



PENINGKATAN LITERASI ENERGI TERBARUKAN MELALUI IMPLEMENTASI MICROGRID PANEL SURYA DAN PENGEMBANGAN PLATFORM E-LEARNING DI SMKN 3 TONDANO

Improving Renewable Energy Literacy Through The Implementation of Solar Microgrid Panels And The Development of an E-Learning Platform at Smkn 3 Tondano

I Gede Budi Mahendra^{1*}, Ida Bagus Weda Wigena², Medi Hermanto Tinambunan³

¹Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Manado, ²Pendidikan IPS, Universitas Negeri Manado, ³Teknik Informatika, Universitas Negeri Mando

Jl. Kampus Unima, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara

*Alamat Korespondensi : igedebudimahendra@unima.ac.id

(Tanggal Submission: 12 Agustus 2025, Tanggal Accepted : 20 September 2025)



Kata Kunci :

Literasi Energi, Energi Terbarukan, Solar Cell, Microgrid, LMS

Abstrak :

Kebutuhan akan literasi energi terbarukan di lingkungan pendidikan vokasi semakin mendesak untuk mendukung transisi energi dan pendidikan hijau. SMK Negeri 3 Tondano memiliki potensi pengembangan energi surya melalui kegiatan pembelajaran dan praktik teknik listrik. Namun, pemahaman guru dan siswa tentang konsep energi terbarukan, efisiensi energi, dan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) masih terbatas. Kondisi ini berdampak pada rendahnya penerapan teknologi energi bersih dalam proses belajar mengajar dan lingkungan sekolah. Program pengabdian masyarakat ini bertujuan meningkatkan literasi energi terbarukan dan kapasitas teknis warga sekolah melalui pendekatan edukatif, partisipatif, dan aplikatif. Metode kegiatan meliputi penyuluhan interaktif, pelatihan teknis, pengembangan Learning Management System (LMS), pembentukan Tim Satgas Energi, instalasi microgrid PLTS 300 Wp, dan penyusunan SOP teknis. Sebanyak 43 peserta yang terdiri dari guru, siswa, dan teknisi terlibat aktif. Hasil evaluasi pretest–posttest menunjukkan peningkatan signifikan: rerata skor guru naik dari 58–65 menjadi 84–88, sedangkan siswa meningkat dari 44–52 menjadi 73–79, dengan N-Gain 0,56–0,66. Sistem PLTS menghasilkan 1,2–1,4 kWh per hari dan mampu mengoperasikan beban praktik selama 3–5 jam. Tindak lanjut meliputi integrasi materi energi terbarukan dalam pembelajaran berbasis proyek, pengelolaan LMS secara mandiri, dan penerapan SOP pemeliharaan. Kegiatan ini membuktikan bahwa model edukasi energi berbasis sekolah dapat direplikasi untuk memperkuat transisi energi di tingkat nasional.



Key word :

Energy Literacy, Renewable Energy, Solar Cell, Microgrid, LMS

Abstract :

The need for renewable energy literacy in vocational education is becoming increasingly urgent to support energy transition and green education. SMK Negeri 3 Tondano has the potential to develop solar energy through learning activities and electrical engineering practices. However, teachers' and students' understanding of renewable energy concepts, energy efficiency, and solar power generation systems (PLTS) is still limited. This situation has led to low adoption of clean energy technology in teaching and learning processes and the school environment. This community service programme aims to enhance renewable energy literacy and technical capacity among school staff through an educational, participatory, and applied approach. The activities included interactive outreach, technical training, development of a Learning Management System, formation of an Energy Task Force, installation of a 300 Wp microgrid PLTS, and development of technical SOPs. A total of 43 participants, consisting of teachers, students, and technicians, were actively involved. Pre-test–post-test evaluation results showed significant improvements: the average teacher score increased from 58–65 to 84–88, while students improved from 44–52 to 73–79, with an N-Gain of 0.56–0.66. The PLTS system generates 1.2–1.4 kWh per day and can operate practical loads for 3–5 hours. Follow-up activities include integrating renewable energy materials into project-based learning, self-managed LMS management, and the implementation of maintenance SOPs. This activity demonstrates that the school-based energy education model can be replicated to strengthen the energy transition at the national level.

Panduan sitasi / citation guidance (APPA 7th edition) :

Mahendra, I. G. B., Wigena, I. B. W., & Tinambunan, M. H. (2025). Peningkatan Literasi Energi Terbarukan Melalui Implementasi Microgrid Panel Surya Dan Pengembangan Platform E-Learning di SMKN 3 Tondano. *Jurnal Abdi Insani*, 12(9), 4560-4572. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i9.2848>

PENDAHULUAN

Ketahanan energi merupakan isu strategis dalam pembangunan berkelanjutan, terutama di sektor pendidikan. Ketersediaan energi terutama energi listrik yang stabil dan berkelanjutan menjadi kebutuhan dasar dalam kegiatan akademik di sekolah (Rahman et al., 2025). Pasokan listrik yang andal mendukung pembelajaran, operasional laboratorium, dan integrasi teknologi dalam proses belajar-mengajar. Ketahanan energi listrik yang baik memungkinkan lingkungan pendidikan berjalan secara optimal dengan memastikan akses terhadap pembelajaran berbasis teknologi informasi serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi akademik. Ketahanan energi listrik di sektor pendidikan juga berperan dalam mendorong inovasi dan kemandirian institusi sekolah dalam mengelola sumber daya energi (Setyarini et al., 2024).

