

Pembuatan Canopy Terintegrasi PLTS Sebagai Sarana Belajar Mandiri Energi di Lingkungan FMIPA UM

¹⁾Sulfa Amania*, ²⁾M. Tommy Hasan Abadi, ³⁾I Gusti Ayu Isnaini Fatha Ramadhani, ⁴⁾Tiara Zakiyah Putri, ⁵⁾Nandang Mufti, ⁶⁾Muhammad Alfian Mizar, ⁷⁾Chusnana Insjaf Yogihati

^{1,2,3,4)}Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Indonesia

^{5,7)}Pusat Material Maju dan Energi Terbarukan, Universitas Negeri Malang, Indonesia

⁶⁾Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Email Corresponding: nandang.mufti.fmipa@um.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

Gazebo
Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Internet of Things
Sistem Pemantauan
Energi Terbarukan

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Malang (UM) berkomitmen untuk mendukung keberlanjutan energi dan meningkatkan kualitas fasilitas kampus. Salah satu upaya inovatif adalah perancangan gazebo yang dilengkapi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang gazebo terintegrasi PLTS sebagai sarana edukasi mengenai energi terbarukan di lingkungan FMIPA UM. Sistem PLTS dirancang secara off-grid dengan panel surya yang mengubah energi matahari menjadi listrik, dilengkapi inverter untuk konversi arus, dan baterai untuk penyimpanan energi. Selain itu, sistem pemantauan IoT memungkinkan pengelolaan dan pemantauan secara real-time untuk memastikan efisiensi dan meminimalkan gangguan. Metode penelitian meliputi observasi, pengukuran konsumsi daya, perancangan sistem PLTS, serta pengujian efisiensi panel surya dan akurasi sistem pemantauan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS dapat memenuhi kebutuhan energi gazebo dan berfungsi secara efektif sebagai media pembelajaran teknologi energi terbarukan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa gazebo PLTS di FMIPA UM tidak hanya mendukung keberlanjutan energi, tetapi juga dapat menjadi pusat pembelajaran praktis bagi mahasiswa dan masyarakat mengenai penggunaan energi bersih.

ABSTRACT

Keywords:

Gazebo
Solar Power Plant
Internet of Things
Monitoring System
Renewable Energy

The Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA) at Universitas Negeri Malang (UM) is committed to supporting energy sustainability and enhancing campus facilities. One innovative effort is the design of a gazebo equipped with a Solar Power Plant (SPP) and an Internet of Things (IoT)-based monitoring system. The aim of this research is to design an integrated SPP gazebo as an educational tool for renewable energy within the FMIPA UM campus. The SPP system is designed to be off-grid, using solar panels to convert sunlight into electricity, with an inverter for current conversion and batteries for energy storage. In addition, the IoT monitoring system allows for real-time management and monitoring to ensure efficiency and minimize disruptions. The research methodology includes observation, power consumption measurements, SPP system design, and testing both solar panel efficiency and monitoring system accuracy. The results show that the SPP system can meet the energy needs of the gazebo and function effectively as a learning medium for renewable energy technology. This study concludes that the SPP gazebo at FMIPA UM not only supports energy sustainability but can also serve as a practical learning center for students and the community on clean energy utilization

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Malang (UM) terus berkomitmen untuk menjadi pusat unggulan dalam bidang kependidikan, ilmu pengetahuan, teknologi, dan humaniora. Melalui berbagai departemen seperti Pendidikan IPA, Matematika, Fisika, Kimia, Biologi, Bioteknologi, dan Sains Aktuaria, FMIPA UM menciptakan lingkungan akademik

3518

yang mendukung inovasi, kolaborasi, serta pengembangan keilmuan. Seiring dengan upaya tersebut, kebutuhan akan fasilitas pendukung yang memadai, termasuk ruang terbuka seperti Gazebo, semakin menjadi perhatian utama. Gazebo merupakan salah satu fasilitas umum yang berfungsi sebagai tempat untuk beristirahat (Lianda et al., 2024), berkumpul (Zulhamar, 2024), berdiskusi, mengerjakan tugas diluar jam perkuliahan, hingga menjadi ruang untuk melaksanakan kegiatan fakultas (Dewi, 2017). Namun, dalam menghadapi tantangan keberlanjutan, fasilitas seperti Gazebo, yang termasuk dalam sektor bangunan, turut menjadi penyumbang signifikan terhadap emisi karbon global. Bangunan dapat menyumbang sekitar 36% dari penggunaan energi global, lebih dari 30% dari ekstraksi bahan baku, dan sekitar 40% dari emisi karbon dioksida (Al-Sammar & Aleisa, 2024). Kontribusi ini mempercepat pemanasan global, perubahan iklim, serta menghasilkan limbah dan emisi atmosfer yang berdampak negatif pada lingkungan (Hafez et al., 2023). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, desain gazebo perlu dirancang dengan pendekatan inovatif yang tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional, tetapi juga harus memperhatikan kebijakan energi yang lebih bersih untuk mengurangi emisi karbon dioksida (Zakari et al., 2022).

