

IoT-based Epever Tracer 1210 MPPT Monitoring System Using Modbus Communication Protocol

[Sistem Monitoring MPPT Epever Tracer 1210 berbasis IoT Menggunakan Protokol Komunikasi Modbus]

Rizki Habibur Rohman ¹⁾, Indah Sulistiyowati ²⁾, Izza Anshory ³⁾ Dwi Hadidjaja Rasjid Saputra⁴⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: indah_sulistiyowati@umsida.ac.id

Abstract. This research examines the integration of Maximum Power Point Tracking (MPPT) technology with Internet of Things (IoT) and Modbus communication protocols in solar energy systems, with the main objective of improving efficiency as well as enabling real-time performance monitoring. The Epever Tracer 1210 MPPT is used to optimize energy absorption from solar panels, while IoT devices are connected via ESP32 using Modbus protocol. Data such as current, voltage, power, and energy generated are collected and analyzed in real-time using the Blynk app. Tests were conducted at three time periods (morning, afternoon, evening) to measure the accuracy and consistency of the data, and the results show that the IoT-based monitoring system provides accurate data, with minimal difference between the data from the MPPT, measuring instruments, and Blynk application. In addition, the integration of Modbus RTU with the IoT platform improves communication efficiency and security. IoT-connected MPPT technology has proven effective in improving operational efficiency and power conversion in solar energy systems, enabling optimal energy absorption in various weather conditions, thereby maximizing energy production. IoT integration also strengthens the real-time remote monitoring system, which is essential for early detection of faults or performance degradation.

Keywords - Solar Energy; MPPT; IoT; Modbus Protocol; Real-Time Monitoring.

Abstrak. Penelitian ini mengkaji integrasi teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan protokol komunikasi Internet of Things (IoT) dan Modbus dalam sistem energi surya, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi serta memungkinkan pemantauan kinerja secara real-time. Epever Tracer 1210 MPPT digunakan untuk mengoptimalkan penyerapan energi dari panel surya, sedangkan perangkat IoT dihubungkan melalui ESP32 menggunakan protokol Modbus. Data seperti arus, tegangan, daya, dan energi yang dihasilkan dikumpulkan dan dianalisis secara real-time menggunakan aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan pada tiga periode waktu (pagi, siang, sore) untuk mengukur keakuratan dan konsistensi data, dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT memberikan data yang akurat, dengan perbedaan minimal antara data dari MPPT, alat ukur, dan aplikasi Blynk. Selain itu, integrasi Modbus RTU dengan platform IoT meningkatkan efisiensi dan keamanan komunikasi. Teknologi MPPT yang terhubung dengan IoT telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional dan konversi daya dalam sistem energi surya, memungkinkan penyerapan energi yang optimal dalam berbagai kondisi cuaca, sehingga memaksimalkan produksi energi. Integrasi IoT juga memperkuat sistem pemantauan jarak jauh real-time, yang penting untuk deteksi dini kesalahan atau penurunan kinerja.

Kata Kunci - Energi Surya; MPPT; IoT; protokol Modbus; Pemantauan Real-Time.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi prioritas utama dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Konsumsi bahan bakar fosil yang berlebihan berdampak negatif terhadap lingkungan, sementara pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan populasi semakin memperburuk kondisi tersebut [1]. Permintaan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan dan pemasangan sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah mengatasi variabilitas serta sifat intermiten energi terbarukan agar sistem lebih andal dan efisien. Saat ini, berbagai inisiatif global sedang dilakukan untuk menemukan solusi energi terbarukan, termasuk energi hidroelektrik [2].

Energi matahari merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang memiliki potensi besar dan menjadi sumber energi alternatif utama di Bumi. Sekitar 30% dari total radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi akan dipantulkan kembali ke luar angkasa [3]. Panel surya dirancang untuk menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik akibat perkembangan zaman, diperlukan solusi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya [4]. Dalam sistem ini, panel surya berperan sebagai komponen utama yang secara langsung mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang terdapat dalam panel umumnya terbuat dari silikon, yang dikenal memiliki efisiensi tinggi dalam menyerap radiasi matahari. Ketika sinar matahari menyinari panel, energi radiasi tersebut dikonversi menjadi listrik [5].

Namun, kinerja panel surya dalam menghasilkan listrik sangat bergantung pada berbagai faktor, salah satunya adalah intensitas cahaya matahari yang tersedia. Jika suatu daerah memiliki paparan sinar matahari yang rendah, maka kinerja panel surya juga akan berkurang. Selain itu, kondisi cuaca seperti mendung atau hujan dapat menghambat proses pengisian daya secara optimal [6]. Oleh karena itu, keberadaan sinar matahari yang cukup menjadi faktor kunci dalam menentukan efisiensi panel surya. Untuk meningkatkan jumlah energi matahari yang diserap serta mengoptimalkan proses konversinya, diperlukan teknologi yang mampu mengidentifikasi titik daya maksimum, yang dikenal sebagai Maximum Power Point Tracking (MPPT).

