



Perancangan Konsep Modul Penuntun Praktikum pada Alat Uji Kompetensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop System

**Stieven Netanel Rumokoy¹, Adriyan Warokka², I Gede Para Atmaja³, Adelaida Joroh⁴,
Arief Kumaat⁵, Christopel H. Simanjuntak⁶**

^{1,3}Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado

²Program Studi Teknik Mensin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, Manado

⁴Program Studi Administrasi Bisnis, Jurusan Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Manado, Manado

⁵Program Studi Pemasaran, Jurusan Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Manado, Manado

⁶Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado

E-mail: rumokoy@polimdo.ac.id

Abstrak

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai bagian dari transisi energi terbarukan menuntut ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten, khususnya dalam aspek instalasi, operasi, dan pemeliharaan sistem. Namun, proses pembelajaran di pendidikan vokasi masih menghadapi keterbatasan dalam penyediaan modul penuntun praktikum yang terstruktur dan selaras dengan kebutuhan uji kompetensi. Kondisi ini menyebabkan belum optimalnya pencapaian keterampilan praktis peserta didik sesuai standar industri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang konsep modul penuntun praktikum pada alat uji kompetensi PLTS yang sistematis, aplikatif, dan berbasis kebutuhan industri. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif dengan tahapan analisis kebutuhan, studi literatur, serta perancangan konseptual modul. Analisis kebutuhan dilakukan melalui identifikasi kompetensi utama yang harus dikuasai, meliputi instalasi sistem PLTS, pengujian kinerja, troubleshooting, serta penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam menyusun struktur dan isi modul praktikum yang terintegrasi dengan alat uji kompetensi. Berdasarkan hasil perancangan, topik-topik pembahasan dalam modul penuntun praktikum disusun secara bertahap dari aspek dasar hingga lanjutan, meliputi: (1) pengukuran karakteristik panel surya, yang mencakup identifikasi parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya; (2) instalasi panel surya pada blok instalasi atap, sebagai representasi pemasangan modul secara mekanik; (3) instalasi sistem PLTS tipe on-grid, yang mencakup integrasi dengan jaringan listrik; (4) instalasi sistem PLTS tipe off-grid, termasuk konfigurasi sistem dengan baterai; (5) pengoperasian sistem PLTS on-grid dan off-grid untuk memahami aliran daya dan performa sistem; (6) pemeliharaan sistem PLTS, yang mencakup pemeriksaan komponen, pengujian kinerja, dan identifikasi gangguan.

Kata kunci— Energi surya, Metode pembelajaran, Pendidikan

1. PENDAHULUAN

Perkembangan energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menjadi salah satu fokus utama dalam transisi energi global untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menekan emisi karbon[1], [2], [3]. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang besar sedangkan pemanfaatannya masih perlu dioptimalkan[4], [5], [6]. Hal ini menjadi dasar akan perlunya peningkatan kompetensi sumber daya manusia melalui pendidikan vokasi yang relevan dengan kebutuhan industri[7]. Dalam konteks ini, pendidikan berbasis praktik menjadi sangat penting untuk memastikan lulusan memiliki keterampilan teknis yang sesuai dengan perkembangan teknologi PLTS. Implementasi PLTS dalam pembelajaran telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan praktis peserta didik, terutama melalui penggunaan media pembelajaran seperti trainer kit dan modul praktikum[8], [9], [10]. Penggunaan trainer PLTS memungkinkan mahasiswa atau siswa untuk memahami sistem secara menyeluruh, mulai dari komponen hingga proses instalasi dan pengujian kinerja sistem. Selain itu, pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan praktik langsung terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi teknis serta keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran energi terbarukan[11].

