

Peningkatan Kompetensi Energi Terbarukan melalui Pelatihan dan Implementasi PLTS Berbasis *Project-Based Learning* di SMK YAPPIKA Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten

Faraida Nafiri¹, Kartika Sekarsari^{*2}, Syaiful Rizal³, Elfirza Rosiana⁴, Hasan Ashari⁵, Fajar Putra Ramadhan⁶, Mohammad Taufik Firdaus⁷, Imam Nurhakim⁸, Dwi Hendrawan⁹

^{1,2,4,5,6,7,8,9} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Indonesia

³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Indonesia

*e-mail: dosen00181@unpam.ac.id²

Abstrak

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di SMK YAPPIKA Tangerang untuk mengatasi keterbatasan sarana praktik dan rendahnya pengalaman peserta didik dalam instalasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Data awal menunjukkan rata-rata pemahaman siswa sebesar 57,1 dan keterampilan praktik sebesar 50,6, serta 80% siswa belum pernah melakukan instalasi PLTS secara langsung. Kegiatan bertujuan meningkatkan kompetensi siswa dan guru melalui pelatihan berbasis proyek, penyediaan trainer PLTS, dan penyusunan modul ajar. Metode pelaksanaan meliputi ceramah interaktif, demonstrasi, praktik langsung, serta evaluasi menggunakan pre-test, post-test, rubrik keterampilan, dan angket sikap skala Likert 4 tingkat. Kegiatan diikuti oleh 15 siswa dan 3 guru produktif. Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata pengetahuan dari 57,1 menjadi 81,2 dengan tingkat ketuntasan 89%. Keterampilan praktik meningkat dari 50,6 menjadi 68,9, namun ketuntasan baru mencapai 39% karena keterbatasan durasi latihan. Luaran kegiatan berupa satu set trainer PLTS dan modul pembelajaran yang digunakan secara berkelanjutan dalam praktik di sekolah. Program ini berkontribusi pada peningkatan literasi energi terbarukan, penguatan pembelajaran berbasis praktik, serta peningkatan kompetensi guru dalam implementasi PLTS. Keterbatasan kegiatan terletak pada waktu pelatihan yang singkat sehingga diperlukan program lanjutan untuk pemerataan keterampilan peserta.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, PLTS, Pendidikan Vokasi, *Project-Based Learning*, Pengabdian Kepada Masyarakat

Abstract

This community service activity was carried out at SMK YAPPIKA Tangerang to address limitations in practical facilities and students' limited experience in installing solar power systems (PLTS). Initial data showed that the average level of student understanding was 57.1, and practical skills were 50.6, with 80% of students having never directly installed a PLTS. The activity aimed to improve the competence of students and teachers through project-based training, the provision of PLTS trainers, and the development of teaching modules. The implementation methods included interactive lectures, demonstrations, hands-on practice, and evaluation using pre-tests, post-tests, skill rubrics, and 4-level Likert scale attitude questionnaires. 15 students and 3 productive teachers attended the activity. The results showed an increase in average knowledge from 57.1 to 81.2 with a mastery level of 89%. Practical skills increased from 50.6 to 68.9, but mastery only reached 39% due to the limited duration of the training. The outputs of the activity were a set of PLTS trainers and learning modules, which were continuously used in practice at the school. This programme contributed to increasing renewable energy literacy, strengthening practice-based learning, and improving teacher competence in PLTS implementation. The limitation of the activity was the short training time, so a follow-up programme was needed to equalise participants' skills.

Keywords: Community Service, PLTS, *Project-Based Learning*, Renewable Energy, Vocational Education

1. PENDAHULUAN

Transisi energi terbarukan (Pambudi et al., 2023) menuntut kesiapan lulusan SMK (Agung Pambudi et al., 2024) yang memiliki kompetensi praktis pada teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). SMK YAPPIKA Tangerang merupakan sekolah menengah kejuruan bidang ketenagalistrikan yang berperan dalam menyiapkan lulusan siap kerja. Namun, hasil observasi

menunjukkan bahwa pemahaman siswa masih terbatas pada kelistrikan konvensional dan belum didukung oleh pengalaman praktik pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Observasi awal dilakukan melalui wawancara dengan guru produktif ketenagalistrikan serta penyebaran angket kepada 20 siswa kelas XI untuk mengidentifikasi pengalaman praktik dan tingkat pemahaman konsep energi surya. Hasilnya menunjukkan bahwa sebanyak 80% siswa belum pernah melakukan praktik instalasi sistem PLTS secara langsung, dan 65% siswa hanya memahami konsep energi surya pada tingkat teoritis tanpa disertai pengalaman pengukuran listrik pada modul panel surya. Dari sisi sarana, sekolah belum memiliki trainer PLTS, modul ajar khusus energi terbarukan, maupun perangkat pengukuran yang terintegrasi untuk praktik sistem tenaga surya. Selain itu, guru menyampaikan bahwa materi energi terbarukan hanya disampaikan secara singkat dalam mata pelajaran instalasi listrik dasar tanpa praktik berbasis proyek. Data awal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan kompetensi industri berbasis green technology dengan fasilitas dan pengalaman belajar yang tersedia di sekolah (Li et al., 2023), sehingga intervensi pelatihan berbasis praktik menjadi sangat mendesak (Fleacă et al., 2024).