MPPT adalah suatu metode yang digunakan untuk menemukan titik operasi optimal dalam suatu sistem energi guna memperoleh daya maksimum di berbagai kondisi beban dan lingkungan. Panel surya hanya dapat mencapai keluaran daya maksimum pada kombinasi tertentu dari arus dan tegangan. Oleh sebab itu, untuk memastikan energi matahari dapat dimanfaatkan secara optimal, panel surya harus diposisikan secara tepat agar mendapatkan paparan sinar matahari secara maksimal [7]. Salah satu perangkat yang menerapkan teknologi MPPT untuk meningkatkan efisiensi energi surya adalah pengontrol Epever Tracer 1210AN. Pengontrol daya seri Tracer-AN (10A~40A) mengandalkan algoritma MPPT untuk melacak titik daya maksimum (MPP) dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi surya secara lebih efisien dan akurat. Jika dibandingkan dengan pengontrol tipe PWM, perangkat ini dapat meningkatkan daya keluaran hingga 30% lebih tinggi. Perangkat ini juga mendukung tegangan maksimum hingga 100V Voc dan dapat digunakan dalam sistem tenaga surya on-grid. Selain itu, adanya layar LCD multifungsi memungkinkan pengguna untuk memantau status sistem dengan lebih jelas [8][9]. Meskipun pengontrol MPPT ini dapat beroperasi secara mandiri dalam meningkatkan efisiensi konversi energi, pemantauan dan pengendalian secara real-time tetap diperlukan guna memastikan sistem bekerja secara optimal [10].

Dengan berkembangnya teknologi digital, konsep Internet of Things (IoT) semakin diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk dalam sistem pemantauan energi surya. IoT memungkinkan perangkat untuk saling berkomunikasi melalui jaringan internet, memungkinkan pengumpulan serta analisis data secara real-time yang berguna dalam pengambilan keputusan yang lebih akurat [11][12]. Dalam sistem pemantauan berbasis IoT, protokol komunikasi Modbus menjadi solusi yang ideal untuk menghubungkan pengontrol MPPT dengan sistem pemantauan. Modbus adalah protokol komunikasi serial dua arah yang memungkinkan perangkat master (pengontrol) untuk berkomunikasi dengan perangkat slave (yang dikendalikan). Protokol ini pertama kali dikembangkan oleh Modicon, yang saat ini merupakan bagian dari Schneider Electric. Modbus RTU, sebagai salah satu varian yang paling umum digunakan, dikenal karena kemudahannya implementasinya serta keandalannya. Protokol ini banyak digunakan dalam berbagai sistem seperti Building Management System (BMS) dan Industrial Automation System (IAS). Modbus RTU beroperasi melalui antarmuka serial RS-232 atau RS-485 dan kompatibel dengan berbagai sistem pemantauan, seperti SCADA, Human Machine Interfaces (HMI), dan OPC Server. Hal ini membuat perangkat berbasis Modbus lebih mudah diintegrasikan dengan sistem pemantauan dan kontrol, baik yang baru maupun yang sudah ada sebelumnya. Sebagai salah satu protokol komunikasi yang paling umum digunakan dalam sistem otomasi industri, penerapan Modbus dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengoptimalkan pemanfaatan material, meningkatkan keselamatan kerja, serta meningkatkan ketepatan operasi dengan mengurangi keterlibatan tenaga kerja manusia [13].

Modbus beroperasi berdasarkan mekanisme permintaan dan respons, di mana perangkat master mengirimkan instruksi dan perangkat slave akan memberikan tanggapan. Paket data dalam komunikasi Modbus terdiri dari Unit Data Protokol (PDU) dan Unit Data Aplikasi (ADU), di mana PDU berisi kode fungsi dan data, sementara ADU mencakup PDU yang telah ditambahkan alamat serta pemeriksaan kesalahan. Sebagai protokol komunikasi yang sederhana, efisien, dan banyak diterapkan dalam industri, Modbus memungkinkan perangkat elektronik untuk berkomunikasi dengan komputer atau sistem kontrol lainnya [14]. Dalam penelitian ini, digunakan protokol Modbus RS485, yang mendukung komunikasi multipoint antara master dan beberapa slave. RS485 memungkinkan hingga 32 perangkat slave untuk terhubung dalam satu sistem hanya dengan menggunakan dua kabel tanpa memerlukan referensi ground yang sama. Salah satu keunggulan utama RS485 adalah kemampuannya dalam meredam gangguan listrik pada jalur transmisi. Hal ini disebabkan oleh sifat induksi yang diterima kedua kabel transmisi, yang saling meniadakan satu sama lain. Dengan sistem transmisi berbasis perbedaan tegangan antara dua kabel, gangguan induksi tegangan yang terjadi tidak akan memengaruhi keluaran sistem [15].

Integrasi protokol Modbus dalam sistem pemantauan berbasis IoT memungkinkan komunikasi yang lebih andal dan efisien antara pengontrol MPPT dan platform pemantauan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk

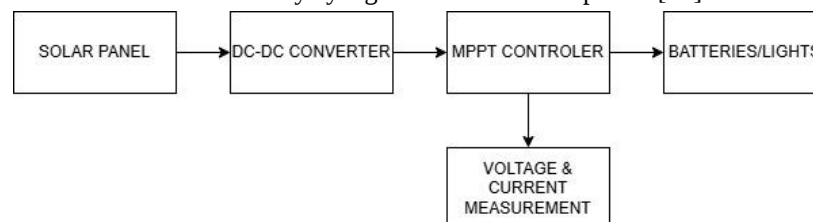
merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis IoT bagi pengontrol MPPT Epever Tracer 1210 dengan memanfaatkan protokol Modbus. Sistem ini dikembangkan agar mampu menyediakan data secara akurat dan real-time mengenai kinerja MPPT, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dan menyesuaikan pengaturan guna meningkatkan efisiensi sistem energi surya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan pemahaman pengguna terhadap cara kerja serta pemeliharaan MPPT. Metodologi penelitian ini diawali dengan kajian literatur mengenai teknologi MPPT, komunikasi Modbus, serta penerapan IoT dalam sistem energi surya. Selanjutnya, penelitian akan dilakukan melalui tahap perancangan sistem, implementasi, pengujian, serta analisis terhadap sistem pemantauan yang dikembangkan. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemanfaatan energi surya melalui integrasi teknologi MPPT dan IoT.