Namun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penyediaan sarana praktikum yang terintegrasi dengan modul penuntun yang sistematis dan sesuai dengan standar uji kompetensi. Modul praktikum yang ada umumnya belum sepenuhnya mengakomodasi kebutuhan pembelajaran berbasis kompetensi, khususnya dalam aspek instalasi, pengujian, troubleshooting, dan penerapan keselamatan kerja. Padahal, keberadaan modul penuntun praktikum yang terstruktur sangat penting untuk mendukung efektivitas penggunaan alat praktik dan meningkatkan capaian pembelajaran. Lebih lanjut, pengembangan modul pembelajaran PLTS yang terintegrasi dengan alat uji kompetensi menjadi kebutuhan mendesak dalam pendidikan vokasi. Modul tidak hanya berfungsi sebagai panduan teknis, tetapi juga sebagai instrumen evaluasi yang mampu mengukur ketercapaian kompetensi peserta didik secara komprehensif. Dengan adanya modul yang dirancang secara sistematis, proses pembelajaran dapat berlangsung lebih terarah, terstandar, dan sesuai dengan kebutuhan industri energi terbarukan yang terus berkembang[12], [13], [14].

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan suatu perancangan konsep modul penuntun praktikum pada alat uji kompetensi PLTS yang telah dibuat sebelumnya[15], [16], [17]. Modul penuntun ini tidak hanya berorientasi pada aspek teknis, tetapi juga mengintegrasikan pendekatan pembelajaran berbasis kompetensi dan kebutuhan industri. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran vokasi yang lebih efektif, adaptif, dan relevan dengan tuntutan dunia kerja di bidang energi terbarukan..

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode perancangan konsep (conceptual design research) yang bertujuan untuk menghasilkan konsep modul penuntun praktikum pada alat uji kompetensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis fenomena, tetapi juga pada pengembangan produk berupa modul pembelajaran yang sistematis dan aplikatif.

Tahapan penelitian diawali dengan analisis kebutuhan (needs analysis) yang dilakukan untuk mengidentifikasi kompetensi utama yang harus dikuasai oleh peserta didik dalam bidang PLTS.

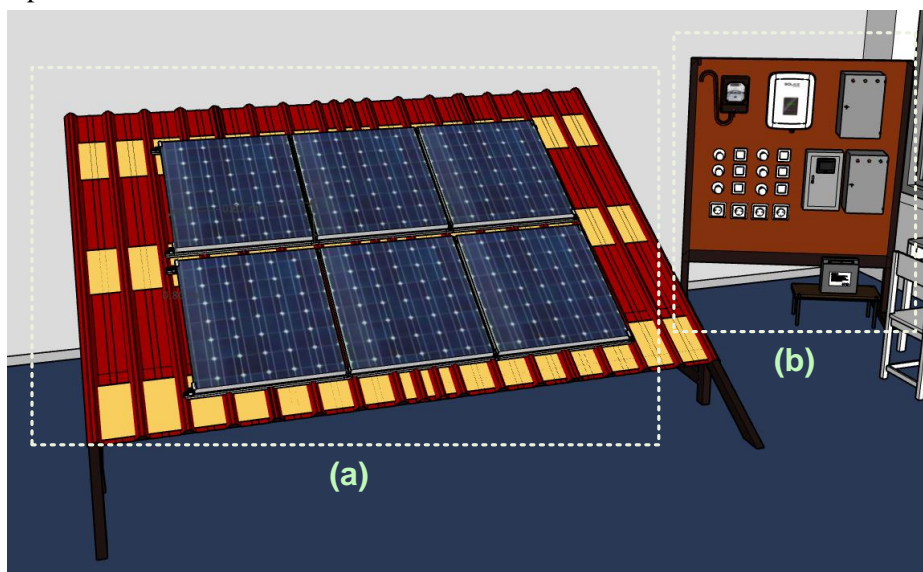
Analisis ini mencakup kajian terhadap kurikulum pendidikan vokasi, standar kompetensi kerja, serta kebutuhan industri terkait instalasi, operasi, pemeliharaan, dan troubleshooting sistem PLTS. Selain itu, dilakukan studi terhadap karakteristik alat uji kompetensi PLTS yang telah dikembangkan sebelumnya untuk memastikan kesesuaian antara modul penuntun dan perangkat praktikum. Tahap berikutnya adalah studi literatur, yang bertujuan untuk mengkaji konsep-konsep terkait pengembangan modul pembelajaran, pembelajaran berbasis kompetensi, serta implementasi praktikum PLTS dalam pendidikan vokasi. Literatur yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, standar teknis, serta referensi terkait Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada instalasi sistem tenaga listrik.

