

**NASKAH ORISINAL**

# Implementasi dan Sosialisasi Mini Laboratorium Sistem Pembangkit Tenaga Surya di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi

Imam Robandi<sup>1,\*</sup> | Dedet Candra Riawan<sup>1</sup> | Budisantoso Wirjodirdjo<sup>2</sup> | Harus Laksana Guntur<sup>3</sup> | Vita Lystianingrum Budiharto Putri<sup>1</sup> | Muhammad Ruswandi Djalal<sup>1</sup> | Mohamad Almas Prakasa<sup>1</sup> | Argon Luthfan Ghazi<sup>1</sup> | Muh. Afif Al Irsad<sup>1</sup> | Muh. Taufik Imam Hidayat<sup>1</sup> | Reki Aji Saputra<sup>1</sup> | Arimbi Kumala<sup>1</sup> | Moch. Adri Satria<sup>1</sup> | Waseda Himawari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

## Korespondensi

\*Imam Robandi, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: [robandi@ee.its.ac.id](mailto:robandi@ee.its.ac.id)

## Alamat

Laboratorium *Power System Operation and Control*, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

## Abstrak

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar, namun belum diikuti dengan pemanfaatan yang optimal. Sistem Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis fotovoltaik menjadi teknologi yang paling mudah diimplementasikan oleh semua kalangan dan di berbagai sektor. Di sektor Pendidikan, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki visi membentuk sumber daya manusia yang memiliki kompetensi keahlian di bidang tertentu, salah satunya teknik instalasi tenaga listrik. Meski begitu, belum banyak SMK yang sudah mulai memperkenalkan pentingnya pemanfaatan EBT pada siswanya. Pada kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (Abmas) ini diusulkan Implementasi dan Sosialisasi Mini Laboratorium Sistem Pembangkit Tenaga Surya sebagai Media Pembelajaran di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi, Malang. Mini Laboratorium ini terdiri dari Trainer PLTS yang merupakan mereplika sistem PLTS *stand-alone* dalam skala laboratorium yang cukup untuk proses pembelajaran. Trainer PLTS ini terdiri dari sistem fotovoltaik, beserta komponen pendukung berupa *Solar Charger Controller* (SCC), baterai, dan inverter. Metode pelaksanaan kegiatan meliputi implementasi dan sosialisasi mini laboratorium. Dari hasil pelaksanaan abmas diperoleh peningkatan pemahaman dan keterampilan para siswa dan guru terkait pemanfaatan teknologi EBT dalam bentuk trainer PLTS.

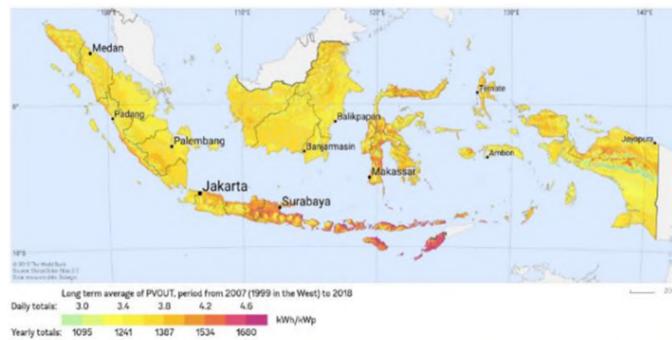
## Kata Kunci:

