

Pengembangan Kompetensi Siswa SMA di Kabupaten Pati Jawa Tengah Melalui Pelatihan Elektronika dengan memanfaatkan Panel Surya untuk Sistem *Smart Lighting*

Imam Sapuan^{*1}, Yhosep Gita Yhun. Yhuwana², Pujiyanto³, Siswanto⁴, Khusnul Ain⁵, Herry Trilaksana⁶, Ersyzario Edo Yunata⁷

^{1,2,3,4,6,7} Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

⁵ Teknik biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

*e-mail: i_sapuan@fst.unair.ac.id^{*1}, yuwana@fst.unair.ac.id², pujiyanto@fst.unair.ac.id³, siswanto@fst.unair.ac.id⁴, k_ain@fst.unair.ac.id⁵, herri-t@fst.unair.ac.id⁶, ersyzario.edo@fst.unair.ac.id⁷

Abstrak

Ketersediaan energi listrik yang berkelanjutan menjadi isu penting dalam mendukung pembangunan dan kualitas pendidikan. Namun, pemanfaatan teknologi energi terbarukan di tingkat sekolah menengah masih menghadapi keterbatasan fasilitas laboratorium dan sumber daya pendidik. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi dan kreativitas siswa SMA melalui pelatihan pemanfaatan panel surya untuk sistem smart lighting. Kegiatan dilaksanakan pada 8 Agustus 2025 di SMA PGRI 1 Pati dengan melibatkan 40 siswa dan 8 guru pendamping. Metode kegiatan meliputi penyampaian materi, demonstrasi, praktik perakitan, serta evaluasi menggunakan pretest dan posttest. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan pemahaman siswa dari 65,8% pada evaluasi awal menjadi lebih dari 94,3% setelah pelatihan. Indeks kepuasan peserta juga berada di atas 87% dengan kategori sangat memuaskan. Kegiatan ini menghasilkan sistem smart lighting berbasis panel surya sebagai teknologi tepat guna yang siap dipasang dan mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pendidikan berkualitas dan energi bersih terjangkau.

Kata kunci: panel surya, smart lighting, energi terbarukan, pelatihan elektronika

Abstract

The availability of sustainable electrical energy has become a crucial issue in supporting development and improving the quality of education. However, the implementation of renewable energy technologies at the secondary school level is still constrained by limited laboratory facilities and educator resources. This Community Service Program aimed to enhance the competence and creativity of high school students through training on the utilization of panel suryas for smart lighting systems. The activity was conducted on August 8, 2025, at SMA PGRI 1 Pati, involving 40 students and 8 accompanying teachers. The program employed lectures, demonstrations, hands-on assembly practices, and learning evaluations using pretests and posttests. The evaluation results showed a significant increase in students' understanding, from 65,8% in the initial assessment to more than 94,3% after the training. The participant satisfaction index also exceeded 87%, indicating a very high level of satisfaction. This program produced an installed panel surya-based smart lighting prototype as an appropriate technology and contributed to the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs), particularly quality education and affordable clean energy.

Keywords: solar cell, smart lighting, renewable energy, electronics workshop

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan merupakan faktor penting dalam mendukung kemajuan masyarakat modern serta peningkatan kualitas pendidikan (International Energy Agency [IEA], 2022). Namun, ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi fosil telah menimbulkan

berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, seperti peningkatan emisi karbon, pencemaran udara, dan perubahan iklim global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). Oleh karena itu, transisi menuju pemanfaatan energi bersih dan berkelanjutan menjadi salah satu fokus utama dalam agenda pembangunan global, sebagaimana tertuang dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals* / SDGs), khususnya tujuan ke-7, yaitu energi bersih dan terjangkau (United Nations Statistics Division [UNSD], 2024).

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya. Teknologi panel surya atau panel surya mampu mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltai, (Lameirinhas et al., 2022), (Allouhi et al., 2022). Teknologi ini bersifat ramah lingkungan, mudah diaplikasikan, dan dapat diterapkan dalam berbagai skala kebutuhan, mulai dari rumah tangga hingga sektor industri (Urbina, 2023). Meskipun demikian, pemanfaatan teknologi panel surya di tingkat pendidikan menengah masih tergolong rendah, baik dari aspek pemahaman konseptual maupun keterampilan aplikatif siswa (Pambudi et al., 2024).

Siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) memiliki peran strategis sebagai generasi muda dalam mendukung upaya transisi menuju energi bersih. Melalui pembelajaran yang bersifat aplikatif dan kontekstual, siswa dapat dibekali kompetensi untuk menjadi agen perubahan dalam penerapan teknologi energi terbarukan di lingkungan sekitarnya (Rahman, et al 2025). Namun, implementasi pembelajaran berbasis praktik pada bidang energi terbarukan dan elektronika masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan fasilitas laboratorium, biaya, ruang, serta sumber daya pendukung pembelajaran. Keterbatasan tersebut dapat menyebabkan siswa memiliki kesempatan yang terbatas untuk memperoleh pengalaman eksperimen secara langsung (Guo et al., 2022). Padahal, pembelajaran energi terbarukan melalui pendekatan *hands-on*, berbasis proyek, dan STEM dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih aktif serta mendukung pengembangan pemahaman konseptual, keterampilan praktis, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah (*problem solving*) siswa (Uddin & Sultana, 2024).