Sebagai Sekolah Menengah Kejuruan di bidang teknologi dan rekayasa, SMK Negeri 3 Tondano memiliki potensi besar untuk menjadi pusat edukasi dan inovasi energi terbarukan. Dengan posisi strategis di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, sekolah ini berada di wilayah dengan potensi energi surya yang signifikan. Berdasarkan studi, Provinsi Sulawesi Utara memiliki potensi energi surya sebesar 12 GWp (Kharisma et al., 2024), dengan wilayah Minahasa menerima paparan sinar matahari rata-rata 4,5–5,5 kWh/m² per hari sepanjang tahun (Afrioni Roma Rio et al., 2025). Kondisi ini menjadikannya lokasi yang ideal untuk penerapan microgrid energi surya.



Keberadaan SMK Negeri 3 Tondano di tengah komunitas masyarakat yang mayoritas berprofesi sebagai petani dan pekerja industri kecil memperkuat urgensi penguatan literasi energi terbarukan. Menurut (Rumagit et al., 2023), Sektor pertanian di Minahasa mengalami peningkatan adopsi teknologi modern yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi untuk menopang produktivitas. Lebih lanjut, hasil studi menyebutkan bahwa lebih dari 87% industri kecil di Minahasa masih bergantung pada energi listrik konvensional PLN (Loway et al., 2023). Situasi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap pemanfaatan energi terbarukan yang mandiri guna mendukung efisiensi dan keberlanjutan di berbagai sektor, termasuk pendidikan, pertanian, industri rumah tangga, dan sektor lainnya. Dalam konteks ini, SMK Negeri 3 Tondano memiliki potensi besar untuk menjadi pusat edukasi dan inovasi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan yang aplikatif, sebagai model sekolah mandiri energi dan berkelanjutan yang nantinya akan memberikan manfaat kepada masyarakat sekitar.

Meskipun memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan berbasis microgrid, SMK Negeri 3 Tondano masih menghadapi beberapa permasalahan. Berdasarkan observasi dan wawancara dengan pihak sekolah, permasalahan utama yang dihadapi adalah rendahnya pemahaman terhadap konsep dan implementasi sistem microgrid di kalangan warga sekolah, yang berdampak pada keterbatasan integrasi energi terbarukan dalam menunjang kegiatan akademik di sekolah. Padahal, sekolah ini berada di wilayah dengan potensi energi surya yang tinggi. Hal tersebut berkorelasi dengan fakta bahwa sekolah masih ketergantungan pada pasokan energi konvensional dari PLN dan tidak ada suplai energi cadangan. Data PLN Sulawesi Utara 2023 menunjukkan bahwa wilayah Minahasa mengalami rata-rata 3–4 kali pemadaman listrik per bulan (Maki et al., 2024). Hal tersebut yang berdampak signifikan terhadap kegiatan pembelajaran di kelas maupun praktikum di laboratorium. Lebih lanjut, Keterbatasan literasi energi terbarukan warga sekolah dan kurangnya materi ajar yang relevan menjadi hambatan dalam menjadikan SMK Negeri 3 Tondano sebagai model sekolah mandiri energi. Permasalahan tersebut diperparah oleh rendahnya kapasitas sebagian besar pendidik dalam mengintegrasikan konsep-konsep energi hijau ke dalam proses pembelajaran, yang mengakibatkan kurang optimalnya penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam kurikulum. Selain itu, pemanfaatan teknologi sebagai sarana pendukung pengajaran literasi energi belum terealisasi secara efektif, sebagaimana dibuktikan oleh rendahnya penggunaan teknologi informasi oleh sebagian besar pendidik dalam proses pembelajaran (Paende et al., 2022).

Selain sisi SDM, sisi sarana dan prasarana juga menjadi permasalahan. Sarana dan prasarana pembelajaran literasi energi masih terbatas, sehingga menghambat implementasi pembelajaran berbasis praktik (Figueiredo et al., 2021). Laboratorium praktik belum dilengkapi dengan sistem microgrid skala kecil sebagai media pembelajaran, yang seharusnya dapat memberikan pengalaman langsung kepada siswa dalam memahami desain, operasional, dan manajemen energy (López Gutiérrez et al., 2021). Selain itu, belum tersedianya modul atau bahan ajar yang komprehensif dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran literasi energi juga menjadi kendala. Kurangnya bahan ajar yang relevan dan terstruktur ini mengakibatkan siswa kesulitan dalam mengaitkan teori dengan praktik di lapangan (Nik Abdul Majid et al., 2025).

Dalam menghadapi permasalahan tersebut, pendampingan dan pelatihan literasi energi terbarukan berbasis microgrid menjadi upaya yang sangat relevan (Siddiqui, 2024). Program pendampingan ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas warga sekolah dalam memahami konsep dan implementasi teknologi energi terbarukan. Selain itu, pelatihan ini juga bertujuan untuk membangun sistem microgrid panel surya skala kecil. Fasilitas ini akan menjadi media pembelajaran langsung bagi siswa dalam memahami desain, operasional, dan pengelolaan energi terbarukan. Dengan program pendampingan dan pelatihan ini, SMK Negeri 3 Tondano memiliki potensi besar menjadi model sekolah mandiri energi dan berkelanjutan. Penerapan microgrid energi surya yang terintegrasi dalam proses pembelajaran dan operasional sekolah akan menjadi contoh nyata bagi institusi pendidikan lain dalam mengembangkan ketahanan energi yang mandiri, ramah lingkungan,

dan inovatif. Kegiatan PKM ini bertujuan meningkatkan literasi energi terbarukan di SMK Negeri 3 Tondano melalui penerapan microgrid surya dan pelatihan komprehensif, sehingga sekolah dapat menjadi pusat edukasi dan inovasi energi terbarukan serta model sekolah mandiri energi berkelanjutan yang dapat direplikasi oleh sekolah lain.

