

Pemeliharaan Sistem Fotovoltaik di Sekolah Menengah Kejuruan Muhammadiyah 2 Turi. Sleman

DOI: <https://doi.org/10.18196/berdikari.v11i1.17330>

ABSTRACT

SMK Muhammadiyah 2 Turi in Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta, received photovoltaic system assistance from a government grant. Photovoltaic is a technology that converts solar energy into electrical energy. This equipment is used as a backup when the power is off. However, the partners did not understand how to maintain the photovoltaic system. The proposed solution was to conduct training on photovoltaic system maintenance. This activity aimed to provide knowledge for those in charge of operations on photovoltaic system maintenance methods. The applied method was tutorial/training and practice. The presented materials were photovoltaic technology, installation, and maintenance. The evaluation was to compare test results before and after training. The evaluation showed that this training increased participants' knowledge about photovoltaic systems by 25.29%. This training can be further developed in a community environment by adding photovoltaic installations in the vicinity. Communities should be able to carry out maintenance independently so that the performance of the photovoltaic system and the durability of its components are optimal.

Keywords: electrical energy, solar energy, photovoltaic, maintenance

ABSTRAK

SMK Muhammadiyah 2 Turi, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta mendapatkan bantuan sistem fotovoltaik dari hibah pemerintah. Fotovoltaik adalah teknologi yang mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Peralatan ini digunakan sebagai cadangan saat listrik di sekolah tidak aktif. Mitra belum memahami cara pemeliharaan sistem fotovoltaik. Solusi yang diberikan adalah dengan mengadakan pelatihan tentang pemeliharaan sistem fotovoltaik. Tujuan kegiatan ini adalah memberikan bekal pengetahuan bagi penanggungjawab operasional tentang metode pemeliharaan sistem fotovoltaik. Metode yang diterapkan tutorial/pelatihan dan praktik. Materi yang disampaikan adalah teknologi fotovoltaik, pemasangan, dan pemeliharannya. Evaluasi yang digunakan adalah membandingkan hasil tes sebelum dan setelah pelatihan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pelatihan ini mampu meningkatkan pengetahuan peserta tentang sistem fotovoltaik sebesar 25,29%. Pelatihan ini dapat dikembangkan di lingkungan masyarakat yang terdapat

MUHAMMAD NADJIB¹,
FITROH ANUGRAH
KUSUMA YUDHA²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta, Jalan Brawijaya,
Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta, Indonesia. E-mail:
nadjibar@umy.ac.id

instalasi fotovoltaiik di sekitarnya. Masyarakat dapat melakukan pemeliharaan secara mandiri sehingga kinerja sistem fotovoltaiik dan keawetan komponennya optimal.

Kata Kunci: energi listrik, energi matahari, fotovoltaiik, pemeliharaan

PENDAHULUAN

SMK Muhammadiyah 2 Turi, Sleman beralamat di Jl. Turi-Tempel Km 3,5 Ngablak, Bangunkerto, Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55551. Sekolah ini termasuk maju dan berkembang. Hal ini ditandai dengan kelengkapan fasilitas yang dimiliki, di antaranya 6 ruang kelas yang memadai dan 2 ruang laboratorium, yaitu Laboratorium Kimia dan Laboratorium Teknik Audio Video. Selain itu, terdapat prasarana lainnya, seperti ruang studio, ruang panggung, dan ruang komputer. Terdapat juga perpustakaan yang cukup lengkap dan representatif, sarana olah raga yaitu bola voli, basket dan bulu tangkis, dan halaman yang cukup luas serta asri. Di samping itu, lingkungan sekolah yang bersih dan tertata menghadirkan suasana nyaman dan mendukung kegiatan belajar-mengajar.

SMK Muhammadiyah 2 Turi terus mengembangkan diri untuk menjadi sekolah yang berkualitas. Dengan dukungan SDM dan sarana-prasarana yang dimiliki, sekolah ini siap berkompetisi dengan sekolah lain dalam pelayanan informasi publik berbasis industri teknologi 4.0 sehingga menghasilkan lulusan siap kerja, siap berwirausaha, dan siap kuliah. Sekolah ini juga menyelenggarakan beberapa program, antara lain pelatihan bahasa Jepang, asrama dengan target lulusan hafal juz 30, program rekayasa robotika, dan pelatihan pembuatan produk kreatif berbahan dasar *aloe vera*, seperti *handwash*, minuman, atau keripik.