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah pengembangan Gazebo yang dilengkapi dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PLTS merupakan sumber energi yang bersih, tidak menimbulkan polusi, serta mampu menghasilkan listrik tanpa limbah padat, cair, atau gas seperti yang dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional, yang menghasilkan abu, emisi, atau produk sampingan yang berbahaya. Selain itu, PLTS relatif mudah dipasang, dioperasikan, dan dirawat (Kumar et al., 2023). Teknologi fotovoltaik (PV) yang digunakan dalam PLTS memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik secara efektif (Wang et al., 2017) (Padoan et al., 2019) (Gupta et al., 2021). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan PLTS pada gazebo memberikan manfaat yang signifikan. Zulhamar (2024) merancang gazebo berbasis PLTS untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan Sulistiyanto & Pratama (2023) mengembangkan gazebo dengan PLTS yang dilengkapi lampu penerangan dan stopkontak untuk pengisian daya perangkat elektronik. Paembonan & Maharani (2022) merancang sistem PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi listrik gazebo di objek wisata Benteng Alla' Kabupaten Enrekang. Abidin et al., (2023) merancang gazebo dengan PLTS menggunakan bahan bangunan baja ringan. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa, Gazebo tidak hanya menjadi tempat istirahat dan penyimpanan, tetapi juga menjadi titik fokus dalam implementasi teknologi terbarukan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat secara menyeluruh (Erwanti et al., 2024).

Sebagai bagian dari upaya mendukung keberlanjutan energi di lingkungan kampus, tim pengabdian FMIPA UM bertujuan untuk merancang gazebo terintegrasi PLTS sebagai sarana belajar mandiri energi di lingkungan FMIPA UM. Sistem PLTS pada Gazebo dirancang secara off-grid, dengan panel PV yang dipasang di atap Gazebo untuk mengubah energi matahari menjadi arus listrik searah. Sistem ini dilengkapi dengan inverter yang dapat mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik sesuai dengan standar jaringan listrik (Ferreira et al., 2018). Implementasi PLTS pada gazebo diharapkan dapat mendukung transisi menuju energi terbarukan, meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya penggunaan energi bersih, serta mendukung visi keberlanjutan di lingkungan kampus FMIPA UM. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, Gazebo ini dilengkapi dengan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memelihara, mengoperasikan, dan mengendalikan sistem secara *real-time*. Teknologi ini bertujuan untuk mengurangi biaya pemeliharaan serta mencegah gangguan daya listrik yang tidak diinginkan (Rahman et al., 2018). Dengan inovasi ini, Gazebo di FMIPA UM tidak hanya menjadi fasilitas modern yang berkelanjutan, tetapi juga berfungsi sebagai media pembelajaran teknologi energi terbarukan bagi mahasiswa, dosen, dan masyarakat umum.

II. MASALAH

Di lingkungan FMIPA UM, terdapat kekurangan fasilitas ruang terbuka yang memadai, seperti gazebo, yang dapat mendukung kegiatan akademik dan non-akademik. Keterbatasan jumlah gazebo menghambat mahasiswa dan dosen untuk memiliki ruang yang cukup untuk beristirahat, berkumpul, berdiskusi, dan melaksanakan kegiatan fakultas di luar ruang kelas. Selain itu, keberadaan gazebo yang ada saat ini tidak sepenuhnya mendukung prinsip keberlanjutan, karena belum dilengkapi dengan PLTS atau fasilitas penerangan dan sarana pengisian daya untuk perangkat elektronik yang hemat energi. Hal ini menyebabkan ketergantungan pada energi konvensional, yang berkontribusi pada emisi karbon yang merugikan lingkungan. Keterbatasan lain terletak pada kurangnya teknologi pemantauan dan pengelolaan yang

memadai untuk memastikan sistem listrik berjalan dengan baik, yang dapat menyebabkan gangguan pasokan daya serta peningkatan biaya pemeliharaan. Selain itu, gazebo tersebut belum dimanfaatkan secara optimal sebagai media pembelajaran mengenai teknologi energi terbarukan, padahal hal ini sangat relevan dengan perkembangan teknologi dan upaya universitas untuk mendukung keberlanjutan energi. Dengan demikian, permasalahan-permasalahan ini memerlukan solusi inovatif untuk menciptakan gazebo yang lebih ramah lingkungan, efisien dalam penggunaan energi, dan dapat berfungsi sebagai sarana edukasi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, serta masyarakat luas.



Gambar 1. Kondisi di lokasi penelitian

III. METODE

Pelaksanaan pengabdian masyarakat ini dilakukan melalui pendekatan sistematis yang mencakup survei kebutuhan mitra, eksperimen untuk implementasi teknologi, dan kegiatan pendukung lainnya seperti pengujian, pelatihan, hingga perawatan sistem PLTS. Adapun tahapan-tahapan rinci yang dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Observasi