METODE KEGIATAN

Untuk memastikan kegiatan tepat sasaran dan sesuai kebutuhan lapangan, tim pelaksana terlebih dahulu melakukan koordinasi intensif dengan pihak sekolah dan pemangku kepentingan terkait. Berdasarkan hasil diskusi dan pemetaan kebutuhan bersama mitra, disusunlah langkah-langkah pelaksanaan sebagai solusi atas permasalahan yang dihadapi. Langkah-langkah tersebut divisualisasikan pada Gambar 1 yang memuat tahapan kegiatan pemberdayaan kemitraan masyarakat.



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat

Gambar 1 menunjukkan tahapan pelaksanaan kegiatan yang terdiri dari tahap persiapan, pelaksanaan, dan pelaporan.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan kegiatan mencakup observasi dan identifikasi, koordinasi dengan mitra, administrasi kegiatan, serta persiapan alat dan bahan. Proses dimulai dengan melakukan observasi dan identifikasi terhadap kondisi sekolah serta merumuskan tujuan program yang sesuai dengan kebutuhan sekolah. Setelah itu, dilakukan koordinasi dengan pihak-pihak mitra guna memperoleh dukungan teknis, serta fasilitas yang dibutuhkan. Selanjutnya, tahap administrasi kegiatan mencakup penyusunan rencana kerja yang terperinci, penetapan jadwal kegiatan, indikator keberhasilan, serta penyusunan dokumen pendukung. Tahap awal ini diakhiri dengan persiapan alat dan bahan yang diperlukan, mulai dari penyusunan materi penyuluhan dan pelatihan, pengadaan alat instalasi *microgrid*, hingga penyusunan platform *e-learning* yang akan digunakan.

2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari 6 tahapan kegiatan. Tahap pertama adalah penyuluhan materi energi terbarukan dan manajemen energi yang bertujuan untuk meningkatkan literasi energi terbarukan di kalangan warga sekolah. Materi penyuluhan mencakup pengenalan energi terbarukan, manfaatnya, konsep *microgrid*, manajemen energi, tantangan penerapan, serta peran teknologi informasi dalam mendukung penerapan energi terbarukan. Penyuluhan ini dilaksanakan dengan

menggunakan kombinasi metode ceramah, dan diskusi interaktif. Metode ceramah digunakan untuk penyampaian materi secara langsung oleh narasumber, sementara diskusi interaktif memungkinkan pendalaman materi melalui diskusi kelompok. Partisipasi aktif dari pihak sekolah diperlukan dalam menyediakan fasilitas pendukung serta mengoordinasikan peserta agar kegiatan dapat berlangsung dengan efektif. Evaluasi kegiatan tahap pertama dilakukan dengan mengukur tingkat pemahaman peserta melalui pre-test dan post-test, serta observasi terhadap partisipasi aktif peserta. Selain itu, umpan balik dari peserta juga dikumpulkan untuk menilai efektivitas penyuluhan. Diharapkan, peningkatan literasi energi terbarukan yang tercapai dapat menjadi dasar bagi kegiatan selanjutnya yang lebih aplikatif dan terintegrasi dalam kegiatan akademik di sekolah.

Tahap kedua adalah pembuatan platform website *e-learning* untuk menyediakan bahan ajar yang relevan mengenai energi terbarukan yang dapat diakses oleh seluruh warga sekolah. Proses ini diawali dengan analisis kebutuhan melalui diskusi dengan guru dan siswa untuk mengidentifikasi fitur yang diperlukan. Selanjutnya, dilakukan perancangan antarmuka yang ramah pengguna dengan melibatkan masukan dari pihak sekolah. Platform ini mencakup modul pembelajaran, simulasi interaktif, video pembelajaran, forum diskusi, serta bahan ajar yang dapat diunduh. Setelah perancangan selesai, pengembangan dilakukan menggunakan teknologi yang sesuai dan diuji coba sebelum diluncurkan secara resmi. Partisipasi sekolah sangat penting dalam memberikan umpan balik selama proses perancangan dan pengembangan. Evaluasi tahap kedua dilakukan melalui pemantauan statistik akses pengguna, serta umpan balik dari siswa dan guru. Keberlanjutan Platform *e-learning* ini diharapkan terus dikembangkan dengan konten yang diperbarui dan diperkaya sesuai dengan kebutuhan pembelajaran energi terbarukan di sekolah.

Tahap ketiga adalah pembentukan tim satgas manajemen energi di sekolah. Tim ini terdiri dari guru, staf teknis, dan siswa. Pembentukan tim satgas diawali dengan proses rekrutmen yang disusul dengan kegiatan *Focus Group Discussion* anggota tim satgas mengenai manajemen energi di sekolah. Setelah itu, tim ini bertugas mengelola dan memantau penggunaan energi di sekolah, menyusun laporan pemakaian energi, serta merancang program penghematan energi. Partisipasi aktif dari guru, siswa, dan staf teknis sangat penting dalam memastikan tim ini berfungsi secara optimal. Evaluasi tahap ketiga dilakukan dengan menilai efektivitas tugas yang dijalankan oleh tim satgas melalui laporan rutin, pencapaian target penghematan energi, serta umpan balik dari warga sekolah. Rencana keberlanjutan kegiatan dimana Tim satgas yang terbentuk diharapkan dapat bekerja secara mandiri dan berkelanjutan dengan dukungan penuh dari pihak sekolah.

