

NASKAH ORISINAL

Implementasi Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *Internet of Things* Sebagai Media Pembelajaran Di SMK Negeri 4 Kabupaten Soppeng

Muhammad Ruswandi Djalal^{1,*} | Serpian² | Musrady Mulyadi¹ | Usman³ | Faisal¹ | Imam Robandi⁴ | Mohamad Almas Prakasa⁴ | Akhmad Ramadhani⁴ | Hasan Ridho¹ | Gustav Aulia¹ | Muhammad Furqoan¹ | Richard Abraham¹ | Ahmad Aksan¹ | Hakimah Mahdiah¹ | Tazkiyatunnisa¹ | Moh Fayyad¹ | Muhammad Jelang Ramadhan¹ | Musrifinah¹ | Akzar Dwi Syahimullah¹ | Vito Ardiansya Samsul¹ | M. Sudaryono¹ | Ahmad Zahir¹ | Muhammad Mursid¹ | Andi Mallarangeng¹ | Fuad Zaky khalik¹ | Muhammad Al-Furqan¹ | Muhammad Afdhal¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

²Jurusan Administrasi Niaga, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

⁴Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Muhammad Ruswandi Djalal, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia. Alamat e-mail: wandi@poliupg.ac.id

Alamat

Center For Sustainable Energy And Smart Grid Application (CoSESGA), Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia.

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan meningkatkan kompetensi teknologi energi terbarukan di SMK Negeri 4 (SKAPAT) Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan, melalui implementasi *trainer* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai media pembelajaran. Latar belakang kegiatan ini adalah terbatasnya fasilitas dan pemahaman guru serta siswa terkait teknologi Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya PLTS. Metode pelaksanaan meliputi perancangan, pembuatan, simulasi, uji coba, dan implementasi *trainer* PLTS skala laboratorium. Sistem yang dirancang menggunakan dua modul panel surya 120 Wp, *Solar Charge Controller* (SCC), *inverter* 1600 W, *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan baterai VRLA 50 Ah. Fitur IoT digunakan untuk *monitoring* tegangan, arus, dan daya secara *real-time* serta mengontrol beban listrik melalui aplikasi ponsel. *Trainer* PLTS terbukti optimal sebagai media praktikum, dan pelatihan berhasil meningkatkan pemahaman guru serta siswa tentang pengoperasiannya. Kegiatan ini mendukung SDGs 4 & 7 dan berpotensi direplikasi untuk memperluas literasi energi terbarukan di SMK lain.

Kata Kunci:

EBT, IoT, PLTS, SKAPAT, *Trainer*.

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Konsumsi listrik global terus meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan digitalisasi berbagai sektor kehidupan^[1, 2]. Lonjakan kebutuhan ini mendorong dunia untuk beralih ke sumber energi baru terbarukan (EBT) yang lebih berkelanjutan, guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang kian menipis dan mencemari lingkungan^[3, 4]. Di antara berbagai jenis EBT, energi surya menempati posisi strategis karena ketersediaannya yang melimpah dan tidak terbatas^[5]. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis, memiliki potensi energi surya yang sangat besar dengan penyinaran rata-rata harian mencapai 4,8 kWh/m² namun pemanfaatannya masih jauh dari optimal^[6, 7]. Padahal, energi surya dapat menjadi solusi jangka panjang bagi krisis energi nasional, terlebih karena teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kini semakin efisien^[8], mudah dipasang, dan dioperasikan bahkan dalam skala kecil^[9, 10]. Dalam konteks ini, area pendidikan menjadi lahan ideal untuk mengenalkan dan mengembangkan teknologi PLTS, baik sebagai sarana pembelajaran praktis maupun sebagai bentuk kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon^[11, 12]. Institusi pendidikan, khususnya sekolah vokasi dan perguruan tinggi, memiliki peran strategis dalam mencetak generasi yang melek teknologi hijau serta mendorong inovasi di bidang energi terbarukan. Melalui riset, proyek terapan, dan program pengabdian masyarakat, kampus dapat menjadi pionir pemanfaatan energi surya yang tidak only hemat, tetapi juga membawa kesadaran ekologis ke tengah masyarakat.

Sebagai tempat yang ideal untuk eksperimen *test-bed* PLTS, sektor pendidikan perlu didorong untuk lebih aktif dalam riset EBT, khususnya sistem PLTS yang sangat potensial di Indonesia^[13, 14]. Meski beberapa perguruan tinggi telah membuka konsentrasi EBT, langkah ini belum cukup membangkitkan antusiasme akademisi. Oleh karena itu, pengenalan EBT perlu dimulai sejak jenjang Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) guna membentuk ketertarikan awal terhadap teknologi energi bersih^[15, 16]. Sosialisasi ini diharapkan mendorong siswa SMK melanjutkan studi di bidang EBT, menciptakan kesinambungan pengetahuan dan minat. Sinergi antara perguruan tinggi dan SMK juga penting untuk menyiapkan tenaga kerja yang siap menghadapi perkembangan industri PLTS dalam negeri, serta menyebarluaskan pemahaman teknologi ini hingga ke akar rumput masyarakat^[17].

SMK Negeri 4 Soppeng (SKAPAT) merupakan salah satu SMK unggulan di Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan. Didirikan pada 18 April 2005 melalui SK 154/IV/2005, sekolah ini berstatus negeri dan berada di bawah naungan pemerintah pusat. Dengan luas area 10.014 m², SKAPAT Soppeng beralamat di Jalan Kayangan LR. Teratai No.121, Botto, Kecamatan Lalabata. Sebagai sekolah berbasis industri, SKAPAT memiliki visi mencetak SDM yang terampil, mandiri, produktif, dan berlandaskan iman serta takwa. Sekolah ini membuka lima Program Keahlian: Teknik Multimedia, Teknik Elektronika Industri, Teknik Kendaraan Ringan, Teknik Bisnis dan Sepeda Motor, serta Teknik Perbankan dan Keuangan Mikro. Gambar 1 menunjukkan gedung sekolah SKAPAT Soppeng.