Menanggapi permasalahan tersebut, telah dilaksanakan program Pengabdian kepada Masyarakat bagi siswa SMA di Kabupaten Pati, Jawa Tengah, dengan fokus pada pengembangan keterampilan elektronika melalui pelatihan teknologi panel surya dan sistem *smart lighting*. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kreativitas siswa dalam memanfaatkan energi terbarukan melalui pembelajaran berbasis praktik (*hands-on training*) (Uddin & Sultana, 2024). Selain itu, program ini juga diarahkan untuk menumbuhkan kesadaran lingkungan serta mendukung pencapaian SDGs, khususnya pada aspek energi bersih dan terjangkau, pendidikan berkualitas, inovasi teknologi, dan tindakan terhadap perubahan iklim (UNSD, 2024).

Pelatihan yang dilaksanakan mencakup penyampaian teori dasar panel surya, sistem konversi energi listrik, perancangan rangkaian elektronika, serta implementasi sistem *smart lighting* berbasis energi surya. Pendekatan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) diterapkan untuk mendorong siswa merancang dan merealisasikan prototipe sistem pencahayaan otomatis yang memanfaatkan sumber energi dari panel surya. Pendekatan PjBL memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan teoritis dengan aktivitas perancangan, perakitan, pengujian, dan penyelesaian permasalahan nyata sehingga proses pembelajaran berlangsung secara aktif dan kontekstual (Thomas, 2000),(Haryudo, et al.,2022), (Mufidah, & Saputra,2023), (Pulluri et al., 2024). Penerapan PBL pada pembelajaran energi terbarukan juga telah dilaporkan mampu meningkatkan keterlibatan dan pengalaman praktis peserta didik dalam memahami teknologi energi surya (Thomas, 2000),(Haryudo, et al.,2022), (Mufidah, & Saputra,2023), (Pulluri et al., 2024).

Hasil pelaksanaan kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa terhadap teknologi energi terbarukan, tetapi juga mampu mengembangkan keterampilan motorik, kreativitas, serta kompetensi praktis siswa dalam bidang elektronika terapan. Pengabdian masyarakat ini juga sudah memberikan teknologi tepat guna yang digunakan oleh pihak sekolah sebagai infrastruktur penerangan jalan menuju sekolah. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini merupakan bentuk nyata kontribusi akademisi dalam mendukung pembangunan berkelanjutan melalui pendidikan dan pemberdayaan generasi muda. Diharapkan,

model pelaksanaan kegiatan ini dapat direplikasi di sekolah-sekolah lain, khususnya di wilayah yang memiliki potensi energi surya tinggi namun masih menghadapi keterbatasan fasilitas laboratorium (Istiqomah, et al., 2024).

2. METODE

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dilaksanakan dalam bentuk pelatihan yang melibatkan siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) di Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Pelatihan dilaksanakan di SMA PGRI 1 Pati yang beralamat di Jl. Ahmad Yani Gang Manggis No. 99, Ds. Winong, Kec. Pati, Kab. Pati, Jawa Tengah. SMA PGRI 1 Pati adalah sekolah dengan jumlah siswa yang besar, berakreditasi A. Peserta yang dilibatkan pada pelatihan ini sebanyak 40 siswa SMA, dipilih dari kelas 12, dan melibatkan guru pendamping.

Tahapan pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat meliputi beberapa tahap sebagai berikut:

1. Persiapan

Pada tahap persiapan, tim dosen pengabdian kepada masyarakat dari Program Studi Fisika Universitas Airlangga melakukan kunjungan awal ke SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah untuk berkoordinasi dengan pihak sekolah. Dalam koordinasi ini, tim dosen pengabdian masyarakat bertemu dengan kepala sekolah beserta wakil kepala sekolah, serta guru-guru pengampu mata pelajaran IPA dan Komputer. Koordinasi ini bertujuan membahas kesiapan tempat, ketersediaan fasilitas pendukung, mekanisme pelaksanaan kegiatan, peserta yang akan dilibatkan, serta kebutuhan konsumsi selama kegiatan berlangsung. Selain itu, koordinasi juga dilakukan untuk menyepakati jadwal pelaksanaan pelatihan yang disetujui oleh kedua belah pihak.

Selanjutnya, Tim dosen dibantu mahasiswa menyusun modul materi dan hardware kit pelatihan untuk pengabdian masyarakat sesuai dengan bidang keahlian masing-masing. Kegiatan ini dibantu oleh empat mahasiswa dan seorang Laboran dalam mempersiapkan komponen elektronika, modul sistem *smart lighting*, pengkabelan, serta pengujian fungsional sistem. Modul yang disiapkan berjumlah tujuh set sistem *smart lighting* yang siap digunakan dalam kegiatan pelatihan.