II. Tinjauan literatur

Penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas penggunaan MPPT dalam sistem energi surya. Selain itu, berbagai studi telah membahas pemanfaatan IoT dalam pemantauan energi, yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi serta pengelolaan data. Protokol komunikasi Modbus juga banyak diterapkan dalam industri karena keandalannya. Oleh karena itu, penulis merangkum kesimpulan dari beberapa artikel ilmiah yang relevan dengan topik ini, sehingga dapat menghasilkan judul penelitian yang lebih baru dan akurat berdasarkan temuan tersebut.

A. PEMANTAUAN MPPT

MPPT (Maximum Power Point Tracking) adalah teknik yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi konversi daya pada sistem energi terbarukan, seperti panel surya, dengan menemukan titik daya maksimum yang dapat dihasilkan. Prinsip kerja MPPT melibatkan penyesuaian tegangan keluaran dan arus sumber energi untuk menjaganya pada titik daya maksimum, meskipun ada perubahan kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya dan suhu. Beberapa algoritma yang digunakan dalam MPPT termasuk Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance, Constant Voltage Tracking (CVT), serta metode berbasis kecerdasan buatan seperti Fuzzy Logic dan Neural Networks, yang semuanya bertujuan untuk memastikan bahwa daya yang dihasilkan selalu optimal [16].

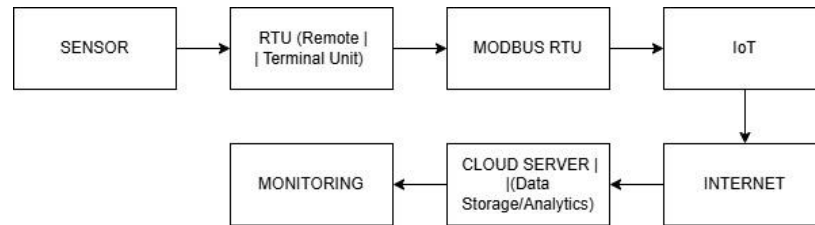


Gambar 1. Diagram blok MPPT

Dalam aplikasinya, MPPT terintegrasi dengan konverter DC-DC untuk mengatur tegangan keluaran sumber energi sesuai dengan kebutuhan beban atau penyimpanan energi. Konverter ini menggunakan teknik PWM (Pulse Width Modulation) untuk menyesuaikan siklus kerja sehingga titik daya maksimum dapat tercapai. Kontrol MPPT terus bekerja secara dinamis dengan memantau dan menyesuaikan tegangan dan arus keluaran, sehingga daya yang masuk ke sistem penyimpanan atau beban selalu dalam kondisi optimal. Meskipun demikian, penerapan MPPT sering menghadapi tantangan, seperti kesalahan pembacaan dalam kondisi perubahan radiasi yang cepat dan keterbatasan dalam pemantauan jarak jauh. Untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas sistem, teknologi IoT dapat diterapkan dalam sistem pemantauan MPPT, memungkinkan pemantauan dan regulasi real-time dari jarak jauh. Dengan mengintegrasikan IoT, data dari sensor dapat diakses melalui jaringan internet, yang memungkinkan pemantauan yang lebih baik dan otomatisasi lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dan keamanan sistem.

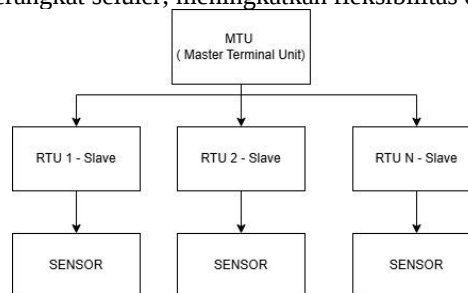
B. PROTOKOL MODBUS DI DUNIA INDUSTRI

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet, memungkinkan mereka untuk berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis. Dalam industri, IoT diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan pemantauan melalui integrasi sensor, aktuator, dan sistem kontrol yang saling berhubungan. Setiap perangkat dapat mengirimkan data dan menerima perintah untuk melakukan tugas tertentu, yang memungkinkan otomatisasi proses dan pengambilan keputusan yang lebih cerdas berdasarkan data real-time.



Gambar 2. Diagram blok aliran kontrol dan komunikasi dua arah

Untuk mengimplementasikan IoT pada perangkat kontrol industri yang menggunakan Modbus RTU, diperlukan gateway IoT yang dapat menghubungkan protokol Modbus RTU dengan protokol komunikasi IoT seperti MQTT. Gateway IoT, seperti perangkat Raspberry Pi, berfungsi sebagai penghubung antara sistem Modbus RTU yang menggunakan komunikasi serial dan jaringan internet, memungkinkan data dari perangkat industri dikirim ke cloud untuk dianalisis dan dipantau dari jarak jauh. Hal ini memungkinkan pemantauan dan kontrol sistem secara real-time melalui aplikasi berbasis web atau perangkat seluler, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi operasional [16].



Gambar 3. Diagram blok yang menunjukkan aliran data

Dalam sistem MPPT (Maximum Power Point Tracking), Modbus digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor yang mengukur tegangan, arus, dan suhu dari modul surya. Data tersebut kemudian dikirim melalui gateway IoT dan diproses untuk mengoptimalkan kinerja konverter DC-DC dalam memaksimalkan daya keluaran panel.

III. METODE

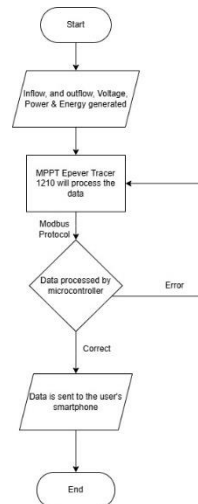
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tahapan sebagai berikut [17].

