

Peningkatan Literasi Teknologi PLTS Bagi Siswa SMK Jombang-Mojokerto Melalui Pembelajaran Berbasis Industri

Imron Afandi,¹ Ermanu AH,² Moh. Yogi Wahyu,³ Wijaya⁴

^{1,2} Program Magister, Rekayasa Energi Terbarukan Universitas Muhammadiyah Malang

³Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang ⁴Maintenance,

⁴Utility & Engineering (MUE), PT Lautan Natural Krimerindo, Mojokerto, Jawa Timur

*e-mail: imronafandi@umm.webmail.co.id

Abstract

The national energy transition toward renewable sources demands competent human resources, particularly at the vocational education level. This community service program aimed to enhance the photovoltaic solar panel system (PLTS) technology literacy among students in the Electrical Engineering Department of Vocational High Schools (SMK) in Jombang and Mojokerto Regencies. The program was implemented in two phases: (1) a classroom-based technical seminar covering the photovoltaic effect, key system components, MPPT and LiFePO₄ technologies, DC current safety protocols, and power calculation methods; and (2) a field visit to the rooftop PLTS installation at PT Lautan Natural Krimerindo. Program effectiveness was measured using pre-test and post-test instruments via an AI-based digital quiz. Results demonstrated an average competency score increase from 63.5 to 93.7, with a combined Normalized Gain (N-Gain) of 0.82 (high category). SMKN 3 Jombang achieved a perfect N-Gain of 1.00, while SMKN 1 Pungging obtained an N-Gain of 0.52 (moderate). These findings indicate that an industry-based learning approach combining technical seminars with field observation significantly improves vocational students' technical competency. The program recommends strengthening industry-school partnerships as an effective and sustainable model for renewable energy technology knowledge transfer.

Keywords: Solar Panel; Renewable Energy; Vocational School; Literacy Technology; MPPT

Abstrak

Transisi energi nasional menuju sumber terbarukan menuntut kesiapan sumber daya manusia yang kompeten, terutama lulusan pendidikan vokasi. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan literasi teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis fotovoltaiik pada siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Program Keahlian Teknik Ketenagalistrikan di Kabupaten Jombang dan Mojokerto, yang selama ini belum memiliki media praktik PLTS maupun pengalaman mengamati instalasi nyata secara langsung. Program dilaksanakan dalam dua tahap: (1) seminar teknis di kelas yang membahas efek fotovoltaiik, komponen utama PLTS, teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄), keselamatan arus searah (DC), serta perhitungan kapasitas sistem; dan (2) kunjungan lapangan ke instalasi PLTS atap PT Lautan Natural Krimerindo. Efektivitas program diukur melalui pre-test dan post-test berbasis kuis digital berbantuan kecerdasan buatan. Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata skor kompetensi dari 63,5 menjadi 93,7, dengan Normalized Gain (N-Gain) gabungan sebesar 0,82 (kategori tinggi); SMKN 3 Jombang mencapai N-Gain 1,00, sedangkan SMKN 1 Pungging 0,52 (kategori sedang). Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis industri yang memadukan seminar teknis dan observasi lapangan efektif meningkatkan kompetensi siswa secara terukur. Program merekomendasikan penguatan kemitraan industri-sekolah sebagai model berkelanjutan untuk transfer pengetahuan energi terbarukan.

Kata kunci: Panel surya; Energi Terbarukan; SMK; Literasi Teknologi; MPPT

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menempatkan pengembangan energi terbarukan sebagai salah satu prioritas utama dalam kebijakan ketahanan energi nasional. Melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), ditetapkan sasaran peningkatan kontribusi energi baru dan terbarukan hingga mencapai 23% pada tahun 2025 serta meningkat menjadi sekitar 31% pada tahun 2050 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017). Dalam upaya mencapai target tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dipandang sebagai

teknologi yang memiliki prospek sangat besar karena Indonesia berada di wilayah tropis yang memperoleh intensitas radiasi matahari relatif tinggi sepanjang tahun. Potensi energi surya nasional diperkirakan berkisar antara 4,5-6,0 kWh/m²/hari, dengan potensi teknis mencapai sekitar 207,8 GWp, sehingga menjadikan PLTS sebagai salah satu teknologi kunci dalam mendukung transformasi sistem energi di Indonesia maupun kawasan Asia Tenggara (International Renewable Energy Agency, 2022; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2023a).

Meskipun prospek pengembangan PLTS sangat menjanjikan, ketersediaan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi teknis masih menjadi tantangan utama. Pertumbuhan kebutuhan tenaga kerja pada sektor energi terbarukan diperkirakan mencapai sekitar 15% setiap tahun, sedangkan jumlah lulusan pendidikan vokasi yang menguasai kompetensi instalasi, operasi, dan pemeliharaan sistem PLTS belum mampu memenuhi peningkatan permintaan tersebut (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2023b). Ketidakseimbangan antara kebutuhan industri dan kesiapan tenaga kerja ini berpotensi memperlambat implementasi berbagai program transisi energi yang sedang digalakkan secara nasional.

Pada jenjang pendidikan vokasi, khususnya Program Keahlian Teknik Ketenagalistrikan di SMK, peserta didik telah memperoleh dasar-dasar ilmu kelistrikan sebagai bekal utama. Namun demikian, materi yang berkaitan dengan perkembangan teknologi PLTS modern masih belum tersaji secara optimal dalam kurikulum pembelajaran. Beberapa kompetensi penting, seperti prinsip kerja Maximum Power Point Tracking (MPPT), karakteristik baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄), penerapan standar keselamatan pada sistem arus searah (DC), hingga praktik perancangan sistem PLTS, umumnya masih mendapatkan porsi yang terbatas (Purwanto & Suyanto, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya program pembelajaran yang mampu menghubungkan konsep teoritis di sekolah dengan implementasi teknologi yang digunakan secara aktual di lingkungan industri.