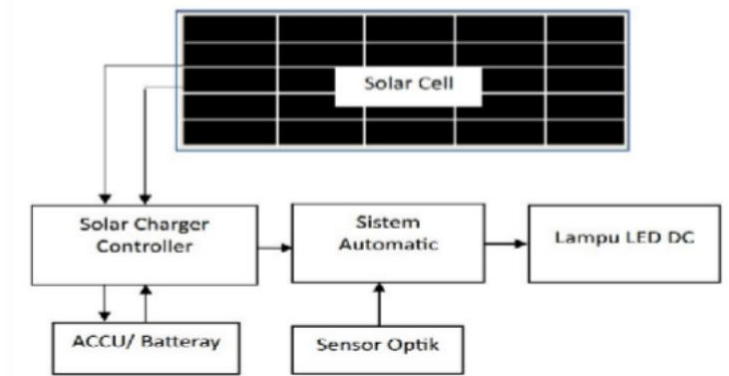
2. Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan diawali dengan acara seremonial yang meliputi sambutan dari Kepala SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah, sambutan perwakilan Departemen Fisika Universitas Airlangga, serta sambutan Ketua Pelaksana kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Selanjutnya, kegiatan inti dilaksanakan dalam bentuk pelatihan yang mencakup penyampaian materi, praktik perakitan sistem *smart lighting* berbasis *panel surya*, serta demonstrasi cara kerja sistem yang telah dirakit. Melalui rangkaian kegiatan tersebut, peserta diharapkan memperoleh pemahaman konseptual sekaligus keterampilan praktis dalam merancang, merakit, dan mengoperasikan sistem *smart lighting* berbasis energi surya.

Materi pelatihan disampaikan dalam tiga sesi utama. Materi I Tentang konsep timbulnya potensial listrik pada sel surya, serta kelebihan dan manfaat teknologi panel surya sebagai sumber energi terbarukan. Materi ini bertujuan untuk memberikan pemahaman dasar kepada siswa mengenai prinsip kerja panel surya. Materi II membahas berbagai komponen elektronika beserta prinsip kerja yang mendukung otomatisasi perangkat elektronik berbasis energi surya. Pada sesi ini dijelaskan konsep elektronika analog dan digital, meliputi arus listrik dc, sensor LDR (light dependent resistor), rangkaian penguat dan komparator op-amp, sistem kerja relay sebagai sakelar otomatis, serta pengenalan gerbang logika dasar (Sapuan et al., 2025).

Materi III terdiri atas dua bagian. Bagian pertama berupa penyampaian konsep keilmuan mengenai sistem otomatisasi *smart lighting* berbasis panel surya. Bagian kedua berupa kegiatan praktik, di mana panitia menyediakan tujuh set komponen elektronika lengkap beserta perangkat panel surya. Peserta pelatihan dibagi ke dalam tujuh kelompok, dan setiap kelompok diberikan satu set modul untuk dirakit menjadi sistem *smart lighting* berbasis energi surya. Sistem *smart*

lighting yang dikembangkan ini memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama dan dilengkapi sensor cahaya sebagai komponen kontrol untuk sistem *smart*-nya. Diagram blok *smart lighting* berbasis panel surya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem *smart lighting* berbasis panel surya

Prinsip kerja sistem dimulai dari panel surya monocrystalline bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik (photovoltaic effect), yaitu kemampuan material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Energi listrik tersebut disalurkan ke *Solar Charge Controller* untuk mengatur proses pengisian dan penggunaan baterai accu 12volt serta mencegah terjadinya pengisian berlebih (*overcharging*). Perubahan intensitas cahaya lingkungan dideteksi oleh sensor cahaya pada modul X-HM131, yang selanjutnya mengaktifkan atau menonaktifkan relay AC-DC sebagai sakelar otomatis untuk mengalirkan energi dari baterai ke lampu LED DC 12 volt. Sistem pengkabelan dirancang secara efisien untuk menghubungkan seluruh komponen dan meminimalkan kehilangan energi.

3. Evaluasi

Evaluasi kegiatan dilakukan untuk mengukur peningkatan keberdayaan peserta pelatihan berdasarkan dua indikator utama. Pertama, dilakukan evaluasi kognitif melalui pemberian *pretest* dan *posttest* kepada siswa peserta pelatihan. Soal *pretest* dan *posttest* disusun berdasarkan materi yang disampaikan oleh seluruh pemateri. *Pretest* bertujuan untuk mengukur tingkat pemahaman awal siswa terhadap teknologi panel surya dan komponen elektronika, sedangkan *posttest* diberikan pada akhir kegiatan untuk mengetahui peningkatan pemahaman siswa setelah mengikuti pelatihan.

Kedua, evaluasi dilakukan melalui penilaian keberhasilan siswa secara berkelompok dalam merancang sistem *smart lighting* berbasis panel surya. Keberhasilan kelompok diukur berdasarkan persentase kelompok yang mampu merancang dan mengoperasikan sistem secara fungsional.

4. Umpan Balik

Umpan balik peserta digunakan sebagai bagian dari evaluasi pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada masyarakat untuk menilai kualitas penyelenggaraan program secara menyeluruh. Umpan balik diperoleh melalui pengisian kuesioner kepuasan oleh peserta setelah seluruh rangkaian kegiatan pelatihan selesai dilaksanakan.