A. DESAIN SISTEM

Pada tahap awal, dirancang sistem pemantauan IoT berbasis Epever Tracer 1210 MPPT menggunakan protokol komunikasi Modbus dikembangkan. Desain ini melibatkan:

1. Perencanaan infrastruktur IoT yang mencakup pemilihan perangkat keras, seperti modul IoT ESP32 sebagai penghubung antara MPPT dan internet.
2. Pengumpulan data dari Epever Tracer 1210 MPPT, termasuk parameter seperti arus, tegangan, daya, dan energi yang dihasilkan. Data ini akan diteruskan ke perangkat IoT melalui protokol Modbus.
3. Konfigurasi komunikasi Modbus antara perangkat MPPT dan IoT, yang melibatkan penentuan alamat perangkat, parameter komunikasi, serta pengaturan koneksi fisik antar perangkat.

4. Merancang antarmuka pengguna untuk pemantauan waktu nyata, yang dapat berupa aplikasi atau dasbor khusus untuk menampilkan data historis dan kinerja MPPT. Diterjemahkan dengan



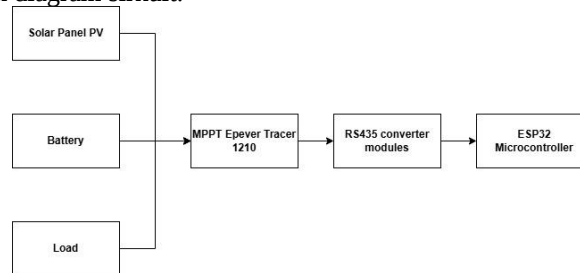
Gambar 1. Flowchart

Berdasarkan diagram alur di atas, data yang masuk akan diproses oleh MPPT Epever Tracer, dimana data tersebut diolah menjadi input dan output pada sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Selanjutnya, data ini akan ditransfer ke mikrokontroler melalui protokol komunikasi Modbus. Setelah mikrokontroler menerima data, informasi akan dikirimkan ke ponsel cerdas pengguna melalui aplikasi Blynk, memungkinkan pemantauan dan kontrol sistem secara real-time.

B. IMPLEMENTASI PERANGKAT KERAS

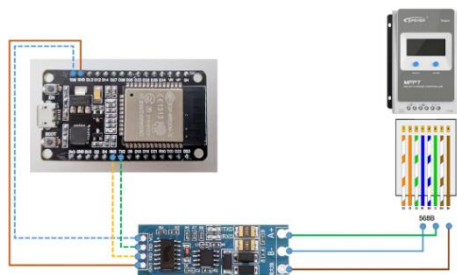
Tahap ini melibatkan:

1. Instalasi perangkat keras, di mana Epever Tracer 1210 MPPT terhubung dengan panel surya dan baterai. Data dari MPPT, seperti arus, tegangan, daya, dan energi, diteruskan ke modul ESP32.
2. Penggunaan modul RS485 sebagai konverter antara protokol Modbus dan ESP32 untuk menjembatani komunikasi antara MPPT dan infrastruktur IoT.
3. Persiapan sirkuit fisik, yang melibatkan kabel dan koneksi antara panel surya, MPPT, modul IoT, serta perangkat keras lainnya sesuai dengan diagram sirkuit.



Gambar 2. Diagram desain alat

Flowchart di atas menunjukkan urutan perangkat keras yang akan dirakit menjadi satu unit. Mulai dari input, yaitu panel surya, baterai, dan beban, yang kemudian diteruskan ke MPPT Epever Tracer untuk diproses. Setelah itu, data dari MPPT akan ditransfer ke ESP32 melalui modul konverter RS485, menggunakan protokol komunikasi Modbus. Seluruh rangkaian ini memastikan sistem berjalan sesuai dengan fungsinya dalam mengelola energi dari panel surya.



Gambar 6. Rangkaian sistem pemantauan

Gambar di atas menunjukkan sirkuit mikrokontroler yang digunakan untuk menghubungkan MPPT Epever Tracer dengan sistem komunikasi Modbus berbasis IoT. Sirkuit ini terdiri dari mikrokontroler ESP32 dan modul konverter RS485, yang terhubung ke MPPT Epever Tracer menggunakan kabel LAN. Dengan konfigurasi ini, data dari MPPT dapat dipantau dan dikelola.

C. PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

Fase pengembangan perangkat lunak bertujuan untuk mengelola pengumpulan dan transmisi data dari MPPT melalui protokol Modbus. Langkah-langkahnya meliputi

1. Pengembangan kode untuk menangani komunikasi dengan MPPT dan membaca data sensor.
2. Integrasi dengan platform IoT, seperti Blynk, yang akan menyimpan dan menampilkan data secara real-time melalui antarmuka berbasis cloud[18].
3. Pembuatan basis data, terstruktur untuk menyimpan data yang dipantau, memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis lebih lanjut tentang kinerja sistem[19].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem secara efektif memantau parameter utama seperti tegangan, arus, daya, dan suhu dari Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT) secara real-time. Data yang dikumpulkan ditampilkan pada dasbor berbasis IoT yang dapat diakses melalui koneksi internet, memungkinkan pemantauan jarak jauh yang praktis dan efisien. Analisis data menunjukkan bahwa sistem meningkatkan efisiensi pemantauan energi surya dan mempercepat deteksi dini potensi masalah, meminimalkan waktu henti, dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Data dikumpulkan pada tiga waktu berbeda—pagi, siang, dan sore hari—menggunakan MPPT Epever Tracer, alat ukur konvensional, dan platform Blynk, memungkinkan penilaian komprehensif kinerja sistem energi surya di bawah berbagai kondisi sinar matahari.