Salah satu contoh penerapan teknologi tersebut dapat dijumpai di PT Lautan Natural Krimerindo (PT LNK), sebuah perusahaan pengolahan produk susu berbasis teknologi spray drying yang berlokasi di Mojokerto, Jawa Timur. Dalam rangka mendukung efisiensi energi dan strategi dekarbonisasi perusahaan, PT LNK telah mengimplementasikan sistem PLTS atap sebagai sumber energi pendukung kegiatan operasional. Keberadaan fasilitas ini memberikan kesempatan bagi institusi pendidikan untuk memanfaatkan lingkungan industri sebagai laboratorium pembelajaran, sehingga siswa dapat mengamati secara langsung proses perencanaan, instalasi, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem PLTS yang diterapkan pada skala industri.

Efektivitas pendekatan pembelajaran berbasis praktik industri telah banyak dilaporkan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Nurhayati et al. (2022), misalnya, melaporkan bahwa program pelatihan teknologi PLTS bagi siswa SMK di Jawa Tengah menghasilkan nilai Normalized Gain (N-Gain) sebesar 0,71 yang termasuk dalam kategori tinggi. Penelitian lain oleh Jendra et al. (2023) menunjukkan bahwa kegiatan kunjungan industri mampu memperkuat kesiapan kerja sekaligus memperluas wawasan dan pemahaman peserta didik terhadap penerapan teknologi di dunia kerja. Selain itu, Rojewski (2022) menegaskan bahwa pembelajaran yang berorientasi pada pengalaman nyata di lingkungan kerja lebih efektif dalam membentuk kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan industri dibandingkan metode pembelajaran konvensional di kelas. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Robandi et al. (2024a, 2024b), yang menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran berupa trainer PLTS mampu meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan pada berbagai jenjang pendidikan, baik di sekolah dasar maupun sekolah menengah kejuruan. Temuan-temuan tersebut memperkuat pandangan bahwa integrasi antara pembelajaran teoritis, media praktik, dan pengalaman langsung di industri merupakan strategi yang efektif dalam meningkatkan kompetensi peserta didik di bidang energi terbarukan.

Hasil observasi awal tim pelaksana di kedua sekolah mitra mengonfirmasi kesenjangan tersebut secara konkret. SMKN 3 Jombang dan SMKN 1 Pungging Mojokerto belum memiliki media maupun trainer praktik PLTS di laboratorium sekolah, sehingga materi fotovoltaik selama ini hanya disampaikan secara teoretis melalui buku ajar tanpa dukungan alat peraga. Sebagian besar siswa juga belum pernah mengamati secara langsung instalasi PLTS berskala nyata yang beroperasi di lingkungan industri, sehingga pemahaman mereka terhadap aspek teknis di lapangan, seperti tata letak panel, pengkabelan arus searah (DC), dan prosedur keselamatan kerja, masih terbatas. Kondisi inilah yang menjadi urgensi utama pelaksanaan program, mengingat kebutuhan tenaga kerja terampil di sektor energi terbarukan terus meningkat sementara kesiapan lulusan pendidikan vokasi belum optimal. Sebagai solusi, tim PT LNK menawarkan program pembelajaran dua tahap yang memadukan seminar teknis di kelas dengan kunjungan langsung ke instalasi PLTS atap PT LNK, sehingga kesenjangan antara teori yang dipelajari di sekolah dan praktik nyata di industri dapat dijumpai secara konkret.

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan tersebut, program pengabdian kepada masyarakat ini disusun sebagai upaya untuk memperkuat kompetensi siswa SMK dalam bidang teknologi energi surya melalui tiga sasaran utama. Sasaran pertama adalah meningkatkan pemahaman konseptual peserta mengenai prinsip kerja sistem fotovoltaik, fungsi setiap komponen utama, serta konfigurasi dasar instalasi PLTS. Sasaran berikutnya diarahkan pada pengembangan keterampilan aplikatif, meliputi teknik dasar pemasangan, perhitungan kebutuhan kapasitas sistem, serta prosedur operasi dan pemeliharaan yang memenuhi aspek keselamatan kerja. Selanjutnya, peserta diberikan kesempatan memperoleh pengalaman belajar secara langsung melalui observasi instalasi PLTS yang telah beroperasi di lingkungan industri, sehingga materi yang diperoleh di ruang kelas dapat dikaitkan dengan praktik implementasi di lapangan. Melalui rangkaian kegiatan tersebut diharapkan tidak hanya terjadi peningkatan literasi dan kompetensi peserta dalam bidang energi terbarukan yang dapat dievaluasi secara kuantitatif, tetapi juga terbentuk pola kolaborasi yang berkelanjutan antara dunia pendidikan vokasi dan sektor industri sebagai model pengembangan pembelajaran yang dapat diterapkan pada institusi pendidikan lainnya.

Keunggulan utama program ini terletak pada pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan berbagai metode secara komprehensif dalam satu rangkaian kegiatan. Proses pembelajaran tidak berhenti pada penyampaian materi melalui seminar teknis, tetapi dilanjutkan dengan pengamatan langsung terhadap sistem PLTS yang beroperasi di fasilitas industri sehingga peserta memperoleh pengalaman belajar yang lebih kontekstual. Selain itu, evaluasi pembelajaran memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence atau AI) melalui kuis digital yang memungkinkan proses penilaian berlangsung secara cepat, objektif, dan terdokumentasi dengan baik. Efektivitas kegiatan kemudian dianalisis menggunakan metode Normalized Gain (N-Gain) untuk mengukur besarnya peningkatan capaian belajar setelah program dilaksanakan. Kombinasi antara pembelajaran teoritis, pengalaman lapangan, evaluasi digital berbasis AI, dan analisis peningkatan kompetensi melalui N-Gain masih relatif jarang diterapkan secara terpadu dalam kegiatan pendidikan vokasi di bidang energi terbarukan di Indonesia.