Tahap keempat adalah pengembangan instalasi *microgrid* panel surya yang bertujuan untuk menyediakan suplai energi cadangan serta menjadi media pembelajaran praktis bagi siswa. Proses pengembangan ini dimulai dengan perencanaan berupa perhitungan kebutuhan daya, pengadaan alat, instalasi alat, serta pengintegrasian sistem ke beban. Instalasi ini juga digunakan sebagai sarana praktikum bagi siswa untuk memahami konsep energi terbarukan. Partisipasi pihak sekolah meliputi penyediaan lokasi untuk instalasi serta memastikan keamanan peralatan yang digunakan. Evaluasi tahap keempat dilakukan dengan mengukur produksi energi dari *microgrid*, efektivitas penggunaannya dalam pembelajaran, dan penghematan energi yang dicapai. Keberlanjutan instalasi *microgrid* yang terpasang diharapkan dapat terus berfungsi dengan baik dan dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan sekolah.

Tahap kelima adalah pelatihan dan pendampingan penerapan energi terbarukan. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas guru dan tenaga kependidikan dalam mengintegrasikan konsep energi terbarukan ke kegiatan akademik. Proses pelatihan mencakup teori dan praktik yang meliputi penggunaan *microgrid*, metode pembelajaran interaktif, serta pemanfaatan teknologi informasi dalam pengajaran. Pendampingan dilakukan untuk memastikan penerapan materi energi terbarukan dapat berjalan dengan baik dalam proses pembelajaran. Partisipasi guru dan siswa dalam mengikuti pelatihan serta mengimplementasikan materi dalam kegiatan belajar mengajar sangatlah penting. Evaluasi tahap kelima dilakukan dengan mengukur tingkat pemahaman peserta, serta

monitoring implementasi materi dalam proses pembelajaran. Keberlanjutan kegiatan diharapkan guru yang telah mengikuti pelatihan diharapkan dapat mengajarkan energi terbarukan secara mandiri dan berkesinambungan.

Tahap terakhir adalah penyusunan SOP teknis penerapan dan manajemen energi terbarukan di sekolah. SOP ini mencakup prosedur pemasangan, pemeliharaan, evaluasi kinerja sistem *microgrid*, serta prosedur penggunaan energi secara efisien. Penyusunan SOP dilakukan dengan melibatkan seluruh anggota tim satgas dan pihak sekolah. Evaluasi tahap terakhir dilakukan dengan audit rutin untuk menilai sejauh mana SOP diterapkan. Keberlanjutan dari SOP ini sangat penting untuk memastikan pengelolaan energi terbarukan di sekolah dilakukan secara konsisten dan efisien. SOP yang disusun diharapkan menjadi panduan standar dalam pengelolaan energi terbarukan, memberikan kontribusi pada keberlanjutan lingkungan, penghematan energi, dan menjadi model bagi sekolah lain dalam penerapan energi terbarukan.

3. Tahap Pelaporan

Tahap pelaporan merupakan tahap akhir dari kegiatan PKM. Tahap ini mencakup penyusunan laporan kegiatan, pembuatan publikasi, dan penyusunan luaran kegiatan. Proses dimulai dengan penyusunan laporan kegiatan yang mencakup seluruh tahapan. Laporan ini disusun secara terstruktur dengan menguraikan tujuan, metode, hasil yang dicapai, kendala yang dihadapi, serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut. Selanjutnya, dilakukan pembuatan publikasi berupa artikel, poster, video dokumentasi, atau laporan singkat yang disebarluaskan melalui berbagai media. Publikasi ini bertujuan untuk memperkenalkan hasil kegiatan kepada masyarakat luas serta sebagai bentuk transparansi dan pertanggungjawaban kepada pihak terkait. Tahap ini diakhiri dengan penyusunan luaran kegiatan yang mencakup SOP, modul penyuluhan dan pelatihan, platform *e-learning*, serta instalasi *microgrid*. Semua luaran ini diharapkan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan oleh sekolah dan menjadi contoh penerapan energi terbarukan yang dapat diadopsi oleh institusi lain

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kegiatan Penyuluhan dan Peningkatan Literasi Energi

Kegiatan awal program ini difokuskan pada penyuluhan dan peningkatan literasi energi kepada warga sekolah, dengan penekanan khusus pada pemahaman mengenai Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya energi surya dan konsep *microgrid*. Tujuan utama kegiatan ini adalah membekali peserta dengan pengetahuan dasar yang komprehensif tentang pentingnya transisi energi, pemanfaatan sumber energi bersih, serta urgensi efisiensi energi dalam kehidupan sehari-hari dan di lingkungan pendidikan. Kegiatan penyuluhan ini diikuti oleh 43 peserta yang terdiri dari guru lintas mata pelajaran, siswa program keahlian teknik, serta staf teknis sekolah. Materi yang disampaikan meliputi empat pokok utama: (1) konsep dasar energi terbarukan, (2) tantangan dan peluang implementasi energi bersih di Indonesia, (3) peran sistem *microgrid* dalam mewujudkan kemandirian energi sekolah, dan (4) strategi efisiensi energi serta manajemen konsumsi listrik yang cerdas dan bertanggung jawab.