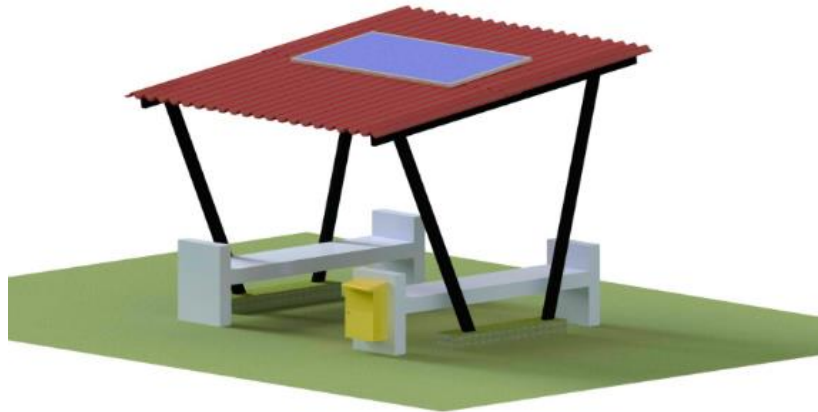
Tahapan paling awal dalam kegiatan ini merupakan observasi dengan tujuan menganalisis situasi dan permasalahan yang dihadapi oleh mitra. Pada tahap ini, kami melakukan kunjungan langsung ke lokasi untuk mengumpulkan informasi terkait tempat instalasi PLTS, kondisi lingkungan, serta kebutuhan spesifik mitra. Selain itu, kami juga berdiskusi langsung dengan mitra untuk memperoleh informasi yang diperlukan terkait kebutuhan mitra secara mendetail sebagai dasar penentuan solusi terbaik dari permasalahan mitra.

2. Kalkulasi konsumsi daya beban

Pada tahap ini, dilakukan pengukuran konsumsi daya listrik rata-rata harian. Data ini digunakan untuk menentukan kapasitas PLTS yang optimal untuk memenuhi kebutuhan mitra. Penghitungan mencakup identifikasi perangkat listrik yang digunakan, durasi penggunaannya, serta perhitungan total konsumsi daya.

3. Perancangan PLTS dan Sistem Monitoring

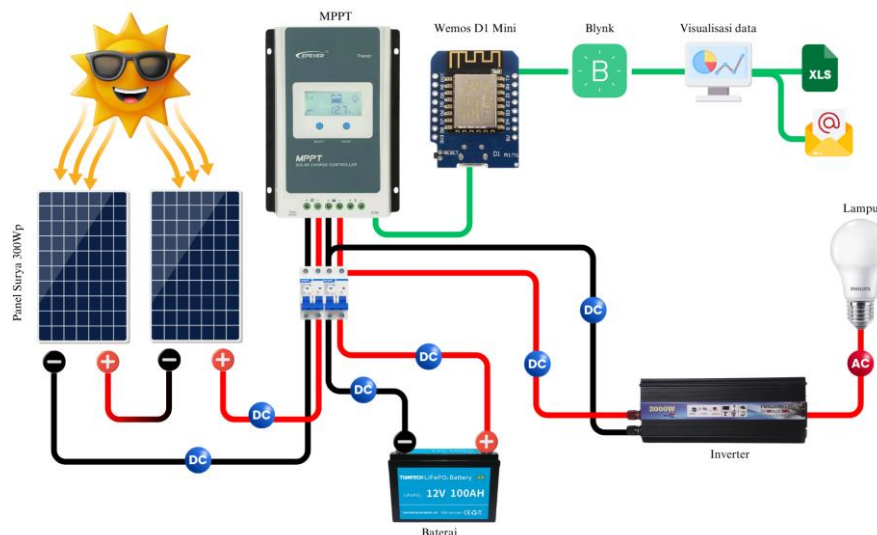
Tahap awal perancangan sistem yang diusulkan dimulai dengan merancang struktur fisik Gazebo sebagai dasar implementasi sistem. Desain ini dibuat menggunakan perangkat lunak *SketchUp 3D Design* untuk menghasilkan visualisasi yang presisi dan realistis. Gambar 2 memperlihatkan bahwa panel PV dipasang secara seri di atap bangunan. Desain ini dirancang dengan mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk aspek estetika, lokasi pemasangan, efisiensi penangkapan sinar matahari, dan sudut kemiringan optimal panel surya yang disesuaikan dengan lintang geografis dan kondisi iklim di lingkungan FMIPA UM.



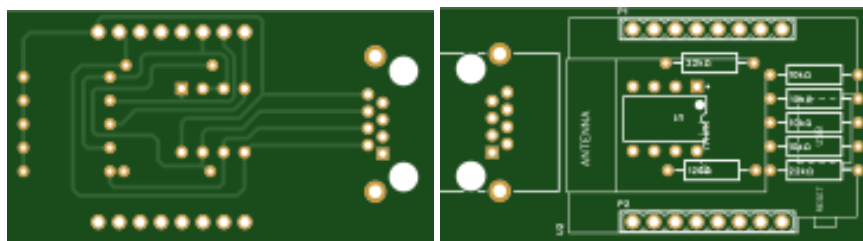
Gambar 2. Struktur Fisik Gazebo.

