

PROTOTYPE SISTEM MONITORING MINI SOLAR PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DAN *AUGMENTED REALITY* (AR)

Yardan Akbar Waliudin¹, Muhammad Hafiz^{1*}

¹Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Indonesia

*E-mail: btmhafiz@gmail.com

ABSTRAK

Energi memegang peran penting dalam perkembangan teknologi, terutama energi terbarukan seperti solar PV yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber listrik melalui teknologi solar cell. Kinerja solar PV sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, dan kelembapan udara. Sejalan dengan kemajuan teknologi dan *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring yang dirancang mengintegrasikan IoT dengan teknologi *Augmented Reality* (AR), memungkinkan penghubungan antara dunia nyata dan digital. Penggunaan IoT dan AR ini memudahkan pemantauan dan analisis kinerja solar PV dari jarak jauh. Penelitian ini menggunakan sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus pada solar PV, serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan. Hasil pengukuran dibandingkan dengan alat standar seperti DC clamp, termometer, dan AMF05, tingkat error rata-rata tegangan sebesar 0.0130%, tingkat error rata – rata arus sebesar 0.077%, tingkat error rata – rata temperature sebesar 0.131%, tingkat error rata – rata kelembapan sebesar 0.331%. Untuk menganalisis kesesuaian data antara sistem monitoring dan alat ukur standar, digunakan metode *Mean Squared Error* (MSE), dengan rata-rata MSE untuk pengukuran tegangan, arus, suhu, dan kelembapan kurang dari 0,5. Hasil ini menunjukkan kesesuaian data yang baik, di mana MSE kurang dari atau sama dengan 0 (≤ 0). Dengan demikian, sistem monitoring ini akurat dan sesuai untuk memantau kinerja solar PV secara efisien.

Kata kunci : *Monitoring, Internet Of Things, Augmented Reality, Energi matahari, Solar cell*

1. PENDAHULUAN

Matahari adalah sumber energi baru terbarukan yang sangat ramah terhadap lingkungan dan juga efektif. Dengan sumber energi matahari lingkungan tidak menyebabkan polusi berlebih sehingga bisa dikategorikan energi baru terbarukan yang bersih dan juga termasuk energi potensial, terutama di Indonesia yang termasuk kedalam negara tropis dengan hanya memiliki 2 iklim saja yaitu iklim panas dan iklim hujan. Rerata daerah di Indonesia adalah kepulauan yang mana dikelilingi oleh lautan dan memiliki curah hujan yang rendah dengan potensi panas matahari yang maksimal. Dewasa ini sektor energi mengalami kemunduran yang mana sumber energi fosil menipis dan kesadaran manusia akan dampak negatif bahan bakar fosil meningkat. Dunia beralih ke energi baru terbarukan dan mengurangi emisi karbon. Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional harus dikembangkan berbagai energi alternatif termasuk energi terbarukan, salah satunya adalah memanfaatkan radiasi matahari [1]. Sinar radiasi matahari tersebut dapat diolah menjadi listrik menggunakan sel surya atau photovoltaic array (PV). Rubahan sinar radiasi menjadi energi tersebut seringkali tidak sesuai dengan energi yang seharusnya dihasilkan oleh PV, dikarenakan beberapa faktor mulai dari nilai radiasi, intensitas cahaya matahari, suhu, sudut dan arah datangnya sinar matahari [2].

Efisiensi dan kinerja yang optimal dari sistem PV ini diperlukan pemantauan dan analisis untuk produksi energi, mulai dari pemantauan lingkungan sekitarnya hingga pemantauan sistem radiasi matahari itu sendiri [3]. Pemantauan atau *monitoring* parameter panel surya dilakukan pada saat beroperasi dan dilakukan secara realtime [4]. Beberapa penelitian

sebelumnya, *monitoring* dilakukan secara manual dengan menggunakan alat ukur multimeter sehingga pemantauan dilakukan langsung ditempat dan memerlukan waktu yang lebih banyak dengan data yang dihasilkan terbatas tidak dalam skala besar [5]. *Monitoring* kinerja sistem PV secara otomatis ini menggunakan Internet of Things untuk memantau parameternya secara realtime dan tidak harus berada ditempat sehingga pemantauan dapat dilakukan secara online dan data dihasilkan bisa dalam skala besar [6].

Pada penelitian “Prototype Sistem Monitoring Mini Solar Photovoltaic Menggunakan ESP32 berbasis Internet of Things dan Augmented Reality” ini dirancangan agar sistem pemantauan pada solar PV dapat dilihat secara realtime dan bisa diakses secara online menggunakan teknologi *Internet Of Things* bernama firebase sebagai pusat penyimpanan data atau *database* yang kemudian akan diintegrasikan dengan teknologi *Augmented Reality* sebagai *user friendly* atau memberikan kemudahan kepada operator dalam menganalisis atau memantau sistem kerja solar PV [7]. Tampilan data akan ditampilkan pada *user interface Augmented reality* yang sebelumnya operator atau pengguna harus men terlebih dahulu kedalam *user interface*. Penampilan data akan berupa angka presentasi dari beberapa parameter yaitu ; tegangan, arus, daya, temperature, dan kelembapan. Sistem ini dapat mempermudah *monitoring* parameter panel surya secara *realtime* dengan skala besar menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) [8]-[10] yang termasuk didalamnya penggunaan IoT dengan smartphone [11].