Selain memberikan manfaat terhadap peningkatan kualitas proses pembelajaran, pelaksanaan program ini juga mendukung agenda pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals atau SDGs). Kontribusi tersebut terutama berkaitan dengan pencapaian SDG 4 mengenai pendidikan berkualitas melalui penyediaan pengalaman belajar yang relevan dengan kebutuhan industri, serta SDG 7 mengenai energi bersih dan terjangkau melalui peningkatan pemahaman generasi muda terhadap teknologi energi terbarukan. Hubungan antara pendidikan vokasi dan pengembangan kompetensi di bidang energi bersih tersebut juga telah dilaporkan dalam penelitian Djalal et al. (2025), yang menunjukkan bahwa pelaksanaan program edukasi PLTS di SMK Negeri 4 Kabupaten Soppeng memberikan dampak positif terhadap peningkatan pengetahuan peserta sekaligus mendukung implementasi tujuan pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya

berorientasi pada peningkatan hasil belajar dalam jangka pendek, tetapi juga berkontribusi terhadap penguatan kapasitas sumber daya manusia yang dibutuhkan untuk mendukung transisi energi nasional pada masa mendatang.

Tabel 1. Kontribusi Pada Keberlangsungan

Tujuan SDGs	Aspek Kunci	Kontribusi Program
SDG 4	Pendidikan Berkualitas	Peningkatan literasi teknologi energi terbarukan dan kompetensi teknis siswa SMK melalui program industry-based learning terstruktur
SDG 7	Energi Bersih & Terjangkau	Peningkatan kapasitas SDM untuk akselerasi adopsi teknologi PLTS sebagai sumber energi bersih di Indonesia sesuai target RUEN 2025
SDG 8	Pekerjaan Layak & Pertumbuhan Ekonomi	Pembentukan kompetensi green jobs pada lulusan SMK sebagai tenaga instalasi, operasi, dan pemeliharaan sistem PLTS yang siap kerja di sektor energi terbarukan
SDG 13	Penanganan Perubahan Iklim	Penguatan kesadaran dan aksi iklim melalui diseminasi pengetahuan teknologi dekarbonisasi berbasis PLTS kepada generasi muda vokasi

2. METODE

2.1 Desain Kegiatan

Program ini dirancang di atas fondasi pendekatan pembelajaran berbasis industri (industry-based learning), yang dalam praktiknya memadukan ceramah dua arah, demonstrasi visual, dan pengalaman lapangan langsung. Untuk memastikan desain yang terarah, tim pelaksana mengadopsi kerangka ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) – sebuah model yang telah teruji keandalannya dalam konteks pendidikan kejuruan (Branch, 2009). Keunggulan utama kerangka ini terletak pada kemampuannya menjaga keterkaitan yang erat antara tujuan belajar, strategi penyampaian, dan alat ukur yang digunakan.



Gambar 1. Kerangka Program Pengabdian Masyarakat Tentang PLTS Atap

2.2 Peserta dan Lokasi

Kegiatan dilaksanakan pada dua institusi mitra: (1) SMKN 3 Jombang (jurusan Teknik Ketenagalistrikan, kelas XI dan XII, ± 10 siswa) dan (2) SMKN 1 Pungging Mojokerto (jurusan Teknik Pemesinan, kelas XI, ± 16 siswa). Total peserta adalah 26 siswa. Pemilihan mitra didasarkan pada kedekatan geografis dengan fasilitas PT LNK serta relevansi kurikulum yang mendukung integrasi materi PLTS.

2.3 Narasumber dan Fasilitator

Kegiatan dipimpin oleh dua narasumber PT LNK yang memiliki kompetensi teknis terverifikasi: (1) Imron Afandi, S.T., selaku Manager MUE dengan pengalaman lebih dari 15 tahun di bidang manajerial dan teknis kelistrikan industri, pemegang sertifikasi BNSP Manajer Energi; dan (2) Moh. Yogi Wahyu Wijaya, S.Tr.T., selaku SPV Electrical MUE dengan spesialisasi pada sistem kontrol dan instrumentasi kelistrikan.

2.4 Materi dan Konten Seminar

Materi seminar disusun secara sistematis mengikuti alur dari fundamental hingga aplikasi, mencakup delapan topik utama sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 2. Topik dan Cakupan Materi Seminar Teknis PLTS

No.	Topik Materi	Deskripsi Singkat
1	Prinsip Dasar Efek Fotovoltaik	Mekanisme pembangkitan arus DC dari semikonduktor tipe-N dan tipe-P
2	Arsitektur Sistem PLTS	Aliran energi: panel $\rightarrow$ SCC $\rightarrow$ baterai $\rightarrow$ inverter $\rightarrow$ beban AC
3	Konfigurasi On-Grid vs Off-Grid	Komparasi teknis, ekonomis, dan aplikasi masing-masing sistem
4	Teknologi SCC: PWM vs MPPT	Prinsip kerja dan keunggulan efisiensi MPPT (hingga 30% lebih tinggi)
5	Teknologi Penyimpanan Energi	Komparasi Lead-Acid vs LiFePO ₄ ; konsep DoD dan siklus baterai
6	Kalkulasi Teknis Sistem PLTS	Formula daya aktual panel dan kapasitas baterai
7	Keselamatan Arus DC	Bahaya DC vs AC; fenomena arc flash; protokol kerja aman
8	Prosedur Pemeliharaan	Orientasi panel, jadwal pembersihan, pencegahan thermal stress