Selanjutnya, perancangan arsitektur sistem yang diilustrasikan pada Gambar 3, menggunakan 2 modul PV mono-kristalin JA Solar 1113 berkapasitas 300 Wp yang disusun secara seri untuk mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik (Karthikeyan et al., 2019) (Chater et al., 2024). Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya kemudian diteruskan ke *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk memastikan bahwa panel surya beroperasi pada titik daya maksimum (Salau & Alitasb, 2024) (Danyali et al., 2024) (Raouf et al., 2024). Energi listrik yang telah dioptimalkan oleh MPPT kemudian diteruskan ke *Battery Pack LifePO4* dengan kapasitas 12V 100Ah untuk menyimpan kelebihan produksi atau menyediakan daya tambahan ketika produksi menurun (de Arquer Fernández et al., 2021) (Yudha et al., 2024). Selanjutnya, arus listrik yang disimpan dalam baterai dialirkan ke inverter berkapasitas 2000W yang berfungsi mengonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) (Arief et al., 2024), sehingga sistem dapat menyuplai daya ke beban listrik, seperti lampu. Untuk memastikan kinerja sistem yang optimal dan dapat dipantau dari jarak jauh, modul Wemos D1 Mini digunakan sebagai perangkat mikrokontroler berbasis IoT. Modul ini digunakan untuk mengambil data analog dan mengirimkannya ke server Blynk menggunakan Wi-Fi untuk transmisi data (Al Mamun et al., 2024). Melalui antarmuka Blynk, pengguna dapat memantau parameter sistem secara *real-time* dari jarak jauh melalui perangkat yang terhubung ke internet (Ramli & Jabbar, 2022). Selain itu, Blynk memungkinkan pengguna untuk mengekspor data dalam format Excel atau CSV serta menyediakan tautan email yang memudahkan analisis data lebih lanjut.

Beranjak ke tahap berikutnya, proses perancangan PCB dimulai dengan menghubungkan Wemos D1 Mini dengan IC MAX485EPA untuk mengimplementasikan komunikasi serial RS-485. Koneksi pin-pin utama meliputi pin TX dan RX pada Wemos D1 Mini yang disambungkan ke pin RO dan DI pada IC MAX485EPA untuk fungsi transmisi dan penerimaan data. Pin DE dan RE# pada IC MAX485 dihubungkan dengan resistor untuk mengontrol mode operasi antara pengiriman dan penerimaan data. Resistor dengan nilai 120Ω ditempatkan di antara pin A dan B pada IC MAX485EPA untuk menjaga stabilitas transmisi data pada jalur komunikasi. Sebagai antarmuka fisik, konektor RJ45 digunakan untuk menghubungkan rangkaian ini dengan perangkat eksternal, memfasilitasi komunikasi jarak jauh yang andal melalui protokol RS-485. Desain PCB ini dibuat menggunakan alat berbasis web yang disebut EasyEDA (Radia et al., 2023), yang memfasilitasi perancangan skematik dan tata letak PCB secara efisien, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Arsitektur sistem secara keseluruhan.



Gambar 4. Perancangan skematik dan tata letak PCB.

Akhirnya, proses pengembangan perangkat lunak dimulai dengan membuka aplikasi Blyn dan membuat akun pengguna. Setelah itu, klik *Create New Project* dan memilih perangkat Wemos D1 Mini dan koneksi WiFi sebagai jaringan utama. Blyn kemudian mengirimkan *Auth Token* melalui email, yang berfungsi untuk menghubungkan perangkat dengan aplikasi. Setelah itu, merancang *Web Dashboard* dengan menambahkan berbagai *widget*, seperti *label* dan *switch* untuk menampilkan data secara *real-time*. Setiap *widget* dikonfigurasi dengan *Virtual Pin* untuk berinteraksi dengan perangkat melalui kode. Setelah desain dashboard selesai, tahap berikutnya adalah menginstal *library* Blyn di Arduino IDE dengan menggunakan bahasa pemrograman C++. Pemrograman dilakukan tanpa memanfaatkan bantuan eksternal apa pun, dan presisi sensor dipertahankan secara menyeluruh (Al Mamun et al., 2024). Bahasa pemrograman Arduino IDE dipilih, karena bahasa pemrograman yang tidak rumit, dibandingkan dengan yang lain (Meje et al., 2021).

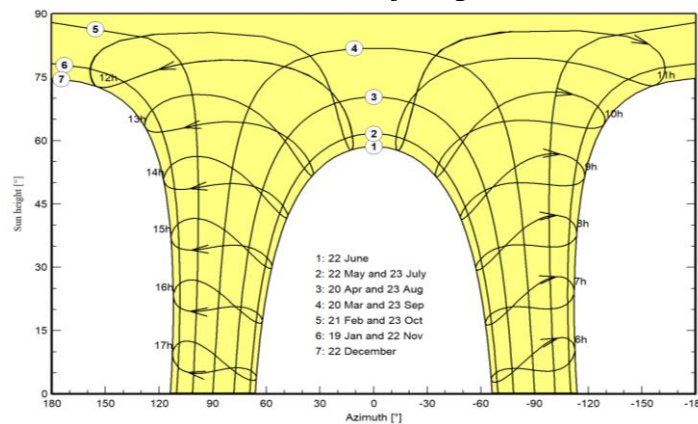
4. Pengujian sistem PLTS

Pada tahap pengujian awal, dilakukan pengukuran efisiensi aktual dari panel surya yang akan dipasang untuk menentukan daya yang dihasilkan oleh masing-masing panel dalam kondisi nyata. Pengujian ini mencakup evaluasi terhadap pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap kinerja panel surya. Selain itu, sistem monitoring diuji untuk memverifikasi akurasi data yang dikirim ke dashboard dan kestabilan koneksi komunikasi data berbasis Wi-Fi. Setelah semua elemen diuji dan dipastikan berfungsi dengan baik, sistem PLTS dirakit dan diuji secara keseluruhan dalam simulasi operasional. Hasil pengujian ini digunakan untuk melakukan kalibrasi dan penyempurnaan sistem sebelum dibawa ke lokasi mitra.