Manajemen SMK Muhammadiyah 2 Turi juga berkomitmen untuk terus meningkatkan kualitas pembelajaran. Salah satu bentuk komitmen tersebut adalah keputusan penyediaan peralatan listrik dengan memanfaatkan energi matahari. Teknologi yang mengonversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung disebut fotovoltaiik (*photovoltaic*, PV) (Dias, Benevit and Veit, 2016, p. 235). Pilihan ini diambil untuk menjamin keberlangsungan proses belajar-mengajar apabila ada pemadaman listrik PLN. Kebijakan sekolah memanfaatkan energi matahari sebagai cadangan sumber energi listrik merupakan langkah yang tepat. Energi matahari adalah salah satu energi terbarukan yang berpotensi besar untuk dikembangkan. Matahari menyediakan fluks energi yang cukup untuk memenuhi permintaan energi di seluruh dunia (Kalidasan *et al.*, 2020, p. 1). Berdasarkan hal itulah, Indonesia memiliki potensi

energi terbarukan yang sangat berlimpah. Data dari Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian ESDM (Ditjen EBTKE) menyebutkan bahwa rata-rata wilayah Indonesia memiliki potensi energi matahari sebesar 4,8 kW/m²/hari (Nehru *et al.*, 2020, p. 1). Sementara itu, kebutuhan tenaga listrik di Indonesia mencapai sekitar 120 GW pada tahun 2025 (Sukmajati and Hafidz, 2015, p. 45). Kebijakan Energi Nasional yang tertuang dalam Perpres No. 79/2014 mengamanatkan untuk pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) pada tahun 2025 dengan pangsa sebesar 23% terhadap bauran energi primer (Sugiyono *et al.*, 2019, p. 2). Dengan demikian, kebijakan yang diambil manajemen sekolah selaras dengan strategi yang dicanangkan oleh pemerintah dalam pemanfaatan EBT untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi PV telah digunakan di SMK Muhammadiyah 2 Turi. Energi listrik dari teknologi ini dipakai untuk laptop, printer, dan penerangan ruangan. Unit PV ini berasal dari hibah pemerintah pada satu tahun yang lalu. Peralatan dari hibah tersebut adalah satu unit sistem PV yang terdiri atas modul surya jenis polikristalin berdaya 115 Wp, baterai *deep cycle* 12 V-100 Ah, *solar charge controller*, *inverter* berdaya 500 W, dan boks panel hibrid dengan PLN. Akan tetapi, hibah ini tidak disertai dengan penjelasan cara pemeliharaan alat. Oleh sebab itu, laboran tidak mengerti bagaimana langkah-langkah pemeliharaan dan perawatan sistem PV. Laboran merasa asing dengan peralatan PV sehingga selama ini belum pernah melakukan tindakan pemeliharaan. Dengan tidak dilakukannya pemeliharaan terhadap komponen PV ini, hal itu menyebabkan kerja sistem PV kurang optimal. Bahkan, dampak terburuk yang bisa terjadi adalah umur teknis komponen berkurang.

Sistem PV termasuk peralatan yang populer karena karakteristik teknologi yang andal dan bersifat modular (Patel, 1999, p. 34). Pada umumnya, modul surya bergaransi operasi 25 tahun (Paiano, 2015, p. 100). Akan tetapi, komponen lainnya seperti baterai dan alat kontrol, memiliki umur operasional sangat terbatas. Komponen termahal pada sistem PV adalah modul surya (Nieuwenhout *et al.*, 2001, p. 456) dan baterai (Huacuz *et al.*, 1995, p. 287). Pemeliharaan sistem PV perlu dilakukan sebagai kompensasi terhadap mahalnya harga awal komponen-komponennya. Permasalahan mendasar yang terjadi pada instalasi PV adalah rendahnya pemeliharaan. Untuk mempertahankan unjuk kerja sistem PV, kualitas sistem pemeliharaannya perlu ditingkatkan (Nadjib, 2014, p. 32). Pemeliharaan sistem PV sangat penting untuk memperoleh unjuk kerja yang optimum dalam memproduksi energi listrik (Hernández-Callejo, Gallardo-Saavedra and Alonso-Gómez, 2019, p. 426). Sistem PV tanpa adanya pemeliharaan

mengakibatkan unjuk kerjanya dapat berkurang seiring dengan waktu (Osmani *et al.*, 2020, p. 2) dan mengurangi umur pakai komponen-komponennya (Perdue and Gottschalg, 2015, p. 432). Berdasarkan hal tersebut, solusi yang diberikan atas permasalahan di SMK Muhammadiyah 2 Turi adalah dengan memberikan pelatihan pemeliharaan sistem PV. Pelatihan ini dilakukan terhadap semua komponen utama, yaitu modul surya, alat kontrol, baterai, *inverter*, dan sistem instalasi kabel.