Kuesioner disusun untuk mengevaluasi beberapa aspek utama, meliputi kualitas materi dan narasumber, manajemen dan organisasi kegiatan, fasilitas pendukung selama kegiatan, serta dukungan pihak sekolah sebagai mitra kegiatan. Penilaian dilakukan menggunakan skala persentase tingkat kepuasan peserta. Hasil kuesioner dianalisis secara deskriptif untuk menilai keberhasilan pelaksanaan kegiatan, mengidentifikasi kelebihan program, serta menjadi dasar perbaikan dan pengembangan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat pada tahap selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat yang berjudul “Pengembangan Kompetensi Elektronika Siswa SMA di Kabupaten Pati Jawa Tengah Melalui Pemanfaatan Panel surya untuk Sistem *Smart Lighting*” telah berlangsung sesuai dengan tahapan yang telah direncanakan. Kegiatan ini dilaksanakan melalui pendekatan partisipatif yang melibatkan tim dosen, mahasiswa, guru pendamping, serta siswa SMA PGRI 1 Pati. Seluruh rangkaian kegiatan berjalan dengan baik dan menghasilkan peningkatan pengetahuan, keterampilan praktis, serta antusiasme peserta terhadap pemanfaatan teknologi energi terbarukan di bidang elektronika.

Secara umum, hasil kegiatan menunjukkan bahwa metode pelatihan berbasis praktik (*hands-on training*) yang dipadukan dengan pendekatan project-based learning mampu meningkatkan kompetensi peserta dalam memahami konsep dasar panel surya, mengenal komponen elektronika, serta merancang sistem *smart lighting* berbasis energi surya. Selain menghasilkan peningkatan kompetensi peserta, kegiatan ini juga menghasilkan satu teknologi tepat guna berupa sistem *smart lighting* berbasis panel surya yang dipasang sebagai sarana penerangan di lingkungan sekolah.

3.1. Persiapan pelaksanaan Kegiatan:

Tahap persiapan diawali dengan kegiatan koordinasi antara tim pelaksana Pengabdian kepada Masyarakat dari Departemen Fisika Universitas Airlangga dengan pihak SMA PGRI 1 Pati. Koordinasi dilakukan bersama kepala sekolah, wakil kepala sekolah, dan guru pendamping untuk menyepakati mekanisme pelaksanaan, kesiapan lokasi, kebutuhan sarana pendukung, jumlah peserta, serta jadwal kegiatan. Melalui koordinasi tersebut diperoleh kesepakatan bahwa pelatihan dilaksanakan pada tanggal 8 Agustus 2025.



Gambar 2. Koordinasi Tim Abdimas Fisika Universitas Airlangga dengan Kepala Sekolah dan guru SMA PGRI 1 Pati saat survey untuk persiapan pelaksanaan kegiatan.

Setelah proses koordinasi selesai, tim pelaksana menyiapkan seluruh perangkat pembelajaran yang meliputi modul pelatihan, bahan presentasi, kit elektronika, modul *smart lighting*, panel surya, sensor cahaya, sistem pengkabelan, serta peralatan pendukung lainnya. Seluruh perangkat diuji terlebih dahulu untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik sehingga proses pelatihan dapat berlangsung secara efektif tanpa kendala teknis. Persiapan yang matang ini menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung kelancaran pelaksanaan kegiatan.

3.2 Pelaksanaan Pelatihan

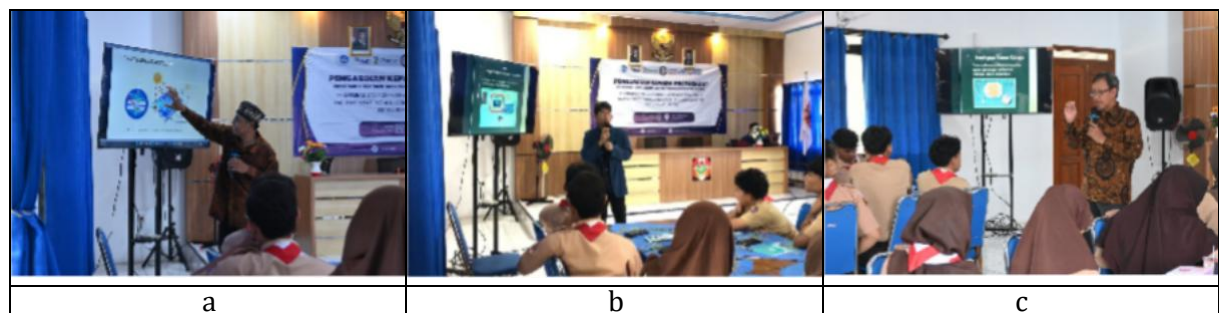
Pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat diawali dengan acara pembukaan yang dihadiri oleh Kepala SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah, perwakilan Departemen Fisika Universitas Airlangga, guru-guru pendamping, siswa siswi peserta pelatihan. Kegiatan pembukaan kegiatan ini sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Setelah kegiatan seremonial, pelatihan dilaksanakan melalui penyampaian materi, praktik perakitan, dan demonstrasi sistem

smart lighting berbasis panel surya.