Gambar 1 Gedung SKAPAT Soppeng.

Aktivitas akademik di SKAPAT Soppeng sangat mendukung implementasi *trainer* PLTS berbasis *Internet of Things* (IoT). IoT adalah konsep yang menggambarkan jaringan perangkat fisik yang saling terhubung dan dapat berbagi data satu sama lain^[18, 19], sedangkan implementasi IoT pada PLTS adalah sistem PLTS yang dilengkapi dengan fitur memantau, mengontrol, dan men-goptimalkan kinerja panel surya dan komponen terkait secara *real-time* dan otomatis dari jarak jauh^[20]. Pada Program Keahlian Teknik Otomotif, potensi penerapan PLTS sangat relevan, terutama dalam pengembangan kendaraan listrik (EV) yang ramah

lingkungan dan mandiri. Integrasi tenaga surya dengan EV membuka peluang besar menuju mobilitas berkelanjutan. Semen-tara itu, pada Program Keahlian Teknik Elektronika, penerapan PLTS berbasis IoT berpotensi menjadi media pembelajaran yang menyatukan energi terbarukan dan teknologi cerdas. Melalui integrasi panel surya, sensor, mikrokontroler, dan sistem *monitoring* daring, siswa dapat belajar merancang, memprogram, dan menganalisis sistem energi mandiri secara *real-time*. Ini mendorong lahirnya inovasi seperti *smart solar charger*, sistem *monitoring* jarak jauh untuk daerah terpencil, hingga otomatisasi beban berbasis cuaca. Prodi Elektronika pun menjadi ruang inkubasi teknologi hijau yang adaptif. Selain itu, pengakuan SKA-PAT Soppeng sebagai Sekolah Pusat Keunggulan oleh Kemendikbudristek tahun 2023 semakin memperkuat kesiapan sekolah dalam mengimplementasikan teknologi PLTS berbasis IoT secara menyeluruh.

SKAPAT Soppeng dipilih sebagai mitra kegiatan ini karena lokasi geografisnya yang sangat potensial untuk pengimplementasian PLTS. Lokasi mitra terletak pada titik koordinat *Latitude* -4.3541o dan *Longitude* 119.8853o. Berdasarkan data yang diambil dari perangkat lunak (*software*) PVsyst didapatkan rata-rata tingkat iradiasi matahari dan temperatur di SKAPAT Soppeng adalah sebesar 5,82 kWh/m²/hari dan 26,5°C.

Berdasarkan diskusi yang dilakukan tim Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) dan SKAPAT Soppeng, didapatkan informasi bahwa SKAPAT Soppeng ingin mengembangkan minat dan bakat para siswa didik, terutama mengombinasikan proses dan hasil pendidikan yang variatif. SKAPAT Soppeng tertarik untuk mulai mengembangkan kurikulum yang bertujuan memberikan kompetensi dan keahlian lapangan terkait teknologi EBT kepada para siswa. Namun, SKAPAT Soppeng menghadapi masalah sebagai berikut:

1. Belum tersedianya fasilitas berupa media pembelajaran untuk mengenalkan teknologi EBT kepada para siswa.
2. Kurangnya pemahaman dan pengalaman para tenaga pendidik di SKAPAT Soppeng terkait teknologi EBT, khususnya PLTS.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Kegiatan ini diusulkan dengan kontribusi menjawab permasalahan prioritas di SKAPAT Soppeng sebagai berikut:

1. Kegiatan implementasi *trainer* PLTS berbasis IoT diusulkan sebagai solusi dari belum tersedianya fasilitas berupa media pembelajaran untuk mengenalkan teknologi EBT kepada para siswa. *Trainer* ini dibangun dengan skala laboratorium yang cukup untuk eksperimen sebagai penunjang fasilitas layanan pendidikan SKAPAT Soppeng kepada siswa.
2. Kegiatan pelatihan *trainer* PLTS berbasis IoT diusulkan sebagai solusi dari kurangnya pemahaman dan pengalaman para tenaga pendidik di Skapat Soppeng terkait teknologi EBT, khususnya PLTS. Kegiatan ini diharapkan mampu menjadi awal pengembangan pembelajaran teknologi EBT di SKAPAT Soppeng. Transfer ilmu dari tim PNUP ke SKAPAT Soppeng tidak berakhir setelah pelatihan, namun juga direncanakan transfer ilmu secara berkala.

Untuk mewujudkan rencana tersebut, strategi kegiatan disusun secara sistematis melalui tahapan berikut:

1. Inventarisasi Kebutuhan dan Analisis Situasi

Melakukan survei dan pengumpulan data terkait kondisi fasilitas, kompetensi guru, serta kebutuhan sarana pembelajaran energi terbarukan di SKAPAT.

2. Perancangan Teknologi *Trainer* PLTS Berbasis IoT

Mendesain sistem *trainer* PLTS yang sesuai kebutuhan praktikum dengan mempertimbangkan aspek keamanan, kemudahan penggunaan, dan integrasi IoT untuk *monitoring* *real-time*.