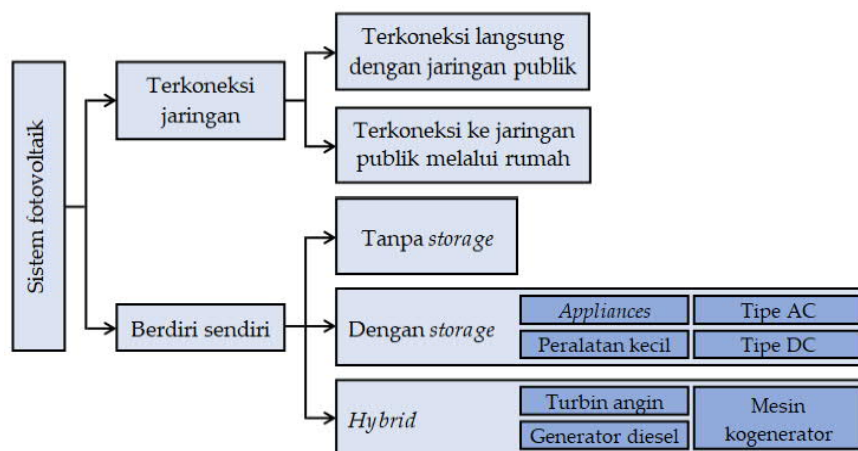
Tujuan pelaksanaan pengabdian masyarakat ini adalah memberikan bekal pengetahuan tentang metode pemeliharaan sistem PV. Setelah kegiatan ini selesai, pihak sekolah diharapkan lebih mengenal sistem PV dan prinsip operasionalnya, serta mampu melaksanakan pemeliharaan sistem PV secara mandiri.

METODE PELAKSANAAN

Peralatan yang digunakan dan prosedur pelaksanaan pengabdian masyarakat di SMK Muhammadiyah 2 Turi adalah sebagai berikut.

1. Peralatan Sistem PV

Secara umum, sistem PV dibagi menjadi dua tipe, yaitu tipe berdiri sendiri (*stand-alone*) dan tipe terkoneksi jaringan (*grid connected*) seperti ditunjukkan di Gambar 1. Sistem PV yang ada di lokasi pengabdian digunakan sebagai catu daya untuk laptop dan *printer*. Sistem tersebut menggunakan baterai sebagai penyimpan energi listrik dan dilengkapi *inverter*. Oleh karena itu, sistem PV di ruang komputer memakai tipe berdiri sendiri, menggunakan baterai, dan keluarannya adalah arus AC.



Gambar 1. Klasifikasi sistem PV (Gonzalo, Marugan and Marquez, 2020, p. 5)

Spesifikasi teknis sistem PV yang ada di ruang komputer disajikan pada Tabel 1, sedangkan komponen-komponen sistem PV eksisting ditunjukkan di Gambar 2.

Berdasarkan Tabel 1, spesifikasi komponen PV termasuk baik. Daya nominal modul surya besar dan arus yang dihasilkan tinggi. Keamanan alat kontrol terjamin karena tegangannya jauh di atas tegangan modul surya. Tipe baterai yang digunakan tepat karena mampu menghasilkan arus listrik yang stabil.

Tabel 1. Spesifikasi teknis sistem PV

| Komponen | Spesifikasi Teknis |
|--------------|--|
| Modul surya | Jenis polikristalin, daya 115 Wp, I_{maks} . 6,12 A, V_{maks} . 18,8 V |
| Alat kontrol | Tegangan 30 V |
| Inverter | V_{input} 12 V, daya keluaran 500 W |
| Baterai | Deep cycle, 12 V, 100 Ah |



(a)



(b)



(c)

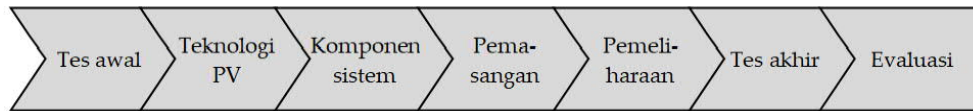


(d)

Gambar 2. Komponen PV (a) modul surya, (b) alat kontrol dan inverter, (c) boks panel, dan (d) baterai

2. Prosedur

Materi yang disampaikan dalam pengabdian ini adalah pelatihan pemeliharaan sistem PV. Walaupun demikian, sebagai penguatan diberikan juga dasar teori tentang sistem dan komponen PV, serta cara pemasangannya. Tahapan pelatihan mengikuti skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Semua tahapan dilaksanakan secara tatap muka dan peserta pelatihan adalah para guru dan laboran.