Berdasarkan data awal dan analisis kebutuhan mitra, permasalahan yang dihadapi SMK YAPPIKA Tangerang dapat dirumuskan sebagai berikut: (1) keterbatasan pengetahuan dan keterampilan siswa serta guru dalam memahami dan mengimplementasikan sistem panel surya, (2) keterbatasan sarana praktik berupa ketiadaan trainer PLTS, modul ajar, dan perangkat pengukuran terintegrasi, (3) belum tersedianya model pembelajaran berbasis proyek pada materi energi terbarukan, (4) keterbatasan kompetensi guru dalam mengimplementasikan praktik PLTS secara aplikatif. Sebagai upaya penyelesaian permasalahan tersebut, solusi yang ditawarkan dalam kegiatan pengabdian ini meliputi: (1) penyediaan trainer PLTS skala kecil sebagai media praktik pembelajaran, (2) pelatihan instalasi dan pengujian sistem panel surya berbasis proyek, (3) pelaksanaan evaluasi pembelajaran melalui *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan kompetensi, (4) penyusunan modul ajar energi terbarukan yang adaptif terhadap kurikulum SMK, (5) pendampingan guru dalam implementasi pembelajaran praktik PLTS.

Secara geografis, SMK YAPPIKA Tangerang berada pada wilayah dengan potensi penyinaran matahari yang tinggi (Tanoto et al., 2024) serta kebutuhan tenaga kerja energi bersih yang terus meningkat (Fleacă et al., 2024; Stanef-Puică et al., 2022) seiring perkembangan kawasan industri, sehingga kondisi ini menjadi dasar kuat pelaksanaan kegiatan pengabdian berbasis pengenalan dan implementasi sistem panel surya untuk mendukung peningkatan kualitas pendidikan vokasi dan literasi energi terbarukan.

Kegiatan pengabdian ini difokuskan pada penguatan kompetensi siswa dan guru SMK YAPPIKA Tangerang di bidang energi terbarukan melalui pengenalan dan implementasi sistem panel surya yang mencakup peningkatan pemahaman konsep, keterampilan instalasi dan pengukuran kinerja PLTS skala kecil, serta penyediaan modul pembelajaran yang selaras dengan kebutuhan industri dan karakteristik pendidikan vokasi. Program dirancang menggunakan pendekatan *project-based learning* yang memadukan pembelajaran konseptual, praktik langsung (*hands-on training*) (Agustian et al., 2024; Hamdani & Suherman, 2021), serta evaluasi berbasis kinerja melalui *pre-test*, *post-test*, dan *performance assessment* untuk mengukur capaian kompetensi secara objektif. Kebaruan kegiatan ini terletak pada penerapan model pelatihan PLTS berbasis *project-based learning* yang terintegrasi dengan penyediaan trainer, modul ajar, serta evaluasi kinerja siswa secara terukur (David & Daniels, 2025; Haryudo et al., 2022), sehingga pembelajaran tidak hanya bersifat demonstratif tetapi menempatkan siswa sebagai pelaksana utama dalam instalasi dan pengujian sistem. Selain itu, kegiatan ini juga mencakup penguatan kompetensi guru serta penyusunan modul ajar yang berkelanjutan dan mudah diadopsi oleh SMK lain dengan karakteristik serupa guna memperluas dampak implementasi.

Berbagai penelitian dan laporan kegiatan pengabdian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi energi terbarukan dalam pendidikan vokasi mampu meningkatkan literasi energi dan keterampilan teknis (David & Daniels, 2025; Muslim et al., 2021; Putri & Setiawan, 2022) peserta didik, meskipun penerapannya masih sering terbatas pada penguatan konsep atau pelatihan teknis jangka pendek. Melalui kegiatan ini, pendekatan pembelajaran dikembangkan secara lebih terpadu dengan mengaitkan pelatihan sistem panel surya, penguatan kompetensi guru, serta penyediaan modul ajar yang dirancang untuk digunakan secara berkelanjutan.

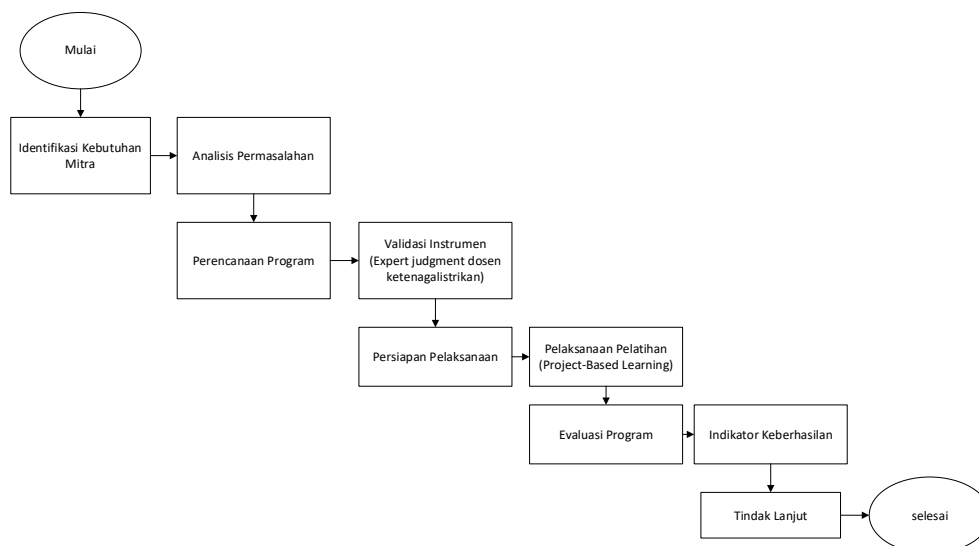
Dengan pendekatan tersebut, kegiatan pengabdian ini tidak hanya menjadi sarana penerapan hasil penelitian dan praktik pembelajaran yang telah ada, tetapi juga disesuaikan dengan kebutuhan serta karakteristik SMK YAPPIKA Tangerang, sehingga berkontribusi pada penguatan pendidikan vokasi berbasis energi terbarukan yang aplikatif, berkelanjutan, dan selaras dengan kebutuhan dunia industri. Tujuan kegiatan pengabdian ini adalah meningkatkan kompetensi siswa dan guru SMK YAPPIKA Tangerang dalam instalasi dan pengujian sistem PLTS melalui pelatihan berbasis proyek, penyediaan trainer dan modul ajar, serta evaluasi terukur menggunakan instrumen *pre-test* dan *post-test* untuk menggambarkan kecenderungan peningkatan kompetensi peserta

2. METODE

Metode kegiatan disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan mitra yang menunjukkan keterbatasan sarana praktik PLTS, rendahnya pengalaman instalasi siswa, serta belum adanya pembelajaran berbasis proyek, sehingga pelatihan difokuskan pada penyediaan trainer, praktik instalasi, dan pendampingan guru.