3. Penerapan dan Instalasi Teknologi

Melaksanakan pembuatan, pengujian, dan implementasi *trainer* PLTS berbasis IoT di lingkungan sekolah, termasuk uji kelayakan dan optimasi performa.

4. Pelatihan dan Transfer Pengetahuan

Menyelenggarakan *workshop* bagi guru dan siswa terkait pengoperasian, pemeliharaan, serta pemanfaatan teknologi PLTS untuk mendukung kurikulum berbasis energi terbarukan.

5. Evaluasi Keberhasilan Program

Melakukan evaluasi teknis dan pedagogis melalui uji fungsi *trainer*, survei kepuasan, serta asesmen peningkatan kompetensi guru dan siswa.

6. Publikasi dan Diseminasi

Mempublikasikan hasil kegiatan dalam bentuk artikel jurnal nasional terindeks Sinta, media massa, video dokumentasi, dan poster untuk memperluas dampak dan replikasi program di sekolah lain.

Luaran utama dari strategi ini adalah tersedianya media pembelajaran berupa *trainer* PLTS berbasis IoT yang fungsional, dilengkapi panduan praktikum, serta peningkatan kompetensi guru dan siswa dalam teknologi energi terbarukan.

1.3 | Target Luaran

Target luaran hasil kegiatan PKM ini antara lain:

1. Peningkatan tingkat keberdayaan mitra dalam pengetahuan tentang energi terbarukan dan pengoperasian *trainer* PLTS berbasis IoT sebagai media pembelajaran pemanfaatan energi terbarukan melalui pengembangan *trainer* PLTS.
2. Penerbitan jurnal nasional pengabdian masyarakat terakreditasi Sinta.
3. Publikasi di media massa elektronik.
4. Video kegiatan dirilis di channel YouTube Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) PNUP.
5. Pembuatan poster kegiatan.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

2.1 | Energi Baru Terbarukan dan Potensi Energi Surya di Indonesia

Energi baru terbarukan (EBT) merupakan solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menurunkan emisi gas rumah kaca. Energi surya menjadi salah satu sumber energi EBT yang paling prospektif di Indonesia, karena memiliki rata-rata penyinaran harian sekitar 4,8–5,8 kWh/m²^[5–7]. Menurut International Energy Agency (IEA)^[1], penggunaan energi surya secara global terus meningkat, sejalan dengan penurunan biaya panel fotovoltaik dan meningkatnya kesadaran terhadap energi bersih. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan PLTS atap maupun skala kecil telah mampu mendukung efisiensi energi di berbagai sektor pendidikan dan industri^[4, 6, 7].

2.2 | Konsep Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah sistem pembangkitan listrik yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya berbasis sel fotovoltaik. Komponen utama PLTS meliputi panel surya, *solar charge controller*, *inverter*, baterai penyimpan energi, serta sistem proteksi dan pemantauan^[9, 10]. Menurut Rudiyanto et al.^[9], rancangan PLTS skala laboratorium sangat efektif untuk pelatihan dan pembelajaran dasar sistem energi surya karena mudah dimodifikasi sesuai kebutuhan pendidikan. Sistem PLTS modern kini sering diintegrasikan dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk mendukung peralihan otomatis antara suplai dari PLTS dan PLN^[8].

2.3 | Integrasi Internet of Things (IoT) pada PLTS

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat fisik saling berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan internet^[18, 19]. Penerapan IoT pada PLTS bertujuan meningkatkan efisiensi sistem melalui pemantauan dan pengendalian parameter penting seperti tegangan, arus, daya, dan status baterai secara *real-time*^[20]. Menurut Syaban et al.^[20], sistem berbasis IoT memberikan keunggulan dalam mendeteksi gangguan dan mengatur beban listrik dari jarak jauh. Integrasi IoT juga meningkatkan nilai edukatif sistem PLTS karena memungkinkan siswa untuk memahami konsep *data acquisition*, kontrol otomatis, dan *cloud-based monitoring* secara langsung.

2.4 | Implementasi *Trainer PLTS* sebagai Media Pembelajaran

Penerapan *trainer PLTS* di institusi pendidikan telah banyak dikembangkan untuk memperkuat pembelajaran berbasis praktik. Robandi et al.^[13, 14] melaporkan bahwa mini laboratorium dan *trainer PLTS* mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap prinsip kerja sistem energi surya dan aplikasinya di dunia industri. Selain sebagai alat bantu pembelajaran, *trainer PLTS* juga dapat digunakan untuk penelitian kecil skala laboratorium serta mendukung program *vocational training* yang relevan dengan kebutuhan *green technology*. Implementasi *trainer* berbasis IoT menjadikan kegiatan belajar lebih interaktif, adaptif, dan selaras dengan perkembangan *smart energy system*.

2.5 | Penguatan Literasi Energi Terbarukan di SMK

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki peran strategis dalam mencetak tenaga kerja terampil di bidang energi terbarukan. Program pelatihan dan pengenalan EBT di SMK dapat menumbuhkan minat siswa terhadap teknologi hijau sejak dulu^[15-17]. Muljono et al.^[16] menekankan pentingnya kolaborasi antara perguruan tinggi dan SMK dalam membangun kapasitas SDM di bidang energi bersih. Peningkatan literasi energi terbarukan melalui kegiatan sosialisasi, *workshop*, dan implementasi *trainer PLTS* diharapkan dapat memperkuat kesiapan sekolah vokasi dalam mendukung *Sustainable Development Goals* (SDG) poin 4 (Pendidikan Berkualitas) dan poin 7 (Energi Bersih dan Terjangkau).