Gambar 2. Penjelasan Materi Seminar Teknis PLTS di Kelas

2.5 Kunjungan Lapangan

Sesi kunjungan dilaksanakan langsung di kompleks PT LNK, dengan fokus utama pada pengamatan instalasi PLTS yang terpasang di atap fasilitas produksi. Di bawah panduan narasumber, peserta memiliki kesempatan mengamati dari dekat tata letak fisik panel, sudut dan orientasi pemasangannya, jalur pengkabelan DC, serta komponen-komponen pendukung sistem. Demi keselamatan selama berada di area industri aktif, seluruh peserta wajib mengenakan Alat Pelindung Diri (APD) standar yang meliputi helm pelindung, sepatu safety, dan full body harness untuk akses ke area ketinggian, sesuai dengan prosedur K3L3 perusahaan yang berlaku.



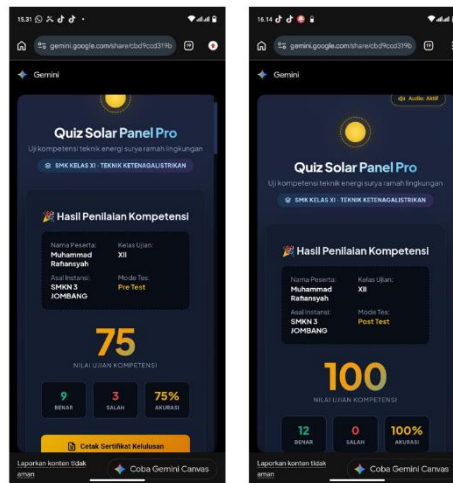
Gambar 3. Kunjungan dan Penjelasan Langsung Pada PLTS Atap

2.6 Instrumen Evaluasi

Untuk mengukur sejauh mana program ini berhasil membawa perubahan, digunakan instrumen kuis digital yang dibangun menggunakan platform AI interaktif Gemini Canvas. Kuis ini diberikan dalam dua putaran – sebelum dan sesudah kegiatan – dengan 12 butir soal pilihan ganda yang merangkum keseluruhan materi seminar. Besar peningkatan dihitung menggunakan rumus Normalized Gain (N-Gain) yang dikembangkan oleh Hake (1998):

$$N - Gain = \frac{(Score\ post\ test - Score\ pre\ test)}{(Score\ maximal\ ideal - Score\ pre\ test)}$$

Kriteria penilaian: $N-Gain \geq 0,7$ = kategori tinggi; $0,3 \leq N-Gain < 0,7$ = kategori sedang; $N-Gain < 0,3$ = kategori rendah.



Gambar 4. Penggunaan Instrumen Pre dan Post Test Berbasis Kuis Digital

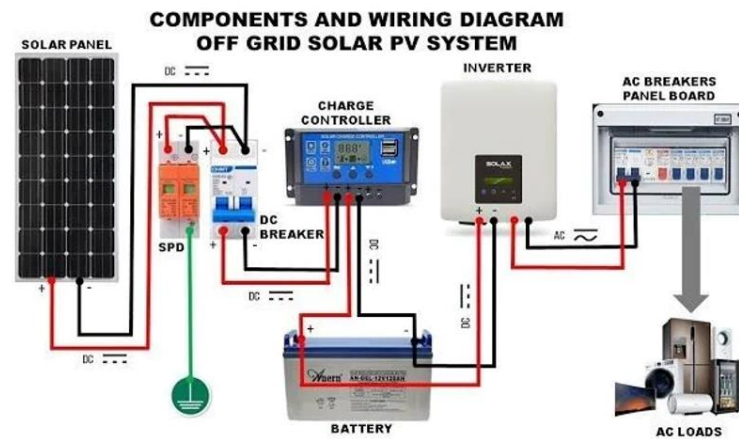
Gambar 4 memperlihatkan tampilan antarmuka kuis digital yang diakses peserta melalui perangkat masing-masing untuk mengerjakan soal pre-test dan post-test secara mandiri, dengan skor dan umpan balik yang dihasilkan secara otomatis oleh sistem berbasis AI segera setelah kuis diselesaikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan Seminar Teknis

Pelaksanaan seminar teknis pada masing-masing sekolah mitra berlangsung selama kurang lebih tiga jam dan menunjukkan dinamika pembelajaran yang sangat interaktif. Selama kegiatan berlangsung, siswa tidak hanya berperan sebagai pendengar, tetapi juga aktif mengajukan pertanyaan, memberikan tanggapan, serta mendiskusikan berbagai aspek teknis yang disampaikan oleh narasumber. Topik yang paling banyak memancing diskusi adalah perbandingan karakteristik Pulse Width Modulation (PWM) dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT), khususnya terkait efisiensi konversi energi pada sistem PLTS. Selain itu, peserta juga menunjukkan ketertarikan yang tinggi terhadap pembahasan mengenai penggunaan baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄), terutama dari sisi keunggulan umur pakai, tingkat keamanan, dan performanya dibandingkan teknologi baterai konvensional. Penyajian materi yang didukung oleh infografis informatif, diagram aliran energi, ilustrasi mekanisme kerja efek fotovoltaiik, serta skema konfigurasi sistem PLTS membantu peserta memahami konsep-konsep teknis yang sebelumnya bersifat abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami.