Penggunaan MPPT Epever Tracer dan alat ukur konvensional menawarkan wawasan berharga tentang perbedaan antara teknik pengukuran manual dan otomatis. Selain itu, integrasi platform Blynk meningkatkan aksesibilitas bagi pengguna, memungkinkan data dipantau langsung melalui perangkat seluler atau komputer. Fleksibilitas ini memungkinkan pengguna untuk mengawasi sistem energi surya kapan saja dan di mana saja, sehingga meningkatkan keterlibatan pengguna dan responsivitas terhadap kinerja sistem.

A. PENGUJIAN DAN VALIDASI

Pengujian dan validasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem. Proses pengujian dilakukan selama tiga periode berbeda dalam sehari:

1. Pagi hari (10:00-11:30)
2. Siang hari (13:00-14:30)
3. Sore hari (15:30-17:00)

Pengukuran dilakukan setiap 10 menit, dengan fokus pada parameter berikut:

1. PV (Panel Surya) Voltage
2. PV Saat Ini
3. Beban Voltage

Pengujian menggunakan aplikasi Blynk untuk pemantauan real-time dan instrumen seperti Avo meter dan Clamp Ammeter untuk memvalidasi hasil pengukuran.



Gambar 7. Fitur apk Blynk

Pendataan melalui aplikasi Blynk untuk memantau hasil pengukuran pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang ditempatkan di ruang terbuka bertujuan untuk mendapatkan sinar matahari yang optimal. Data yang diambil meliputi tegangan, arus, panel surya. Aplikasi Blynk memfasilitasi pemantauan waktu nyata, memungkinkan

kami untuk dengan mudah merekam setiap perubahan pada parameter pengukuran. Dengan aplikasi ini, pengguna dapat memantau kinerja ladang surya dari jarak jauh, memastikan bahwa sistem bekerja secara efisien dalam kondisi sinar matahari maksimum. Data yang terkumpul kemudian dianalisis untuk mengoptimalkan kinerja dan pemeliharaan panel surya di masa depan.



Gambar 8. Pengukuran menggunakan alat ukur

Pendataan menggunakan Avo meter dan tang amperage bertujuan untuk memantau hasil pengukuran pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang ditempatkan di ruang terbuka untuk menerima sinar matahari yang optimal. Avo meter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus, sedangkan tang ampere membantu memantau arus listrik yang mengalir tanpa memutus sirkuit. Dengan alat ukur ini, kami dapat secara akurat mencatat setiap perubahan parameter yang terjadi, memastikan bahwa kinerja pembangkit listrik tenaga surya tetap optimal dalam kondisi sinar matahari maksimum. Data yang dikumpulkan dapat dianalisis lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dan pemeliharaan panel surya di masa depan.

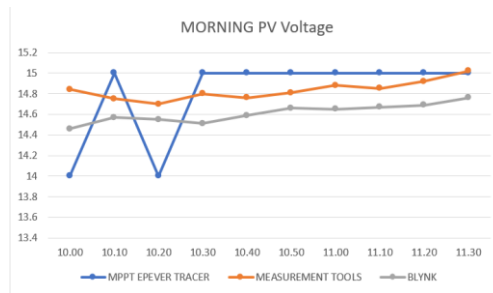


Gambar 9. Pengukuran melalui pemantauan layar MPPT Epever Tracer

Pendataan menggunakan MPPT Epever Tracer bertujuan untuk memantau hasil pengukuran pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang ditempatkan di ruang terbuka untuk mendapatkan sinar matahari yang optimal. MPPT (Maximum Power Point Tracking) Epever Tracer berfungsi untuk mengoptimalkan penyerapan daya dari panel surya dengan menyesuaikan tegangan dan arus agar sesuai dengan kondisi ideal. Ini tidak hanya membantu memaksimalkan efisiensi pengisian baterai, tetapi juga memungkinkan pemantauan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan secara real-time. Data yang dikumpulkan dari MPPT Epever Tracer sangat berguna untuk memastikan tata surya bekerja secara optimal dan dapat dianalisis lebih lanjut untuk perbaikan atau pemeliharaan di masa mendatang.

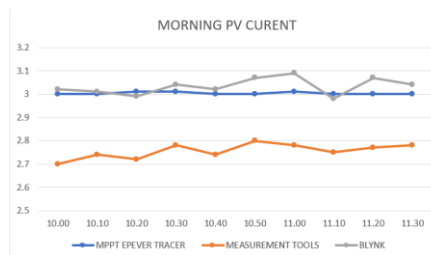
B. PENGUJIAN DILAKUKAN DI PAGI HARI

Pengujian dilakukan pada pagi hari, mulai pukul 10.00 hingga 11.30, termasuk pengukuran menggunakan aplikasi Blynk, alat ukur manual, dan MPPT Epever Tracer. Data yang diambil meliputi tegangan PV, arus PV, dan tegangan beban. Data yang diperoleh kemudian akan digambarkan sebagai grafik seperti pada gambar di bawah ini.



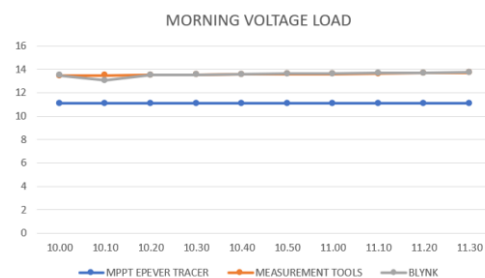
Gambar 10. Tegangan PV Pagi

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa tegangan PV dari ketiga data tersebut stabil di kisaran 14 hingga 15 volt. Data yang diperoleh melalui aplikasi Blynk juga tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur manual, dengan hasil data dari keduanya hingga detail pada angka desimal. Hal ini menunjukkan bahwa baik aplikasi Blynk maupun alat ukur manual memberikan hasil yang konsisten dan akurat, sehingga dapat diandalkan dalam memantau kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). dan data pada MPPT Epever Tracer tidak dapat menampilkan data dalam desimal sehingga pembulatan data pada 14 volt dan juga 15 volt.