2. METODE

Studi literatur penulis pada penelitian ini adalah mengacu pada jurnal ilmiah, buku, e-book serta penelitian – penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu yang sesuai dengan judul jurnal ini. Parameter uji yang akan penulis gunakan adalah membandingkan data nilai pengukuran realtime secara online data *spreadsheet* dari ESP32 yang diintegrasikan dengan *Augmented Reality* dengan data pengukuran menggunakan alat ukur standar multimeter (tegangan), DC Clamp meter (Arus), termometer, dan alat ukur kelembapan AMF05.

A. Spesifikasi komponen

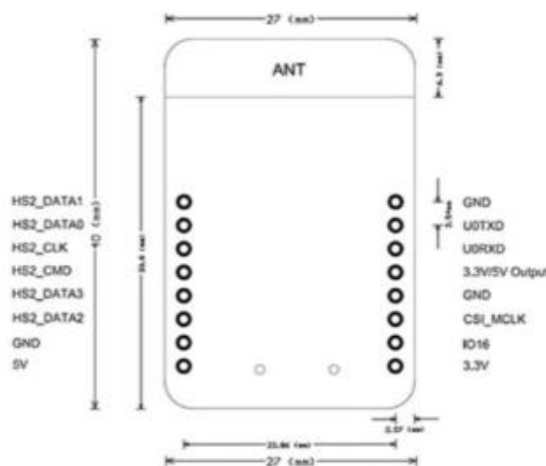
Berikut adalah spesifikasi komponen atau alat yang diperlukan :

A.1 Mini solar PV Photovoltaic (Sel surya)

Sel surya merupakan alat yang berbahan semikonduktor yang terdiri dari dioda pertemuan p-n, yang memberikan efek fotovoltaiik yaitu pengubahan sinar matahari dan menghasilkan energi listrik.[6] Berikut adalah spesifikasi dari *mini solar PV photovoltaic* : Tegangan optimal (V_{mp}) 5.5 V, Arus Optimal (I_{mp}) 250mA, Dimensi 12 x 7 cm , Berat inti 26 gram, Material Steel, Efisiensi 1.64%.

A.2 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan chip mikrokontroler dalam satu chip yang terintegrasi (*System on Chip/SOC*). Chip ini dilengkapi dengan fitur WiFi 902.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, serta berbagai *peripheral*. Seperti pada gambar 1, ESP32 sangat lengkap karena mencakup prosessor, penyimpanan data, dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 memiliki 30 GPIO dengan dua pin GND.



Gambar 1. Rangkaian pin ESP32

A.3 Sensor DHT11

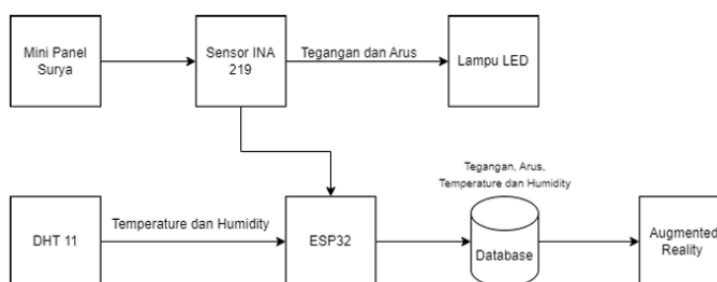
Sensor DHT11 adalah sensor suhu dan kelembapan yang menghasilkan output digital terkalibrasi. Sensor ini menggunakan sensor kelembapan kapasitif dan termistor untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif di sekitarnya. Sensor DHT11 ini memiliki tiga pin yang digunakan untuk koneksi yaitu; VCC (untuk daya), data (untuk mentransmisikan data digital), dan GND (ground). Berikut adalah spesifikasi sensor DHT11 : Tegangan *input* : 3,5 – 5 VDC, Sistem komunikasi : *serial (single-wire two way)*, *Range* suhu : 0⁰C – 50⁰C, *Range* kelembapan : 20% – 90% RH, Akurasi : ±2⁰C (temperature) ±5% RH (humidity)

A.4 Sensor INA219

Sensor INA219 adalah sebuah modul sensor yang memungkinkan pengguna untuk mengukur arus, tegangan, dan daya dalam suatu rangkaian listrik. Sensor ini mengukur tegangan jatuh melintasi resistor 0.1 ohm pada PCB. Modul ini terhubung melalui antarmuka I2C atau SMBUS. Spesifikasi sensor INA219 : Tegangan *input* VCC : 3-5 VDC, *Range* pengukuran tegangan : 0 – 26 VDC, *Max current*/arus : 3.2A, Dimensi : 25mm x 22mm

