 menunjukkan bahwa variabel tegangan, arus, dan suhu mampu menjelaskan variasi daya keluaran photovoltaic sebesar 86,8%, sedangkan sisanya sebesar 13,2% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dianalisis dalam penelitian ini, seperti intensitas radiasi matahari, sudut kemiringan panel, kondisi permukaan panel, efisiensi komponen, serta kondisi lingkungan lainnya.

Persamaan regresi yang diperoleh adalah:

$$Y = -41,269 + 0,026X_1 + 32,392X_2 + 1,636X_3$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan tegangan, dengan variabel lainnya dianggap konstan, diperkirakan meningkatkan daya

sebesar 0,026 W. Setiap kenaikan arus sebesar satu ampere diperkirakan meningkatkan daya sebesar 32,392 W, sedangkan setiap kenaikan suhu sebesar satu derajat Celsius diperkirakan meningkatkan daya sebesar 1,636 W.

Adanya perbedaan antara teori fisika dan hasil pengujian statistik diduga disebabkan oleh autokorelasi pada data pemantauan. Data yang diperoleh secara berurutan berdasarkan waktu memiliki keterkaitan antara satu pengamatan dan pengamatan berikutnya. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh proses kerja controller pada sistem photovoltaic serta perubahan kondisi lingkungan selama proses pengukuran. Oleh karena itu, analisis dilakukan menggunakan data residual untuk mengurangi pengaruh autokorelasi. Secara keseluruhan, sistem pemantauan berbasis IoT menggunakan platform Blynk telah mampu bekerja dengan baik, memiliki tingkat akurasi yang memadai, dan dapat digunakan untuk memantau kinerja serta daya keluaran sistem photovoltaic.

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal Ilmiah:

- Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(1), 43. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i1.997>
- Anandkumar, M. K., Vinoth, H. R., Nanthini, K. S., & Anandkumar, M. (2022). Maintaining the efficiency of solar panels using IoT. *International journal of health sciences*, 6(April), 10337–10344. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns3.9426>
- Arduino, M., & Dan, U. N. O. (2019). Rancang bangun alat pengukur temperatur dan kelembapan ruangan berbasis mikrokontroler arduino uno dan android.
- Bangun, R., Monitoring, S., Listrik, D., & Uno, A. (2020). SKRIPSI Oleh : CINDY FEBRIANTIKA RAHAYU.
- Bimrew Sendekie Belay. (2022). No Title הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העינים. 2005–2003, 8.5.2017, הארץ.
- Elektro, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, D. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). PERAMALAN DAYA LISTRIK JANGKA PENDEK PADA SMART GRID PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN METODE AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA) DENGAN PENGARUH SENSOR SUHU PADA MODE HYBRID Ilham Amarulloh Unit Three Kartini , Subuh Isnur Haryudo , Widi Aribowo. 769–781.
- Fauzy, F., Elektro, D. T., Hasanuddin, U., Areni, I. S., Elektro, D. T.,

- Hasanuddin, U., Gunadin, I. C., Elektro, D. T., & Hasanuddin, U. (2022). Rancang Bangun Alat Telemetry Parameter. 1(1), 14–21.
- Gopal, M., Chandra Prakash, T., Venkata Ramakrishna, N., & Yadav, B. P. (2020). IoT Based Solar Power Monitoring System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032037>
- Gumintang, M., Sofyan, M., & Sulaeman, I. (2020). Design and Control of PV Hybrid System in Practice. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 1–122. www.giz.de
- Muhammad, E. A. R. (2020). SISTEM MONITORING KINERJA PANEL SURYA BERBASIS IoT MENGGUNAKAN ARDUINO UNO PADA PLTS PEMATANG JOHAR. Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201, 2(1), 41–49.
- Panels, S., Predictive, S., Diagnosis, P. F., & Sensors, U. L. (2022). Using Low-Cost Sensors.
- Pulungan, A. B., & Delfitra, M. (2022). Sistem Monitoring Real Time Pada Solar Panel Park. JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), 8(1), 137. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i1.116821>
- Rumbayan, M., Pundoko, I., Ruindungan, D., & Panjaitan, N. V. (2022). Development of internet of things-based monitoring system for application solar energy technology in Bunaken island. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1041(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012023>
- STEFANIE, A., & SUCI, F. C. (2021). Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 9(4), 761. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i4.761>
- Widyawati Putri, S., Marausna, G., & Eko Prasetyo, E. (2022). Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya. Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine, 8(1), 29–37. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i1.442>
- Winasis, W., Nugraha, A. W. W., Rosyadi, I., & Nugroho, F. S. T. (2016). Desain Sistem Monitoring Sistem Photovoltaic Berbasis Internet of Things (IoT). Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), 5(4), 328–333. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v5i4.281>