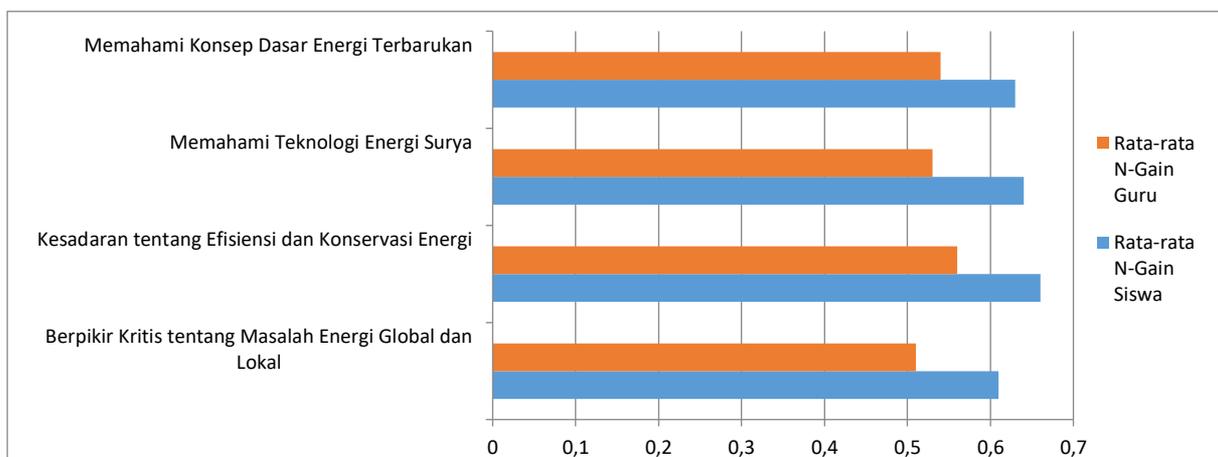
Metode penyampaian materi dilakukan secara interaktif melalui ceramah visual, diskusi kelompok, dan studi kasus yang relevan dengan kondisi sekolah. Untuk mengukur efektivitas kegiatan, dilakukan pengujian pre-test dan post-test terhadap seluruh peserta baik guru maupun siswa. Hasil Pretest dan Posttest dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pretest dan Posttest Kegiatan Penyuluhan dan Peningkatan Literasi Energi

	Indikator			
	Memahami Konsep Dasar Energi Terbarukan	Memahami Teknologi Energi Surya	Kesadaran tentang Efisiensi dan Konservasi Energi	Berpikir Kritis tentang Masalah Energi Global dan Lokal
Rata-rata Pretest Guru	62	58	65	60
Rata-rata Posttest Guru	86	85	88	84
Rata-rata Pretest Siswa	48	44	52	46
Rata-rata Posttest Siswa	76	74	79	73

Tabel 1 menunjukkan bahwa sebelum penyuluhan, pemahaman awal peserta masih moderat hingga rendah, dengan guru memperoleh skor antara 58–65 dan siswa antara 44–52 pada keempat indikator. Hal ini mencerminkan pengetahuan konseptual dan teknis yang terbatas tentang energi terbarukan di kedua kelompok. Setelah kegiatan pendidikan, perbaikan yang signifikan teramati. Skor posttest guru meningkat menjadi 84–88, sementara skor siswa mencapai 73–79. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pendekatan interaktif seperti ceramah, diskusi, dan demonstrasi berhasil meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta, baik secara kognitif maupun praktis. Dibandingkan dengan siswa, guru umumnya mencatat skor akhir yang lebih tinggi, terutama dalam efisiensi energi, sesuai dengan pengalaman sekolah mereka. Sementara itu, siswa menunjukkan peningkatan signifikan dalam indikator konsep dasar dan teknologi surya, yang sesuai dengan minat dan latar belakang teknis mereka. Dengan demikian, pelatihan ini terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman dan kesadaran energi di lingkungan sekolah.

Untuk menentukan efektivitas intervensi pembelajaran secara lebih objektif, dilakukan analisis N-Gain, yang menghitung peningkatan pengetahuan peserta dengan mempertimbangkan skor maksimum dan skor pra-tes. Grafik 1 menunjukkan hasil peningkatan skor N-Gain.



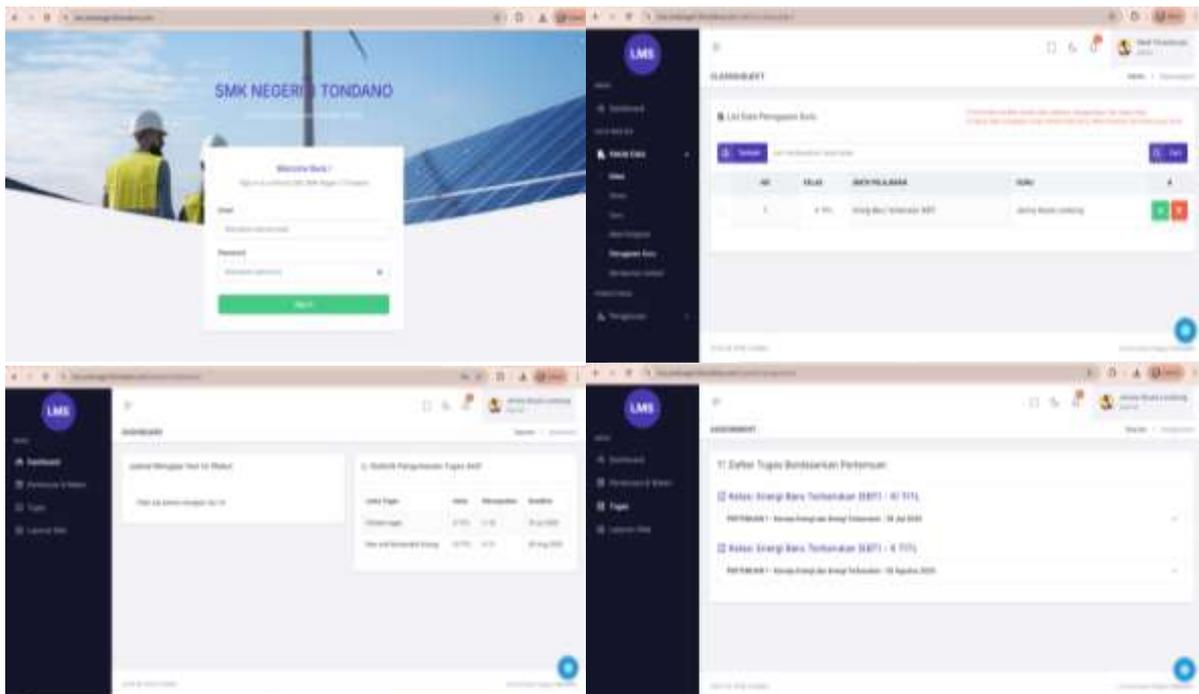
Grafik 1. Hasil Peningkatan Skor N-Gain

Hasil N-Gain pada Grafik 1 menunjukkan bahwa nilai N-Gain kelompok guru adalah 0,63 untuk pemahaman dasar tentang energi terbarukan, 0,64 untuk teknologi energi surya, 0,66 untuk kesadaran