Selanjutnya dilakukan perancangan konseptual modul, yang mencakup penyusunan struktur dan isi modul penuntun praktikum. Perancangan modul juga mempertimbangkan integrasi dengan skenario uji kompetensi, sehingga setiap kegiatan praktikum dapat merepresentasikan unit-unit kompetensi yang harus dicapai. Tahap akhir adalah validasi konseptual, yang dilakukan melalui expert judgment dengan melibatkan dosen bidang teknik listrik dan praktisi industri PLTS. Validasi ini bertujuan untuk menilai kesesuaian isi modul dengan standar kompetensi, kejelasan instruksi praktikum, serta kelayakan implementasi di lingkungan pembelajaran vokasi. Hasil validasi digunakan sebagai dasar untuk penyempurnaan rancangan modul..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Alat

Karakteristik alat uji kompetensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk merepresentasikan kondisi instalasi nyata di lapangan sekaligus memenuhi kebutuhan pembelajaran berbasis praktik pada pendidikan vokasi. Gambaran rinci mengenai hasil desain detail alat praktek instalasi PLTS atap yang dirancang sebagai media pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 1. Alat ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu blok instalasi atap dan blok simulasi pembebanan. Pembagian ini menunjukkan bahwa alat tidak hanya berfungsi sebagai media pemasangan mekanik modul surya, tetapi juga sebagai sarana untuk memahami sistem kelistrikan secara terintegrasi, mulai dari proses instalasi hingga pengujian performa sistem.



Gambar 1. Konsep rancangan alat, (a) Blok instalasi atap; (b) blok simulasi pembebanan

Blok instalasi atap dirancang menyerupai kondisi nyata instalasi panel surya pada atap bangunan, sehingga memberikan pengalaman praktik yang kontekstual bagi peserta didik. Bagian ini dilengkapi dengan rangka atap yang dapat dibongkar-pasang, penggunaan material atap yang sesuai dengan standar instalasi, serta adanya tanda pijakan yang memperhatikan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Selain itu, rangka atap dibuat dengan sudut kemiringan antara 30° hingga 35° , menyesuaikan dengan kemiringan umum atap rumah di Indonesia. Desain ini memungkinkan peserta praktik untuk memahami teknik pemasangan modul surya secara ergonomis dan aman, sekaligus mensimulasikan kondisi kerja sebenarnya di lapangan. Sementara itu, blok simulasi pembebanan berfungsi untuk merepresentasikan sistem kelistrikan PLTS setelah proses instalasi selesai dilakukan. Blok ini dirancang dalam bentuk menyerupai dinding vertikal, sehingga peserta praktik dapat melatih keterampilan pemasangan komponen listrik pada bidang vertikal, yang merupakan bagian penting dalam instalasi sistem PLTS atap. Komponen utama dalam simulasi sistem PLTS off grid dan on grid. Keberadaan komponen tersebut memungkinkan peserta didik untuk melakukan simulasi aliran daya listrik, pengukuran parameter sistem, serta memahami prinsip kerja dan fungsi proteksi dalam sistem PLTS. Secara keseluruhan, karakteristik alat ini menunjukkan adanya integrasi antara aspek mekanik dan kelistrikan dalam satu kesatuan sistem pembelajaran. Hal ini memberikan keunggulan dalam mendukung pencapaian kompetensi secara komprehensif, mulai dari instalasi, pengoperasian, hingga pemeliharaan sistem PLTS.

3.2 Modul Penuntun Praktikum

Modul penuntun praktikum yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang sebagai panduan sistematis dalam pelaksanaan kegiatan praktik menggunakan alat uji kompetensi PLTS atap berdasarkan desain (Gambar1). Modul ini disusun dengan pendekatan berbasis kompetensi yang mengacu pada kebutuhan industri serta unit kompetensi pada bidang Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan (EBT), sehingga setiap kegiatan praktikum tidak hanya berorientasi pada penyelesaian tugas, tetapi juga pada pencapaian kemampuan kerja yang terukur.