B. Perancangan penelitian

Untuk merancang penelitian ini agar lebih efisien dalam melakukan monitoring photovoltaic berbasis *Internet of Things* dan *Augmented Reality* ini diperlukan sistem terintegrasi dengan komponen-komponen seperti mini solar pv *photovoltaic* 5.5V 1 Watt, Mikrokontroler ESP32, Sensor DHT11, Sensor INA219, LED 2.40V/20mA, Multimeter Digital, Kabel AWG18, Timah, Solder, Lem bakar, Panel box plastik, Handphone Android, Laptop, dan juga komponen pelengkap lain yang dibutuhkan ketika perangkaian perangkat elektronika. Blok diagram sistem perangkat prototype ini seperti ditunjukkan pada gambar 2, dengan otak kontrol dan juga transmisi data menggunakan mikrokontroler ESP32.



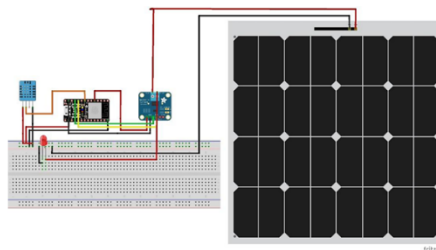
Gambar 2. Blok diagram sistem perangkat prototype

Mikrokontroler ESP32 merupakan kendali utama dari keseluruhan sistem perangkat yang akan dirancang. ESP32 digunakan untuk mengendalikan mulai dari input sensor atau *sensing element*, transmisi data menuju database, sampai kepada output sistem perangkat yaitu *augmented reality*. Transmisi data dari ESP32 menuju ke database menggunakan modul Wifi yang telah tertanam dari ESP32 sendiri dengan komunikasi antar data secara *wireless* menggunakan jaringan internet, sehingga antara ESP32 dan *database* saling terhubung. Untuk database yang digunakan pada sistem perangkat ini adalah website firebase yang berperan juga sebagai platform Internet of Things untuk menampilkan data variabel dan parameter yang diukur pada *mini solar pv photovoltaic*. Data diperoleh dari pengukuran sensor atau *sensing element* yang kemudian dikendalikan oleh ESP32 menjadi besaran yang diinginkan untuk ditampilkan sebagai pembacaan pada website firebase atau database yang digunakan. Data yang ditampung pada database akan dieksekusi lebih lanjut menggunakan teknologi *augmented reality* sebagai output dari sistem proses untuk ditampilkan kepada pengguna atau *user*. Augmented reality dirancang menggunakan *Unity* yang kemudian akan menampilkan kode *barcode*, kode *barcode* tersebut ketika di-*scan* menggunakan Camera AR maka akan menampilkan *user interface* (UI) sesuai dengan variabel atau parameter yang diukur.

Keluaran dari *mini solar PV photovoltaic* adalah arus DC yang akan dialirkan pada beban yaitu lampu LED sebagai indikator bahwa *mini solar photovoltaic* bekerja, setiap keluaran tegangan dan arus akan diukur oleh sensor INA219 dan datanya akan diinput kepada ESP32.

C. Perancangan Perangkat keras (*Hardware*)

Setelah melakukan perancangan penelitian juga mengetahui parameter-parameter yang akan diuji, penulis melakukan perancangan hardware mulai dari wiring komponen-komponen elektronika yang akan menjadi base dari sistem perangkat seperti sensor yang akan diintegrasikan dengan ESP32 dan penempatan komponen pada panel box.



Gambar 3. Skema wiring

Seperti pada gambar 3, komponen utama pada sistem perangkat untuk monitoring *mini solar PV Photovoltaic* seperti tegangan, arus, daya, dan temperature terdapat beberapa komponen seperti :

1. *Mini solar PV photovoltaic*
2. Sensor DHT 11
3. Sensor INA 219 DC Current Sensor
4. LED

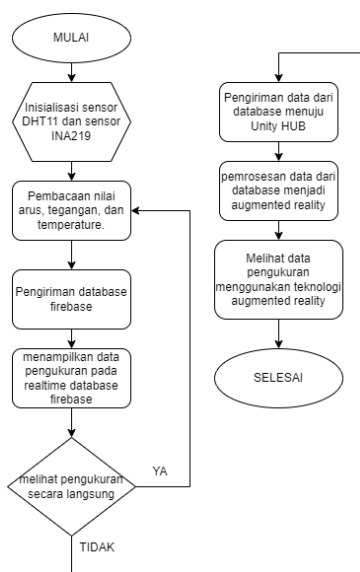
Mini solar PV Photovoltaic akan memberikan tegangan dan arus yang akan dialirkan kepada beban (*load*) yaitu lampu LED yang nantinya akan dibaca oleh sensor INA219, sensor DHT11 akan memberikan pembacaan suhu lingkungan sekitar (*Ambient temperature*). Untuk semua pembacaan komponen ini akan dikirimkan oleh ESP32 dan dikirimkan melalui database yaitu *firebase* untuk pembacaan dan penyimpanan data kemudian data nantinya akan dibaca oleh program *unity HUB* sebagai representasi dari sistem augmented reality.