Program pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan pada bulan Juli 2025 bertempat di SMK YAPPIKA yang beralamat di Jl. Logam, Babakan, Kec. Legok, Kabupaten Tangerang Provinsi Banten. Kegiatan diawali observasi awal yang melibatkan 20 siswa kelas XI program keahlian ketenagalistrikan untuk mengidentifikasi tingkat pemahaman awal dan pengalaman praktik terkait sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berdasarkan hasil observasi tersebut, ditetapkan 15 siswa sebagai peserta utama pelatihan dengan mempertimbangkan ketersediaan waktu, kesiapan mengikuti praktik, serta efektivitas pembelajaran berbasis kelompok. Selain itu, kegiatan juga melibatkan 3 guru produktif sebagai mitra pendamping yang berperan dalam proses pelatihan dan tindak lanjut implementasi pembelajaran.

Metode pelaksanaan dirancang dalam bentuk pelatihan berbasis proyek (*project-based learning*) yang menekankan pengalaman praktik langsung (*hands-on training*) pada instalasi dan pengujian sistem PLTS skala kecil. Pelaksanaan kegiatan dibagi ke dalam tahapan perencanaan, persiapan pelaksanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan tindak lanjut sebagaimana ditunjukkan pada diagram alur metode kegiatan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Metode Kegiatan Pelatihan dan Implementasi Sistem PLTS Berbasis Project-Based Learning di SMK YAPPIKA Tangerang

Tahap perencanaan diawali dengan koordinasi dan identifikasi kebutuhan bersama mitra, SMK YAPPIKA Tangerang, melalui observasi awal terhadap 20 siswa serta wawancara dengan guru untuk memetakan kondisi sarana, jumlah peserta, dan tingkat pemahaman awal terkait

sistem PLTS. Hasil analisis tersebut menjadi dasar penyusunan modul ajar, skenario praktik berbasis vokasi, perakitan trainer PLTS, serta penyusunan instrumen evaluasi berupa 15 soal pilihan ganda untuk pre-test dan post-test yang mengukur pemahaman konsep dan fungsi komponen PLTS, lembar observasi keterampilan berbasis rubrik yang menilai ketepatan instalasi, kerapian pengkabelan, keselamatan kerja, dan kemampuan pengukuran listrik, serta angket sikap menggunakan skala Likert 4 tingkat yang mengukur minat, motivasi, dan persepsi peserta terhadap pembelajaran PLTS. Instrumen tersebut divalidasi melalui *expert judgment* oleh dosen bidang ketenagalistrikan untuk memastikan kesesuaian indikator dengan kompetensi yang diukur.

Tahap persiapan pelaksanaan meliputi penentuan peserta pelatihan sebanyak 15 siswa, pembagian kelompok praktik, penyiapan alat dan bahan, serta penyusunan jadwal kegiatan. Trainer PLTS yang digunakan terdiri atas panel surya, solar charge controller, baterai, inverter, dan beban listrik sederhana yang dirancang sebagai media praktik terintegrasi.

Tahap pelaksanaan kegiatan dilakukan selama dua hari dengan durasi masing-masing enam jam pelajaran. Kegiatan diawali dengan penyampaian materi teori secara interaktif, dilanjutkan dengan demonstrasi instalasi sistem PLTS, kemudian praktik langsung oleh peserta dalam kelompok kecil. Setiap kelompok didampingi oleh fasilitator dan dinilai menggunakan rubrik kinerja oleh dua penilai untuk menjaga konsistensi penilaian. Guru produktif berperan sebagai co-instructor dalam proses praktik sehingga memperoleh pengalaman langsung untuk implementasi pembelajaran selanjutnya.

Tahap evaluasi dilakukan sebagai bentuk refleksi capaian program. Evaluasi kognitif dilakukan melalui pre-test dan post-test kepada 15 peserta pelatihan dan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan skor rata-rata serta persentase peningkatan pemahaman. Evaluasi keterampilan dilakukan melalui observasi langsung terhadap kemampuan peserta dalam melakukan instalasi dan pengujian sistem PLTS menggunakan lembar penilaian berbasis rubrik. Data hasil evaluasi disajikan dalam bentuk deskriptif kuantitatif untuk menunjukkan kecenderungan peningkatan kompetensi peserta setelah mengikuti pelatihan.

Indikator keberhasilan kegiatan ditetapkan secara kuantitatif yaitu: (1) minimal 70% dari 15 peserta pelatihan mengalami peningkatan skor post-test dibandingkan pre-test, (2) minimal 75% peserta mencapai kategori kompeten pada penilaian praktik instalasi PLTS, (3) tersusunnya satu set trainer PLTS dan satu modul ajar yang dapat digunakan dalam pembelajaran, serta (4) tiga guru produktif mampu melaksanakan praktik instalasi PLTS secara mandiri pada tahap pendampingan.

Tahap tindak lanjut dilakukan selama dua minggu setelah pelatihan melalui pendampingan kepada tiga guru produktif dalam pemanfaatan trainer PLTS dan implementasi modul ajar pada kegiatan pembelajaran. Selain itu, dilakukan diskusi reflektif untuk mengidentifikasi kendala teknis, mengevaluasi keberlanjutan program, serta merumuskan rekomendasi pengembangan kegiatan serupa.