5. Instalasi Sistem di FMIPA UM

Setelah pengujian selesai, sistem PLTS dibawa ke lokasi mitra untuk diinstal pada titik yang telah ditentukan. Wilayah yang dipilih untuk penelitian ini terletak di lingkungan FMIPA UM. Secara geografis, lokasi ini terletak pada koordinat 112,62° BT dan 7,98° LS pada dataran tinggi antara Pegunungan Kawi dan Pegunungan Tengger (Kurniawan et al., 2023). Data iradiasi matahari diperoleh dari perangkat lunak PVsyst 7.4 dengan menggunakan basis data terintegrasi Meteororm 8.1 sebesar 1869,4 kWh/m² sebagai iradiasi horizontal global tahunan dan diagram lintasan matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Diagram tersebut mengonfirmasi bahwa posisi matahari sepanjang tahun akan terlihat dari lokasi tersebut yang

menunjukkan bahwa pembangkitan energi yang stabil dimungkinkan (Ronyastra et al., 2024). Dengan demikian, potensi produksi daya listrik berbasis energi surya di wilayah ini juga tinggi (Gholamalizadeh & Chung, 2018). Oleh karena itu, lokasi ini dipilih sebagai pilihan strategis untuk mengimplementasikan solusi energi terbarukan guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menurunkan jejak karbon universitas, dan mewujudkan komitmen universitas menuju target *net zero emission*.



Gambar 5. Diagram Lintasan Matahari.

6. Serah Terima Sistem PLTS

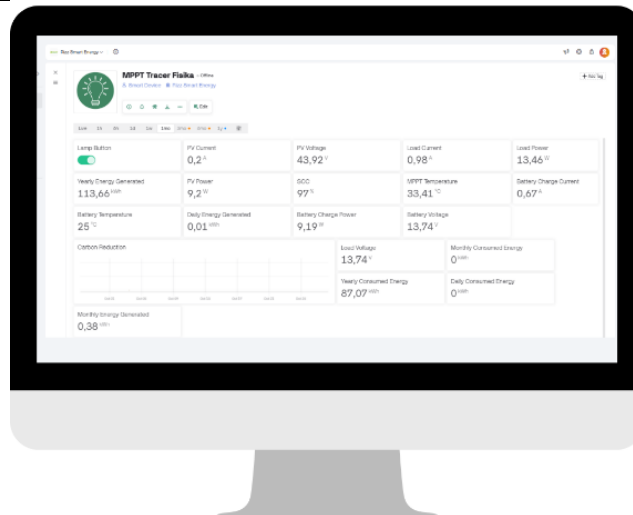
Serah terima dilakukan secara simbolis oleh tim pengusul kepada mitra sebagai tanda resmi dimulainya pemanfaatan sistem PLTS yang telah diinstal. Acara ini mencakup penyerahan dokumen pendukung seperti manual penggunaan, panduan perawatan, dan laporan teknis sistem PLTS untuk memastikan mitra memahami cara mengoperasikan dan merawat sistem dengan baik. Dokumentasi kegiatan berupa foto, video, dan berita acara juga dilakukan sebagai bagian dari laporan resmi kegiatan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gazebo bertenaga surya berbasis IoT telah berhasil dirancang, diuji dan diimplementasikan sebagai media pembelajaran energi di lingkungan FMIPA UM, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sistem yang diterapkan menggunakan modul PV polikristalin 550 Wp dan dilengkapi dengan berbagai fitur canggih yang dirancang untuk memberikan kenyamanan dan kemudahan bagi mahasiswa, dosen, dan pemangku kepentingan lainnya (Akbar et al., 2023). Secara visual, konfigurasi sistem ini menawarkan integrasi antara sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan fitur-fitur IoT untuk pemantauan yang lebih efektif. Gambar 7 menggambarkan antarmuka sistem yang menampilkan pemantauan data listrik, data lingkungan, dan data operasional perangkat secara *real-time* (Kalay et al., 2022), yang tercatat dan dipresentasikan menggunakan Blynk, platform yang memungkinkan akses data melalui aplikasi seluler. Penggunaan Blynk menjadikan sistem ini tidak memerlukan biaya tinggi dan dapat diimplementasikan tanpa lisensi komersial, bahkan tersedia secara gratis (Ramadoni et al., 2021). Fleksibilitas Blynk memungkinkan penyesuaian tampilan visualisasi sesuai kebutuhan pembelajaran, menjadikannya alat yang ekonomis dan tepat guna untuk lingkungan akademik (Verde Romero et al., 2024).