D. Perancangan perangkat lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak ini bertujuan untuk mengonversi data sensor menjadi parameter seperti tegangan, arus, daya, dan suhu, dengan mengadopsi konsep *Internet of Things* (IoT) dan *augmented reality* (AR). Data dari sensor dikirim melalui internet ke *Firebase* untuk distribusi dan pemantauan online, kemudian divisualisasikan menggunakan AR melalui *Unity HUB*. *Software* yang digunakan mencakup *Arduino IDE 2.3.2* untuk pemrograman dan antarmuka dengan *ESP32*, *Firebase* untuk distribusi data dan monitoring variabel-variabel yang diukur, serta *Unity HUB* untuk pengembangan dan tampilan visual *augmented reality*.

E. Flowchart

Sistem kerja perangkat keras dan perangkat lunak agar bisa menampilkan data pembacaan pengukuran variabel yang diukur secara online maupun pembacaan menggunakan teknologi *augmented reality* digambarkan pada diagram alir atau *flowchart* pada gambar 4 berikut.



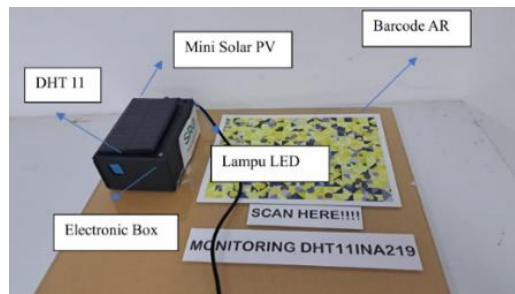
Gambar 4. Flowchart sistem kerja perangkat

3. PEMBAHASAN

Pengujian hasil penelitian dilakukan dengan membandingkan monitoring atau pemantauan realtime secara online yang diintegrasikan dengan *augmented reality* dengan menggunakan teknologi spreadsheet dari *ESP32* untuk pengambilan data dengan range waktu 1 jam dibawah sinar matahari pada waktu radiasi sinar matahari maksimal yaitu 12.30 WIB sampai 13.30 WIB dengan interval waktu 5 menit. Data dari pemantauan atau *monitoring* diambil dan dibandingkan dengan menggunakan data pengukuran alat ukur standar yaitu multimeter (tegangan), DC Clampmeter (Arus), Termometer (Temperature), dan alat ukur kelembapan AMF05 [14].

A. Implementasi perancangan

Dari perancangan dari metode yang dijabarkan sebelumnya mulai dari perancangan penelitian, perancangan perangkat keras, hingga perancangan perangkat lunak dilakukan perakitan komponen dan konfigurasi perangkat lunak yang sesuai dengan *flowchart* yang telah dijabarkan dan data yang didapat sesuai.



Gambar 5. Prototype perangkat



Gambar 6. Monitoring data menggunakan AR (Camera Processing)

Seperti percobaan pada gambar 5 dan gambar 6. *Mini solar photovoltaic* diletakkan dibawah sinar radiasi matahari untuk menerima radiasi yang kemudian dirubah menjadi energi listrik kemudian energi listrik yang terbentuk dihubungkan dengan beban (*load*) berupa lampu LED yang kemudian tegangan dan arus yang disalurkan ke beban diukur menggunakan sensor INA219 yang terletak didalam panel box dan data pengukuran diintegrasikan melalui ESP32 menuju database untuk kemudian diintegrasikan menjadi *augmented reality* (AR). Begitu juga dengan data temperature dan kelembapan dari sensor DHT11 diambil dan diintegrasikan ke ESP32 menuju database untuk dikirim dan diproses menjadi AR.

B. Pengujian dan pengambilan data

Pengujian prototipe monitoring mini solar photovoltaic berbasis IoT dengan menggunakan *augmented reality* (AR) ini dilaksanakan di depan halaman laboratorium instrumentasi dan laboratorium energi tepatnya disebelah masjid kampus Politeknik Energi dan Mineral Akamigas yang dilakukan selama 1 jam, mulai dari jam 12.30 hingga 13.00 WIB. Data diambil dengan menggunakan teknologi *spreadsheet* dari ESP32 dengan interval 5 menit. Pengujian alat ditampilkan pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Pengujian alat