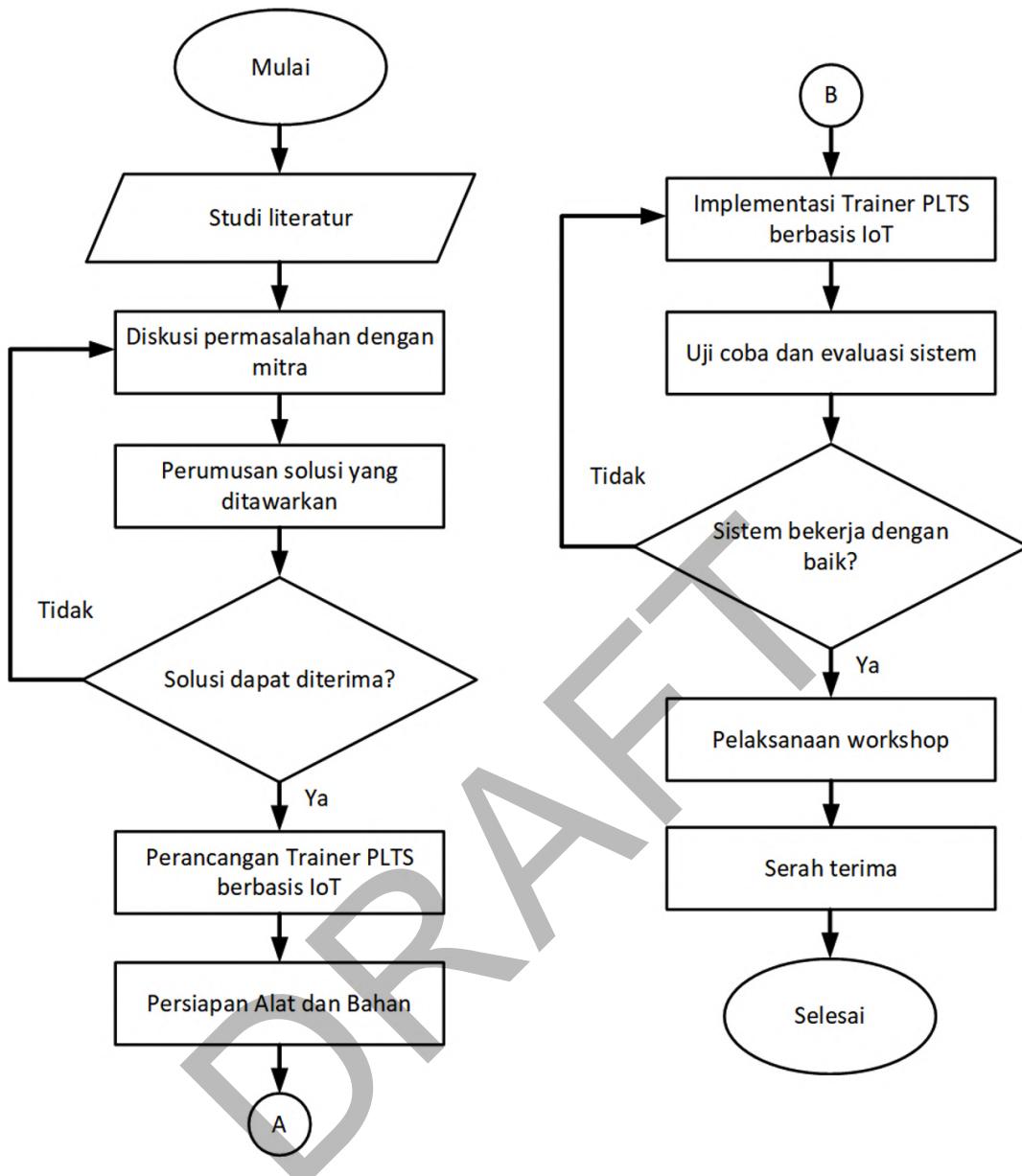
3 | METODE KEGIATAN

Kegiatan ini mengikuti alur yang telah disusun secara terstruktur dan sistematis seperti gambar 2. Proses pelaksanaan kegiatan ini tidak hanya berfokus tim pengabdian dari perguruan tinggi, tapi juga melibatkan partisipasi elemen-elemen yang ada di sekolah, seperti siswa, guru, dan juga masyarakat sekitar.

Hal yang pertama dilakukan saat melakukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yaitu studi literatur untuk mengikuti tren perkembangan teknologi yang sesuai bidang keahlian yang berpotensi dapat disosialisasikan dan diimplementasikan kepada masyarakat. Setelah menemukan topik yang berpotensi, hal tersebut didiskusikan dengan mitra untuk mencari celah permasalahan yang ada di SKAPAT Soppeng untuk diselesaikan oleh tim pengabdian. Mitra akan membimbing tim pengabdian untuk menelusuri lokasi pengabdian dan menjelaskan kondisi terkini dan kendala yang dihadapi oleh mitra. Secara garis besar, didapatkan kendala yang dihadapkan mitra, yaitu perlunya piranti untuk mengenalkan dan memudahkan proses pembelajaran mengenai energi terbarukan kepada para siswa. Setelah mengetahui permasalahan yang dihadapi oleh mitra, tim pengabdian merumuskan solusi untuk ditawarkan kepada mitra. Kemudian, penyamaan persepsi dilakukan untuk mencapai kesepakatan mengenai kegiatan pengabdian yang akan dilaksanakan.