efisiensi energi, dan 0,60 untuk pemikiran kritis tentang isu-isu energi. Sementara itu, siswa menunjukkan nilai N-Gain sebesar 0,65, 0,64, 0,56, dan 0,58 untuk masing-masing indikator. Nilai-nilai ini termasuk dalam kategori sedang hingga tinggi, secara umum menunjukkan keberhasilan metode penyuluhan dalam meningkatkan literasi energi peserta. Perbedaan kecil antara pencapaian guru dan siswa pada setiap indikator juga menunjukkan bahwa pendekatan pendidikan yang digunakan inklusif dan dapat menjangkau latar belakang pengetahuan yang beragam. Misalnya, guru memiliki nilai lebih tinggi pada indikator efisiensi karena keterlibatan mereka dalam pengelolaan fasilitas sekolah, sementara siswa menunjukkan antusiasme tinggi dalam memahami konsep dasar dan teknologi karena hal tersebut baru dan aplikatif. Hasil ini membuktikan bahwa integrasi antara pendekatan konseptual dan praktik langsung sangat efektif dalam meningkatkan literasi energi di lingkungan pendidikan menengah.

2. Pengembangan Sistem Manajemen Pembelajaran Energi Terbarukan

Sebagai bagian dari upaya memperkuat literasi energi berbasis digital, tim implementasi merancang dan mengembangkan sistem pembelajaran online, yaitu Sistem Manajemen Pembelajaran (LMS) yang berfokus pada energi terbarukan. LMS ini dirancang untuk menyesuaikan dengan kebutuhan siswa sekolah menengah kejuruan, terutama dalam mendukung pembelajaran campuran dan mandiri. Konten inti platform ini meliputi modul pembelajaran interaktif dalam format PDF dan HTML, infografis tematik, video animasi edukatif, serta tutorial penggunaan sistem tenaga surya skala kecil. Selain itu, terdapat kuis penilaian mandiri berbasis Google Forms, forum diskusi terbuka antara siswa dan guru, serta fitur tanya jawab yang memungkinkan interaksi dua arah secara asinkron. Pengembangan ini bertujuan untuk menjadikan teknologi informasi sebagai sarana penyebaran pengetahuan energi terbarukan yang inklusif dan mudah diakses. Hasil pengembangan LMS Energi Terbarukan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan UI/UX Hasil pengembangan LMS Energi Terbarukan

3. Pembentukan dan Peran Tim Tugas Energi Sekolah

Sebagai langkah awal dalam memperkuat pengelolaan energi berbasis komunitas, SMK Negeri 3 Tondano membentuk Tim Tugas Energi Sekolah berdasarkan hasil Diskusi Kelompok Terfokus dan

diatur dalam Keputusan Kepala Sekolah Nomor 278/I/16.17/SMK.3/KP/2025. Tim ini terdiri dari 12 anggota, termasuk kepala sekolah, wakil kepala sekolah, guru, teknisi, dan siswa aktif. Tujuannya adalah untuk mempromosikan budaya efisiensi energi dan memastikan keberlanjutan sistem microgrid.

Tim ini telah menerima pelatihan dasar dalam pemantauan konsumsi listrik, pencatatan laporan energi, dan pemeliharaan peralatan serta panel surya. Dalam waktu singkat, tim ini menunjukkan kontribusi nyata: mereka berhasil mengidentifikasi pemborosan energi di ruang praktik, mengganti lampu konvensional dengan LED, dan menerapkan sistem pemadaman listrik otomatis selama jam istirahat. Partisipasi siswa dalam tim ini terbukti efektif dalam menumbuhkan rasa tanggung jawab dan menjadi inspirasi bagi komunitas sekolah dalam mengembangkan budaya hemat energi yang berkelanjutan.

4. Pemasangan Sistem Microgrid Solar Cell di SMK Negeri 3 Tondano

Hasil pemasangan sistem microgrid solar cell menunjukkan keberhasilan dalam menyediakan sumber energi alternatif yang sesuai dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran sekolah. Sistem yang dipasang terdiri dari dua panel surya monokristalin dengan kapasitas total 300 Wp, dua baterai VRLA 12V 18Ah dengan kapasitas penyimpanan energi total 432 Wh, pengontrol pengisian surya MPPT 25A, dan inverter gelombang sinus murni 1000W. Sistem ini dirancang untuk mendukung beban listrik ringan seperti lampu LED, kipas angin, laptop, proyektor, dan perangkat listrik lainnya di ruang praktik listrik. Selama pengujian, sistem mampu menghasilkan 1,2–1,4 kWh energi harian dalam kondisi cerah dengan tingkat irradiance sekitar 5 kWh/m²/hari. Energi ini cukup untuk mendukung operasi peralatan selama 3 hingga 5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mikrogrid tidak hanya secara teknis layak tetapi juga efisien dalam mendukung pembelajaran berbasis praktik. Perakitan dan pengujian sistem mikrogrid panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perakitan dan Pengujian Microgrid Panel Surya