Gambar 8. Pengambilan gambar dari camera processing AR

Berdasarkan pada data tabel 3, didapat hasil pengujian dengan range waktu selama 1 jam mulai dari 12.30 hingga 13.30 WIB dengan nilai rata rata volt (tegangan) yaitu, 3,964 C, Arus sebesar 2,311 A, Temperature sebesar 56.093⁰C, dan kelembapan (*Humidity*) sebesar 33,8 %. Rata rata didapat dengan melakukan perhitungan *average* (rata - rata) :

$$Average (Rata - rata) = \frac{Jumlah\ nilai}{banyak\ data} \tag{1}$$

Tabel 3. Hasil pengujian menggunakan spreadsheet ESP32

Waktu (WIB)	Volt (V)	Arus (A)	Temperature (deg C)	Humidity (%)
12.30	3.78	1.9	55.6	32
12.35	3.70	1.9	55.2	32.4
12.40	3.66	1.8	54.7	32.8
12.45	3.68	1.8	55.1	33
12.50	3.80	2	55.4	33.4
12.55	3.81	2	55.5	33.6
13.00	3.92	2.1	55.7	33.8
13.05	4.09	2.3	55.8	34
13.10	4.28	2.4	58.1	34.2
13.15	4.27	2.4	57.4	34.6
13.20	4.26	2.4	57.4	34.9
13.25	4.21	2.4	57.1	35.1
13.30	4.08	2.3	56.2	35.6
Rata - rata	3.964	2.311	56.093	33.8

Setelah mendapat nilai data dari pengukuran sensor INA219 dan diproses oleh ESP32 dengan pembacaan menggunakan teknologi *Augmented Reality* pada *camera processing* dilakukan perbandingan untuk nilai pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat standar atau referensi yaitu multimeter, DC clamp meter, thermometer, dan alat ukur kelembapan AMF05.

Tabel 4. Perbandingan tegangan

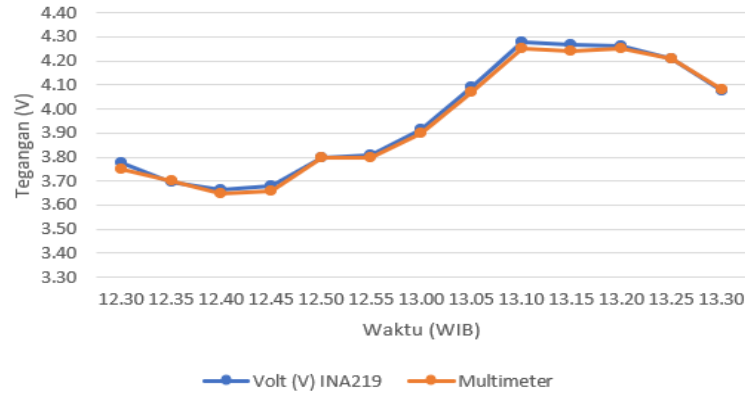
Waktu (WIB)	Tegangan (V) Sensor INA 219	Tegangan Multimeter (V)	Error	MSE
12.30	3.78	3.75	0.03	0.0130
12.35	3.70	3.7	0.00	
12.40	3.66	3.65	0.01	
12.45	3.68	3.66	0.02	

12.50	3.80	3.8	0.00
12.55	3.81	3.8	0.01
13.00	3.92	3.9	0.02
13.05	4.09	4.07	0.02
13.10	4.28	4.25	0.03
13.15	4.27	4.24	0.03
13.20	4.26	4.25	0.01
13.25	4.21	4.21	0.00
13.30	4.08	4.08	0.00
Rata - rata	3.964	3.951	0.013

Pada tabel 4 hasil pengujian perbandingan tegangan menunjukkan sensor INA219 dan alat ukur standar multimeter tidak memiliki banyak perbedaan ketika pembacaan dengan rata rata pembacaan sensor INA219 sebesar 3.964 Volt, rata – rata pembacaan alat ukur multimeter 3.951 Volt, dengan rata rata error sebesar 0.013% dan nilai MSE yang didapat adalah 0.0130 Nilai MSE menunjukkan bahwa perbandingan menunjukkan relasi yang kuat sehingga data sesuai. Sesuai dengan gambar 9 antara sensor INA219 dan multimeter memiliki korelasi kuat.

Pengujian perbandingan data akan menggunakan metode MSE (*Mean Square Error*) sebagai bentuk analisis kesesuaian data pengukuran IoT dengan data pengukuran standar atau referensi. Nilai pengukuran MSE akan menunjukkan kesesuaian data perbandingan, jika nilai MSE kurang dari atau sama dengan 0 maka data dinilai sesuai.

$$MSE = \frac{\sum(\text{data pengukuran} - \text{data referensi})}{\text{banyak data } (n)} \tag{4}$$