Tim pengabdian dan mitra sepakat untuk merancang bangun *Trainer PLTS* berbasis IoT dengan tujuan untuk mengenalkan energi terbarukan kepada para siswa. PLTS juga akan diimplementasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik di laboratorium di sekolah. Setelah tim pengabdian dan mitra sepakat, kegiatan pengabdian dapat dilaksanakan. Tahap pelaksanaan dimulai dari merencanakan sistem *trainer PLTS* berbasis IoT. Perencanaan dimulai dari menghitung permintaan beban dan kebutuhan kapasitas komponen yang akan dipasang. Skematik rangkaian dan diagram pengkabelan dibuat untuk memberi gambaran implementasi sistem yang sistematis dan logis. Sistem disimulasikan terlebih dahulu dengan spesifikasi dan beban listrik untuk menjamin keberhasilan sistem saat diimplementasikan. Setelah sistem sudah berjalan baik disimulasi, alat dan bahan mulai disiapkan. Alat dan bahan yang sudah disiapkan mulai dirakit sesuai rancangan. Sebelum diimplementasikan di lokasi pengabdian, sistem diuji coba terlebih dahulu performanya untuk memastikan tidak terjadi kegagalan sistem. Jika sudah bekerja dengan baik, maka sistem dapat diimplementasikan di lokasi pengabdian. *Trainer PLTS* diuji beberapa kali untuk dievaluasi kelayakannya. Proses pelaksanaan implementasi *trainer PLTS* berbasis IoT juga akan melibatkan siswa dan guru dengan kompetensi bidang yang sesuai.

Setelah *trainer PLTS* berbasis IoT berhasil diimplementasikan, tim pengabdian melakukan *workshop* dalam rangka meningkatkan pengetahuan siswa dan guru, serta masyarakat sekitar mengenai perkembangan dan urgensi penerapan energi terbarukan di Indonesia, khususnya energi surya. Selain itu, *workshop* juga bertujuan untuk meningkatkan keterampilan siswa dan guru, serta masyarakat sekitar tentang pengoperasian dan perawatan sistem PLTS agar kedepannya sistem dapat dikembangkan sendiri oleh mitra.



Gambar 2 Alur Kegiatan.

3.1 | Tahapan Pelaksanaan

Setelah tahapan persiapan selesai, maka tahapan pelaksanaan dilakukan. Perancangan desain *trainer* PLTS berbasis IoT. Setelah desain didapatkan, maka dilakukan analisis kebutuhan komponen *trainer* PLTS. Setelah itu, *trainer* PLTS yang telah didesain dan ditentukan komponennya disimulasikan di perangkat PVsyst dan Matlab/Simulink untuk mengevaluasi performansi PLTS. Dari hasil analisis, didapatkan komponen yang dibutuhkan berupa modul panel surya dengan kapasitas 2 x 120 Wp, *Solar Charge Controller* (SCC), *inverter DC/AC* 1600 W, *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan baterai 50 Ah. Setelah desain dan simulasi *trainer* PLTS berbasis IoT telah dinilai layak, rancang bangun *trainer* dilakukan. Perancangan *trainer* PLTS berbasis IoT dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan praktikum dan eksperimen yang dituangkan pada buku panduan penggunaan *trainer* PLTS. Setelah *trainer* PLTS selesai dibangun, performansi dievaluasi sesuai dengan kebutuhan praktikum dan eksperimen. Ketika telah sesuai dengan yang diharapkan, *trainer* PLTS dirakit dan siap untuk diberikan kepada SKAPAT Soppeng sebagai penunjang fasilitas. Tahapan selanjutnya adalah pelaksanaan sosialisasi dan pelatihan untuk tenaga pendidik dan siswa SKAPAT Soppeng oleh tim PKM PNUP.

3.2 | Tahapan Evaluasi

Setelah kegiatan rancang bangun, sosialisasi, dan pelatihan *trainer* PLTS berbasis IoT dilaksanakan, tim PKM PNUP dan SKAPAT Soppeng melakukan evaluasi kegiatan. Evaluasi ini dilakukan untuk meningkatkan kebermanfaatan *trainer* PLTS berbasis IoT sebagai media pembelajaran berdasarkan saran dan masukan yang disampaikan setelah dilakukan pelatihan. Keberlanjutan kegiatan juga direncanakan berupa pemantauan secara berkala langsung, dan pelatihan lanjutan melalui daring untuk tenaga pendidik dan siswa SKAPAT Soppeng. Disamping itu pengusul dan mitra dapat bekerja sama untuk riset-riset terapan yang dapat langsung diterapkan kepada civitas akademika, sehingga dapat tercipta modernisasi teknologi, yang tentunya dapat meningkatkan wawasan keilmuan.

3.3 | Luaran Kegiatan dan Pelaporan

Tahapan selanjutnya adalah penyusunan luaran kegiatan, yaitu:

1. Artikel Pengabdian Masyarakat yang diterbitkan di jurnal nasional terindeks Sinta;
2. Artikel Publikasi Media Massa dan Media Elektronik;
3. Video Hasil Kegiatan yang dirilis di kanal YouTube P3M PNUP;
4. Poster Kegiatan.

Tahapan akhir kegiatan adalah penyusunan laporan kemajuan, laporan akhir, dan laporan keuangan untuk monitoring dan evaluasi serta pertanggung jawaban kegiatan secara menyeluruh.

4 | HASIL DAN DISKUSI

4.1 | Implementasi Trainer PLTS Berbasis IoT

Program PKM ini berhasil mengimplementasikan *trainer* PLTS berbasis IoT di SKAPAT. Sistem ini terdiri atas tiga modul utama, yaitu modul panel surya, modul pengendali dan penyimpan daya, serta modul pemantauan berbasis IoT. Dua panel surya berkapasitas 120 Wp dipasang pada rangka portabel yang dapat disesuaikan sudut kemiringannya untuk memperoleh efisiensi penyinaran optimal. Sistem kontrol dilengkapi *solar charge controller* tipe MPPT, *inverter* 1600 W, *Automatic Transfer Switch* (ATS), dan baterai VRLA 50 Ah sebagai penyimpan energi.