Secara struktur, konsep modul penuntun praktikum terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu tujuan pembelajaran, dasar teori singkat, alat dan bahan, prosedur kerja, lembar kerja dan pengamatan, serta evaluasi hasil praktikum. Selain itu, aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) diintegrasikan dalam setiap kegiatan sebagai bagian penting dalam proses pembelajaran. Penyusunan modul ini juga mempertimbangkan keterkaitan langsung dengan karakteristik alat, sehingga setiap langkah praktikum disesuaikan dengan fungsi blok instalasi atap dan blok simulasi pembebanan yang tersedia. Berikut adalah konsep topik-topik pembahasan perlu ada pada modul ini:

(1) Pengukuran karakteristik Panel Surya

Pengukuran karakteristik panel surya merupakan tahap awal yang penting dalam modul penuntun praktikum, karena memberikan pemahaman dasar mengenai perilaku listrik modul fotovoltaik sebelum diintegrasikan ke dalam sistem PLTS. Pada tahap ini, peserta didik diarahkan untuk mengidentifikasi parameter utama panel surya, yaitu tegangan (V), arus (I), dan daya (P), serta hubungan di antara ketiga parameter tersebut melalui pengukuran langsung di lapangan. Kegiatan ini umumnya dilakukan dengan menggunakan alat ukur seperti multimeter pada kondisi tanpa beban (open circuit), sehingga peserta dapat memahami nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc), arus hubung singkat (Isc), serta titik daya maksimum (maximum power point). Dalam pelaksanaannya, peserta praktikum melakukan pengukuran pada berbagai kondisi

intensitas radiasi matahari (menggunakan lux meter) untuk mengamati pengaruh lingkungan terhadap performa panel surya. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan dianalisis untuk menghasilkan kurva karakteristik arus-tegangan (I-V) dan daya-tegangan (P-V). Melalui analisis ini, peserta didik dapat memahami bahwa daya keluaran panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi irradianse dan suhu, serta mengenali titik operasi optimal dari sistem.

(2) *Instalasi Panel Surya pada blok instalasi atap*

Instalasi panel surya pada blok instalasi atap merupakan tahapan praktikum yang bertujuan untuk melatih keterampilan peserta didik dalam melakukan pemasangan modul fotovoltaik secara mekanik sesuai dengan prosedur dan standar instalasi yang berlaku. Kegiatan ini dilakukan pada media blok instalasi atap yang telah dirancang menyerupai kondisi nyata, sehingga peserta dapat memperoleh pengalaman praktik yang kontekstual dan relevan dengan pekerjaan di lapangan. Pada tahap ini, peserta praktikum memulai dengan melakukan identifikasi struktur rangka atap, jenis material penutup atap, serta titik-titik pemasangan modul surya. Selanjutnya, dilakukan pemasangan sistem mounting atau dudukan panel surya dengan memperhatikan kekuatan mekanik, kestabilan struktur, serta kesesuaian sudut kemiringan rangka atap yang telah ditentukan. Proses pemasangan modul surya dilakukan secara bertahap, mulai dari penempatan, penguncian, hingga penyesuaian posisi modul agar memperoleh orientasi yang optimal.

(3) *Instalasi sistem on grid*

Instalasi sistem PLTS tipe on-grid merupakan tahapan praktikum yang bertujuan untuk memberikan pemahaman dan keterampilan kepada peserta didik dalam mengintegrasikan sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan jaringan listrik eksisting. Pada sistem ini, energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya tidak disimpan dalam baterai, melainkan langsung disalurkan ke beban dan/atau diekspor ke jaringan, sehingga menuntut ketelitian dalam pemasangan serta pemahaman terhadap prinsip sinkronisasi dengan sistem grid. Pada tahap awal, peserta praktikum melakukan identifikasi komponen utama sistem on-grid, meliputi modul surya, inverter on grid, panel distribusi, alat ukur energi (kWh-meter), serta perangkat proteksi seperti DC dan AC breaker. Selanjutnya dilakukan proses instalasi yang mencakup pengkabelan sisi DC dari panel surya menuju inverter, serta pengkabelan sisi AC dari inverter menuju panel distribusi yang terhubung dengan jaringan listrik. Dalam proses ini, peserta juga mempelajari pentingnya polaritas, ukuran kabel, serta koneksi yang sesuai standar untuk menjamin keamanan dan efisiensi sistem. Tahap berikutnya adalah proses sinkronisasi sistem dengan jaringan listrik, di mana inverter berperan dalam menyesuaikan tegangan, frekuensi, dan fasa agar sesuai dengan parameter jaringan. Peserta praktikum dapat mengamati bahwa inverter hanya akan beroperasi ketika parameter jaringan berada dalam batas yang diizinkan, sehingga aspek proteksi dan keselamatan menjadi bagian penting dalam sistem ini. Selain itu, peserta juga diperkenalkan pada konsep aliran daya dua arah, di mana energi listrik dari PLTS dapat digunakan langsung oleh beban atau disalurkan ke jaringan.