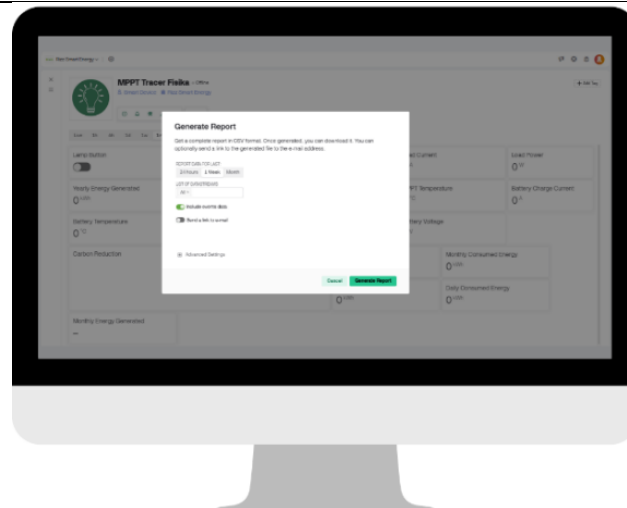
Gambar 6. Konfigurasi sistem di lokasi penelitian



Gambar 7. Dasbor untuk pemantauan.

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan beberapa fitur unggulan, antara lain fitur ekspor data dalam format Excel dan CSV serta pengiriman laporan melalui email. Fitur ekspor ini memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis terhadap kinerja panel surya, termasuk mengidentifikasi pola produksi energi, fluktuasi daya, serta hubungan antara variabel lingkungan (seperti suhu dan kelembapan) dan efisiensi panel surya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem ini mampu menghasilkan data harian, bulanan, dan tahunan dengan akurasi tinggi. Hal ini sangat berguna untuk memantau degradasi kinerja sistem dan menentukan waktu yang tepat untuk pemeliharaan atau perawatan. Sebagai contoh, data yang dikumpulkan dapat menunjukkan penurunan kinerja panel surya akibat penurunan intensitas sinar matahari atau peningkatan suhu panel, yang keduanya dapat menyebabkan efisiensi yang lebih rendah. Selain itu, fitur pengiriman laporan data melalui email memudahkan pengelolaan dan distribusi informasi kepada pihak-pihak yang berkepentingan dalam waktu nyata. Laporan ini memberikan kemudahan bagi pengambil keputusan untuk segera mengakses informasi yang diperlukan tanpa harus mengunjungi sistem secara langsung. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk memilih rentang waktu serta parameter yang ingin dipantau dan dikirimkan secara otomatis sesuai jadwal atau atas permintaan.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, fitur "*Generate Report*" dalam sistem ini menyediakan antarmuka intuitif yang memungkinkan pengguna untuk memilih format laporan, rentang waktu, serta tujuan pengiriman laporan. Pengguna dapat menentukan parameter spesifik yang ingin dianalisis, seperti tegangan panel, arus, dan suhu modul PV, yang dapat diekspor dalam berbagai format sesuai kebutuhan. Berdasarkan pengamatan, fitur ini memungkinkan pengguna untuk memperoleh laporan yang relevan dan terstruktur dengan cepat, sehingga dapat meminimalisir waktu dan upaya yang dibutuhkan untuk mengelola data secara manual. Dengan adanya fitur-fitur di atas, sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi operasional sistem PV secara berkala dan melakukan tindakan korektif jika terjadi anomali atau penurunan kinerja (Jabbar et al., 2024) (Radia et al., 2023). Data yang dihasilkan dari laporan dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi masalah, seperti overheating atau penurunan daya akibat shading, yang dapat memengaruhi efisiensi panel surya. Dalam jangka panjang, data historis ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan analisis tren dan peramalan energi, yang akan berguna bagi pengelola dalam merencanakan pemeliharaan preventif dan optimalisasi sistem (Sulaiman et al., 2024).



Gambar 8. Dasbor fitur laporan

Secara keseluruhan, tim pengabdian masyarakat FMIPA UM telah melaksanakan kegiatan pengabdian dengan pendekatan yang terstruktur dan terjadwal, dengan tujuan untuk merancang Gazebo bertenaga surya berbasis IoT sebagai media pembelajaran energi di lingkungan FMIPA UM. Sistem PLTS yang diterapkan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan listrik di Gazebo FMIPA UM, termasuk mendukung kegiatan pembelajaran dan aktivitas lainnya sepanjang 24 jam. Implementasi sistem PLTS ini juga dirancang untuk memberikan solusi saat terjadi pemadaman listrik dengan cara mengintegrasikan sistem PLTS, yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik dari PLN dan menurunkan biaya konsumsi listrik. Setelah instalasi selesai, tim pengabdian melakukan serah terima simbolis kepada mitra, setelah memastikan bahwa Gazebo bertenaga surya siap beroperasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Selain itu, tim pengabdian juga memberikan pelatihan mengenai pemeliharaan Gazebo bertenaga surya kepada pengelola FMIPA UM, yang bertanggung jawab atas pengoperasian dan pemeliharaan sistem dalam jangka panjang. Selain sebagai sumber energi listrik, Gazebo bertenaga surya ini juga berfungsi sebagai alat pembelajaran bagi para mahasiswa mengenai konsep energi baru terbarukan, yang diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mereka tentang teknologi energi terbarukan.