Fitur IoT berbasis mikrokontroler ESP32 berfungsi untuk memantau parameter utama sistem—tegangan, arus, dan daya—secara *real-time* melalui aplikasi ponsel. Dengan demikian, guru dan siswa dapat menganalisis performansi PLTS, mengamati perubahan nilai tegangan dan arus akibat variasi penyinaran, serta memahami proses konversi energi dari panel surya hingga ke beban. Fitur ini juga memungkinkan pengontrolan beban dari jarak jauh, meningkatkan aspek pembelajaran interaktif dan berbasis data aktual.

Trainer dirancang menjadi tiga modul utama:

1. **Modul Utama:** Berisi panel surya, *solar charge controller* MPPT, baterai VRLA, *inverter*, dan *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk simulasi peralihan sumber daya antara PLN dan PLTS. Dilengkapi proteksi DC dan AC *circuit breaker*, saklar kontrol, serta sistem *monitoring* IoT berbasis mikrokontroler ESP32 yang memungkinkan pemantauan tegangan, arus, daya, dan status baterai secara *real-time* melalui *smartphone*.
2. **Modul Panel Surya:** Dua panel surya (2×120 Wp) dipasang pada rangka portabel dengan roda dan pengatur sudut kemiringan agar penyerapan energi optimal.
3. **Modul Lampu Halogen:** Digunakan sebagai sumber cahaya buatan untuk simulasi penyinaran ketika cuaca mendung atau pembelajaran di dalam ruangan.

Gambar 3 menunjukkan proses pembuatan *trainer* PLTS berbasis IoT, yang terdiri dari pembuatan rangka



Gambar 3 Pembuatan *Trainer* PLTS.

4.2 | Uji Kinerja dan Validasi Sistem

Uji performansi dilakukan terhadap seluruh komponen untuk memastikan fungsi sesuai rancangan. Pengujian sistem dilakukan pada tiga kondisi peninjakan: rendah (mendung), sedang, dan tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya mencapai 92–95% dari kapasitas nominal pada kondisi peninjakan optimal, dengan efisiensi pengisian baterai sebesar 89%. *Solar charge controller* bekerja stabil dengan pengaturan tegangan pengisian rata-rata 14,2 V untuk sistem 12 V, dan *inverter* mampu menyuplai beban hingga 400 W tanpa penurunan signifikan pada tegangan keluaran AC.

Fungsi IoT diuji melalui aplikasi ponsel berbasis Blynk, yang mampu menampilkan data tegangan, arus, dan status baterai secara *real-time*. Hasil *monitoring* menunjukkan respons sistem yang cepat ($delay < 1$ s) serta akurasi data sensor $\pm 2\%$. Hal ini menegaskan bahwa *trainer* PLTS berbasis IoT berfungsi optimal dan layak digunakan sebagai media pembelajaran berbasis teknologi digital.

Pengujian dilakukan pada tiap komponen dan sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan:

1. Panel surya mampu menghasilkan daya sesuai spesifikasi.
2. *Solar charge controller* mengatur pengisian baterai secara aman tanpa *overcharging*.
3. *Inverter* mengonversi energi DC ke AC dengan stabil.
4. Fitur IoT berfungsi optimal untuk pengontrolan dan *monitoring* secara *real-time*.

Sistem dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran dan memenuhi aspek keamanan serta kemudahan penggunaan. Gambar 4 menunjukkan pengujian *trainer* PLTS berbasis IoT.



Gambar 4 Pengujian *Trainer* PLTS Berbasis IoT.

4.3 | Ketercapaian Terhadap Target Luaran

Capaian program dianalisis dengan membandingkan target luaran yang dijelaskan pada pendahuluan dengan hasil aktual pelaksanaan kegiatan.

Tabel 1 Capaian target

Target Luaran	Capaian Aktual	Indikator Keberhasilan
1. Tersedianya media pembelajaran PLTS berbasis IoT di SMK Negeri 4 Soppeng	<i>Trainer</i> telah terpasang, diuji, dan digunakan pada kegiatan praktikum siswa	Sistem beroperasi stabil, dilengkapi panduan penggunaan dan <i>troubleshooting</i>
2. Peningkatan kompetensi guru dan siswa terhadap teknologi energi terbarukan	Terselenggara pelatihan dan <i>workshop</i> dengan 25 peserta (10 guru dan 15 siswa)	Peserta mampu melakukan perakitan, <i>monitoring</i> , dan analisis performansi PLTS
3. Publikasi hasil kegiatan di jurnal nasional terakreditasi Sinta dan media elektronik	Artikel sedang dalam proses publikasi di <i>Segawati</i> ; dokumentasi video dan poster telah dipublikasikan di kanal P3M PNUP	Tercapai 80% dari luaran yang ditargetkan
4. Penguatan literasi EBT dan kesadaran energi bersih	Meningkatnya minat siswa untuk mengembangkan proyek lanjutan energi surya di sekolah	Tercatat tiga ide proyek mandiri berbasis energi terbarukan dari peserta pelatihan

Analisis menunjukkan bahwa seluruh target utama program telah tercapai dengan tingkat keberhasilan di atas 80%. Secara pedagogis, kegiatan ini tidak hanya menghasilkan produk fisik berupa *trainer*, tetapi juga memperkuat proses pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) yang relevan dengan kurikulum vokasi.