(4) *Instalasi sistem off grid*

Instalasi sistem PLTS tipe off-grid merupakan tahapan praktikum yang bertujuan untuk membekali peserta didik dengan kemampuan merancang dan memasang sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri tanpa terhubung dengan jaringan

listrik. Sistem ini umumnya digunakan pada daerah terpencil atau aplikasi mandiri, sehingga menuntut pemahaman yang baik terhadap konfigurasi sistem, manajemen energi, serta keandalan penyimpanan daya. Pada tahap awal, peserta praktikum melakukan identifikasi komponen utama sistem off-grid, yang meliputi modul surya, solar charge controller, baterai, inverter, serta beban listrik. Selanjutnya dilakukan proses instalasi secara bertahap, dimulai dari pengkabelan sisi DC antara modul surya dan charge controller, dilanjutkan dengan koneksi ke baterai sebagai media penyimpanan energi. Setelah itu, inverter dipasang untuk mengubah energi listrik DC menjadi AC agar dapat digunakan oleh beban listrik. Dalam proses ini, peserta didik dilatih untuk memperhatikan polaritas, urutan pemasangan, serta spesifikasi teknis masing-masing komponen untuk menghindari kerusakan sistem. Selain aspek instalasi, peserta juga mempelajari konsep pengelolaan energi pada sistem off-grid, terutama terkait proses pengisian (charging) dan pengosongan (discharging) baterai. Hal ini penting untuk menjaga umur baterai serta memastikan ketersediaan energi listrik sesuai kebutuhan beban. Peserta juga dapat melakukan pengamatan terhadap parameter sistem seperti tegangan baterai, arus pengisian, dan kondisi beban untuk memahami karakteristik kerja sistem secara menyeluruh.

(5) *Operasi sistem PLTS on grid dan off grid*

Pengoperasian sistem PLTS on-grid dan off-grid merupakan tahapan praktikum yang bertujuan untuk memberikan pemahaman menyeluruh kepada peserta didik mengenai cara kerja sistem setelah proses instalasi selesai dilakukan. Pada tahap ini, peserta tidak hanya mengoperasikan sistem, tetapi juga melakukan pengamatan terhadap kinerja dan perilaku sistem dalam berbagai kondisi operasi, sehingga mampu memahami perbedaan karakteristik antara sistem on-grid dan off-grid. Pada sistem PLTS on-grid, pengoperasian diawali dengan memastikan seluruh komponen telah terpasang dengan benar dan sistem dalam kondisi siap operasi. Inverter grid-tie kemudian diaktifkan dan akan melakukan proses sinkronisasi dengan jaringan listrik, meliputi penyesuaian tegangan, frekuensi, dan fasa. Peserta praktikum dapat mengamati bahwa sistem hanya akan beroperasi ketika parameter jaringan berada dalam batas yang diizinkan. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap aliran daya listrik, baik yang digunakan oleh beban maupun yang disalurkan ke jaringan. Pengukuran parameter seperti tegangan, arus, dan daya dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem selama beroperasi. Sementara itu, pada sistem PLTS off-grid, pengoperasian berfokus pada pengelolaan energi yang tersimpan dalam baterai. Proses dimulai dengan memastikan kondisi baterai dalam keadaan aman dan memiliki kapasitas yang cukup. Sistem kemudian diaktifkan melalui charge controller dan inverter, sehingga energi dari panel surya dapat digunakan untuk mensuplai beban secara langsung atau disimpan dalam baterai. Peserta praktikum melakukan pengamatan terhadap proses pengisian dan pengosongan baterai, serta mempelajari bagaimana sistem merespons perubahan beban dan kondisi radiasi matahari.