Gambar 3. Pembukaan Kegiatan Pelatihan, (a)sambutan ketua Panitia, (b) sambutan Kepala sekolah

Materi pelatihan disampaikan dalam tiga sesi yang saling berkesinambungan. Pelaksanaannya seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sesi pertama membahas konsep dasar panel surya, prinsip kerja sel surya, serta pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan. Sesi kedua membahas komponen elektronika yang digunakan dalam sistem *smart lighting*, seperti sensor LDR, relay, dan rangkaian pendukung sistem kendali otomatis. Selanjutnya, pada sesi ketiga peserta memperoleh penjelasan mengenai konsep sistem *smart lighting* berbasis panel surya dan mengikuti praktik perakitan secara berkelompok menggunakan modul yang telah disiapkan oleh tim pelaksana.



Gambar 4. (a) Penyampaian materi mengenai prinsip kerja panel surya, (b) penyampaian materi komponen elektronika, (c) penyampaian materi sistem *smart lighting* kepada peserta pelatihan.

Peserta dibagi ke dalam tujuh kelompok, dan setiap kelompok memperoleh satu set kit pelatihan untuk merakit sistem *smart lighting* berbasis energi surya. Selama kegiatan praktik, peserta didampingi oleh tim dosen dan mahasiswa sehingga mampu memahami fungsi setiap komponen, proses perakitan, serta prinsip kerja sistem secara langsung. Pendekatan pembelajaran berbasis praktik ini memberikan kesempatan kepada peserta untuk menghubungkan konsep teoritis dengan penerapannya dalam suatu sistem elektronika berbasis energi terbarukan.

Pada akhir kegiatan, setiap kelompok berhasil menyelesaikan proses perakitan dan melakukan demonstrasi pengoperasian sistem *smart lighting*. Hasil demonstrasi menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan rancangan, yaitu memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan panel surya dan mengendalikan lampu secara otomatis berdasarkan perubahan intensitas cahaya lingkungan. Serangkain kegiatan materi III ditampilkan dalam Gambar 5. Keberhasilan praktik ini menunjukkan bahwa peserta tidak hanya memahami materi yang disampaikan, tetapi juga mampu mengimplementasikan pengetahuan tersebut melalui kegiatan perancangan dan pengujian sistem secara langsung.



Gambar 5. Peserta melakukan praktik perakitan sistem *smart lighting* berbasis panel surya secara berkelompok dengan pendampingan dari tim dosen dan mahasiswa.

3.3 Hasil Evaluasi *Pretest* dan *Posttest*

Hasil evaluasi *pretest* dan *posttest* menunjukkan bahwa pelaksanaan pelatihan *smart lighting* berbasis panel surya berhasil meningkatkan pengetahuan peserta secara nyata. Rata-rata persentase jawaban benar meningkat dari 65,8% pada *pretest* menjadi 94,3% pada *posttest* atau meningkat sebesar 28,5 poin persentase. Peningkatan ini menunjukkan bahwa metode pelatihan yang memadukan penyampaian materi, demonstrasi, dan praktik langsung mampu memperkuat pemahaman konsep sekaligus keterampilan elektronika peserta.

Secara kuantitatif, peningkatan terbesar terjadi pada materi fungsi panel surya (43,9% menjadi 96,5%; kenaikan 52,6 poin), kombinasi *smart lighting* (46,3% menjadi 94,7%; kenaikan 48,4 poin), fungsi baterai (51,2% menjadi 94,7%; kenaikan 43,5 poin), prinsip kerja panel surya (53,7% menjadi 94,7%; kenaikan 41,0 poin), serta komponen penyimpan energi (51,2% menjadi 86,0%; kenaikan 34,8 poin). Materi yang sejak awal telah dipahami cukup baik, seperti tujuan baterai paralel dan konfigurasi baterai paralel, tetap mengalami peningkatan hingga berada di atas 95%.

Secara kualitatif, peningkatan ini menunjukkan bahwa peserta tidak hanya memahami konsep dasar energi surya dan komponen elektronika, tetapi juga mampu mengintegrasikan konsep tersebut dalam proses perancangan sistem *smart lighting*. Selama sesi praktik, seluruh kelompok berhasil merakit, menguji, dan mengoperasikan sistem *smart lighting* berbasis panel surya hingga berfungsi sesuai rancangan. Hal ini mengindikasikan bahwa pelatihan berhasil meningkatkan pengetahuan kognitif sekaligus keterampilan praktis, kemampuan bekerja sama, serta kepercayaan diri peserta dalam menerapkan teknologi energi terbarukan. Indikator peningkatan pemberdayaan peserta pelatihan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Dalam mengolah *pretest* dan *posttest* digunakan Uji beda t. Analisis uji t berpasangan terhadap rata-rata skor pada 12 indikator menunjukkan nilai $t = 5.595$ dengan $p\text{-value} = 0.000162$ ($p < 0,001$). Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest*. Dengan demikian, pelatihan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan pengetahuan dan keterampilan elektronika peserta. Perlu diperhatikan bahwa uji ini dilakukan menggunakan rata-rata 12 indikator soal yang ditampilkan pada grafik, bukan menggunakan skor individual dari 40 peserta. Apabila tersedia data mentah setiap peserta, analisis statistik akan menjadi lebih kuat dan valid.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Pretest dan Posttest