EBT, Laboratorium, PLTS, Stand-Alone, *Trainer*

## 1 | PENDAHULUAN

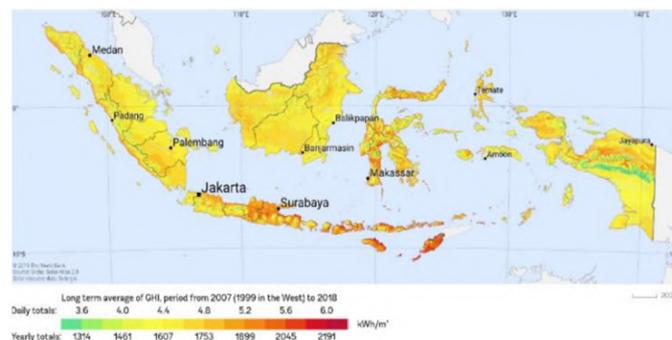
### 1.1 | Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar dalam mendukung berbagai aktivitas manusia, di antaranya sebagai sumber pen-erangan, keperluan rumah tangga, industri, hingga fasilitas umum. Konsumsi energi listrik di dunia akan terus meningkat dan telah diproyeksikan bahwa kenaikannya akan mencapai 50% pada tahun 2018 hingga 2050<sup>[1]</sup>. Konsumsi energi listrik global telah meningkat 40% dalam 20 tahun terakhir<sup>[2]</sup>. Rata-rata peningkatan permintaan energi listrik dinilai cukup besar, mencapai 2,1% pertahun<sup>[3]</sup>. Permintaan energi masih sangat bergantung pada suplai energi fosil dengan tingkat kebergantungan menca-pai 80%<sup>[4]</sup>. Hal tersebut menjadi kabar buruk melihat pertumbuhan energi fosil sudah mulai melambat dengan signifikan dan diramalkan hanya mencapai 0,3% pada tahun 2040<sup>[5]</sup>. Dalam rangka mengantisipasi tidak mencukupinya energi fosil, perhatian dunia kepada energi baru terbarukan (EBT) meningkat pesat. Hal tersebut tidak lepas dari kebijakan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang menyepakati peran energi terbarukan di bauran energi dunia harus meningkat dari 18% menuju 26% pada periode tahun 2010 hingga 2030<sup>[6]</sup>. Di ruang lingkup yang lebih sempit, Asia Tenggara yang didominasi oleh negara beriklim tropis memiliki potensi energi terbarukan yang belum termanfaatkan secara maksimal<sup>[7]</sup>. Indonesia memiliki potensi energi baru ter-barukan (EBT) yang melimpah. Energi surya merupakan salah satu EBT yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan, berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan, Indonesia memiliki 297,8 GW potensi energi matahari<sup>[8]</sup>. Tingginya potensi energi surya di Indonesia yang terlihat pada Gambar (1), belum diikuti oleh pemanfaatan yang optimal sebagai sumber energi pembangkit listrik. Pemanfaatan energi surya di Indonesia baru mencapai 0,14 GW atau 0,07%<sup>[9]</sup>.



**Gambar 1** Peta Potensi Energi Surya di Indonesia.<sup>[10]</sup>

Indonesia memiliki *Solar Global Horizontal Irradiance* (GHI) sebesar 4 – 6,9 kWh/m<sup>2</sup> dengan rata-rata 4,8 kWh/m<sup>2</sup><sup>[11]</sup>. Nilai tersebut dinilai sangat ideal untuk pengembangan sistem pembangkit listrik berbasis energi matahari dan solar GHI di Indonesia cenderung merata di setiap wilayah, seperti yang terlihat pada Gambar (2).



**Gambar 2** Peta Potensi Solar GHI di Indonesia<sup>[10]</sup>.

Potensi pemanfaatan tenaga surya menjadi peluang yang sangat luas untuk mengembangkan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis fotovoltaik di Indonesia<sup>[12]</sup>. Energi surya sebagai salah satu sumber energi yang bersifat ramah lingkungan dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik sekaligus menghadapi tantangan krisis energi, mengurangi pemanasan global, dan menciptakan kemandirian energi<sup>[13]</sup>. Sistem fotovoltaik merupakan sistem yang paling mudah diimplementasikan mulai dari skala kecil hingga besar<sup>[14]</sup>. PLTS dapat bekerja optimal di wilayah dengan *solar global horizontal index* (solar GHI) yang tinggi. PLTS berbasis fotovoltaik dapat diimplementasikan dengan skenario *stand-alone*, seperti contohnya di wilayah yang terisolasi atau pulau terpencil<sup>[15]</sup>. Selain itu, sistem juga dapat dikombinasikan dengan grid listrik yang ada dengan skenario *grid-connected* untuk menyuplai perumahan, perkotaan, pusat komersial, hingga area pendidikan<sup>[16][17][18]</sup>. Dari berbagai tempat tersebut, area pendidikan seperti sekolah dan kampus dinilai paling cocok untuk eksperimen *test-bed* terkait pengembangan PLTS karena memiliki sumber daya peneliti yang melimpah dan mumpuni<sup>[19]</sup>.