4.4 | Respon dan Dampak terhadap Mitra

Respon mitra terhadap program menunjukkan hasil yang sangat positif. Berdasarkan survei pasca-pelatihan terhadap 25 peserta, 92% guru dan siswa menyatakan *trainer* PLTS berbasis IoT “sangat bermanfaat” untuk pembelajaran praktik. Guru menyampaikan bahwa sistem ini mempermudah proses demonstrasi karena komponen utama PLTS tersusun dalam satu modul yang mudah dipindahkan. Sementara itu, siswa merasa lebih termotivasi untuk mempelajari teknologi energi terbarukan karena dapat langsung melihat hasil konversi energi dan data *monitoring* di ponsel.

Selain peningkatan pemahaman teknis, kegiatan ini juga menumbuhkan kesadaran akan pentingnya energi bersih dan efisiensi penggunaan listrik di lingkungan sekolah. Berdasarkan hasil diskusi kelompok, beberapa siswa mengusulkan penerapan sistem PLTS mini di ruang laboratorium dan beberapa ruang sekolah sebagai bentuk lanjutan program. Mitra sekolah menyatakan komitmennya untuk menjadikan *trainer* PLTS sebagai bagian dari kurikulum pembelajaran teknik elektronika dan otomotif, serta berencana mengembangkan *mini-lab renewable energy* dengan dukungan perguruan tinggi. Beberapa bentuk kegiatan yang dilakukan antara lain: sosialisasi dan pelatihan bersama mitra.

4.4.1 | Sosialisasi dan Pelatihan Mitra

Sosialisasi dilakukan melalui presentasi, demonstrasi, dan praktik pengoperasian *trainer*. Guru dan siswa mempelajari prinsip kerja PLTS, fungsi komponen, dan pengoperasian sistem berbasis IoT. Kegiatan berlangsung interaktif dengan sesi tanya jawab dan simulasi penggunaan *trainer*. Selain itu, dilaksanakan praktik lapangan dan serah terima *trainer* kepada pihak sekolah sebagai bentuk dukungan pengembangan pembelajaran energi terbarukan. Gambar 5 menunjukkan kegiatan sosialisasi dan pelatihan kepada mitra SKAPAT, dan Gambar 6 dirangkaikan dengan acara serah terima.



Gambar 5 Sosialisasi dan Pelatihan di Lokasi Mitra.



Gambar 6 Serah Terima kepada Mitra.

4.5 | Analisis Dampak Sosial dan Keberlanjutan Program

Dampak program tidak hanya dirasakan pada aspek teknis, tetapi juga sosial-edukatif. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan guru serta siswa menciptakan efek berantai terhadap lingkungan sekitar. Sekolah mulai mengadopsi budaya hemat energi dan berencana menerapkan prinsip “sekolah hijau” (*green school*). Selain itu, masyarakat sekitar yang mengikuti sesi sosialisasi juga menunjukkan minat untuk memahami pemanfaatan PLTS di rumah tangga.

Keberlanjutan program dirancang melalui kolaborasi lanjutan antara Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) dan SKAPAT Soppeng. Tim pengabdian akan melakukan pendampingan daring setiap tiga bulan untuk membantu pemeliharaan sistem dan mengembangkan proyek turunan berbasis IoT lainnya. Program ini diharapkan dapat menjadi model replikasi bagi sekolah vokasi lain di Sulawesi Selatan dalam memperluas literasi energi terbarukan dan mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDG) poin 4 dan 7.

4.6 | Diskusi Umum

Secara keseluruhan, hasil implementasi *trainer* PLTS berbasis IoT menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis teknologi cerdas mampu meningkatkan motivasi belajar dan kompetensi teknis siswa SMK. Penerapan IoT juga memperkuat keterampilan *data-driven analysis*, yang sangat relevan dengan kebutuhan industri 4.0.

Program ini menegaskan pentingnya kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah vokasi dalam mempercepat transformasi pendidikan menuju *smart renewable energy education*. Efektivitas kegiatan ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan model pengabdian serupa di sektor pendidikan lain, dengan penyesuaian teknologi sesuai potensi daerah masing-masing.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian ini berhasil menjawab dua permasalahan utama mitra, yaitu:

1. Ketiadaan media pembelajaran EBT diatasi melalui pengembangan dan implementasi *trainer* PLTS berbasis IoT. Perangkat ini tidak hanya menjadi sarana pembelajaran interaktif, tetapi juga mendukung kegiatan praktikum berbasis energi terbarukan di SMK Negeri 4 Soppeng.
2. Kurangnya pemahaman tenaga pendidik tentang teknologi PLTS teratas melalui pelatihan dan sosialisasi yang dilakukan oleh tim pengabdian. Kegiatan ini meningkatkan kompetensi guru dalam mengoperasikan, memelihara, dan mengembangkan sistem PLTS untuk kebutuhan pembelajaran.

Secara keseluruhan, program ini memberikan dampak positif berupa peningkatan literasi energi terbarukan, kesiapan infrastruktur pembelajaran, dan komitmen mitra untuk mengintegrasikan teknologi hijau dalam kurikulum sekolah.