Indikator	Pretest (%)	Posttest (%)	Kenaikan
Fungsi panel surya	43.9	96.5	52.6
Komponen penyimpan energi	51.2	86.0	34.8
Prinsip kerja solar cell	53.7	94.7	41.0
Fungsi resistor	61.0	94.7	33.7
Sensor cahaya	68.3	96.5	28.2
Fungsi charge controller	56.1	87.7	31.6
Resistansi LDR	85.4	94.7	9.3
Saklar otomatis	82.9	100.0	17.1
Fungsi baterai	51.2	94.7	43.5
Tujuan baterai paralel	95.1	96.5	1.4
Konfigurasi baterai paralel	92.7	96.5	3.8
Kombinasi <i>smart lighting</i>	46.3	94.7	48.4

3.4 Keberhasilan Praktik Perancangan Sistem *Smart Lighting*

Selain peningkatan pemahaman secara kognitif, keberhasilan kegiatan juga ditinjau dari kemampuan siswa dalam merancang dan merealisasikan sistem *smart lighting* berbasis panel surya secara berkelompok. Berdasarkan hasil observasi selama kegiatan praktik, seluruh kelompok peserta mampu merakit sistem *smart lighting* sesuai dengan modul yang disediakan dan memahami prinsip kerja sistem secara fungsional. Semua kelompok mampu merancang dan mendemostrasikan sistem *smart lighting* seperti yang ditunjukkan salah satu kelompok seperti pada Gambar 6(a). Siswa peserta pelatihan melakukan Uji pengisian baterai dengan panel surya dilapangan terbuka seperti pada foto Gambar 6(b).



Gambar 6. (a) Demonstrasi dan pengujian sistem *smart lighting* berbasis panel surya hasil perakitan peserta pelatihan. (b) Uji pengisian baterai dengan panel surya dilapangan terbuka.

Keberhasilan ini menunjukkan bahwa pelatihan tidak hanya berdampak pada peningkatan pengetahuan teoritis, tetapi juga pada pengembangan keterampilan motorik, kerja sama tim, serta kemampuan problem solving siswa. Hasil ini sejalan dengan tujuan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat, yaitu meningkatkan kompetensi elektronika terapan siswa melalui pengalaman belajar langsung.

3.5 Hasil Umpan Balik Kepuasan Peserta

Evaluasi kepuasan peserta dilakukan melalui kuesioner yang mencakup empat aspek utama, yaitu kualitas materi dan narasumber, manajemen dan organisasi kegiatan, fasilitas pendukung, serta dukungan pihak sekolah sebagai mitra kegiatan. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa seluruh aspek memperoleh penilaian dengan kategori sangat memuaskan.

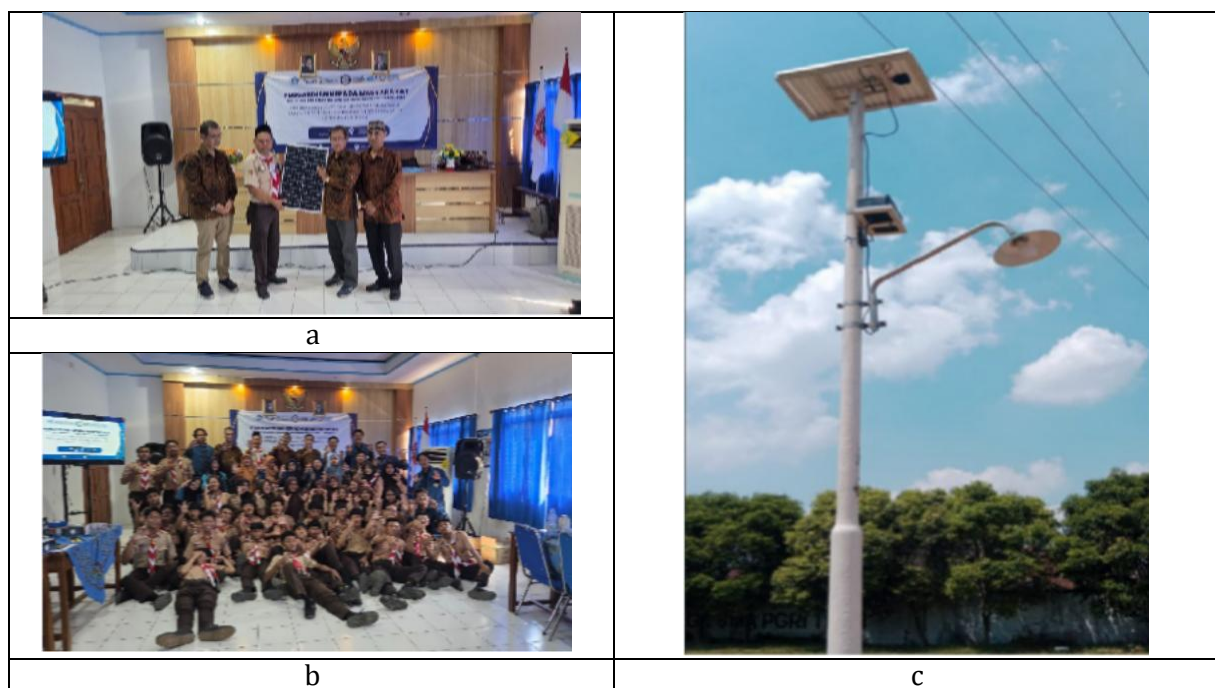
Pada aspek kualitas materi dan narasumber, tingkat kepuasan peserta berada pada rentang 91,58% hingga 95,26%. Hal ini menunjukkan bahwa materi yang disampaikan dinilai relevan, bermanfaat, dan disampaikan dengan jelas oleh narasumber. Pendampingan selama demonstrasi dan praktik perakitan juga memperoleh nilai tinggi, yaitu 94,21%, yang mencerminkan efektivitas metode pembelajaran berbasis praktik.