Sehubungan dengan sektor pendidikan yang cocok sebagai tempat eksperimen *test-bed* implementasi PLTS, diperlukan upaya meningkatkan antusiasme dari kalangan akademisi untuk mulai memberikan perhatian lebih kepada riset di bidang EBT khususnya sistem PLTS yang sangat potensial di Indonesia. Saat ini, sudah banyak perguruan yang membuka konsentrasi EBT pada kurikulumnya, namun hal tersebut dirasa kurang cukup untuk meningkatkan antusiasme akademisi. Pengenalan EBT harus digencarkan di tingkat pendidikan yang lebih rendah, seperti di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA) atau Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), dan sederajat. Tujuannya adalah untuk menyiapkan sumber daya manusia yang sudah mulai tertarik dalam pengembangan teknologi EBT sejak bangku sekolah. Diharapkan dengan sosialisasi di tingkat pendidikan SMA/SMK/sederajat akan meningkatkan jumlah siswa yang ingin memperdalam ilmu di bidang SBT saat melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi. SMK sebagai sekolah vokasional merupakan salah satu pihak yang dapat dilibatkan dalam pengembangan teknologi EBT. SMK memiliki visi membentuk sumber daya manusia yang memiliki kompetensi keahlian di bidang tertentu, seperti teknik instalasi tenaga listrik, rekayasa perangkat lunak, teknik komputer jaringan, multimedia, dan lain-lain. Meski sebagian besar SMK sudah mencetak sumber daya manusia yang handal di bidang teknik instalasi tenaga listrik, namun masih sedikit SMK yang sudah memperkenalkan sistem pembangkit EBT, khususnya sistem PLTS. Dengan meluasnya sosialisasi EBT ditingkat sekolah, diharapkan akan mendorong keterlibatan kalangan masyarakat dalam pengembangan teknologi EBT di Indonesia.

SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi, merupakan salah satu SMK yang memiliki jurusan teknik instalasi tenaga listrik di Kabupaten Malang<sup>[20]</sup>. SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi merupakan salah satu SMK unggulan yang memiliki prestasi luar biasa di dalam maupun luar negeri. SMK ini berpotensi mengembangkan kurikulumnya untuk mulai mengenalkan teknologi EBT pada siswanya, namun tidak ada fasilitas penunjang pengenalan maupun pembelajaran tentang EBT. Selain itu, tenaga pendidik yang tersedia di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi juga perlu diberikan wawasan lebih mengenai teknologi EBT. Berdasarkan analisis situasi tersebut, maka didapatkan permasalahan mitra yaitu:

1. Tidak adanya fasilitas penunjang pembelajaran teknologi energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
2. Kurangnya pemahaman terkait pemanfaatan teknologi energi terbarukan sebagai sumber energi yang ramah lingkungan.

## 1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Program ini diawali diskusi dengan mitra kepala sekolah SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi Malang, Bapak Munali, S.T., M.Pd., untuk menggali permasalahan terkait aktivitas pembelajaran di sekolah. Setelah diketahui analisis situasi mitra maka selanjutnya adalah merumuskan konsep kegiatan yang dilakukan, yaitu:

1. Pembuatan media pembelajaran teknologi energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya, berbasis Trainer PLTS.
2. Sosialisasi terkait pemanfaatan teknologi energi terbarukan sebagai sumber energi yang ramah lingkungan.

Untuk melaksanakan rumusan tersebut, maka disusun strategi kegiatan yang terdiri dari: inventarisasi data terkait kondisi dan kebutuhan bahan yang diterapkan dengan teknologi, penerapan teknologi, pelatihan penggunaan teknologi, evaluasi, dan publikasi. Hasil kegiatan dari program adalah penerapan media pembelajaran berbasis trainer PLTS pada SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi Malang. Hasil dari program ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan ketersediaan fasilitas untuk mempelajari teknologi energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga surya. Selain itu pada akhir kegiatan ada luaran yang ingin

dicapai dalam program ini berupa publikasi ilmiah pada jurnal ber-ISSN yang terindeks SINTA, artikel pada media massa, dan *handout* sosialisasi dan pelatihan instalasi, dan perlindungan hak kekayaan intelektual berupa Paten Sederhana dan hak cipta.