Strategi penyampaian materi juga dirancang agar lebih dekat dengan pengalaman sehari-hari peserta. Beberapa komponen utama sistem PLTS dijelaskan melalui analogi sederhana, misalnya Solar Charge Controller dianalogikan sebagai "pengatur lalu lintas energi" yang mengendalikan distribusi daya dari panel surya menuju baterai, sedangkan inverter digambarkan sebagai "penerjemah energi" yang mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik sehingga dapat dimanfaatkan oleh berbagai peralatan listrik. Pendekatan komunikatif semacam ini terbukti mampu meningkatkan keterlibatan peserta selama proses pembelajaran, karena konsep-konsep teknis yang relatif kompleks menjadi lebih mudah divisualisasikan dan dipahami. Temuan tersebut sejalan dengan pendekatan pembelajaran kontekstual (contextual teaching and learning), yang menekankan pentingnya menghubungkan materi baru dengan pengalaman atau pengetahuan yang telah dimiliki peserta didik agar proses konstruksi pengetahuan berlangsung lebih efektif (Brooks & Brooks, 1999). Dengan demikian, penggunaan ilustrasi visual yang dipadukan dengan analogi kontekstual tidak hanya meningkatkan interaksi di dalam kelas, tetapi juga memperkuat pemahaman konseptual siswa terhadap prinsip kerja teknologi PLTS.



Gambar 5. Diagram arsitektur sistem PLTS yang digunakan untuk menjelaskan aliran energi listrik dari panel hingga beban.

3.2 Kunjungan Lapangan PT LNK

Kegiatan kunjungan lapangan ke instalasi PLTS atap di PT Lautan Natural Krimerindo memberikan pengalaman belajar yang melengkapi materi yang telah diperoleh peserta di dalam kelas. Melalui observasi secara langsung, siswa dapat memahami bagaimana prinsip-prinsip dasar sistem fotovoltaik diterapkan pada fasilitas industri yang beroperasi secara nyata. Mereka memperoleh kesempatan untuk mengamati orientasi pemasangan modul surya yang disesuaikan dengan kondisi geografis Indonesia di belahan bumi selatan, desain struktur penyangga (mounting system) yang dirancang agar mampu menahan beban mekanis dan tekanan angin, tata letak jalur kabel arus searah (DC) yang memenuhi aspek keselamatan dan kemudahan pemeliharaan, serta prosedur keselamatan kerja yang wajib diterapkan ketika melakukan aktivitas di area atap bangunan. Pengalaman tersebut memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai proses implementasi teknologi PLTS, sehingga peserta tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mengenali berbagai pertimbangan teknis yang dihadapi pada tahap instalasi dan operasional di lapangan.

Interaksi langsung dengan lingkungan industri menjadikan proses pembelajaran lebih kontekstual dan bermakna. Konsep-konsep yang sebelumnya dipelajari melalui presentasi dan ilustrasi visual dapat dikonfirmasi melalui pengamatan terhadap sistem yang benar-benar berfungsi, sehingga membantu peserta membangun hubungan yang lebih kuat antara teori dan praktik. Pendekatan berbasis pengalaman (experiential learning) semacam ini diketahui mampu meningkatkan retensi pengetahuan, memperkuat pemahaman konseptual, serta mengembangkan kesiapan peserta didik dalam menghadapi kondisi kerja yang sesungguhnya. Temuan ini sejalan dengan Djalal et al. (2025) yang menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan trainer PLTS dan praktik langsung meningkatkan pemahaman peserta terhadap teknologi energi terbarukan.

3.3 Hasil Evaluasi Kompetensi

Evaluasi dilakukan menggunakan instrumen pre-test dan post-test pada kedua sekolah mitra. Tabel 2 merangkum perbandingan hasil evaluasi kompetensi peserta secara menyeluruh.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Kompetensi Pre-Test dan Post-Test Peserta

Sekolah / Parameter	Peserta	Rerata Pre-Test	Rerata Post-Test	N-Gain	Kategori
SMKN 3 Jombang	10 siswa	50,0	100,0	1,00	Tinggi
SMKN 1 Pungging	16 siswa	83,0	92,0	0,52	Sedang

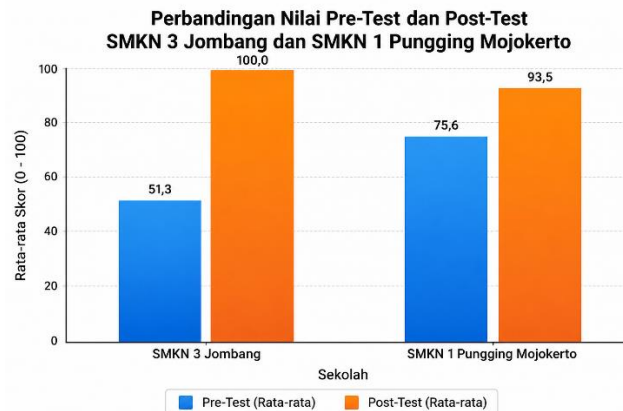
Sekolah / Parameter	Peserta	Rerata Pre-Test	Rerata Post-Test	N-Gain	Kategori
Rata-rata Gabungan	26 siswa	63,5	93,7	0,82	Tinggi