Dari sisi proses, keterlibatan siswa menjadi kunci keberhasilan instalasi. Siswa secara aktif melakukan pengukuran lokasi, pemasangan mounting, pengkabelan, dan komisioning sistem. Pembelajaran berbasis proyek yang diterapkan dalam kegiatan ini terbukti meningkatkan keterampilan teknis siswa, sekaligus memberikan pengalaman nyata dalam penerapan teknologi energi terbarukan. Selain aspek teknis, kegiatan ini juga memberikan dampak edukatif terhadap budaya efisiensi energi di lingkungan sekolah. Siswa dan guru mulai memahami pentingnya penggunaan energi bersih dan pengelolaan daya yang bijak. Integrasi sistem ini dalam ruang praktik telah memperkuat pendekatan *hands-on learning*, yang sejalan dengan kompetensi lulusan SMK di bidang teknik instalasi tenaga listrik. Keberhasilan instalasi microgrid ini memberikan model awal yang dapat direplikasi di sekolah kejuruan lain, khususnya dalam konteks penguatan literasi energi

terbarukan. Sistem ini bukan hanya menjadi alat bantu praktik, tetapi juga menjadi sarana edukatif dalam mendukung transformasi menuju sekolah ramah lingkungan berbasis energi hijau.

5. Pelatihan dan Pembimbingan dalam Implementasi Energi Terbarukan

Kegiatan pelatihan dan pembimbingan ini difokuskan pada peningkatan kemampuan guru dan tenaga pendidik dalam mengintegrasikan konsep energi terbarukan ke dalam kegiatan akademik. Pelatihan ini dilakukan melalui pendekatan teoritis dan praktis, termasuk tutorial tentang penggunaan sistem microgrid panel surya di sekolah, penggunaan platform LMS, dan integrasi teknologi informasi ke dalam proses pembelajaran. Kegiatan pelatihan dan pembimbingan untuk implementasi energi terbarukan dipresentasikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Pelatihan Penggunaan Platform LMS Dan Penerapan Microgrid Panel Surya di Lingkungan Sekolah

Selama pelatihan, peserta memperoleh pemahaman praktis tentang cara kerja sistem mikrogrid dan aplikasinya dalam konteks pendidikan. Guru-guru juga dibantu dalam menggunakan LMS sebagai media untuk pembelajaran jarak jauh yang interaktif. Kegiatan ini tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis tetapi juga mendorong inovasi dalam penyampaian materi energi terbarukan. Dampak pelatihan terlihat dari kesiapan guru yang meningkat dalam mengembangkan rencana pelajaran dengan tema energi dan keterlibatan siswa dalam praktik pembelajaran berbasis proyek.

6. Penyusunan SOP Teknis untuk Pelaksanaan dan Pengelolaan Energi Terbarukan

Sebagai bagian dari strategi keberlanjutan program, tim pelaksana mengembangkan SOP teknis untuk pelaksanaan dan pengelolaan energi terbarukan di lingkungan sekolah. SOP ini berfungsi sebagai panduan operasional harian untuk mengelola sistem microgrid surya secara efektif dan efisien. SOP ini mencakup prosedur teknis mulai dari instalasi dan pemeliharaan panel surya hingga evaluasi kinerja sistem secara berkala. Selain itu, SOP ini juga menjelaskan protokol pengukuran produksi energi harian, jadwal inspeksi baterai dan inverter, serta prosedur penggunaan sistem oleh siswa selama sesi

pembelajaran praktis. Aktivitas dalam penyusunan SOP teknis untuk implementasi dan pengelolaan energi terbarukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diskusi penyusunan SOP Pelaksanaan dan Hasil SOP Pengelolaan Energi Terbarukan

SOP ini dikembangkan secara kolaboratif oleh tim implementasi, guru pendamping, dan Tim Tugas Energi Sekolah yang telah dilatih sebelumnya. SOP ini dirancang agar mudah diakses dan dipahami oleh semua pemangku kepentingan sekolah, termasuk guru teknik, teknisi, dan siswa. Selain berfungsi sebagai pedoman teknis, SOP ini juga berfungsi sebagai alat evaluasi untuk membantu sekolah dalam menjaga kualitas dan keamanan operasional sistem energi terbarukan. Sebagai dokumen yang dinamis, SOP ini akan terus disempurnakan seiring berjalannya program dan perkembangan teknologi di sekolah. Oleh karena itu, SOP ini merupakan langkah strategis dalam memastikan bahwa implementasi energi terbarukan di sekolah bersifat berkelanjutan dan terintegrasi ke dalam kegiatan pembelajaran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pelatihan dan implementasi energi terbarukan di SMK Negeri 3 Tondano yang dilaksanakan melalui skema PKM DPPM Kemendikbudristek 2025 telah memberikan dampak nyata dan menyeluruh dalam meningkatkan literasi energi dan kapasitas teknis warga sekolah. Berdasarkan hasil pretest dan posttest, terjadi peningkatan signifikan dalam pemahaman guru dan siswa pada empat indikator utama, yaitu pemahaman dasar energi terbarukan, teknologi energi surya, efisiensi energi, dan kesadaran terhadap isu energi lokal dan global. Peningkatan ini diperkuat dengan perolehan nilai N-Gain yang menunjukkan efektivitas pendekatan pembelajaran interaktif berbasis praktik langsung dan studi kasus kontekstual. Pada implementasi teknis, instalasi sistem microgrid surya 300 Wp berhasil difungsikan secara optimal dan terhubung ke beban ringan di ruang praktik listrik. Keterlibatan aktif siswa dalam proses instalasi telah memberikan pengalaman belajar langsung yang memperkuat pemahaman teknis dan keterampilan vokasional mereka. Sistem ini juga berfungsi sebagai sarana pembelajaran berbasis proyek yang dapat digunakan secara berkelanjutan. Pengembangan LMS tematik energi terbarukan sebagai media pembelajaran digital berhasil meningkatkan akses siswa terhadap materi pembelajaran di luar kelas. Guru pun mulai mengintegrasikan materi energi terbarukan ke dalam RPP, memperluas dampak pembelajaran ke dalam kurikulum resmi. Pembentukan Tim Satgas Energi melalui pendekatan partisipatif melalui FGD dan penerbitan SK Kepala Sekolah menjadi langkah strategis dalam menumbuhkan budaya hemat energi. Tim ini aktif melakukan monitoring konsumsi listrik dan menjalankan program efisiensi berbasis data lapangan. Lebih lanjut, penyusunan SOP teknis menjadi fondasi penting dalam menjaga keberlanjutan dan ketertiban operasional sistem microgrid di sekolah. SOP tersebut tidak hanya mendokumentasikan prosedur teknis, tetapi juga menjadi alat edukasi dan refleksi bagi guru serta siswa dalam menerapkan