(6) *Pemeliharaan sistem*

Pemeliharaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan tahapan praktikum yang bertujuan untuk membekali peserta didik dengan kemampuan menjaga keandalan, efisiensi, dan umur pakai sistem secara berkelanjutan. Kegiatan ini mencakup pemeriksaan rutin, pembersihan, pengujian kinerja, serta identifikasi dan penanganan gangguan pada seluruh komponen sistem, baik pada sisi mekanik maupun

kelistrikan. Pada tahap awal, peserta praktikum melakukan inspeksi visual terhadap modul surya untuk mengidentifikasi adanya kotoran, debu, bayangan (shading), atau kerusakan fisik yang dapat menurunkan kinerja sistem. Selanjutnya dilakukan pembersihan permukaan modul sesuai prosedur yang aman agar tidak merusak lapisan panel. Selain itu, dilakukan pemeriksaan terhadap struktur mounting dan komponen sipil untuk memastikan tidak terjadi korosi, kelonggaran, atau kerusakan mekanik yang dapat mempengaruhi kestabilan instalasi. Pada sisi kelistrikan, pemeliharaan meliputi pemeriksaan koneksi kabel, kondisi isolasi, serta pengujian parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya untuk memastikan sistem bekerja sesuai spesifikasi. Peserta juga melakukan pengecekan terhadap inverter, charge controller (pada sistem off-grid), serta perangkat proteksi seperti DC breaker dan AC breaker untuk memastikan seluruh sistem pengaman berfungsi dengan baik. Khusus pada sistem off-grid, perhatian lebih diberikan pada baterai, termasuk pemeriksaan tegangan, kondisi terminal, serta pengelolaan siklus pengisian dan pengosongan untuk menjaga umur baterai. Selain itu, peserta praktikum juga dilatih untuk melakukan troubleshooting sederhana berdasarkan gejala yang muncul pada sistem, seperti penurunan daya keluaran, kegagalan inverter, atau gangguan pada sistem monitoring. Proses ini membantu peserta dalam memahami hubungan antara kondisi komponen dan performa sistem secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan alat uji kompetensi dan modul penuntun praktikum PLTS atap yang terintegrasi untuk mendukung pembelajaran vokasi berbasis kompetensi. Alat yang dikembangkan terdiri dari blok instalasi atap dan blok simulasi pembebanan, sehingga mampu merepresentasikan proses instalasi dan operasi sistem PLTS secara nyata. Berdasarkan hasil perancangan, topik-topik pembahasan dalam modul penuntun praktikum disusun secara bertahap dari aspek dasar hingga lanjutan, meliputi: (1) pengukuran karakteristik panel surya, yang mencakup identifikasi parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya; (2) instalasi panel surya pada blok instalasi atap, sebagai representasi pemasangan modul secara mekanik; (3) instalasi sistem PLTS tipe on-grid, yang mencakup integrasi dengan jaringan listrik; (4) instalasi sistem PLTS tipe off-grid, termasuk konfigurasi sistem dengan baterai; (5) pengoperasian sistem PLTS on-grid dan off-grid untuk memahami aliran daya dan performa sistem; (6) pemeliharaan sistem PLTS, yang mencakup pemeriksaan komponen, pengujian kinerja, dan identifikasi gangguan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Hilirisasi dan Kemitraan, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, atas dukungan pendanaan melalui Program Hilirisasi Riset Prioritas Skema Pengujian Model dan Prototipe Tahun 2026. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Manado atas dukungan institusi dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wang, Q. G. Lin, C. Liu, Y. Liu, and S. Sun, "Sustainable Energy Development: Reviewing Carbon Emission Reduction in Photovoltaic Power Systems," *Sustainability*, vol. 16, no. 23, pp. 10428–10428, Nov. 2024, doi: 10.3390/su162310428.
- [2] A. A. Firoozi, A. A. Firoozi, and M. R. Maghami, "Harnessing photovoltaic innovation: Advancements, challenges, and strategic pathways for sustainable global development," *Energy Conversion and Management X*, vol. 27, pp. 101058–101058, May 2025, doi: 10.1016/j.ecmx.2025.101058.