Gambar 11. PV Curent Pagi

Dari grafik arus PV di atas, dapat dilihat bahwa jumlah arus PV di pagi hari dari ketiga data tersebut berada di kisaran 2,7 ampere hingga 3,1 ampere. Data yang diperoleh dari aplikasi MPPT Epever Tracer dan Blynk berdekatan satu sama lain dan mendominasi grafik, menunjukkan konsistensi dalam pengukuran saat ini. Sementara itu, data yang diambil menggunakan alat ukur manual sedikit lebih rendah dari dua lainnya. Perbedaan kecil ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan sensitivitas alat ukur manual atau variasi waktu pengumpulan data. Meskipun demikian, hasil pengukuran keseluruhan menunjukkan bahwa tata surya beroperasi dengan baik, dan arus yang dihasilkan berada dalam kisaran normal untuk tes pagi, dengan hanya perbedaan titik desimal yang kecil.

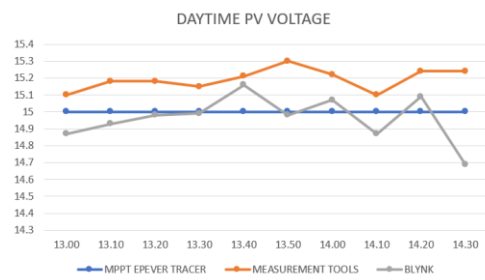


Gambar 12. Beban Pagi Voltage

Dari grafik tegangan beban di atas, terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan di pagi hari berada di kisaran 11 volt hingga 14 volt. Data yang diperoleh dari aplikasi Blynk dan alat ukur manual menunjukkan hasil yang sangat tepat, dengan keduanya mendominasi pada 14 volt. Namun, data tegangan beban yang diambil dari MPPT Epever Tracer menunjukkan grafik lurus dan berada pada 11 volt. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh pengaturan atau karakteristik pengukuran MPPT Epever Tracer yang berbeda dibandingkan dengan alat lainnya. Meskipun demikian, hasil ini memberikan gambaran yang jelas tentang kinerja tata surya dalam menghasilkan daya untuk beban di pagi hari.

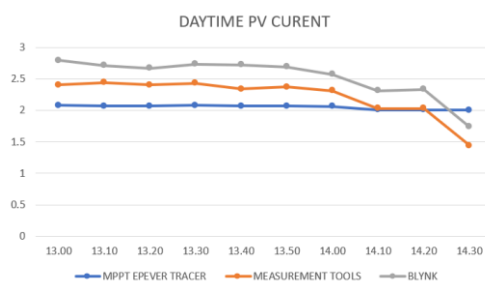
C. PENGUJIAN DILAKUKAN PADA SIANG HARI

Pengujian dilakukan pada pagi hari, mulai pukul 13.00 hingga 14.30, termasuk pengukuran menggunakan aplikasi Blynk, alat ukur manual, dan MPPT Epever Tracer. Data yang diambil meliputi tegangan PV, arus PV, dan tegangan beban. Data yang diperoleh kemudian akan digambarkan sebagai grafik seperti pada gambar di bawah ini.



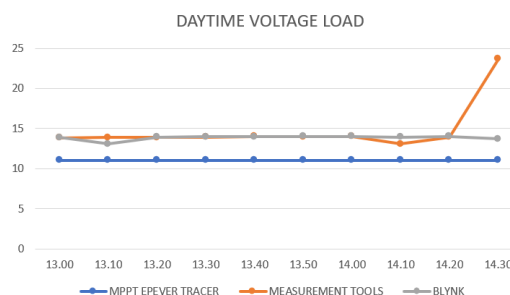
Gambar 13. Tegangan PV siang hari

Dari grafik tegangan PV di atas, dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari berkisar antara 14,7 volt hingga 15,3 volt. Data ini tidak jauh berbeda dengan tegangan PV yang diukur di pagi hari. Selain itu, terlihat bahwa data yang ditampilkan pada aplikasi Blynk lebih cenderung sama dengan data dari MPPT Epever Tracer pada pukul 13.20 hingga 13.30. Dengan demikian, perbedaan ketiga data tersebut tidak terpaut jauh, hanya terletak pada angka desimal. Ini menunjukkan konsistensi kinerja tata surya sepanjang hari.



Gambar 14. PV Curent siang hari

Dari grafik PV saat ini di atas, pengumpulan data pada siang hari menunjukkan hasil yang mirip dengan data sebelumnya. Ketiga data tersebut masih terpaut dengan perbedaan yang tidak signifikan, yaitu dalam angka desimal. Pada pukul 13:00, terjadi peningkatan arus yang sangat tinggi karena posisi matahari berada tepat di atas panel surya, sehingga menghasilkan nilai yang optimal. Sementara itu, data dari MPPT Epever Tracer menunjukkan hasil yang konsisten pada 2 ampere. Secara keseluruhan, data saat ini pada siang hari berkisar antara 1,5 ampere hingga 2,9 ampere. Ini mencerminkan kinerja panel surya yang efisien dalam menyerap energi matahari pada saat-saat ini.