Gambar 9. Serah Terima Pengabdian Instalasi PLTS di FMIPA UM

V. KESIMPULAN

Pengembangan Gazebo bertenaga surya berbasis IoT di lingkungan FMIPA Universitas Negeri Malang berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan, yaitu menyediakan sumber energi terbarukan yang dapat

digunakan untuk mendukung kegiatan akademik dan pembelajaran sepanjang waktu. Sistem PLTS yang terintegrasi dengan IoT tidak hanya memenuhi kebutuhan listrik, tetapi juga menawarkan fitur pemantauan real-time yang memungkinkan analisis performa energi secara efisien. Fitur-fitur seperti ekspor data dan pengiriman laporan melalui email memperkuat kemampuan sistem untuk mengidentifikasi potensi masalah dan memfasilitasi tindakan korektif, sehingga meningkatkan kinerja jangka panjang. Selain itu, implementasi sistem ini juga berfungsi sebagai alat pembelajaran praktis bagi mahasiswa mengenai konsep energi baru terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Malang atas dukungan finansial yang diberikan kepada Program Pengabdian Masyarakat NM melalui sumber dana PNBP 2024. Dukungan ini telah memungkinkan terlaksananya program pengabdian masyarakat ini, sesuai dengan Kontrak No. 4.4.1166/UN32.14.1/PM/2024, yang menjadi dasar pendanaan dan pelaksanaan kegiatan pengabdian. Kami sangat menghargai kontribusi LPPM UM yang telah mendukung keberhasilan program ini, serta memungkinkan pengembangan dan implementasi solusi yang bermanfaat bagi masyarakat. Kami juga ingin menyampaikan penghargaan yang tulus kepada seluruh pihak yang telah berperan dalam kesuksesan program ini, antara lain mitra pengelola FMIPA UM yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan kegiatan pengabdian di lingkungan mereka. Terima kasih juga kami sampaikan kepada tim pengabdian yang telah bekerja keras dalam merencanakan, melaksanakan, dan memantau setiap tahapan kegiatan, serta memastikan agar Gazebo bertenaga surya ini terpasang dengan baik dan dapat berfungsi dengan optimal. Tidak lupa, kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang memberikan dukungan teknis dan logistik, yang memungkinkan program ini berjalan lancar. Semoga kolaborasi ini dapat memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi masyarakat, serta mendorong kesadaran akan pentingnya energi terbarukan dalam upaya pembangunan yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Zamhuri, M., & others. (2023). Implementasi Gazebo Solar Cell Di Halaman Gedung Elektro Politeknik Negeri Bengkalis. *Tanjak: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1).
- Akbar, H. Al, Faturrahman, M. R., & Sidharta, S. (2023). Guidance in Designing A Smart Campus: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 227, 83–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.505>
- Al-Sammar, R., & Aleisa, E. (2024). Evaluating energy efficiency and environmental sustainability in fiberglass prefabricated modular structures. *Energy*, 310, 133234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133234>
- Al Mamun, M. R., Ashik-E-Rabbani, M., Haque, M. M., & Upoma, S. M. (2024). IoT-based real-time biofloc monitoring and controlling system. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100598>
- Arief, M. B., Widyartono, M., Aribowo, W., & Wardani, A. L. (2024). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid dan Monitoring Berbasis Node-Red. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 11(1), 45–50.
- Chater, H., Bakhattar, I., Asbik, M., Koukouch, A., Mouaky, A., & Ouachakradi, Z. (2024). Hybrid solar hydrothermal carbonization by integrating photovoltaic and parabolic trough technologies: Energy and exergy analyses, innovative designs, and mathematical Modelling. *Energy*, 305, 132253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132253>
- Danyali, S., Babaeifard, M., Shirkhani, M., Azizi, A., Tavoosi, J., & Dadvand, Z. (2024). A new neuro-fuzzy controller based maximum power point tracking for a partially shaded grid-connected photovoltaic system. *Heliyon*, 10(17). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36747>
- de Arquer Fernández, P., Fernández Fernández, M. Á., Carús Candás, J. L., & Arboleya Arboleya, P. (2021). An IoT open source platform for photovoltaic plants supervision. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125, 106540. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106540>
- Dewi, S. U. (2017). Perencanaan Bangunan Infrastruktur Pendidikan (Gazebo) Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 6(2).
- Erwanti, N. S., Sulistyowati, R., & Febrianto, Z. (2024). Rancang Bangun Buck Converter Menggunakan Kontrol Pi untuk Charging Baterai Pada Penerangan Gazebo. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika (SNESTIK)*, 1(1), 359–367.
- Ferreira, A., Kunh, S. S., Fagnani, K. C., De Souza, T. A., Tonezer, C., Dos Santos, G. R., & Coimbra-Araújo, C. H.