Gambar 3. Tahapan pelatihan

a. Tes Awal

Sebelum diberikan pelatihan, peserta mengikuti tes awal tentang teknologi PV. Tujuannya adalah mendapatkan informasi sejauh mana pengetahuan awal peserta terhadap bidang ilmu yang berhubungan dengan sistem PV. Soal dibuat dengan tipe pilihan ganda dengan satu jawaban yang benar. Jumlah soal yang diberikan adalah 10 buah dengan rincian sebagai berikut, pengetahuan tentang energi terbarukan (1 soal), konsep konversi energi (1 soal), komponen sistem PV (2 soal), prinsip kerja sistem PV (1 soal), macam-macam beban PV (1 soal), pemasangan PV (2 soal), dan perawatan PV (2 soal). Suasana tes awal sebelum pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pelaksanaan tes awal

b. Teknologi PV

Setelah tes awal dilakukan, materi berikutnya adalah tentang teknologi PV. Peserta diberikan penjelasan tentang macam-macam energi terbarukan, sistem konversi energi matahari, pengertian PV, keunggulan, kelemahan, dan prinsip kerjanya. Materi ini disampaikan agar peserta mendapat pengetahuan dasar tentang teknologi PV yang saat ini pemasangannya sedang digalakkan oleh pemerintah. Pengetahuan dasar ini bermanfaat sebagai bekal dalam operasional dan pemeliharaan.

c. Komponen Sistem

Pada tahap ini, peserta diberi penjelasan tentang komponen utama, fungsi setiap komponen, dan rangkaian komponen dalam sistem PV. Peserta juga disajikan contoh sistem PV yang telah diaplikasikan di berbagai bidang agar peserta memahami bahwa sistem PV telah terbukti beroperasi.

d. Pemasangan

Pemasangan komponen sistem PV dapat memengaruhi unjuk kerjanya. Materi ini diberikan agar peserta memahami cara pemasangan sistem PV yang benar. Pemasangan yang tidak benar dapat memengaruhi efisiensi perolehan energi sehingga produksi energi listrik tidak optimal.

e. Pemeliharaan

Peserta dibekali pengetahuan tentang pemeliharaan komponen sistem PV agar unjuk kerjanya optimal. Peserta juga diberi penjelasan tentang tindakan-tindakan pemeliharaan yang perlu dilakukan pada komponen sistem PV. Materi pemeliharaan berisi langkah-langkah yang dilakukan dalam memeriksa setiap komponen. Gambar 5 menunjukkan saat pemaparan materi teknologi PV.



Gambar 5. Pemaparan materi sistem PV, pemasangan dan pemeliharaan

f. Tes Akhir

Setelah peserta mengikuti semua materi di pelatihan, peserta menjalani tes akhir. Tes ini dilaksanakan dengan soal yang sama seperti tes awal. Setiap peserta diberi kode lembar yang sama dengan tes awal agar memudahkan pengecekan pekerjaan setiap peserta. Pemberian tes akhir bertujuan mendapatkan gambaran pengetahuan peserta tentang teknologi PV setelah dilakukan pelatihan. Pelaksanaan tes akhir ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pelaksanaan tes akhir

g. Evaluasi

Evaluasi pelatihan dilakukan dengan membandingkan hasil skor peserta pada tes awal dan tes akhir. Evaluasi dibuat dengan dua kategori, yaitu jenis soal dan skor tiap peserta. Jenis soal adalah seperti yang telah dijelaskan pada butir (a). Berdasarkan dua kategori tersebut, pelaksanaan pelatihan ini dapat dievaluasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

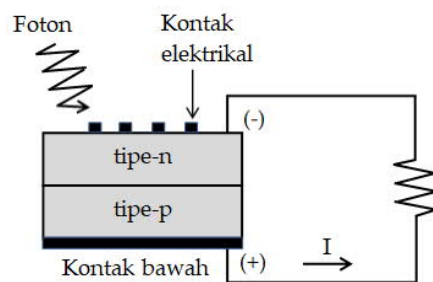
1. Teknologi dan Komponen PV

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam dan dapat diperbarui sepanjang ada kehidupan di alam. Macam-macam energi terbarukan adalah energi matahari, energi angin, energi biomassa, energi air, dan energi panas bumi. Energi matahari adalah sumber dari energi terbarukan lainnya. Pemanfaatan energi matahari digolongkan menjadi dua jenis, yaitu menghasilkan energi termal dan energi listrik. Salah satu aplikasi energi matahari menjadi energi listrik dikenal sebagai teknologi PV.