Dengan metode yang terstruktur dan terukur tersebut, kegiatan pengabdian ini tidak hanya bersifat transfer pengetahuan, tetapi juga memberikan dampak nyata dalam peningkatan kompetensi, perubahan sikap, serta kesiapan siswa dan guru SMK YAPPIKA Tangerang dalam menghadapi perkembangan teknologi energi terbarukan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat yang berjudul Pengenalan dan Implementasi Sistem Panel Surya untuk Pendidikan Vokasi di SMK YAPPIKA Tangerang dilaksanakan melalui pembelajaran interaktif yang mengombinasikan penyampaian materi teori dan praktik langsung. Tahapan kegiatan meliputi penyampaian konsep dasar energi surya dan sistem PLTS serta pengenalan komponen utama. Kegiatan dilanjutkan dengan demonstrasi instalasi dan praktik langsung pemasangan serta pengujian sistem panel surya skala kecil oleh peserta. Dokumentasi kegiatan ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3, yang masing-masing

menunjukkan penyampaian materi konseptual serta penggunaan trainer PLTS dan praktik instalasi.



Gambar 2. Penyampaian Materi Sistem Panel Surya di SMK YAPPIKA Tangerang



Gambar 3. Trainer Panel Surya dan Praktik Instalasi serta Pengujian Sistem oleh Peserta dengan Pendampingan Mahasiswa.

Dari 20 siswa yang mengikuti observasi awal, sebanyak 15 siswa berpartisipasi penuh dalam pelatihan dan menjadi subjek analisis berdasarkan hasil pre-test dan post-test, sedangkan total peserta yang terlibat aktif berjumlah 18 orang yang terdiri atas 15 siswa dan 3 guru pendamping. Kegiatan dirancang dalam kelompok kecil untuk mendorong partisipasi langsung pada setiap tahapan pembelajaran, mulai dari pemahaman konsep hingga praktik instalasi. Sistem panel surya yang digunakan meliputi panel, baterai, solar charge controller, inverter, dan beban listrik sederhana yang disesuaikan dengan konteks vokasi, sehingga peserta dapat memahami prinsip kerja PLTS sekaligus meningkatkan keterampilan teknis. Keberhasilan kegiatan diukur melalui peningkatan pengetahuan, keterampilan praktik, dan partisipasi aktif berdasarkan hasil pre-test, post-test, serta observasi selama pelatihan. Data pada Tabel 1 dan Tabel 2 disusun berdasarkan hasil analisis peserta yang mengikuti pre-test dan post-test secara lengkap.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh indikator pemahaman konsep energi surya serta sistem PLTS mengalami perkembangan yang signifikan, dengan nilai rata-rata siswa meningkat dari 57,1 pada pre-test menjadi 81,2 pada post-test atau mengalami kenaikan sebesar 24,1 poin. Selain aspek tersebut, capaian ketuntasan belajar menunjukkan peningkatan, yakni dari 33% hingga mencapai 89%. Rekapitulasi lengkap hasil evaluasi pengetahuan siswa disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Capaian Evaluasi Pengetahuan Siswa

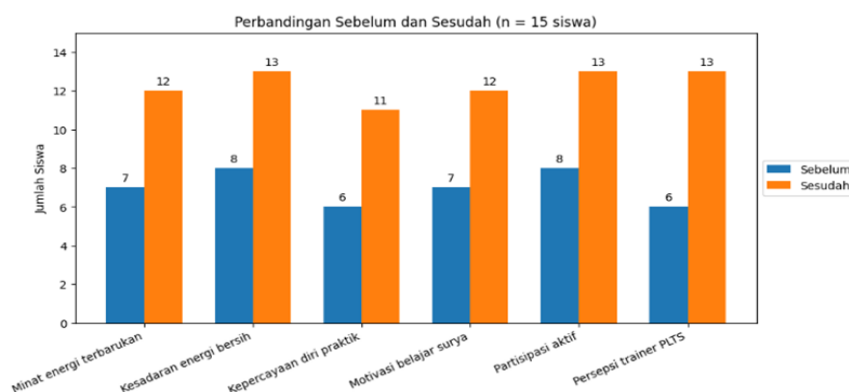
No	Indikator Pengetahuan	Rata-rata Pre-test	Rata-rata Post-test	Peningkatan
1	Konsep dasar energi surya	59,2	82,4	+23,2
2	Prinsip kerja panel surya	57,6	80,8	+23,2
3	Jenis dan karakteristik panel surya	56,8	79,9	+23,1
4	Fungsi solar charge controller	54,1	79,2	+25,1
5	Fungsi dan jenis baterai PLTS	55,7	80,6	+24,9
6	Fungsi inverter pada sistem PLTS	58,3	82,1	+23,8
7	Alur kerja sistem PLTS (off-grid)	53,9	79,0	+25,1
8	Keselamatan kerja (K3) PLTS	61,5	85,3	+23,8

Peningkatan capaian belajar tertinggi terlihat pada indikator pemahaman fungsi solar charge controller dan alur kerja sistem PLTS, yang pada tahap awal merupakan materi dengan tingkat penguasaan paling rendah, sehingga menunjukkan adanya perbaikan pemahaman yang signifikan setelah pelatihan. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi antara penyampaian teori dan kegiatan praktik mampu meningkatkan pemahaman siswa secara lebih efektif (Gong et al., 2021) dan merata. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pendekatan pembelajaran yang mengombinasikan ceramah, demonstrasi, dan praktik langsung pada pelatihan PLTS lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus keterampilan teknis siswa SMK dibandingkan metode pembelajaran satu arah (Inderanata & Sukardi, 2023; Khulaemi, 2023). Peningkatan sebesar 24,1 poin ini menunjukkan efektivitas pendekatan pembelajaran integratif antara penyampaian konsep dan praktik terbimbing. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan trainer sederhana yang memungkinkan interaksi langsung peserta dengan komponen sistem memberikan kontribusi signifikan terhadap pembentukan pemahaman konseptual (Malik & Zhu, 2023).