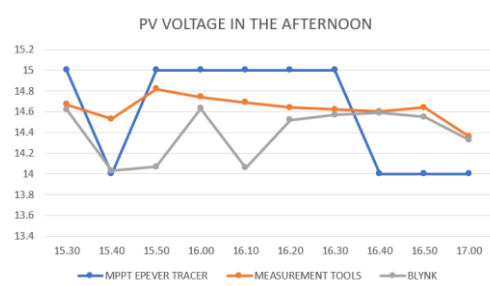


Gambar 15. Tegangan Beban Siang Hari

Dari grafik tegangan beban di atas, selama pengumpulan data siang hari, tegangan beban dari MPPT Epever Tracer rata-rata 10 volt. Sementara itu, data dari aplikasi Blynk dan alat ukur manual menunjukkan hasil yang sangat konsisten, stabil pada 15 volt dari pukul 13:00 hingga 14:20. Meskipun ada sedikit perbedaan dalam beberapa menit, sebagian besar data dari kedua sumber menunjukkan nilai yang sama.

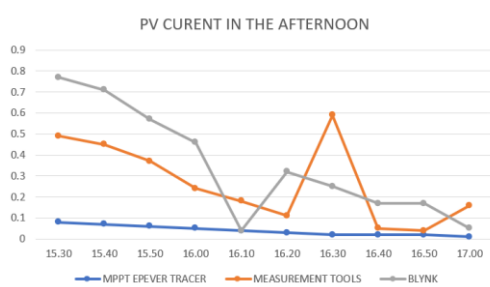
D. PENGUJIAN DILAKUKAN PADA SORE HARI

Pengujian dilakukan pada pagi hari, mulai pukul 15.30 hingga 17.00, termasuk pengukuran menggunakan aplikasi Blynk, alat ukur manual, dan MPPT Epever Tracer. Data yang diambil meliputi tegangan PV, arus PV, dan tegangan beban. Data yang diperoleh kemudian akan digambarkan sebagai grafik seperti pada gambar di bawah ini.



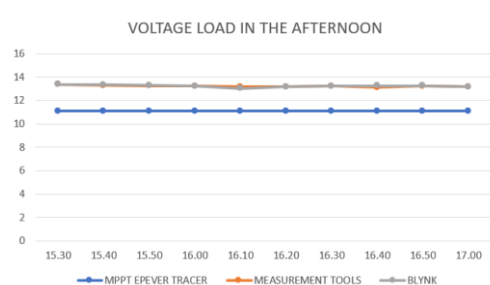
Gambar 16. PV Voltage di sore hari

Grafik tegangan PV di atas menunjukkan data yang diambil pada sore hari dengan kisaran tegangan antara 14 volt dan 15 volt. Sama seperti data sebelumnya, perbedaan antara data hanya sekitar titik desimal, sehingga perbandingan ketiga data tersebut tidak terlalu jauh.



Gambar 17. PV Curent di Sore Hari

Grafik arus PV di atas menunjukkan pengumpulan data di sore hari. Pada saat itu, PV mendapatkan sinar matahari yang lebih sedikit, sehingga arus yang dihasilkan sangat kecil, berkisar antara 0 ampere hingga 0,8 ampere. Pembacaan data pada MPPT Epever Tracer tidak dapat mendeteksi secara detail, sehingga difokuskan pada 0.1 ampere. Berbeda dengan data dari Blynk dan alat ukur yang mampu merekam arus ke angka desimal, memberikan hasil yang lebih detail.



Gambar 18. Beban Tegangan di Sore Hari

Grafik tegangan beban di atas menunjukkan data yang diambil pada sore hari dengan kisaran tegangan antara 11 volt hingga 14 volt. Dapat dilihat bahwa tegangan dari MPPT Epever Tracer stabil pada 11 volt, sedangkan tegangan pada Blynk dan alat ukur rata-rata 14 volt.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan MPPT Epever Tracer, Blynk, dan alat ukur manual, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan PV : Data tegangan yang dihasilkan oleh panel surya cukup stabil sepanjang hari, dengan kisaran tegangan dari 14 volt hingga 15 volt. Perbedaan data dari ketiga sumber tersebut (MPPT Epever Tracer, Blynk, dan alat ukur manual) hanyalah perbedaan kecil dalam angka desimal, yang menunjukkan keakuratan dan konsistensi sistem dalam memantau tegangan.

2. Arus PV : Pada pagi dan sore hari, arus yang dihasilkan berkisar antara 2,7 ampere hingga 3,1 ampere di pagi hari dan 1,5 ampere hingga 2,9 ampere di sore hari. Namun, pada sore hari, arus turun drastis karena berkurangnya sinar matahari, dengan nilai mulai dari 0 ampere hingga 0,8 ampere. Data dari MPPT Epever Tracer cenderung tidak sedetail Blynk dan alat ukur manual dalam pencatatan nilai desimal.

3. Tegangan Beban (Load) : Tegangan beban pada siang dan malam hari dari Blynk dan alat ukur manual sekitar 14 volt, sedangkan data dari MPPT Epever Tracer cenderung stabil pada 11 volt. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh karakteristik pengukuran MPPT yang berbeda.

Secara keseluruhan, data yang diambil dari ketiga sumber tersebut menunjukkan konsistensi dalam pengukuran parameter penting seperti tegangan dan arus, meskipun ada perbedaan kecil dalam detail desimal. Sistem ini menunjukkan kemampuan yang baik untuk memantau kinerja pembangkit listrik tenaga surya dalam berbagai kondisi waktu, memungkinkan pengguna untuk memantau secara akurat dan efisien melalui aplikasi Blynk serta melalui MPPT, karena perbedaan nilainya tidak terlalu jauh.