- [3] D. Bredemeier, S. Khalili, D. Keiner, and C. Breyer, "Prospects for solar photovoltaics in highly renewable energy transition scenarios towards a dominant future energy source," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 235, pp. 116934–116934, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.rser.2026.116934.
- [4] F. Ferdyson and J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, Sept. 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.15714.
- [5] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *Jurnal Engine Energi Manufaktur dan Material*, vol. 6, no. 1, pp. 43–43, May 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [6] A. F. Wijaya and S. Widodoatmodjo, "Analisa potensi dan hambatan penerapan solar photovoltaic terhadap program net-zero emission di Indonesia," *Jurnal Manajemen Bisnis dan Kewirausahaan*, vol. 7, no. 3, pp. 501–514, May 2023, doi: 10.24912/jmbk.v7i3.23861.
- [7] D. Rahdiyanta, P. Hargiyarto, and A. Asnawi, "Penerapan Model Pembelajaran Praktik Berbasis Collaborative Skill Sebagai Upaya Peningkatan Mutu Pendidikan Tinggi Vokasi," *JURNAL DINAMIKA VOKASIONAL TEKNIK MESIN*, vol. 1, no. 1, pp. 1–1, Oct. 2016, doi: 10.21831/dinamika.v1i1.11447.
- [8] P. Harahap, M. Adam, and B. Balisranislam, "Implementasi Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Pengembangan Media Pembelajaran Instalasi Listrik," *ABDI SABHA (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, vol. 2, no. 2, pp. 198–205, June 2021, doi: 10.53695/jas.v2i2.263.
- [9] S. N. Rumokoy, I. G. P. Atmaja, A. Warokka, Y. O. Sihombing, and C. O. Pelealu, "The Angle Adjustment System of The Solar Energy to Electrical Energy Converter Practice Tool," *CCIT Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 248–257, July 2023, doi: 10.33050/ccit.v16i2.2193.
- [10] A. Alensyah, N. Nehru, A. Manab, Y. R. Hais, D. Tessal, and W. Kurniawan, "Development of PLTS Trainers as Learning Media in the Energy Conversion Laboratory," *CIRCUIT Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 23–23, Jan. 2024, doi: 10.22373/crc.v8i1.19674.
- [11] F. Nafiri et al., "Peningkatan Kompetensi Energi Terbarukan melalui Pelatihan dan Implementasi PLTS Berbasis Project-Based Learning di SMK YAPPIKA Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten," *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 1473–1484, Mar. 2026, doi: 10.54082/jamsi.2721.
- [12] S. N. Rumokoy, I. G. P. Atmaja, M. Langie, and J. Sundah, "Development of the Concept Design of Rooftop Solar Power Plant Practice Tool," *CCIT Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 191–197, Aug. 2022, doi: 10.33050/ccit.v15i2.2192.
- [13] S. N. Rumokoy, C. H. Simanjuntak, I. G. P. Atmaja, and J. L. Mappadang, "Perancangan Konsep Alat Praktek PLTS Skala Rumah Tangga Berbasis PV Roof Top Installation," *Setrum Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 68–68, June 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i1.7751.
- [14] S. N. Rumokoy, A. Warokka, I. G. P. Atmaja, L. Gumilar, and D. Monika, "Design of rooftop PV system training equipment for competency testing," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, pp. 1375–1380, Nov. 2025, doi: 10.59018/0825157.

- [15] S. N. Rumokoy, A. Warokka, I. G. D. Atmaja, S. B. Dodie, A. Joroh, and A. P. Kumaat, "Produk Alat Praktek PLTS Atap, Perspektif: Kelayakan Produksi," *Jurnal Elektrik*, vol. 3, no. 2, pp. 14–23, Dec. 2024, doi: 10.65485/elektrik.v3i2.1043.
- [16] S. N. Rumokoy, A. Warokka, I. G. P. Atmaja, L. Gumilar, and D. Monika, "Safety Analysis: Rooftop PV System Training Equipment," *CCIT Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 139–147, Feb. 2025, doi: 10.33050/ccit.v18i1.3538.