Teknologi PV menggunakan alat yang disebut modul surya (*solar panel*). Modul surya merupakan kumpulan beberapa unit terkecil, yaitu sel surya (*solar cell*) yang terhubung secara seri, paralel, atau gabungan untuk menghasilkan tegangan dan daya yang diinginkan. Modul surya berisi material semikonduktor, seperti silikon (Si), germanium (Ge), galium arsenida (GaAs), dan kadmium sulfida (CdS) (Stampolidis, Katsigiannis and Georgilakis, 2006, p. 39). Untuk melayani permintaan berdaya listrik besar, perlu digunakan modul surya dalam jumlah banyak yang saling berhubungan. Instalasi ini disebut *PV array*. Keuntungan penggunaan teknologi PV adalah tersedia bebas dan melimpah di alam; bebas polusi udara dan suara; dan pemasangan, pengoperasian,

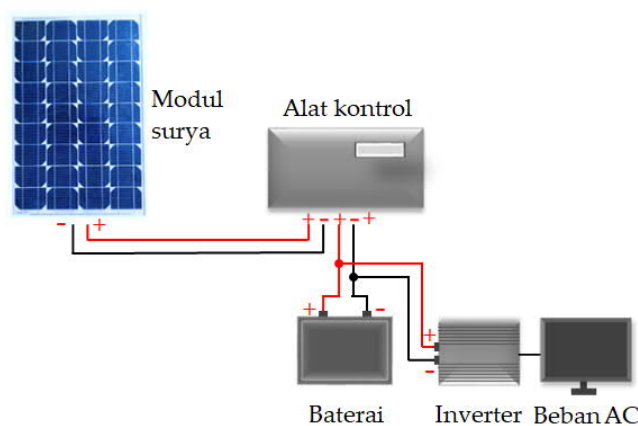
serta perawatannya mudah, sedangkan kekurangan teknologi ini antara lain adalah harga awal relatif tinggi; efisiensi sistem rendah; dan sangat tergantung pada kondisi alam.

Sistem PV mengumpulkan energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Fenomena fotovoltaiik terjadi bila radiasi matahari yang mengandung foton mencapai permukaan modul surya. Foton yang mengenai permukaan modul surya menyebabkan terjadinya pelepasan elektron yang bebas bergerak ke segala arah. Elektron dapat berpindah ke bagian semikonduktor tipe-p apabila bagian semikonduktor tipe-n disinari dengan energi yang lebih besar daripada *gap energy* (Gonzalo, Marugan and Marquez, 2020, p. 3). Aliran elektron ini dapat menimbulkan arus listrik apabila ada beban di antara kedua kontak sel surya seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema sel surya (Gonzalo, Marugan and Marquez, 2020, p. 3)

Sistem PV di ruang komputer SMK Muhammadiyah 2 Turi terdiri atas komponen pokok, yaitu modul surya, alat kontrol, baterai, dan *inverter*. Sistem ini termasuk tipe *stand-alone* dengan keluaran arus AC. Akan tetapi, sistem yang ada juga menyediakan fasilitas untuk arus DC. Skema sistem PV untuk pemakaian arus AC ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema sistem PV arus AC

Modul surya berfungsi untuk mengonversi energi elektromagnetik dari matahari menjadi energi listrik DC secara langsung. Selanjutnya, energi listrik yang dihasilkan dialirkan ke alat kontrol yang tugasnya mengatur, baik energi masuk maupun energi keluar ke beban. Alat kontrol dihubungkan ke baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik. Apabila diinginkan penggunaan alat-alat dengan arus AC maka *inverter* dipasang sebelum masuk ke baterai. Fungsi *inverter* adalah mengubah arus DC ke arus AC.

2. Pemasangan PV

Pemasangan komponen PV perlu memperhatikan ketentuan yang berlaku. Pemasangan yang baik dan benar dapat menghasilkan energi listrik yang optimal dan menjamin keamanan alat maupun lingkungannya. Pabrik pembuat komponen biasanya telah menetapkan cara pemasangan alat. Namun demikian, pemasangan komponen PV secara umum adalah sebagai berikut.

a. Pemasangan modul surya

Modul surya merupakan komponen penghasil energi listrik sehingga harus dipasang dengan tepat. Kesalahan pemasangan modul surya berakibat energi listrik yang dihasilkan tidak sesuai dengan rancangan. Pada pemasangan modul surya, beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut.

- 1) Lokasi di sekitar pemasangan harus bebas dari naungan, baik pohon maupun bangunan. Naungan yang mengenai modul surya merupakan kesalahan utama karena dapat mengurangi unjuk kerja sistem PV (Gonzalo, Marugan and Marquez, 2020, p. 3).
- 2) Pemasangan modul surya sebaiknya tidak menempel pada bagian bangunan, seperti genteng atau atap beton. Pemberian jarak ini bertujuan menjamin terjadi aliran udara di bawah modul surya sehingga dapat mengambil energi termal yang ada di modul. Dengan demikian, temperatur modul surya tidak terlalu tinggi. Apabila modul bertemperatur tinggi, dapat mengurangi efisiensinya sehingga daya yang dihasilkan rendah (Patel, 1999, p. 150).
- 3) Modul surya dipasang dengan sudut kemiringan (*tilt angle*) maksimum terhadap horizontal sebesar sudut lintang setempat ditambah 10° (Architectural Energy Corporation, 1991, p. 39). Misalnya, garis lintang lokasi pemasangan modul surya adalah 7° LS maka sudut kemiringan maksimal adalah 17° . Selain itu, arah pemasangan yang benar adalah ke utara karena lokasi tersebut berada di lintang selatan. Pemasangan

modul surya dengan sudut tersebut bertujuan mendapatkan unjuk kerja optimum sepanjang tahun.

b. Pemasangan alat kontrol

Alat kontrol dapat dikatakan sebagai “jantung” sistem PV karena mengontrol energi yang masuk dan keluar baterai. Pemasangan alat kontrol yang benar adalah sebagai berikut.