Hasil evaluasi yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa program memberikan dampak positif terhadap peningkatan penguasaan materi pada kedua sekolah mitra, meskipun besarnya peningkatan berbeda pada masing-masing kelompok peserta. SMKN 3 Jombang memperlihatkan peningkatan hasil belajar yang sangat signifikan. Nilai rata-rata peserta meningkat dari 50,0 pada tahap pre-test menjadi 100,0 pada post-test, sehingga menghasilkan nilai Normalized Gain (N-Gain) sebesar 1,00 yang termasuk kategori sangat tinggi. Capaian tersebut mengindikasikan bahwa hampir seluruh kesenjangan pengetahuan yang dimiliki peserta sebelum pelatihan berhasil ditutup setelah mengikuti rangkaian kegiatan. Jika dibandingkan dengan penelitian Nurhayati et al. (2022), yang melaporkan nilai N-Gain sebesar 0,71 pada program edukasi PLTS di tingkat SMK, hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan efektivitas yang lebih besar. Salah satu faktor yang diduga berkontribusi terhadap perbedaan tersebut adalah adanya pembelajaran berbasis pengalaman melalui kunjungan ke instalasi PLTS yang sedang beroperasi di lingkungan industri. Komponen pembelajaran ini memberikan kesempatan kepada peserta untuk menghubungkan konsep yang dipelajari di kelas dengan implementasi nyata di lapangan, sehingga proses pembentukan pemahaman menjadi lebih mendalam. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian Jendra et al. (2023), yang menyatakan bahwa pengalaman belajar secara langsung melalui kunjungan industri mampu memperkuat pemahaman peserta didik terhadap dunia kerja sekaligus mendekatkan kompetensi mereka dengan kebutuhan industri. Bahkan apabila dibandingkan dengan penelitian Robandi et al. (2024a), yang memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,74 melalui penggunaan trainer PLTS di laboratorium sekolah, capaian SMKN 3 Jombang mengindikasikan bahwa pembelajaran yang memanfaatkan fasilitas industri aktif berpotensi memberikan pengalaman belajar yang lebih komprehensif dibandingkan pembelajaran yang hanya dilakukan menggunakan media praktik di lingkungan sekolah.

Karakteristik hasil yang berbeda terlihat pada peserta dari SMKN 1 Pungging. Berbeda dengan kelompok sebelumnya, siswa yang mengikuti kegiatan berasal dari Program Keahlian Teknik Pemesinan dan telah memiliki nilai awal yang relatif tinggi, yaitu rata-rata 83,0 pada pre-test. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar peserta telah memiliki pemahaman dasar mengenai konsep kelistrikan sebelum kegiatan dilaksanakan. Setelah mengikuti seluruh rangkaian program, nilai rata-rata meningkat menjadi 92,0 dengan perolehan N-Gain sebesar 0,52 yang berada pada kategori sedang. Nilai tersebut tidak dapat diartikan sebagai rendahnya efektivitas program, melainkan lebih mencerminkan keterbatasan ruang peningkatan yang tersedia akibat tingginya kemampuan awal peserta. Dalam kajian evaluasi pendidikan, kondisi ini dikenal sebagai ceiling effect, yaitu situasi ketika peserta telah mencapai tingkat penguasaan awal yang tinggi sehingga peluang untuk memperoleh peningkatan skor menjadi lebih terbatas (Bao, 2006). Oleh karena itu, interpretasi terhadap nilai N-Gain perlu mempertimbangkan kondisi awal peserta dan tidak hanya berfokus pada besarnya nilai indeks semata.

Meskipun peningkatan N-Gain pada SMKN 1 Pungging lebih rendah dibandingkan SMKN 3 Jombang, kenaikan nilai rata-rata sebesar sembilan poin tetap memiliki arti penting dari sudut pandang pedagogis. Program ini tetap berhasil memperluas wawasan peserta terhadap berbagai materi yang sebelumnya belum menjadi bagian dari pembelajaran reguler di Program Keahlian Teknik Pemesinan, seperti prinsip kerja Maximum Power Point Tracking (MPPT), karakteristik baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄), serta prosedur keselamatan kerja pada sistem kelistrikan arus searah (DC). Dengan demikian, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efektivitas suatu program pembelajaran tidak hanya tercermin dari besarnya peningkatan skor, tetapi juga dari kemampuan program dalam memperkenalkan

kompetensi baru yang relevan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan dunia industri.



Gambar 6. Perbandingan Capaian Nilai Pre-Test dan Post Test yang menunjukkan signifikansi peningkatan literasi terhadap PLTS Atap.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa program ini memiliki tingkat efektivitas yang tinggi. Nilai Normalized Gain (N-Gain) gabungan sebesar 0,82 menempatkan kegiatan dalam kategori tinggi, yang menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran yang diterapkan mampu meningkatkan penguasaan materi secara signifikan pada sebagian besar peserta. Capaian tersebut sejalan dengan penelitian Dani dan Erivianto (2025) yang melaporkan peningkatan pengetahuan siswa dari 38,5% menjadi 87,2% (setara N-Gain $\approx$ 0,79) pada pelatihan desain PLTS di lingkungan SMK, serta melampaui hasil yang diperoleh Nurhayati et al. (2022), yaitu sebesar 0,71. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa rancangan pembelajaran yang mengintegrasikan teori dan praktik lapangan memiliki potensi untuk menghasilkan peningkatan hasil belajar yang lebih optimal dibandingkan pendekatan yang hanya berfokus pada penyampaian materi di dalam kelas.

Apabila dibandingkan dengan penelitian Utami et al. (2025), terlihat adanya perbedaan strategi dalam pengembangan kompetensi. Penelitian tersebut menitikberatkan pelatihan kepada guru sebagai multiplier, dengan harapan pengetahuan yang diperoleh dapat diteruskan kepada peserta didik melalui proses pembelajaran di sekolah. Pendekatan tersebut menghasilkan peningkatan kemampuan kognitif guru pada kategori sedang dan memiliki nilai strategis untuk keberlanjutan program. Sebaliknya, kegiatan yang dilaksanakan pada penelitian ini menempatkan siswa sebagai sasaran utama proses pembelajaran sehingga peningkatan literasi teknologi dapat diamati dan dievaluasi secara langsung pada kelompok yang dipersiapkan untuk memasuki dunia kerja. Kedua model tersebut pada dasarnya tidak saling menggantikan, melainkan dapat dipandang sebagai strategi yang saling melengkapi dalam mendukung penguatan pendidikan vokasi di bidang energi terbarukan. Pelatihan guru berperan dalam memperluas kapasitas institusi pendidikan, sedangkan pelatihan yang berorientasi langsung kepada siswa memberikan dampak yang lebih cepat terhadap peningkatan kompetensi calon tenaga kerja.