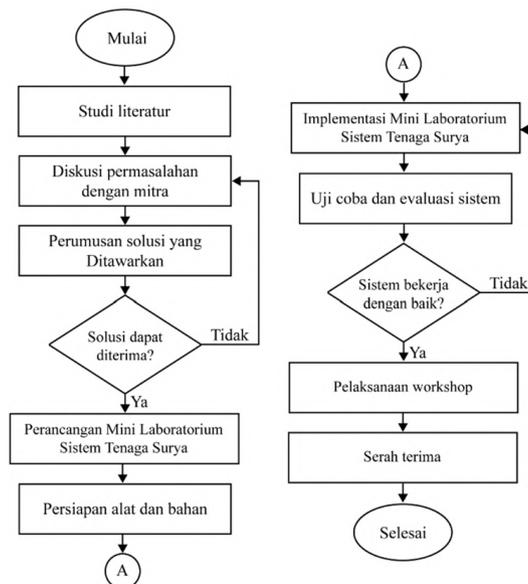
### 1.3 | Target Luaran

Target luaran hasil kegiatan PKM ini antara lain:

1. Implementasi mini laboratorium PLTS sebagai media pembelajaran pemanfaatan energi terbarukan melalui pembuatan *trainer* PLTS.
2. Sosialisasi mini laboratorium PLTS di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi Malang, untuk meningkatkan wawasan tentang EBT, khususnya PLTS, melalui workshop dan pembuatan *handout trainer* PLTS.
3. Jurnal Nasional pengabdian masyarakat terakreditasi Sinta-4 di Jurnal Sewagati ITS, *Book Chapter* yang selanjutnya digabung berdasarkan topik menjadi Buku Abmas Pusat Kajian ITS, Publikasi Media Massa Elektronik, Video Kegiatan dirilis di Channel Youtube DRPM ITS, dan Paten Sederhana produk dan Hak Cipta Video Kegiatan melalui Sentra Hak Kekayaan Intelektual ITS.

## 2 | METODE KEGIATAN

Untuk mencapai tujuan pengabdian kepada masyarakat, kegiatan ini mengikuti alur yang telah disusun secara terstruktur dan sistematis seperti yang terlihat pada Gambar (3 ). Proses pelaksanaan kegiatan ini tidak hanya berfokus pada tim pengabdian dari perguruan tinggi, tapi juga melibatkan partisipasi elemen-elemen yang ada di sekolah, seperti siswa, guru, dan juga Masyarakat sekitar.



**Gambar 3** Alur Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat.

Hal yang pertama dilakukan saat melakukan kegiatan pengabdian kepada Masyarakat yaitu studi literatur untuk mengikuti tren perkembangan teknologi yang sesuai dengan 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 SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi untuk diselesaikan oleh tim pengabdian. Mitra akan membimbing tim 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 menerapkan mini laboratorium PLTS 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 mini laboratorium PLTS. 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 dipersiapkan. 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. Sistem mini laboratorium PLTS diuji beberapa kali untuk dievaluasi kelayakannya. Proses pelaksanaan implementasi mini laboratorium PLTS juga akan melibatkan siswa dan guru dengan kompetensi bidang yang sesuai. Setelah mini laboratorium PLTS 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 PLTS agar kedepannya sistem dapat dikembangkan sendiri oleh mitra.

### 3 | HASIL DAN DISKUSI

Pengaplikasian program Pengabdian Kepada Masyarakat melalui implementasi dan sosialisasi mini laboratorium pembangkit listrik tenaga surya di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi telah berhasil terlaksana. Pada bagian ini diuraikan hasil yang dicapai dari kegiatan tersebut. Berdasarkan hasil diskusi dengan mitra maka pada kegiatan ini diusulkan pembuatan mini laboratorium PLTS dalam bentuk *trainer* atau papan latih. *Trainer* ini terdiri dari 3 bagian utama, yaitu modul utama, modul panel surya, dan modul lampu halogen.

Proses pengerjaan dimulai dengan pengerjaan modul utama. Perwujudan dari modul utama ini terdiri dari: Panel Surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, *Solar Charge Controller* untuk mengontrol pengisian baterai, Baterai untuk menyimpan energi listrik, *Inverter* untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, *DC Circuit Breaker* sebagai pembatas, pemutus, dan penghubung arus DC, *AC Circuit Breaker* sebagai pembatas, pemutus, dan penghubung arus AC, *DC Power Monitoring* sebagai monitoring tegangan, arus, daya, dan pemakaian energi listrik DC, *AC Power Monitoring* sebagai monitoring tegangan, arus, daya, dan pemakaian energi listrik, Saklar beban DC berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus pada Stop Kontak DC, Saklar beban AC sebagai pemutus dan penghubung arus pada Stop Kontak AC, Stop Kontak AC berfungsi sebagai catu daya untuk beban AC, Stop Kontak DC berfungsi sebagai catu daya untuk beban DC, dan Motor Induksi 1 Fase berfungsi sebagai beban AC. Gambar (4 ) menunjukkan pengerjaan modul utama.