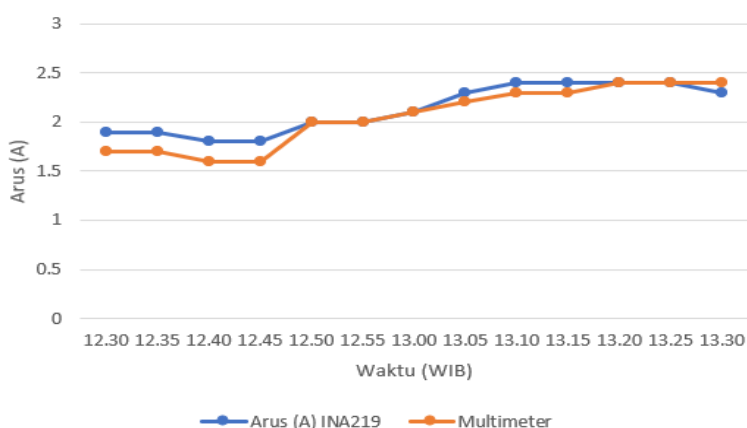
Gambar 9. Grafik Tegangan

Tabel 5. Perbandingan arus

Waktu (WIB)	Arus (A) Sensor INA219	Arus DC Clamp (A)	Error	MSE
12.30	1.9	1.7	0.20	0.077
12.35	1.9	1.7	0.20	
12.40	1.8	1.6	0.20	
12.45	1.8	1.6	0.20	
12.50	2	2	0.00	
12.55	2	2	0.00	
13.00	2.1	2.1	0.00	

13.05	2.3	2.2	0.10
13.10	2.4	2.3	0.10
13.15	2.4	2.3	0.10
13.20	2.4	2.4	0.00
13.25	2.4	2.4	0.00
13.30	2.3	2.4	0.10
Rata - rata	2.131	2.054	0.077

Pada tabel 5 hasil pengujian perbandingan arus menunjukkan sensor INA219 dan alat ukur standar DC *Clamp meter* tidak memiliki banyak perbedaan sama seperti perbandingan tegangan diatas dengan rata rata sensor INA219 sebesar 2.131 A, rata – rata pembacaan alat ukur multimeter 2.054 A, rata – rata error sebesar 0.077% dan nilai MSE 0.077. bisa dilihat pada gambar 10, untuk grafik pengukuran arus antara sensor INA219 dan multimeter memiliki korelasi kuat.



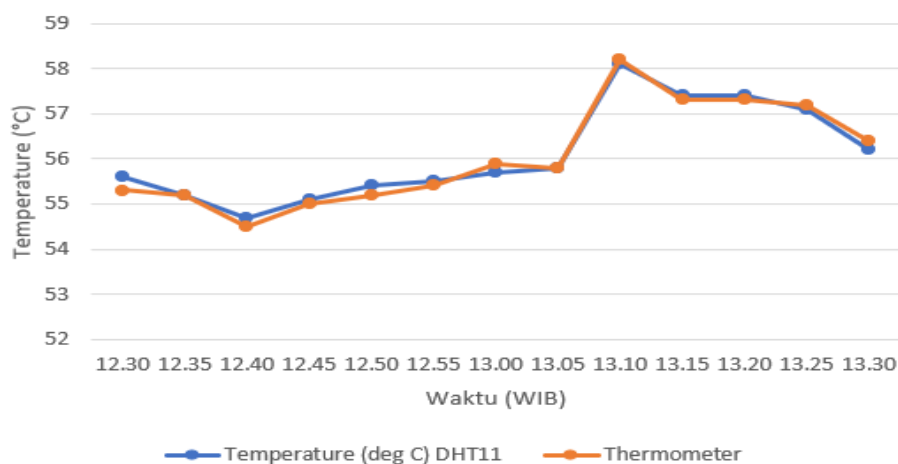
Gambar 10. Grafik Arus

Tabel 6. Perbandingan temperature

Waktu (WIB)	Sensor Temperature (deg C)	Thermometer (deg C)	Error	MSE
12.30	55.6	55.3	0.30	0.131
12.35	55.2	55.2	0.00	
12.40	54.7	54.5	0.20	
12.45	55.1	55	0.10	
12.50	55.4	55.2	0.20	
12.55	55.5	55.4	0.10	
13.00	55.7	55.9	0.20	
13.05	55.8	55.8	0.00	
13.10	58.1	58.2	0.10	
13.15	57.4	57.3	0.10	
13.20	57.4	57.3	0.10	
13.25	57.1	57.2	0.10	
13.30	56.2	56.4	0.20	
Rata - rata	56.093	56.054	0.131	

Pada tabel 6 hasil pengujian menunjukkan perbandingan sensor temperature DHT11 dan thermometer tidak berbeda jauh sama seperti perbandingan tegangan dan arus. Dengan nilai rata – rata sensor DHT11 56.093 deg C, nilai rata – rata thermometer 56.054 deg C, nilai rata

– rata error 0.131% dan nilai MSE 0.131. Sesuai dengan gambar 11 korelasi pengukuran sangat kuat.