Aspek manajemen dan organisasi kegiatan memperoleh tingkat kepuasan antara 87,37% hingga 94,21%. Penilaian ini menunjukkan bahwa pemilihan waktu pelaksanaan, pengaturan alur kegiatan, kemudahan memperoleh informasi, serta kualitas layanan panitia selama kegiatan dinilai sangat baik oleh peserta.

Pada aspek fasilitas pendukung, tingkat kepuasan peserta berada pada kisaran 91,05% hingga 97,89%, yang mencakup ketersediaan fasilitas pendukung, kelengkapan peralatan multimedia, kenyamanan ruang kelas atau laboratorium, serta ketersediaan kit pelatihan. Nilai kepuasan yang tinggi pada aspek ini menunjukkan bahwa sarana dan prasarana yang disediakan telah mendukung pelaksanaan kegiatan secara optimal.

Selain itu, aspek dukungan pihak sekolah memperoleh tingkat kepuasan tertinggi, yaitu 98,42%, yang menunjukkan adanya komitmen dan keterlibatan aktif pihak sekolah dalam mendukung pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat. Dukungan ini menjadi faktor penting dalam kelancaran dan keberhasilan pelaksanaan program.

Keberhasilan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat tidak hanya ditunjukkan oleh peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta dalam merancang serta merakit sistem *smart lighting* berbasis panel surya, tetapi juga dari keberlanjutan pemanfaatan hasil kegiatan oleh pihak sekolah. Pada acara penutupan, tim pelaksana menyerahkan sistem *smart lighting* berbasis panel surya kepada pihak SMA PGRI 1 Pati sebagai luaran kegiatan.



Gambar 6. (a) Penyerahan sistem *smart lighting* berbasis panel surya kepada pihak SMA PGRI 1 Pati, (b) Foto bersama tim Pengabdian kepada Masyarakat Departemen Fisika Universitas Airlangga, Kepala SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah, guru pendamping, dan peserta pelatihan setelah seluruh rangkaian kegiatan selesai dilaksanakan. (c) Pemanfaatan *smart lighting* sebagai penerangan jalan di lingkungan sekolah.

Pihak sekolah selanjutnya menindaklanjuti hasil kegiatan dengan memanfaatkan dan memasang sistem *smart lighting* tersebut sebagai salah satu sarana penerangan di lingkungan jalan sekolah. Pemanfaatan hasil perakitan oleh mitra menunjukkan bahwa teknologi yang diperkenalkan tidak berhenti pada kegiatan pelatihan, tetapi dapat diterapkan secara nyata sesuai kebutuhan lingkungan sekolah. Hal ini sekaligus menjadi indikator keberhasilan pemberdayaan mitra karena peserta mampu menghasilkan produk teknologi sederhana, sedangkan pihak sekolah mampu melanjutkan pemanfaatannya setelah kegiatan berakhir. Dokumentasi penyerahan sistem *smart lighting* kepada pihak sekolah dan tindak lanjut pemanfaatannya sebagai penerangan jalan sekolah ditampilkan pada Gambar 6.

Pengabdian kepada masyarakat ini telah menyebarluaskan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni kepada masyarakat. Kegiatan ini telah mampu memberikan suatu nilai tambah bagi masyarakat, baik dalam kegiatan ekonomi, kebijakan, dan perubahan perilaku (sosial). Kegiatan pengabdian masyarakat ini telah mampu memberi perubahan bagi individu/masyarakat maupun institusi baik jangka pendek maupun jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat di SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah, pelatihan pemanfaatan panel surya untuk sistem *smart lighting* telah dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan elektronika siswa melalui pembelajaran berbasis praktik. Evaluasi terhadap 12 indikator materi menunjukkan bahwa rata-rata persentase jawaban benar meningkat dari 65,8% pada *pretest* menjadi 94,3% pada *posttest*, atau mengalami peningkatan sebesar 28,5 poin persentase. Peningkatan terjadi pada seluruh indikator yang dievaluasi, dengan peningkatan terbesar pada materi fungsi panel surya sebesar 52,6 poin persentase dan kombinasi sistem *smart lighting* sebesar 48,4 poin persentase.

Peningkatan pengetahuan tersebut diperkuat oleh hasil praktik, dimana seluruh tujuh kelompok peserta berhasil merancang, merakit, menguji, dan mengoperasikan sistem *smart lighting* berbasis panel surya hingga berfungsi sesuai rancangan. Hasil ini menunjukkan bahwa kegiatan tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga memberikan pengalaman langsung dalam penerapan komponen elektronika, sistem sensor, pengendalian otomatis, dan pemanfaatan energi surya.