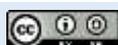
energi terbarukan secara bertanggung jawab. Kegiatan PKM ini tidak hanya menghasilkan peningkatan kapasitas individu dan kelembagaan, tetapi juga mendorong transformasi budaya sekolah menuju lingkungan belajar yang sadar energi, mandiri, dan berkelanjutan. Model integrasi edukasi, teknologi, dan partisipasi komunitas sekolah yang diterapkan diharapkan dapat direplikasi di sekolah lain dalam rangka mendukung transisi energi nasional dan pendidikan hijau di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, atas didanainya kegiatan ini melalui skema Program Kemitraan Masyarakat 2025, berdasarkan Surat Penugasan Nomor 0070/C3/AL.04/2025, Perjanjian Kontrak No. 082/C3/DT.05.00/PM/2025, dan Kontrak Turunan Nomor: 911/UN41.9/TU/2025. Terima kasih dan apresiasi juga kami berikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Negeri Manado (LPPM UNIMA) atas dukungan, fasilitas, dan bimbingan yang diberikan selama pelaksanaan program ini. Peran aktif LPPM UNIMA sangat penting dalam memastikan administrasi yang lancar, pengendalian kualitas kegiatan, dan sinkronisasi program dengan visi pelayanan institusi. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Sekolah SMK Negeri 3 Tondano, beserta guru, teknisi, dan siswa yang telah berkolaborasi secara aktif dan antusias sepanjang rangkaian kegiatan. Partisipasi mereka merupakan faktor kunci keberhasilan program ini, baik secara teknis maupun pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Figueiredo, M. D. D., Castro, N. M. D., & Silva, M. E. (2021). A practice-based learning approach toward sustainable consumption in the workplace. *Journal of Workplace Learning*, 33(3), 197–211. <https://doi.org/10.1108/JWL-05-2020-0086>
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.23956>
- López Gutiérrez, J. R., Ponce, P., & Molina, A. (2021). Real-Time Power Electronics Laboratory to Strengthen Distance Learning Engineering Education on Smart Grids and Microgrids. *Future Internet*, 13(9), 237. <https://doi.org/10.3390/fi13090237>
- Loway, A. I. J., Silimang, S., & Tumaliang, H. (2023). Forecasting Load Growth and Electricity Availability in 2023—2037 in North Sulawesi. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 12(1).
- Maki, M. Y., Wawointana, T., & Mamonto, F. H. (2024). Implementasi Kebijakan Izin Usaha Ketenagalistrikan Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Daerah (ESDMD) Provinsi Sulawesi Utara. *J-CEKI : Jurnal Cendekia Ilmiah*, 3(6), 8609.
- Majid, N. A. M., Osman, K., & Siok Yee, T. (2025). Integrating energy literacy into science education: A comprehensive systematic review. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 14(2), 1253. <https://doi.org/10.11591/ijere.v14i2.31873>
- Paende, A., Mewengkang, A., & Batmetan, J. R. (2022). Pengaruh Penggunaan Teknologi Informasi Terhadap Motivasi Belajar Siswa Kelas X SMK. *Eduetik : Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 2(5), 715–723. <https://doi.org/10.53682/edutik.v2i5.5928>
- Rahman, I., Cangara, A. R., & Idris, N. I. (2025). Literasi Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Bagi Siswa SMA Kecamatan Biringkanaya Kota Makassar. *JGEN : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 33–41. <https://doi.org/10.60126/jgen.v3i1.686>
- Rio, A. R., Siahaan, B. M., & Gani, E. (2025). Pemetaan Potensi Energi Matahari di Sulawesi Utara menggunakan Machine Learning K-Means. *Jurnal MIPA*, 14(1), 1–5.
- Rumagit, R. A. V., Rares, J., & Mambo, R. (2023). Strategi Dinas Pertanian Dan Perkebunan Kabupaten Minahasa Dalam Meningkatkan Produksi Pertanian. *JURNAL ADMINISTRASI PUBLIK*, 9(4). <https://doi.org/10.35797/jap.v9i4.52281>



- Setyarini, P. H., Fajriani, S., Nurwati, T., Roviq, M., & Inayati, D. (2024). Strategi Peningkatan Kemandirian Energi melalui Pemanfaatan Panel Surya untuk Hidroponik dan Akuaponik di SDI As Salam dan SMPIT As Salam Kota Malang. *Jurnal Surya Masyarakat*, 7(1), 159. <https://doi.org/10.26714/jsm.7.1.2024.159-167>
- Siddiqui, N. N. (2024). Powering Potential: Training and Development as Key to Employee Loyalty in Renewable Energy. In S. Khalid, J. Ali, & D. S. Yadav (Eds.), *Advances in Mechatronics and Mechanical Engineering* (pp. 309–336). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5797-2.ch013>