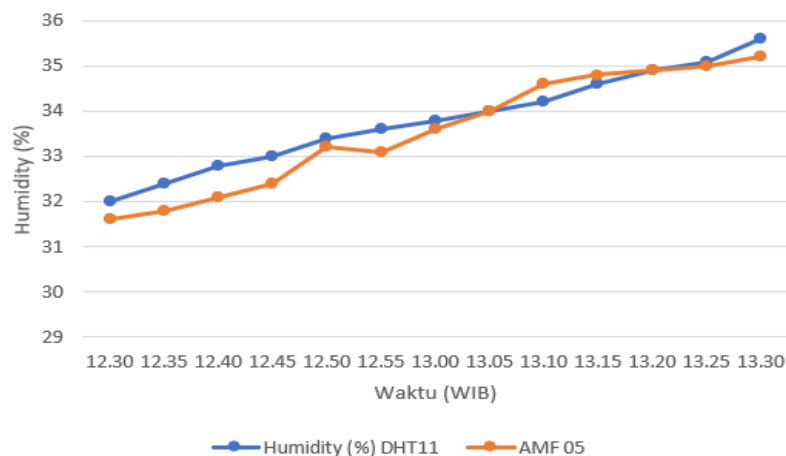


Gambar 11. Grafik temperature

Tabel 7. Perbandingan *humidity* (kelembapan)

Waktu (WIB)	Sensor DHT11 Humidity (%)	AMF 05 (%)	Error	MSE
12.30	32	31.6	0.40	0.331
12.35	32.4	31.8	0.60	
12.40	32.8	32.1	0.70	
12.45	33	32.4	0.60	
12.50	33.4	33.2	0.20	
12.55	33.6	33.1	0.50	
13.00	33.8	33.6	0.20	
13.05	34	34	0.00	
13.10	34.2	34.6	0.40	
13.15	34.6	34.8	0.20	
13.20	34.9	34.9	0.00	
13.25	35.1	35	0.10	
13.30	35.6	35.2	0.40	
Rata - rata	33.8	33.562	0.331	

Pada tabel 7 hasil pengujian menunjukkan perbandingan sensor kelembapan DHT11 dan alat ukur standar AMF05 tidak terlalu berbeda jauh seperti perbandingan tegangan, arus, dan temperature. Dengan nilai rata rata sensor DHT11 33.8%, nilai rata rata alat ukur AMF05 33.562%, dengan rata – rata nilai error 0.331% dan nilai MSE 0.331. Bisa dilihat pada gambar 12 yang ditampilkan dalam grafik variabel pengukuran memiliki korelasi yang kuat.



Gambar 12. Grafik kelembapan

C. Pembahasan dan analisis

Pengukuran dan pengambilan data dilakukan untuk melakukan perbandingan antara alat Prototipe sistem monitoring mini solar photovoltaic menggunakan ESP32 berbasis IoT dan AR dengan alat ukur standar pengukuran tegangan, arus, temperature, dan kelembapan. Alat ukur standar tegangan menggunakan multimeter, alat ukur standar arus menggunakan DC Clamp meter, alat ukur temperature menggunakan temperature, dan alat ukur kelembapan menggunakan AMF05. Alat ukur standar ini telah memenuhi syarat dan spesifikasi standar pengukuran besaran tersebut yang memang dipergunakan sebagai alat ukur. Data pengukuran diambil selama 1 jam mulai dari 12.30 hingga 13.30 dengan interval selama 5 menit yang diperlihatkan pada tabel dan grafik diatas. Data diambil dalam cuaca cerah agar sinar radiasi dari matahari dapat ditangkap dengan *mini solar photovoltaic* dengan bagus dan diambil dalam lingkungan atmosfer atau tidak berada dalam ruangan. Data diambil dalam lingkungan terbuka untuk mengukur kelembapan udara dan temperatur sekitar.

Berdasarkan data yang telah diamati dan dilakukan perbandingan untuk nilai galat (error) dalam persen, setelah diketahui nilai galat diolah menjadi MSE (*Mean Squared Error*) untuk melihat keseluruhan nilai galat dengan data kesesuaian. MSE menjadi pembanding utama untuk melihat kesesuaian data, apabila nilai MSE kurang dari 0 atau sama dengan 0 (≤ 0) maka nilai data dapat dikatakan sesuai dan mempunyai hubungan yang kuat. Dari beberapa tabel diatas diperoleh untuk nilai MSE dari tegangan adalah 0.0130, nilai MSE dari arus adalah 0.077, nilai MSE dari temperature adalah 0.131, dan nilai MSE dari kelembapan adalah 0.331. Bisa dilihat dari data diatas untuk pengukuran tegangan dan arus menggunakan sensor INA219 dengan nilai MSE yang kurang dari 0.1 (< 0.1) yang berarti sensor INA219 mempunyai keakurasian pengukuran yang bagus jika dibandingkan dengan pengukuran alat ukur standar yaitu multimeter dan DC Clamp meter. Sedangkan untuk nilai MSE dari temperature dan kelembapan diperoleh dari pengukuran sensor DHT11 dengan nilai lebih besar dari 0.1 (> 0.1), yang berarti untuk pengukuran sensor DHT11 pada temperature dan kelembapan tidak sebagus dari pengukuran tegangan dan arus sensor INA219.

4. SIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan solusi inovatif dalam monitoring dan analisis kinerja sistem photovoltaic (PV) yang menggantikan pengukuran konvensional, yaitu langsung pada lapangan. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dan augmented reality (AR) dirancang untuk memudahkan operator dalam melakukan pengukuran dan analisis kinerja PV secara lebih efisien. Dengan menggunakan mini solar panel surya *photovoltaic* sebagai objek

uji, penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem monitoring yang mampu menampilkan data pengukuran secara real-time, terintegrasi dengan teknologi augmented reality.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik. Perbandingan antara hasil pengukuran dari sistem monitoring dengan alat ukur standar menunjukkan tingkat error rata-rata tegangan sebesar 0.0130%, perbandingan error rata – rata arus sebesar 0.077%, perbandingan error rata – rata temperature sebesar 0.131%, perbandingan error rata – rata kelembapan sebesar 0.331%. Error rata – rata dari perbandingan nilai error antara sistem monitoring dan alat ukur standar dibawah 0.5%. Mengindikasikan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Analisis lebih lanjut menggunakan metode *Mean Squared Error* (MSE) menghasilkan nilai rata-rata di bawah 0,5, memperkuat kesesuaian data antara sistem monitoring berbasis augmented reality dan alat ukur standar pengukuran.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Panjaitan, Frans Reza Michael, “Analisis Efisiensi Photovoltaic Pada Prototye Solarcell 430 WP di Universitas HKBP Nommensen Medan,” Universitas HKBP Nommensen, 2023.
- [2] H. Eteruddin, D. Setiawan, and A. Atmam, “Web Based Raspberry Monitoring System Solar Energy Power Plant,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 469, no. 1, 2020.
- [3] Eka P.Y, Yani.P., Sujono, Rummi S., N. Fath, Ardyono P., Vita L., M. Hery P., “Potential Usage of Solar Energi as a Renewable Energi Source in Petukangan Utara, South Jakarta,” *Jurnal Rekayasa Elektronika*, Vol. 17, No. 4, Desember 2021, hal. 212-216, doi: 10.17529/jre.v17i4.22538
- [4] H. Hamdani, A. B. Pulungan, D. E. Myori, F. Elmubdi, and T. Hasannuddin, “Real Time Monitoring System on Solar Panel Orientation Control Using Visual Basic,” *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 112–124, 2021, doi: 10.37385/jaets.v2i2.249.
- [5] M A’an Auliq, Fitriana, Siti Robitoh, “Studi Implementasi *Smart Grid Solar PV System* di Gedung Universitas Muhammadiyah Jember,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi ELKOM*, vol. 2, No. 2, hal 87-95, doi: <https://doi.org/10.32528/elkom.v2i2.3444>
- [6] Abdul M., Rizal R., Pratika S.N., Wiki J., Nur R. A., “Pengukuran Tegangan, Arus, Daya Pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, Vol. 5 No. 1, Desember 2020, pp. 8 – 16 doi: <https://doi.org/10.31849/sainetin.v5i1.4370>
- [7] Agusta P. W., Nur N. P., “Prototipe Augmented Reality Pengenalan Tata Surya Berbasis Android Dengan Metode Marker Based Tracking,” *INFOTECH: Journal Of Technology Information*, Vol. 7, No. 2, November 2021 doi: <https://doi.org/10.37365/jti.v7i2.120>
- [8] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, “Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT,” *J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020.
- [9] Dwi S, Budi S. N., Arif N., Farid A.H., Kurniawan S., “The Effect of IoT Technology, Real-Time Analytics, and Digital Aset Management on Energi Efficiency and Productivity in Indonesia’s Manufacturing Industry,” *West Science Social and Humanities Studies* Vol. 02, No. 06, June 2024, pp. 960-971 doi: <https://doi.org/10.58812/wsshs.v2i06.977>
- [10] R. K. Satpathy and V. Pamuru, *Solar PV Power: Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems*. London: Elsevier Science, 2020.
- [11] A. Gunadhi, D. Lestariningsih, and D. L. B. Teguh, “Real Time Online Monitoring Of Solar Power Plants Voltage, Current, Power, And Efficiency To Smartphone, Web, And Email,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 10, pp. 80–86, 2020, [Online]. Available: www.ijstr.org.
- [12] Manuel A.R., Aurora gil D.C., Antonio M. M., Joaquin G. Z., Elena G. B., Eduardo C. C., “An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Enviroments,” *MDPI Journals Applied Sciences*, Vol. 10, No. 2, January 2020, doi : <https://doi.org/10.3390/app10020600>

- [13] Kukuh Eko P, Unit Three K., Bambang Suprianto S., Achmad Imam A., “Prediksi Daya Listrik Jangka Sangat Pendek Pembangkit *Photovoltaic* Berbasis *Internet Of Things* Menggunakan *Feed Forward Neural Network*” *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 11, No. 3, 2022, pp. 386 – 396, doi : <https://doi.org/10.26740/jte.v11n3.p386-397>
- [14] Apriani, Yosi., “Monitoring Arus dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan *Internet Of Things*” *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*. Vol. 8, No. 2, 2021, pp. 889-895, doi : <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i2.543>
- [15] Madadi. Srilakshmi., “A Study of Solar Power Monitoring System Using Internet of Things (IoT),” *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Vol. 6, No. 5, 2021, pp. 347–350.