Penggunaan trainer PLTS sebagai media pembelajaran berbasis praktik memberikan pengalaman hands-on yang meningkatkan retensi konsep dan kesiapan kerja (Brayen Juang Mulya Putra et al., 2025; Sutinah, 2022) siswa vokasi pada bidang instalasi tenaga listrik. Secara pedagogis, temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis praktik lebih efektif dibandingkan metode demonstratif satu arah dalam meningkatkan daya ingat (Abidin et al., 2025; Alda et al., 2025) konsep energi terbarukan. Peningkatan pemahaman konseptual yang diperoleh berada pada kategori baik dan sejalan dengan kecenderungan hasil pelatihan PLTS skala vokasi pada umumnya. Selain adanya peningkatan pemahaman pengetahuan, kegiatan pengabdian ini juga berdampak pada peningkatan keterampilan peserta dalam mengimplementasikan sistem panel surya. Berdasarkan hasil observasi praktik, siswa mampu melakukan identifikasi komponen, instalasi sistem, pengukuran listrik, serta penerapan keselamatan kerja. Rekapitulasi hasil evaluasi keterampilan peserta sebelum dan sesudah kegiatan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Capaian Evaluasi Keterampilan Siswa

No	Indikator Keterampilan	Rata-rata Pre-test	Rata-rata Post-test	Peningkatan
1	Identifikasi komponen sistem PLTS	51,3	68,5	+17,2
2	Perakitan panel surya skala kecil	49,8	67,2	+17,4
3	Pengkabelan sistem PLTS	48,9	66,8	+17,9
4	Pengaturan solar charge controller	46,7	69,1	+22,4
5	Instalasi baterai dan inverter	50,2	68,0	+17,8
6	Pengukuran tegangan dan arus	52,1	70,4	+18,3
7	Pengujian beban listrik	51,0	69,6	+18,6
8	Penerapan keselamatan kerja (K3)	54,6	72,3	+17,7



Gambar 4. Perbandingan Sikap dan Minat Peserta Sebelum dan Sesudah Pelatihan PLTS (n = 15)

Selain aspek pengetahuan dan keterampilan, kegiatan ini juga berdampak pada sikap dan minat siswa terhadap pembelajaran energi terbarukan. Data sikap diperoleh melalui angket skala Likert 4 tingkat yang kemudian dikonversi menjadi kategori positif dan negatif, sehingga hasil disajikan dalam bentuk jumlah siswa pada setiap indikator sebelum dan sesudah pelatihan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, seluruh indikator sikap menunjukkan peningkatan jumlah siswa yang memiliki respons positif. Peningkatan tertinggi terdapat pada persepsi terhadap efektivitas trainer PLTS sebagai media pembelajaran, yang mengindikasikan bahwa pendekatan hands-on mampu meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar siswa.

Evaluasi keterampilan praktik hanya dilakukan pada 15 siswa yang menjadi subjek analisis pre-test dan post-test, sedangkan guru pendamping tidak termasuk dalam pengukuran hasil belajar. Hasil evaluasi keterampilan siswa dalam hal implementasi sistem panel surya menunjukkan bahwa, setelah kegiatan pengabdian, kemampuan praktik telah meningkat. Namun, tingkat ketuntasan belum tercapai secara merata pada seluruh siswa. Pada tahap pre-test, nilai keterampilan rata-rata siswa sebesar 50,6, dengan persentase ketuntasan hanya 20% dari 15 siswa (3 siswa), yang menunjukkan bahwa sebagian besar siswa belum memiliki pengalaman dan keterampilan praktik yang memadai dalam pemasangan sistem PLTS. Setelah kegiatan dilaksanakan melalui demonstrasi dan praktik langsung, nilai rata-rata post-test keterampilan mengalami peningkatan pada seluruh indikator, dengan rentang nilai antara 66,8 hingga 72,3. Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator pengaturan solar charge controller, dengan kenaikan sebesar 22,4 poin, sedangkan yang terendah pada indikator identifikasi komponen sistem PLTS. Secara keseluruhan, nilai rata-rata keterampilan meningkat menjadi 68,9 pada post-test, dengan rata-rata peningkatan sebesar 18,4 poin. Namun demikian, hanya 7 siswa (39%) yang mencapai kriteria ketuntasan keterampilan (nilai ≥ 70), sedangkan siswa lainnya masih berada sedikit di bawah batas ketuntasan sehingga ketuntasan keterampilan belum tercapai secara merata pada seluruh siswa yang mengikuti pelatihan. Meskipun peningkatan keterampilan menunjukkan tren positif, kesenjangan antara capaian pengetahuan (89%) dan keterampilan (39%) mengindikasikan adanya learning transfer gap antara domain kognitif dan psikomotorik (Enoch et al., 2022). Dalam pendidikan vokasi, kesenjangan ini merupakan fenomena yang umum terjadi ketika durasi praktik terbatas dan rasio alat terhadap jumlah peserta pelatihan belum ideal (Gassas, 2021). Keterampilan teknis memerlukan siklus latihan berulang, umpan balik langsung, serta waktu penguatan pemahaman yang lebih panjang (Anderegg et al., 2022; Zhang, 2024) dibandingkan pembentukan pengetahuan konseptual.