Agar pemanfaatan media pembelajaran berbasis *trainer* PLTS dapat memberikan dampak jangka panjang, mitra diharapkan terus menggunakan perangkat ini secara berkesinambungan dalam kegiatan belajar mengajar, baik untuk praktikum reguler maupun pengembangan proyek berbasis energi terbarukan. Pemeliharaan rutin terhadap perangkat harus dilakukan sesuai prosedur yang telah diberikan agar fungsionalitasnya tetap terjaga. Untuk mendukung keberlanjutan program, pendampingan lanjutan oleh tim pengabdian disarankan, baik melalui pelatihan tatap muka maupun daring, sehingga kompetensi guru dapat semakin meningkat dan mampu mengintegrasikan materi energi terbarukan ke dalam kurikulum sekolah. Selain itu, sekolah diharapkan dapat mengembangkan implementasi PLTS dalam skala yang lebih besar, tidak only sebagai media edukasi, tetapi juga sebagai sumber energi alternatif yang dapat memenuhi sebagian kebutuhan listrik sekolah. Langkah ini akan memberikan manfaat ganda, yaitu penghematan energi sekaligus pembelajaran aplikatif yang relevan dengan perkembangan teknologi hijau. Ke depan, model pengabdian ini juga dapat direplikasi di sekolah kejuruan lainnya untuk memperluas literasi energi terbarukan dan mendukung target pembangunan berkelanjutan di bidang energi bersih.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek), Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M), Politeknik Negeri Ujung Pandang dan SMK Negeri 4 Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan, serta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat tahun 2025 ini.

Referensi

1. IEA. Electricity 2024 Report; 2024.
2. Sapthu A. Listrik Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Provinsi Maluku. Jurnal Cita Ekonomika 2023;17(2):199–207.
3. Attanayake K, et al. Renewable energy as a solution to climate change: Insights from a comprehensive study across nations. Plos one 2024;19(6):e0299807.

4. Marhatang M, et al. Rancang Bangun Prototipe Solar Home System Menggunakan Baterai Lithium Sebagai Penyimpan Energi. *Jurnal JEETech* 2024;5(1):60–69.
5. Dwisari V, Sudarti S, Yushardi Y. Pemanfaatan energi matahari: masa depan energi terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika* 2023;7(2):376–384.
6. Efriansyah DA, et al. Analisis Potensi Energi Matahari Dan Pembangkitan Daya pada PLTS Sebagai Sumber Rumah Energi Terbarukan Sederhana di Kota Bengkulu. *Journal Serambi Engineering* 2024;9(1):8258–8267.
7. Wijayanto D, Firdaus A. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Terintegrasi Pada Atap Gerai UMKM Di Kebon Jeruk Menggunakan Metode VDI 2221 2022;11(2):11.
8. Marhatang M, et al. Development of automatic transfer switch design in hybrid solar power system. In: AIP Conference Proceedings AIP Publishing LLC; 2024. .
9. Rudyanto B, Rachmanita RE, Budiprasojo A. Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya. unisma press; 2023.
10. Muhammad RD, Nasrun K. Rancang Bangun Monitoring Kinerja Solar Cell Menggunakan Labview. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 2021;8(2).
11. Syaefudin EA, et al. Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Media Pembelajaran Di SMPN 3 Terisi Indramayu. In: Pros. Semin. Nas. Pengabdi. Kpd. Masy, vol. 2022; 2022. p. 2022.
12. Ashad BA. Pemanfaatan PLTS Untuk Penerangan Jalan SMA Negeri 13 Maros. *JBIMA: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 2024;1(1).
13. Robandi I, et al. Implementasi dan Sosialisasi Mini Laboratorium Sistem Pembangkit Tenaga Surya di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. *Sewagati* 2023;8(1):1126–1134.
14. Robandi I, et al. Implementasi Trainer PLTS sebagai Media Pembelajaran di SD Muhammadiyah 4 Surabaya. *Sewagati* 2024;8(6):2466–2476.
15. Hasudungan J, et al. Peningkatan Kesadaran Energi Baru Terbarukan (EBT) Di SMKN 6 Bandung Melalui Program Penyuluhan Terpadu. *Nobel Community Services Journal* 2025;5(1):25–33.
16. Muljono AB, et al. Membangun Kolaborasi Strategis Dengan SMKN 2 Gerung Untuk Peningkatan Literasi Dan Keterampilan Siswa Dalam Bidang Energi Terbarukan. *Jurnal Pepadu* 2025;6(2):212–219.
17. Auliq MAa, Nugroho AB. Pelatihan Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Off-Grid Di SMK Muhammadiyah 3 Ambulu. *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 2025;6(3):2268–2274.
18. Yudhanto Y, Azis A. Pengantar Teknologi Internet of Things (IoT). UNSPress; 2019.
19. Junaidi A. Internet of things, sejarah, teknologi dan penerapannya. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan* 2015;1(3).
20. Syaban HM, Mufizar T, Ruuhwan R. Rancang Bangun Alat Keamanan Rumah Menggunakan Sensor Pir Dengan Notifikasi Telegram Berbasis Iot Dan Catu Daya Plts. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan* 2024;12(2).

Cara mengutip artikel ini: Djalal, M. R., Serpian, Mulyadi, M., Usman, Faisal, Robandi, I., Prakasa, M. A., Ramadhani, A., Ridho, H., Aulia, G., Furqoan, M., Abraham, R., Aksan, A., Mahdiah, H., Tazkiyatunnisa, Fayyad, M., Ramadhan, M. J., Musrifinah, Syahimullah, A. D., Samsul, V. A., Sudaryono, M., Zahir, A., Mursid, M., Mallarangeng, A., Khalik, F. Z., Al-Furqan, M., Afdhal, M., (2025), Implementasi Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *Internet of Things* Sebagai Media Pembelajaran Di SMK Negeri 4 Kabupaten Soppeng, *Sewagati*, 9(6):I–xx, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i6.8094>.