- 1) Alat kontrol diletakkan sedekat mungkin dengan modul surya agar kabel yang digunakan pendek. Semakin pendek kabel instalasi, energi yang terbuang semakin sedikit sehingga energi yang masuk ke baterai semakin besar.
- 2) Alat kontrol dipasang dengan kuat dan stabil di dinding. Pemasangan yang kurang kuat dapat memengaruhi unjuk kerja alat.

c. Pemasangan baterai

Baterai sebagai penyimpan energi listrik harus diletakkan dengan benar. Pemasangan baterai harus dilakukan dengan teliti karena termasuk komponen yang mahal. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan baterai adalah sebagai berikut.

- 1) Jarak pemasangan alat kontrol dan baterai diusahakan tidak terlalu jauh agar energi yang terbuang dapat diminimalisasi.
- 2) Baterai ditempatkan di dalam boks (tidak tertutup rapat) agar terjaga dari *short circuit* dan hal-hal yang membahayakan lingkungan sekitar.
- 3) Baterai diletakkan jauh dari lantai supaya tidak terpengaruh uap air.

d. Pemasangan *inverter*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan *inverter* adalah sebagai berikut.

- 1) *Inverter* dipasang di dalam boks agar keamanannya dari kondisi eksternal lebih terjaga.
- 2) Pemasangan *inverter* harus kuat agar efisiensi energi listrik lebih optimal.
3. Pemeliharaan sistem PV

Permasalahan dapat mulai muncul setelah sistem PV beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Permasalahan tersebut dapat bersumber dari komponen-komponennya atau karena pengaruh eksternal seperti pengguna sistem PV maupun lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan mitigasi agar sistem memiliki efisiensi maksimal. Pemeliharaan yang baik dapat menghindari kerugian karena berhubungan dengan biaya. Apalagi komponen sistem PV memiliki harga awal yang tinggi. Tindakan pemeliharaan sistem PV

diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu preventif, prediktif, dan korektif (Livera *et al.*, 2022, p. 42482).

a. Preventif

Pemeliharaan preventif merupakan pemeliharaan yang dilakukan pada interval waktu tertentu yang telah dijadwalkan sebelumnya. Pemeliharaan ini dilakukan dalam kondisi apa pun untuk mempertahankan interval waktu tersebut. Hal ini bermanfaat untuk mengevaluasi sistem PV dengan waktu tertentu. Pemeliharaan ini melibatkan inspeksi visual dan fisik, pengujian fungsional, dan pengukuran. Tujuan pemeliharaan adalah mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan.

b. Prediktif

Pemeliharaan jenis ini adalah mengevaluasi kondisi dari sistem dengan melakukan pemantauan terjadwal dan berkelanjutan. Kegiatan pemeliharaan prediktif secara spesifik dilaksanakan terhadap objek yang berhubungan dengan pengaruh lingkungan, seperti kondisi musim, faktor alam, faktor masyarakat, dan lain sebagainya. Tujuan pemeliharaan prediktif adalah untuk memprediksi waktu optimal dalam melakukan perawatan dan meningkatkan umur pakai alat.

c. Korektif

Pemeliharaan korektif melibatkan tindakan yang diambil untuk memperbaiki kegagalan, malafungsi, atau kerusakan yang terdeteksi selama inspeksi rutin. Tindakan tersebut diperlukan untuk memperbaiki masalah yang terdeteksi dan mengembalikan sistem PV agar beroperasi normal kembali. Tujuan pemeliharaan korektif adalah untuk menghindari kerusakan peralatan yang lebih berat.

Pemeliharaan sistem PV untuk jenis *stand-alone* secara umum disajikan pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan tipe pemeliharaan untuk setiap komponen PV. Tabel 2 disusun untuk memudahkan operator sistem PV melakukan pemeliharaan. Pemeliharaan secara preventif sebaiknya dilakukan secara rutin setiap bulan sehingga bila ditemukan koneksi atau hal lain yang kurang sempurna dapat segera diatasi agar kinerja sistem PV tetap optimal. Untuk pemeliharaan prediktif dan korektif, tindakan perbaikan secara cepat dapat menyelamatkan operasional sistem PV.