- (2018). Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 181–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>
- Gholamalizadeh, E., & Chung, J. D. (2018). A Parametric Study of a Pilot Solar Chimney Power Plant Using CFD. *IEEE Access*, 6, 63366–63374. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2875411>
- Gupta, N., Kaur, N., Jain, S. K., & Singh Joshal, K. (2021). Chapter 3 - Smart grid power system. In A. Tomar & R. Kandari (Eds.), *Advances in Smart Grid Power System* (pp. 47–71). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824337-4.00003-5>
- Hafez, F. S., Sa'di, B., Safa-Gamal, M., Taufiq-Yap, Y. H., Alrifay, M., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Horan, B., & Mekhilef, S. (2023). Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*, 45, 101013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>
- Jabbar, W. A., Mei Ting, T., I. Hamidun, M. F., Che Kamarudin, A. H., Wu, W., Sultan, J., Alsewari, A. A., & Ali, M. A. H. (2024). Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas. *Expert Systems with Applications*, 242, 122862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122862>
- Kalay, M. Ş., Kılıç, B., & Sağlam, Ş. (2022). Systematic review of the data acquisition and monitoring systems of photovoltaic panels and arrays. *Solar Energy*, 244, 47–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.08.029>
- Karthikeyan, K., Patnaik, S. K., Baskar, M., & Jeyashree, E. (2019). A dsPIC based optimal sizing of solar PV plant using ultra capacitors for transient power delivery. *Microprocessors and Microsystems*, 71, 102893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micpro.2019.102893>
- Kumar, V., Kumar Jethani, J., & Bohra, L. (2023). Combating climate change through renewable sources of electricity-A review of rooftop solar projects in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103526. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103526>
- Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Dzarfan Othman, M. H., Goh, H. H., & Chew, K. W. (2023). Strengthening waste recycling industry in Malang (Indonesia): Lessons from waste management in the era of Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135296>
- Lianda, J., Syah, K., Efendi, Z., Budiman, I., & Prasetyo, B. (2024). Pemasangan Penerangan Menggunakan PLTS Untuk Pusat Parawisata Pantai Madani Desa Pambang Pesisir. *TANJAK: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 128–133.
- Meje, K. C., Bokopane, L., Kusakana, K., & Siti, M. (2021). Real-time power dispatch in a standalone hybrid multisource distributed energy system using an Arduino board. *Energy Reports*, 7, 479–486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.016>
- Padoan, F. C. S. M., Altimari, P., & Pagnanelli, F. (2019). Recycling of end of life photovoltaic panels: A chemical prospective on process development. *Solar Energy*, 177, 746–761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.003>
- Paembonan, F. A., & Maharani, N. A. (2022). *Rancang Bangun Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Kebutuhan Energi Listrik Gazebo Objek Wisata Benteng Alla'Kabupaten Enrekang*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Radia, M. A. A., Nimr, M. K. El, & Atlam, A. S. (2023). IoT-based wireless data acquisition and control system for photovoltaic module performance analysis. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 6, 100348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100348>
- Rahman, M. M., Selvaraj, J., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2018). Global modern monitoring systems for PV based power generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 4142–4158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.111>
- Ramadoni, Amirudin, M. Z., Rifki Fahmi, Ema Utami, & Mustafa, M. S. (2021). Evaluasi Penggunaan Prometheus dan Grafana Untuk Monitoring Database MongoDB. *Jurnal Informatika Polinema*, 7(2), 43–50. <https://doi.org/10.33795/jip.v7i2.530>
- Ramli, R. M., & Jabbar, W. A. (2022). Design and implementation of solar powered with IoT Enabled portable irrigation system. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 212–225. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345222000281>
- Raouf, A. H., Yazdiniya, F. S., & Ansarifar, G. R. (2024). Super-twisting ADRC for maximum power point tracking control of photovoltaic power generation system based on non-linear extended state observer. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36428>
- Ronyastra, I. M., Saw, L. H., & Low, F. S. (2024). Techno-economic analysis with financial risk identification for solar power plant as post-mining land use in Indonesia. *Energy for Sustainable Development*, 80, 101462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101462>
- Salau, A. O., & Alitasb, G. K. (2024). MPPT efficiency enhancement of a grid connected solar PV system using Finite Control set model predictive controller. *Heliyon*, 10(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27663>

-
- Sulaiman, M. H., Jadin, M. S., Mustafa, Z., Daniyal, H., & Mohd Azlan, M. N. (2024). Short-term forecasting of rooftop retrofitted photovoltaic power generation using machine learning. *Journal of Building Engineering*, 94, 109948. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109948>
- Sulistiyanto, S., & Pratama, A. F. (2023). PKM pada Pengrajin Anyaman Bambu di Paiton dengan Pembuatan Smart Gazebo Solar Panel. *Media Pengabdian Kepada Masyarakat (MPKM)*, 2(01), 1–8.
- Verde Romero, D. A., Villalvazo Laureano, E., Jiménez Betancourt, R. O., & Navarro Álvarez, E. (2024). An open source IoT edge-computing system for monitoring energy consumption in buildings. *Results in Engineering*, 21, 101875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101875>
- Wang, Z., Li, Y., Wang, K., & Huang, Z. (2017). Environment-adjusted operational performance evaluation of solar photovoltaic power plants: A three stage efficiency analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1153–1162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.119>
- Yudha, F. A. K., Riyanta, B., Fadullah, I. F., & Kurniawan, A. (2024). Design of 600 WP Solar Power Plant for Juice Vendors Through Off-Grid System. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 3(8), 1841–1852.
- Zakari, A., Khan, I., Tan, D., Alvarado, R., & Dagar, V. (2022). Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs). *Energy*, 239, 122365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122365>
- Zulhamar, M. (2024). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Gazebo Gedung A FST UNJA*. Universitas Jambi.