Capaian keterampilan yang menunjukkan hanya 7 peserta tuntas pada *post-test* merupakan kondisi yang wajar dan dapat dibenarkan dalam konteks kegiatan pengabdian dengan durasi terbatas. Secara metodologis, capaian ini menunjukkan bahwa model pelatihan yang digunakan masih berada pada tahap praktik terbimbing (*guided practice*) (Kusmiarti et al., 2023) dan belum mencapai fase praktik mandiri (*independent performance*) (Kim & Lee, 2025). Hal ini menandakan perlunya desain pembelajaran bertahap yang mencakup demonstrasi, praktik terbimbing, praktik mandiri, dan evaluasi berbasis proyek sederhana. Dengan demikian, ketidaktuntasan sebagian siswa bukan hanya dipengaruhi oleh keterbatasan waktu, tetapi juga menunjukkan kebutuhan akan dukungan bertahap terhadap keterampilan yang lebih sistematis. Berbeda dengan pengetahuan konseptual yang dapat ditingkatkan secara relatif cepat melalui penyampaian materi dan diskusi, keterampilan praktik instalasi sistem panel surya memerlukan waktu latihan yang lebih panjang, pengulangan, serta pengalaman langsung yang berkelanjutan. Hal ini memberikan penjelasan tentang perbedaan capaian antara hasil evaluasi keterampilan dan pengetahuan siswa yang menjadi peserta pelatihan. Hasil evaluasi pengetahuan sebelumnya menunjukkan peningkatan yang signifikan, dengan nilai rata-rata meningkat dari 57,1 menjadi 81,2 dan tingkat ketuntasan mencapai 89%. Tingginya capaian pada aspek pengetahuan mengindikasikan bahwa peserta telah memahami konsep dasar energi surya dan sistem PLTS dalam kemampuan berpikir mereka. Namun, proses transformasi pengetahuan tersebut ke dalam keterampilan praktik belum sepenuhnya optimal bagi seluruh siswa, terutama bagi siswa yang sebelumnya belum pernah terlibat dalam kegiatan instalasi kelistrikan berbasis energi terbarukan.

Selain faktor waktu, variasi latar belakang kemampuan awal siswa juga memengaruhi hasil keterampilan. Siswa yang mencapai ketuntasan umumnya memiliki dasar kelistrikan yang lebih baik atau tingkat keaktifan yang tinggi selama praktik, sedangkan siswa lainnya masih memerlukan pendampingan lebih intensif. Perbedaan latar belakang kemampuan awal siswa juga menunjukkan pentingnya pembelajaran yang disesuaikan dengan tingkat kemampuan siswa pada pelatihan vokasi. Siswa dengan dasar kelistrikan yang lebih kuat mampu mencapai ketuntasan lebih cepat karena telah memiliki pengetahuan teknis awal, sedangkan peserta lain memerlukan penguatan konsep dasar arus, tegangan, dan keselamatan kerja sebelum melakukan instalasi. Temuan ini memberikan implikasi bahwa pelatihan PLTS di SMK sebaiknya diawali dengan pemetaan kompetensi awal sebagai dasar penyusunan strategi pembelajaran bertingkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini efektif dalam membangun fondasi pengetahuan dan keterampilan dasar, namun masih membutuhkan program lanjutan untuk mencapai pemerataan kompetensi.

Dengan demikian, temuan ini justru memperkuat urgensi pengembangan kegiatan lanjutan yang dilaksanakan secara bertahap, seperti penyelenggaraan pelatihan lanjutan, penyediaan trainer PLTS permanen, serta integrasi praktik sistem panel surya ke dalam kurikulum pembelajaran vokasi. Ketidakseimbangan antara capaian pengetahuan dan keterampilan tidak dapat dimaknai sebagai kegagalan program, melainkan mencerminkan karakteristik proses pembelajaran vokasi yang bersifat realistis dan progresif. Kondisi tersebut sekaligus menjadi landasan argumentatif yang kuat bagi keberlanjutan program pengabdian pada periode selanjutnya.

Sejalan dengan hal tersebut, pelaksanaan kegiatan telah dirancang menyesuaikan kebutuhan dan karakteristik siswa SMK yang menuntut pendekatan pembelajaran berbasis praktik. Luaran berupa sistem panel surya skala kecil dan modul pembelajaran memberikan kontribusi nyata bagi sekolah mitra sebagai sarana pendukung pembelajaran berkelanjutan. Integrasi alat trainer PLTS ke dalam kurikulum praktik serta pemanfaatannya secara rutin dalam pembelajaran terbukti mendukung keberlanjutan program dan meningkatkan kompetensi (Kaseger et al., 2022; Pimentel & Sandiego, 2025) energi terbarukan di sekolah vokasi.

Selain meningkatkan pemahaman peserta terhadap konsep energi terbarukan, kegiatan ini juga berperan dalam menumbuhkan kesadaran akan pentingnya penerapan energi bersih di lingkungan sekolah. Implementasi pembelajaran energi surya di lingkungan sekolah tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis, tetapi juga menumbuhkan kesadaran energi bersih dan mendukung transisi menuju sekolah berbasis energi berkelanjutan (Ezema et al., 2022; Senthil, 2022). Keberlanjutan program dirancang melalui tiga mekanisme terukur, yaitu: (1) pemanfaatan trainer PLTS sebagai media praktik rutin pada mata pelajaran instalasi listrik, dengan frekuensi minimal dua kali per semester; (2) penggunaan modul pembelajaran sebagai bahan ajar mandiri yang terintegrasi dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) guru; dan (3) pelaksanaan pelatihan lanjutan yang difasilitasi oleh guru pendamping yang telah dilatih pada kegiatan ini. Dengan mekanisme tersebut, indikator keberlanjutan dapat diukur melalui peningkatan jumlah siswa yang mencapai ketuntasan praktik pada semester berikutnya serta frekuensi penggunaan trainer dalam pembelajaran. Meskipun demikian, pelaksanaan kegiatan masih dihadapkan pada beberapa keterbatasan. Sistem panel surya yang diterapkan bersifat sederhana dan difokuskan pada tujuan edukatif, sehingga belum sepenuhnya menggambarkan kompleksitas sistem PLTS pada skala industri. Di samping itu, durasi kegiatan yang relatif terbatas membatasi pendalaman materi lanjutan, seperti perencanaan kapasitas sistem dan analisis aspek ekonomi PLTS.