Pencapaian N-Gain yang relatif lebih tinggi pada program ini diduga dipengaruhi oleh karakteristik metode pembelajaran yang diterapkan. Selain memperoleh penjelasan konseptual melalui seminar teknis, peserta juga mendapatkan pengalaman belajar secara langsung melalui observasi instalasi PLTS yang beroperasi di lingkungan industri. Integrasi kedua aktivitas tersebut memungkinkan peserta menghubungkan konsep teoritis dengan praktik implementasi sehingga proses pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan bermakna. Sejumlah penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa pengalaman belajar berbasis industri mampu meningkatkan retensi pengetahuan, memperkuat pemahaman konseptual, serta membantu peserta didik mengembangkan kompetensi yang lebih sesuai dengan kebutuhan dunia kerja (Jendra et al., 2023; Robandi et al., 2024a). Oleh karena itu,

kombinasi antara pembelajaran di kelas dan kunjungan lapangan dapat dipandang sebagai salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya efektivitas program ini. Temuan tersebut sekaligus menunjukkan bahwa model pembelajaran dua tahap—yang menggabungkan penguatan konsep melalui seminar dengan validasi pengalaman melalui observasi langsung di fasilitas industri—berpotensi menjadi alternatif yang efektif untuk diterapkan dalam program peningkatan kompetensi energi terbarukan pada pendidikan vokasi di Indonesia.

3.4 Analisis Butir Soal

Ketika jawaban peserta ditelaah per butir soal, pola yang menarik mulai terlihat. Tiga topik yang mengalami lonjakan pemahaman paling besar adalah: teknologi MPPT dan bagaimana ia berbeda dari kontroler PWM konvensional, pertimbangan dalam memilih baterai LiFePO₄, serta protokol keselamatan saat bekerja dengan arus DC. Ini masuk akal: ketiga topik tersebut memang jarang atau bahkan tidak ada dalam kurikulum SMK reguler, sehingga seminar ini benar-benar membuka cakrawala baru bagi para peserta. Sebaliknya, pertanyaan seputar efek fotovoltaik dan prinsip dasar sel surya sudah dijawab dengan cukup baik sejak pre-test, menandakan bahwa fondasi konsep dasar ini sudah berhasil dibangun melalui pembelajaran reguler di sekolah masing-masing.

3.5 Respons dan Antusiasme Peserta

Dalam observasi selama aktivitas berlangsung, peserta tampak antusias dan proaktif dalam mengikutinya. Dalam sesi tanya jawab, pertanyaan-pertanyaan yang muncul menunjukkan bahwa peserta tidak hanya mampu sekadar menyerap informasi, melainkan juga berpikir kritis. Ragam pertanyaan yang bukan saja menguliti persoalan teknis, tapi juga bertanya soal perbandingan biaya antara sistem on-grid dan off-grid, termasuk mendiskusikan kemungkinan memasang PLTS di lingkungan sekolah mereka sendiri. Dan juga hingga penasaran dengan langkah-langkah diagnosis ketika keluaran panel tidak optimal atau terjadi masalah keluaran listrik. Jika sesi belajar di kelas sudah cukup mendorong antusiasme mereka, maka melihat langsung di lokasi instalasi PT LNK menjadi hal yang paling ditunggu dan memberi pengalaman yang seru, ketika mereka bisa menyentuh, melihat, dan bertanya langsung pada praktisi tentang sistem yang sedang beroperasi di depan mata.

3.6 Pembahasan: Implikasi dan Relevansi

Hasil tersebut menunjukkan adanya kesenjangan kompetensi yang dapat diatasi melalui pembelajaran berbasis industri. Pertama dan paling mendasar: ternyata ada jurang yang cukup dalam antara apa yang diajarkan di kelas SMK sehari-hari dengan apa yang sungguh-sungguh dibutuhkan di lapangan PLTS, khususnya pada teknologi MPPT, baterai LiFePO₄, dan keselamatan arus DC. Jurang ini tidak akan menutup sendiri; dibutuhkan kemitraan yang terencana dan berkelanjutan antara industri dan sekolah untuk menjembatannya secara konsisten.

Kedua, program dua fase ini bekerja bukan karena kebetulan, melainkan karena ada logika pedagogis yang kuat di baliknya. Sesi kelas membangun peta konseptual di benak siswa, sementara kunjungan lapangan mengisi peta itu dengan detail yang hidup dan nyata. Perpaduan ini melahirkan apa yang oleh para ahli pendidikan disebut sebagai *meaningful learning* — pembelajaran yang bermakna karena berhasil mengaitkan pengetahuan baru dengan pengalaman konkret yang dialami langsung oleh peserta didik (Ausubel, 1968).

Ketiga, penggunaan kuis digital berbasis AI terbukti lebih dari sekadar efisiensi teknis. Sistem ini memungkinkan asesmen kompetensi berlangsung secara real-time, dengan umpan balik yang langsung tersedia bagi peserta segera setelah mereka selesai menjawab. Mekanisme seperti ini berpotensi menjadi standar baru dalam pelatihan teknis berskala lebih besar di masa depan. Keempat, temuan program ini memperkuat tren yang didokumentasikan oleh Robandi et al. (2024b) dan Djalal et al. (2025): berbagai program

PLTS di lingkungan SMK – entah itu berbasis perangkat trainer fisik di kelas, berbasis kunjungan industri, maupun berbasis IoT – secara konsisten terbukti mampu mendongkrak literasi energi terbarukan dan memberi kontribusi nyata terhadap pencapaian SDGs. Ini sekaligus menjadi sinyal kuat bahwa model kemitraan industri-sekolah seperti yang dijalankan dalam program ini layak dan berpotensi tinggi untuk direplikasi di berbagai wilayah dan konteks pendidikan kejuruan lainnya.