Tabel 2. Aktivitas pemeliharaan berdasar jenisnya

| Komponen | Uraian | Preventif | Prediktif | Korektif |
|-----------------|--|-----------|-----------|----------|
| 1. Modul surya | 1.1. Terbebas dari naungan | | √ | |
| | 1.2. Pembersihan kotoran permukaan | | √ | |
| | 1.3. Cek koneksi kabel dan tegangan | √ | | |
| | 1.4. Cek tegangan di <i>junction box</i> | √ | | |
| | 1.5. Air masuk ke dalam modul | | | √ |
| | 1.6. Ada keretakan di kaca | | | √ |
| | 1.7. Ada <i>space</i> udara di bawah modul | √ | | |
| | 1.8. Cek penyalur petir | √ | | |
| 2. Alat kontrol | 2.1. Cek koneksi kabel | √ | | |
| | 2.2. Cek 'led' kondisi alat | √ | | |
| | 2.3. Tegangan keluaran drop | | | √ |
| | 2.4. Terlindung dari air | | √ | |
| 3. Baterai | 3.1. Cek kotoran pada kutub-kutub | √ | | |
| | 3.2. Pembersihan kutub-kutup | √ | | |
| | 3.3. Cek kekencangan koneksi kabel | √ | | |
| | 3.4. Cek level cairan | √ | | |
| | 3.5. Cek tegangan kutub-kutub | √ | | |
| | 3.6. Tegangan drop | | | √ |
| | 3.7. Terlindung dari air | | √ | |
| | 3.8. Permukaan menggelembung | | | √ |
| 4. Inverter | 4.1. Cek koneksi kabel | √ | | |
| | 4.2. Terlindung dari air | | √ | |
| | 4.3. Tegangan keluaran drop | | | √ |

Tindakan yang perlu dilakukan pada saat pemeliharaan ditunjukkan pada Tabel 3.

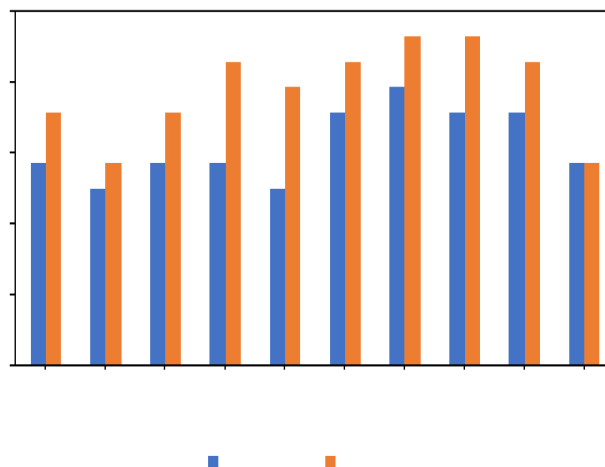
Tabel 3. Tindakan terhadap kondisi pada pemeliharaan

| Komponen | Kondisi | Tindakan | Keterangan |
|-----------------|------------------------------------|--|---|
| 1. Modul surya | 1.1. Permukaan kotor | Dibersihkan memakai kain basah | Kotoran menyebabkan tegangan drop |
| | 1.2. Kaca retak | Diberi <i>sealant</i> | Retak memicu air masuk ke kontak modul dan terjadi <i>short circuit</i> |
| | 1.3. Ada naungan pohon | Pohon dipangkas | Naungan menyebabkan daya modul berkurang dengan signifikan |
| | 1.4. Kabel koneksi kendor | Kencangkan koneksi | Kabel kendor menyebabkan pasokan energi kurang |
| | 1.5. Di bawah modul ada penghalang | Singkirkan penghalang | Penghalang mengurangi pengeluaran kalor dari modul |
| 2. Alat kontrol | 2.1. Koneksi kabel kendor | Kencangkan koneksi | Kendornya kabel dapat menyebabkan berkurangnya kinerja alat |
| | 2.2. Dudukan kendor | Kencangkan dudukan | Alat terbebas dari guncangan |
| | 2.3. Ada potensi air masuk | Lindungi alat dari air | Air berpotensi menyebabkan korosi |
| 3. Baterai | 3.1. Ada kotoran di kutub-kutub | Bersihkan dengan air panas | Kotoran mengganggu suplai energi listrik |
| | 3.2. Koneksi kabel kendor | Kencangkan koneksi | Kabel kendor mengakibatkan aliran energi listrik terganggu |
| | 3.3. Level cairan berkurang | Tambahkan air | Kekurangan air dapat mengganggu penyimpanan listrik |
| | 3.4. Tegangan tidak normal | Kutub dibersihkan dan koneksi kabel dikencangkan | Bila terjadi berulang-ulang maka baterai perlu diganti |
| | 3.5. Ada potensi air masuk | Lindungi baterai dari air | Air menyebabkan korosi di koneksi kabel |
| | 3.6. Permukaan menggelembung | Dimonitor terus tingkat penggelembungannya | Penggelembungan merupakan ciri kondisi baterai 'lemah' |
| 4. Inverter | 4.1. Koneksi kabel kendor | Kencangkan koneksi | Kabel kendor mengakibatkan efisiensi alat berkurang |
| | 4.2. Ada potensi air masuk | Alat dilindungi dari air masuk | Air berpotensi menyebabkan <i>short circuit</i> |
| | 4.3. Tegangan keluaran drop | Periksa koneksi kabel | Bila tegangan masih drop maka perlu diganti |