Gambar 4 Pembuatan *Trainer* PLTS.

Pengerjaan berikutnya adalah modul rangka panel surya yang ditempatkan di luar ruangan. Modul ini terdiri dari 3 buah panel surya dengan kapasitas daya 100 Wp. Selain itu untuk memudahkan mobilitas, panel surya dilengkapi dengan roda dan pengaturan kemiringan panel surya. Untuk memudahkan penggunaan *trainer* saat cuaca mendung atau intensitas matahari sangat minim, maka modul ini dilengkapi sumber Cahaya buatan dari lampu halogen. Lampu halogen yang digunakan sebanyak 3 lampu dengan kontrol saklar *on/off* pada masing-masing lampu. Gambar (5) menunjukkan pembuatan rangka panel surya dan lampu halogen.



**Gambar 5** Pembuatan Rangka Panel surya dan Lampu Halogen.

Setelah pengerjaan modul utama, modul panel surya, dan modul lampu halogen selesai, tahapan berikutnya adalah uji coba dan evaluasi sistem. Gambar (6) menunjukkan tahapan pengujian dan evaluasi sistem. Pada bagian ini mencakup pengujian setiap komponen agar berfungsi dengan baik.



**Gambar 6** Ujicoba Trainer PLTS.

Tahapan berikutnya adalah pelaksanaan sosialisasi kepada mitra SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. Kegiatan sosialisasi ini dilakukan oleh tim Abmas ITS dan dihadiri oleh civitas akademika SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. Gambar (7)-(8) menunjukkan dokumentasi kegiatan sosialisasi.



**Gambar 7** Pelaksanaan Sosialisasi Mini Laboratorium PLTS kepada Mitra (1).



**Gambar 8** Pelaksanaan Sosialisasi Mini Laboratorium PLTS kepada Mitra (2).

Setelah melakukan sosialisasi dilakukan serah terima kepada kepala sekolah SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. Untuk lebih menguatkan pengetahuan dan keterampilan siswa dan guru dilakukan pengujian langsung melalui *trainer* PLTS. Dokumentasi ditunjukkan pada Gambar (9).



**Gambar 9** Pelaksanaan Sosialisasi Mini Laboratorium PLTS dan serah terima kepada mitra.

#### 4 | KESIMPULAN DAN SARAN

Permasalahan mitra terkait ketersediaan media pembelajaran mini laboratorium PLTS dapat teratasi dengan pembuatan media pembelajaran berbasis Trainer PLTS. Selain itu permasalahan mitra terkait pemanfaatan teknologi energi terbarukan dapat teratasi dengan meningkatnya pengetahuan guru dan siswa melalui sosialisasi pemanfaatan teknologi energi terbarukan sebagai sumber energi yang ramah lingkungan.

Pelatihan *maintenance* juga diberikan dengan harapan, tim SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi dapat melakukan perbaikan jika terjadi kerusakan selama penggunaan trainer PLTS. Selain itu diharapkan mitra dapat mengembangkan teknologi PLTS hingga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan listrik sekolah. Penyerahan perangkat trainer ini diharapkan dapat dimanfaatkan dengan baik oleh mitra sebagai media pembelajaran dan pelatihan oleh pihak Guru dan Siswa/i di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. Dari kegiatan pengabdian ini, pihak mitra merasa bantuan *trainer* PLTS maupun kegiatan yang dilakukan oleh tim

pengabdian ITS memberi sumbangsih yang sangat besar bagi pelaksanaan kegiatan belajar mengajar. Pihak mitra akan memanfaatkan peralatan tersebut dengan baik, serta berusaha untuk mengembangkan untuk sistem skala besar. Rencana kegiatan pendampingan juga akan terus dilakukan secara berkala.

## 5 | UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi, Malang, Jawa Timur, serta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat ini.