Dari sisi pelaksanaan teknis, tingkat kesulitan kegiatan tergolong sedang, khususnya pada tahap instalasi dan pengaturan solar charge controller yang menuntut ketelitian serta pemahaman dasar kelistrikan. Namun demikian, melalui pendampingan yang intensif, peserta mampu mengikuti seluruh tahapan kegiatan dengan baik. Ke depan, kegiatan ini memiliki peluang pengembangan yang signifikan melalui penyediaan trainer PLTS permanen di sekolah, integrasi materi panel surya ke dalam kurikulum praktik, serta penyelenggaraan pelatihan lanjutan terkait perencanaan sistem dan analisis biaya PLTS. Selain itu, pemanfaatan sistem panel surya sebagai sumber energi alternatif bagi fasilitas sekolah juga berpotensi memberikan manfaat ekonomi dan

lingkungan dalam jangka panjang. Dampak jangka panjang kegiatan ini dapat diukur melalui tiga indikator, yaitu peningkatan minat siswa terhadap bidang energi terbarukan, integrasi materi PLTS dalam kurikulum praktik, serta potensi pemanfaatan sistem panel surya sebagai sumber energi alternatif untuk beban listrik skala kecil di sekolah. Indikator tersebut akan dievaluasi secara berkala melalui observasi kegiatan praktik, jumlah proyek siswa yang berkaitan dengan PLTS, dan pengurangan konsumsi listrik konvensional pada beban yang disuplai oleh sistem panel surya. Secara keseluruhan, kegiatan ini tidak hanya menghasilkan peningkatan capaian numerik, tetapi juga memberikan kontribusi konseptual terhadap model pelatihan PLTS di pendidikan vokasi, khususnya dalam menjembatani kesenjangan antara pengetahuan dan keterampilan melalui pendekatan praktik bertahap dan keberlanjutan berbasis sekolah.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa pelatihan PLTS berbasis project-based learning efektif membangun kompetensi energi terbarukan pada pendidikan vokasi melalui praktik langsung, penyediaan trainer, dan penguatan kapasitas guru. Dampak bagi mitra terlihat pada tersedianya media praktik permanen, meningkatnya kesiapan guru melaksanakan pembelajaran PLTS secara mandiri, serta terbentuknya skema pembelajaran berbasis proyek. Ketidakmerataan capaian keterampilan menegaskan perlunya praktik bertahap dan berulang untuk menjembatani kesenjangan kognitif dan psikomotorik. Kontribusi utama kegiatan ini adalah model pelatihan PLTS yang aplikatif, terukur, dan berpotensi direplikasi pada SMK dengan karakteristik serupa. Untuk keberlanjutan, sekolah disarankan mengintegrasikan penggunaan trainer PLTS dalam praktik rutin minimal dua kali per semester melalui proyek mandiri siswa yang didampingi guru produktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas apresiasi yang diberikan oleh semua pihak baik dari sisi mitra maupun dari tim pengabdian dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, kami mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Hutabarat, B. F., & Rabiula, A. (2025). Integrasi Project-Based Learning Dalam Pembelajaran Interaksi Manusia Dan Komputer Di Program Studi Sistem Informasi. *JURNAL AKADEMIKA*, 17(2). <https://doi.org/10.53564/akademika.v17i2.1688>
- Agung Pambudi, N., Riva Nanda, I., Tahta Alfina, F., & Zulfia Syahrial, A. (2024). Renewable energy education and awareness among Indonesian students: Exploring challenges and opportunities for a sustainable future. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103631>
- Agustian, D., Wardoyo, S., Amarta, A., Anjani, T. A., Wulansari, T., & Marsanda, E. (2024). The Role of E-Module in the Teaching and Learning Process in Vocational Secondary Schools (SMK): a Literature Review. *Al Hikmah: Journal of Education*, 5(2). <https://doi.org/10.54168/ahje.v5i2.345>
- Alda, A., Sundahry, S., & Agrita, T. W. (2025). Project-Based Learning Improves Process and Outcomes of Grade V Science Learning. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(4). <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i4.1644>
- Anderegg, L., Anderegg, S., Bello, C., Urman, R. D., & Luedi, M. M. (2022). Technical skills in the operating room: Implications for perioperative leadership and patient outcomes. In *Best Practice and Research: Clinical Anaesthesiology* (Vol. 36, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2022.05.002>
- Brayen Juang Mulya Putra, Muhammad Aris Ichwanto, Eko Suwarno, Imam Alfianto, & Tee Tze