REFERENSI

- [1] K. Karim and R. Aprrylianto Susilo, "The Utilization of Solar Powered Irrigation Pumps for Farmer Groups in Damit Paser Village, East Kalimantan," *J. Service. Collaboration and Inov. Science and Technology*, vol. 1, no. 6, pp. 933–940, 2023.
- [2] I. Sulistiyowati, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "Power Performance Evaluation of Standalone Renewable Energy Source Energy Management Using Pass Filter," *PROtek J. Ilm. Tech. Electro*, vol. 10, no. 3, pp. 158–163, 2023, doi: 10.33387/protk.v10i3.6082.
- [3] D. Pratama and A. Asnil, "Real-time Solar Panel Monitoring System Based on Arduino Uno," *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mtd.v2i1.46.
- [4] T. B. Setyana, L. Narpulaela, and D. B. Santoso, "Design of Solar Power Plant (Plts) on Watering Equipment and Nutrition of Porang Tubers Based on the Internet of Things," *J. Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 29–36, 2023, doi: 10.30736/jt.v15i1.995.
- [5] E. Syah, A. Asri, and A. Bintoro, "ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE CHANGES ON THE VOLTAGE OF MONO CRYSTALLINE TYPE SOLAR PANELS WITH A POWER CAPACITY OF 50 Wp," *J. Energi Elektr.*, Vol. 11 No. 1 p. 22 2022, doi: 10.29103/GV11I1.8260.
- [6] N. Windasari and Y. Sudarti, "Efficiency Analysis of Solar Panel-Based Electric Cars as an Effort to Utilize Renewable Energy," *Sci. Technol. (J-HEST)*, vol. 6, pp. 41–47, 2023, [Online]. Available: <https://www.j-hest.web.id/index.php>
- [7] R. B. Bollipo, S. Mikkili, and P. K. Bonthagorla, "Critical Review on PV MPPT Techniques: Classical, Intelligent and Optimisation," *IET Renew. Power Gener.*, Vol. 14, No. 9, pp. 1433–1452, 2020, doi: 10.1049/GO-RPG.2019.1163.
- [8] Epever, "Tracer AN Series (10~40A) MPPT Charge Controller," epever. Accessed: Jul. 18, 2024. [Online]. Available: https://www.epever.com/product/tracer-an-10-40a-MPPT-charge-controller/?_gl=1*8nv9ow*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw1920BhA3EiwAJT3lSVA3YwCylzkTv9bQtbZg1kzVln7DIt8D_LEnXP_9oOUeBDuezqb9BBocOPsQAvD_BwE
- [9] I. P. Indra Saputra, I. N. Satya Kumara, and C. G. Indra Partha, "Designing Plts for Traditional Fishing Boats as a Substitute for Generators," *J. SPECTRUM*, vol. 6, no. 4, p. 102, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i04.p15.
- [10] W. P. Lamb *et al.*, "Real-Time Anticipation and Prevention of Hot Spots by Monitoring the Dynamic Conductance of Photovoltaic Panels," *IEEE J. Photovoltaics*, Vol. 12, No. 4, pp. 1051–1057, 2022, yogurt: 10.1109/jfotov.2022.3161420.
- [11] M. M. Rochani, "Development of IoT-Based Smart Water Dispenser Using Prototype Method," ResearchGate. Accessed: Jul. 18, 2024. [Online]. Available:

- https://www.researchgate.net/publication/381767162_Pengembangan_Smart_Water_Dispenser_Berbasis_IoT_Menggunakan_Metode_Prototype
- [12] G. Heru Sandi and Y. Fatma, "The Utilization of Internet of Things (IoT) Technology in the Agricultural Sector," *JATI (Journal of Mhs. Tek. Inform.*, Vol. 7 No. 1 pp. 1–5, 2023, doi: 10.36040/caste. V7I1.5892.
 - [13] W. Witrius and S. Karim, "Design of Monitoring and Control of 3-Phase Induction Motor Based on Modbus RTU Communication Protocol," *J. EEICT (Electric Electron. Instrum. Control Telecommun.*, vol. 6, no. 2, pp. 26–30, 2023, doi: 10.31602/eeict.v6i2.12934.
 - [14] P. G. Chamdareno, E. S. Ma'arif, A. Fauzy, Budiyanto, and E. Dermawan, "Acquisition of Electricity Consumption Data on Power Meter-Based Building Sub-Distribution Panel with Modbus Rs485 Communication," *Electron. Kendali Telecom. Tenaga List. Compit.*, vol. 6, no. 2, pp. 155–162, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/resistor/article/view/18918>
 - [15] Muchamad Chadiq Zakaria, Edy Kurniawan, and Jawwad Sulthon H, "SCADA-based Air Compressor Instrument (IAC) Monitoring System with Modbus RTU RS-485 Communication," *J-Eltrik*, vol. 2, no. 2, p. 117, 2021, doi: 10.30649/j-eltrik.v2i2.117.
 - [16] I. Harjanto, "IoT Gateway Using MQTT Protocol on Modbus-RTU-Based Control Devices," *J. Ilm. Teknosains*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2020, [Online]. Available: <http://journal.upgris.ac.id/index.php/JITEK/article/view/5957>
 - [17] Z. Abidin and M. Sofyan, "DESIGN OF MINI COOL BOX WITH WATER MEDIA BASED ON ATMEGA 328 MICROCONTROLLER USING SOLAR CELLS b . LM35 Testing The LM35 sensor test can be done by measuring the output voltage using a multimeter on the pin out of the LM35 sensor sensor, which will be very powerful," vol. 13, no. 1, pp. 35–39, 2021.
 - [18] L. Rosencrance, "5 Best Free IoT Platforms to Use in 2024," *Techopedia*, 2024, [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/best-free-iot-platforms>
 - [19] M. A. Ashari and L. Lidyawati, "Iot Based on Smart Home System Using Nodemcu V3," *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 67–172, 2019.