## Referensi

1. International Energy Agency. *Global EV Outlook*. OECD/IEA Paris; 2019.
2. Wang Y, Li M, Hassanien RHE, Ma X, Li G, et al. Grid-Connected semitransparent building-integrated photovoltaic system: the comprehensive case study of the 120 kWp plant in Kunming, China. *International Journal of Photoenergy* 2018;2018.
3. International Energy Agency. *World Energy Outlook*. OECD/IEA Paris; 2019.
4. IEA Statistics, The World Bank Group, editor, Fossil fuel energy consumption (<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS>, diakses pada November 2020).
5. Merdeka.com, *Kebutuhan Energi Fosil Dunia Diperkirakan Turun 40 tahun Mendatang; 2020*. <https://www.merdeka.com/uang/kebutuhan-energi-fosil-dunia-diperkirakan-turun-40-tahun-mendatang.html>, diakses pada November 2020.
6. United Nations, *Sustainable Energy for All; 2016*. <https://www.seforall.org/>, diakses pada Juli 2020.
7. Agency IRE, *Renewable energy market analysis: Southeast Asia*. IRENA Abu Dhabi, UAE; 2018.
8. Ramli R, Setiawan S, Menteri ESDM: Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Baru 2,5 Persen; 2020. <https://money.kompas.com/read/2020/09/08/152800726/menteri-esdm--pemanfaatan-energi-baru-terbarukan-baru-2-5-persen?page=all>, diakses pada November 2020.
9. Silalahi DF, Blakers A, Stocks M, Lu B, Cheng C, Hayes L. Indonesia's vast solar energy potential. *Energies* 2021;14(17):5424.
10. Solargis, *Download solar resource maps and GIS data for 200+ countries and regions; 2019*. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/indonesia>, diakses pada November 2020.
11. Ismail AM, Ramirez-Iniguez R, Asif M, Munir AB, Muhammad-Sukki F. Progress of solar photovoltaic in ASEAN countries: A review. *Renewable and sustainable energy reviews* 2015;48:399–412.
12. HAMZAHN, FIRMAN F, DJALAL MR. Characteristic Analysis of Solar Panels on Clay and Ceramic Roof Tiles. *Przeglad Elektrotechniczny* 2022;98(11).
13. Makmur S, Muhammad RD, Muhammad A, Golda EP. Modeling and implementing a load management system for a solar home system based on Fuzzy Logic. *SINERGI* 2023;27(2):261–270.
14. Ghorbani N, Kasaeian A, Toopshekan A, Bahrami L, Maghami A. Optimizing a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability. *Energy* 2018;154:581–591.
15. Ibrahim SHA, Agab E, Shukri M. Design and analysis of PV-Diesel hybrid power system case study Sudan, El Daein (East Darfur). *Int J Eng Res Gen Sci* 2020;8:56–65.
16. Dagdougui H, Dessaint L, Gagnon G, Al-Haddad K. Modeling and optimal operation of a university campus microgrid. In: 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM) IEEE; 2016. p. 1–5.

17. Shahzad MK, Zahid A, ur Rashid T, Rehan MA, Ali M, Ahmad M. Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable energy* 2017;106:264–273.
18. Sinha S, Chandel S. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic–wind based hybrid energy systems. *Renewable and sustainable energy reviews* 2015;50:755–769.
19. Iqbal F, Siddiqui AS. Optimal configuration analysis for a campus microgrid—a case study. *Protection and Control of Modern Power Systems* 2017;2(1):1–12.
20. Pimpinan Pusat Muhammadiyah, SMK MUHAMMADIYAH 07 Gondang Legi; 2012. <http://malang.muhammadiyah.or.id/content-197-sdet-smk-muhammadiyah-07-gondang-legi.html>, diakses pada Februari 2021.

**Cara mengutip artikel ini:** Robandi, I., Riawan, D.C., Wirjodirdjo, B., Guntur, H.L., Putri, V.L.B., Djalal, M.R., Prakasa, M.A., Ghazi, A.L., Irsad, M.A.A., Hidayat, M.T.I., Saputra, R.A., Kumala, A., Satria, M.A., Himawari, W., (2024), Implementasi dan Sosialisasi Mini Laboratorium Sistem Pembangkit Tenaga Surya di SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi, *Sewagati*, 8(1):1126–1134, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i1.793>.