- Kiong. (2025). The Effect of Practical Learning and Field Work Practical Experience on the Work Readiness of Vocational School Students in The Expertise of Building Design, Modeling and Information. *LITERACY: International Scientific Journals of Social, Education, Humanities*, 4(3). <https://doi.org/10.56910/literacy.v4i3.3194>
- David, R., & Daniels, C. (2025). Greening Technical and Vocational Education and Training for Energy Transition in Nigeria. *Journal of Education for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1177/09734082251335548>
- Enoch, L. C., Abraham, R. M., & Singaram, V. S. (2022). A comparative analysis of the impact of online, blended, and face-to-face learning on medical students' clinical competency in the affective, cognitive, and psychomotor domains. *BMC Medical Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03777-x>
- Ezema, I. C., Nwosisi, H. C., Uwuigbe, C., & Ogheneovo, A. (2022). Greening the School Energy System: A Nigerian Case Study. *European Journal of Energy Research*, 2(4). <https://doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.4.68>
- Fleacă, B., Militaru, G., & Fleacă, E. (2024). Reinforcement of Workforce Training Programs—Insights from Pilot Testing Process to Enhance Greening Practices in Enterprises. *Sustainability (Switzerland)*, 16(23). <https://doi.org/10.3390/su162310377>
- Gassas, R. (2021). Sources of the knowledge-practice gap in nursing: Lessons from an integrative review. In *Nurse Education Today* (Vol. 106). <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2021.105095>
- Gong, J., Ruan, M., Yang, W., Peng, M., Wang, Z., Ouyang, L., & Yang, G. (2021). Application of blended learning approach in clinical skills to stimulate active learning attitudes and improve clinical practice among medical students. *PeerJ*. <https://doi.org/10.7717/peerj.11690>
- Hamdani, A., & Suherman, A. (2021). Self-design project based learning: An alternative learning model for vocational education. *Journal of Technical Education and Training*, 13(3). <https://doi.org/10.30880/jtet.2021.13.03.007>
- Haryudo, S. I., Ismayati, E., & Baskoro, F. (2022). Development of Training Kit for Solar Cell Off-Grid System based on Project-Based Learning to Improve Learning Outcomes. *2022 5th International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering: The Future of Electrical Engineering, Informatics, and Educational Technology Through the Freedom of Study in the Post-Pandemic Era, ICVEE 2022 - Proceeding*. <https://doi.org/10.1109/ICVEE57061.2022.9930122>
- Inderanata, R. N., & Sukardi, T. (2023). Investigation study of integrated vocational guidance on work readiness of mechanical engineering vocational school students. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13333>
- Kaseger, C. A. O., Rumokoy, S. N., Ramschie, A. A. S., & Dodie, S. B. (2022). Design of Teaching Factory Practice Tools Concept, Perspective: Operation System on Solar Power Plant. *CCIT Journal*, 15(2). <https://doi.org/10.33050/ccit.v15i2.2337>
- Khulaemi, A. (2023). Peningkatan Learning Engagement Kemampuan Praktek Pemasangan PLTS pada Peserta Pelatihan Teknis Pembangunan dan Pemasangan PLTS dengan pendekatan Video Based Practice. *Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 3(4). <https://doi.org/10.37329/metta.v3i4.2836>
- Kim, J., & Lee, Y. (2025). The Effects of Visual Schedules and Self-Monitoring on Independent Task Performance of Students in Lower Elementary Special Education Classes. *Korean Journal of Special Education*, 60(3). <https://doi.org/10.15861/kjse.2025.60.3.59>
- Kusmiarti, R., Bunga Wulandari, A., Paulina, Y., Zakaria, J., & Mahdijaya. (2023). Enhancing Basic Teaching Skills Through Guided Practice In Microteaching Learning. *Edukasi Islami: Jurnal Pendidikan Islam*, 12(04).
- Li, H., Khattak, S. I., Lu, X., & Khan, A. (2023). Greening the Way Forward: A Qualitative Assessment of Green Technology Integration and Prospects in a Chinese Technical and Vocational Institute. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065187>

- Malik, K. M., & Zhu, M. (2023). Do project-based learning, hands-on activities, and flipped teaching enhance student's learning of introductory theoretical computing classes? *Education and Information Technologies*, 28(3). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11350-8>
- Muslim, R., Saputro, H., & Thamrin, A. G. (2021). Case study: Vocational student's knowledge and awareness level toward renewable energy in Indonesia. *Open Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0067>
- Pambudi, N. A., Firdaus, R. A., Rizkiana, R., Ulfa, D. K., Salsabila, M. S., Suharno, & Sukatiman. (2023). Renewable Energy in Indonesia: Current Status, Potential, and Future Development. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/su15032342>
- Pimentel, R. A., & Sandiego, A. L. (2025). Evaluation of a Modularized Photovoltaic System Instructional Trainer for Energy Systems and Management Program. *Cognizance Journal of Multidisciplinary Studies*, 5(3). <https://doi.org/10.47760/cognizance.2025.v05i03.029>
- Putri, I. R., & Setiawan, A. (2022). How Important Energy Awareness in Vocational Education to Support Energy Transition. *Proceedings of the 4th International Conference on Innovation in Engineering and Vocational Education (ICIEVE 2021)*, 651. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220305.017>
- Senthil, R. (2022). Recent Innovations In Solar Energy Education And Research Towards Sustainable Energy Development. *Acta Innovations*, 2022(42). <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.42.3>
- Stanef-Puică, M. R., Badea, L., Șerban-Oprescu, G. L., Șerban-Oprescu, A. T., Frâncu, L. G., & Crețu, A. (2022). Green Jobs—A Literature Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 13). <https://doi.org/10.3390/ijerph19137998>
- Sutinah, C. (2022). Pengaruh Pembelajaran Hands-On Dan Virtual Lab Terhadap Pemahaman Konsep Dan Berpikir Kritis Siswa. *COLLASE (Creative of Learning Students Elementary Education)*, 5(3). <https://doi.org/10.22460/collase.v5i3.10774>
- Tanoto, Y., Budhi, G. S., & Mingardi, S. F. (2024). Clustering-based assessment of solar irradiation and temperature attributes for PV power generation site selection: A case of Indonesia's Java-Bali region. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(2). <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.59998>
- Zhang, X. (2024). Using Reinforcement Learning Algorithms to Optimize Practical Skills Development in Higher Vocational and Technical Education. *Journal of Electrical Systems*, 20(6s). <https://doi.org/10.52783/jes.3129>

Halaman Ini Dikосongkan