Dari aspek pelaksanaan program, peserta memberikan respons yang sangat positif. Tingkat kepuasan terhadap materi dan narasumber berada pada rentang 91,58–95,26%, fasilitas pendukung 91,05–97,89%, sedangkan dukungan pihak sekolah mencapai 98,42%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kegiatan dapat diterima dengan baik oleh mitra dan memperoleh dukungan yang kuat dari pihak sekolah.

Secara keseluruhan, kegiatan ini berhasil meningkatkan keberdayaan siswa dalam bidang elektronika terapan sekaligus menghasilkan sistem *smart lighting* berbasis panel surya sebagai teknologi tepat guna. Pada akhir kegiatan, sistem tersebut diserahkan kepada pihak SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah dan selanjutnya dimanfaatkan oleh pihak sekolah sebagai sarana penerangan jalan di lingkungan sekolah. Pemanfaatan tersebut menunjukkan bahwa hasil kegiatan tidak berhenti pada proses pelatihan, tetapi telah memberikan manfaat nyata dan berkelanjutan bagi mitra melalui penerapan teknologi energi terbarukan di lingkungan sekolah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan terkait dengan publikasi artikel ini. Penulis juga memastikan bahwa seluruh data, analisis, dan isi yang disajikan dalam naskah ini merupakan hasil karya asli dan bebas dari plagiarisme.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada SMA PGRI 1 Pati Jawa Tengah atas kerja sama yang baik dan antusiasme yang diberikan selama pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Penulis juga menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Fakultas

Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, atas dukungan, fasilitas, dan pendanaan yang telah diberikan sehingga pelaksanaan program serta penyelesaian naskah ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., & Said, Z. (2022). *Up-to-date literature review on Solar PV systems: Technology progress, market status and R&D*. Journal of Cleaner Production, 362, 132339. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132339
- Guo, L., Abdul, N.M.M, Vengalil, M., Wang, K., And Santuzzi, A. 2022. Engaging Renewable Energy Education Using A Web-Based Interactive Microgrid Virtual Laboratory, IEEE Access , Volume: 10, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3181200
- Haryudo, H. S., Isnur, I. E., Ismayati, E., Baskoro, E. B. F., & Farid. (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 (ICVEE)*, 226–229
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*, Geneva: IPCC
- International Energy Agency (IEA), 2022. *World Energy Outlook*, Paris: IEA,
- Istiqomah, I., Aziz, A. A., Rizal, A., Bahrudin, M. F., Sundawa, N. W., Isnaini, A. N., Hanafi, M. I., S Patriananda, T. (2024). Edukasi energi hijau: pengadaan lampu jalan berbasis panel surya di Sekolah Alam Gaharu sebagai media pembelajaran. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 7(4).
- Lameirinhas, R. A. M., Torres, J. P. N., & Cunha, J. P. de M. (2022). A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications. *Energies*, 15(6), 1823. <https://doi.org/10.3390/en15051823>
- Mufidah, E., & Saputra, B. A. (2023). Implementasi Model Pembelajaran Project Based Learning Pembuatan Lampu Taman Berbasis Energi Terbarukan untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Murid SMA. *MASALIQ*, 4(1), 266–274. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2178>
- Pambudi, N. A., Nanda, I. R., Alfina, F. T., & Syahril, A. Z. (2024). Renewable energy education and awareness among Indonesian students: Exploring challenges and opportunities for a sustainable future. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63, 103631. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103631>
- Pulluri, H., Naveen Kumar, A., Saritha, P., & Reddy, P. L. (2024). Enhancing Student Learning Efficiency Through Project Oriented Problem Based Learning in Renewable Energy Technology Course. *Journal of Engineering Education Transformations*, 38(Special Issue 1), 82–88
- Rahman, I., Cangara, A. R., Idris, N. I., 2025. Literasi Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Bagi Siswa SMA Kecamatan Biringkanaya Kota Makassar, *Jgen-Volume 3 nomor 1*: Hal 33-41. DOI: <https://doi.org/10.60126/jgen.v3i1.686>
- Sapuan, I., Ain, K., Soelistono, S., Dito, A., Pujiyanto, Trilaksana, H., 2025. Pelatihan Penggunaan Energi Alternatif Solar Cell Untuk Smart Lighting Bagi Siswa Sman 1 Plosoklaten Kediri, *Martabe: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, Volume 8, Issue: 3, Hal: 1.260-1266
- Thomas, J. W., 2000. *A Review of Research on Project-Based Learning*, San Rafael: Autodesk Foundation.
- Uddin, M. S., S Sultana, A. (2024). *Promoting Renewable Energy Education to Middle School and High School Students Through Sponsored Summer Camps*. Energy and Environmental Engineering, 5(3). DOI: 10.31031/EME.2024.05.000611
- United Nations Statistics Division (UNSD) 2024. *The Sustainable Development Goals Report 2024 – Goal 7: Affordable and Clean Energy*

Urbina, A. (2023). *Sustainability of photovoltaic technologies in future net-zero emissions scenarios*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 31(12), 1255–1269. DOI: 10.1002/pip.3642