4. KESIMPULAN

Program pembelajaran berbasis industri melalui seminar teknis dan kunjungan ke instalasi PLTS berhasil meningkatkan literasi teknologi siswa SMK dengan rata-rata N-Gain sebesar 0,82 (kategori tinggi). Pendekatan ini efektif menjembatani kesenjangan antara teori di sekolah dan praktik di industri, terutama pada materi MPPT, baterai LiFePO₄, dan keselamatan sistem DC. Model kolaborasi industri-sekolah direkomendasikan untuk direplikasi secara berkelanjutan guna mendukung penguatan kompetensi energi terbarukan di pendidikan vokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada (1) Direksi PT Lautan Natural Krimerindo atas dukungan penuh dalam pelaksanaan program pengabdian masyarakat ini; (2) Kepala Sekolah, Guru Pembimbing, serta seluruh siswa SMKN 3 Jombang dan SMKN 1 Pungging Mojokerto atas partisipasi aktif dan antusiasme yang ditunjukkan selama kegiatan berlangsung. Program ini merupakan inisiatif corporate social responsibility (CSR) PT LNK, dengan tidak melibatkan pihak eksternal dalam pendanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Bao, L. (2006). Measuring an essential aspect of instruction quality. *Physical Review Special Topics–Physics Education Research*, 2(1), 010105. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010105>
- Branch, R. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (1999). *In search of understanding: The case for constructivist classrooms*. ASCD.
- Dani, A., & Erivianto, D. (2025). Pelatihan desain PLTS berbasis software Helioscope sebagai upaya peningkatan kompetensi teknis siswa di SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 4(2), 12139-12145. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3461>
- Djalal, M. R., Serpian, S., Mulyadi, M., Usman, U., Faisal, F., Robandi, I., Prakasa, M. A., Ramadhani, A., Ridho, H., Aulia, G., Furqan, M., Abraham, R., Aksan, A., Mahdiah, H., Tazkiyatunnisa, T., Fayyad, M., Jelang Ramadhan, M., Musrifinah, M., Dwi Syahimullah, A., ... Afdhal, M. (2025). Implementasi trainer pembangkit listrik tenaga surya berbasis Internet of Things sebagai media pembelajaran di SMK Negeri 4 Kabupaten Soppeng. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(6), 1461-1472. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i6.8094>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- International Renewable Energy Agency. (2022). *Indonesia energy transition outlook*. <https://www.irena.org/publications/2022/Nov/Indonesia-Energy-Transition-Outlook>

- Jendra, C., Wardani, C. Y., Nisa, I. A., Arifin, I. N., & Fuadah, L. (2023). Kolaborasi sekolah menengah kejuruan dengan kegiatan kunjungan industri untuk meningkatkan kesiapan kerja dunia usaha dan dunia industri. *Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Pendidikan*, 3(12), 3-12. <https://doi.org/10.17977/um066.v3.i12.2023.2>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2017). Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) (Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017). Sekretariat Negara.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2023a). Handbook of energy & economic statistics of Indonesia 2023 (hal. 45-58). Pusdatin ESDM.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2023b). Laporan tahunan pengembangan energi baru terbarukan dan konservasi energi 2023. Direktorat Jenderal EBTKE.
- Nurhayati, S., Prasetyo, D., & Wibowo, H. (2022). Sosialisasi dan pelatihan teknologi panel surya untuk peningkatan kompetensi siswa SMK di Jawa Tengah. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 8(4), 312-324. <https://doi.org/10.22146/jpkm.68215>
- Purwanto, A., & Suyanto, B. (2023). Analisis kesiapan kurikulum SMK teknik ketenagalistrikan dalam menghadapi era energi terbarukan. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 13(2), 145-158. <https://doi.org/10.21831/jpv.v13i2.53124>
- Robandi, I., Riawan, D. C., Wirjodirdjo, B., Guntur, H. L., Putri, V. L. B., Djalal, M. R., Prakasa, M. A., Ghazi, A. L., Al Irsad, M. A., Hidayat, M. T. I., Saputra, R. A., Kumala, A., Satria, M. A., & Himawari, W. (2024a). Implementasi dan sosialisasi mini laboratorium sistem pembangkit tenaga surya di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 8(1), 1126-1134. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i1.793>
- Robandi, I., Guntur, H. L., Wirjodirdjo, B., Djalal, M. R., Prakasa, M. A., Ramadhani, A., Imam, M. T., Dian, F., Al Irsad, M. A., Muchyiddin, M. I., Imron, K., Natha, K., Kurniawan, M., Aulia, D., Himawari, W., & Haque, G. (2024b). Implementasi trainer PLTS sebagai media pembelajaran di SD Muhammadiyah 4 Surabaya. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 8(6), 2466-2476. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i6.2240>
- Rojewski, K. (2022). Industry-based learning in vocational and technical education: A review. *International Journal for Research in Vocational Education and Training*, 9(1), 1-25. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.9.1.1>
- Utami, S., Mursid, S. P., Mardiyanto, I. R., Rahardjo, A. H., Udjianto, T., Arasid, W., & Nurdin, R. (2025). Menyalakan cahaya dari sekolah: Transformasi kompetensi guru SMKN 1 Cimahi melalui pelatihan PLTS. *SEWAGATI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(4), 1061-1070. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i4.7944>