4. Evaluasi

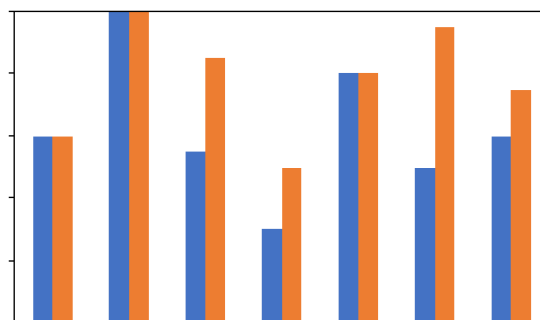
Evaluasi pelatihan dilakukan dengan membandingkan hasil tes awal dan tes akhir untuk semua peserta melalui diagram batang. Gambar 9 menunjukkan perbandingan nilai tes awal dan tes akhir untuk 10 peserta. Menurut Gambar 9, peserta mengalami peningkatan nilai di tes akhir sebanyak 9 peserta, sedangkan seorang peserta nilainya tetap. Nilai rata-rata tes awal dan tes akhir untuk kesepuluh peserta masing-masing adalah 62,14 dan 77,86. Dengan kata lain, terjadi peningkatan nilai sebesar 25,29%. Nilai tes awal peserta cukup baik walaupun tes dilaksanakan sebelum pelatihan. Kondisi ini diduga karena peserta telah cukup mengetahui alat PV yang ada di ruang komputer.

Selain itu, di dekat SMK Muhammadiyah 2 Turi, terdapat instalasi PV berupa *traffic light* dan lampu jalan yang pemasangannya benar sehingga dapat membantu menjawab pertanyaan yang berkaitan dengan pemasangan sistem PV.



Gambar 9. Hasil nilai tes awal dan tes akhir

Gambar 10 menunjukkan persentase jawaban yang benar untuk sepuluh peserta berdasarkan kategori soal. Peserta dinilai telah memahami persoalan yang berkaitan dengan energi terbarukan, konsep konversi energi, dan beban pada sistem PV. Hal ini dibuktikan dengan persentase jawaban yang benar untuk kategori tersebut tidak berubah. Dengan demikian, untuk kategori itu peserta sudah memiliki pemahaman yang baik. Namun, untuk kategori komponen, prinsip kerja, pemasangan, dan pemeliharaan ada peningkatan pengetahuan. Kenaikan persentase jawaban dari yang terbesar adalah kategori pemasangan (90%), prinsip kerja (66,67%), komponen (54,55%), dan pemeliharaan (25%). Hasil ini menunjukkan bahwa pengetahuan peserta bertambah setelah diberikan pelatihan.



Gambar 10. Hasil persentase jawaban benar berdasarkan kategori soal

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10, pelatihan ini cukup berhasil meningkatkan pengetahuan peserta tentang teknologi PV dan pemeliharannya. Bekal pengetahuan ini dapat digunakan oleh mitra dalam melakukan pemeliharaan sistem PV secara mandiri. Keberhasilan pelatihan ini adalah peran semua peserta. Suasana pelatihan cukup hidup dan terjadi komunikasi dua arah melalui diskusi. Rasa ingin tahu yang tinggi dari peserta ditunjukkan dengan diskusi yang berkualitas. Selain itu, penjelasan sistem PV di depan komponen-komponennya menambah daya tarik pelatihan ini seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diskusi komponen PV

Selama pelaksanaan pelatihan, kendala yang dijumpai adalah distribusi penyampaian materi yang belum merata. Peserta lebih banyak diskusi tentang energi terbarukan dan konversi energi dari energi matahari ke energi listrik. Hal ini disebabkan peserta belum banyak mengenal teknologi fotovoltaik sehingga materi pemeliharaan tidak dapat disampaikan secara optimal. Tidak hanya karena sangat teknis, tetapi juga waktu yang terbatas. Meskipun begitu, pelaksanaan pelatihan ini berjalan lancar berkat dukungan dan antusiasme peserta.

Tim pengabdian memandang bahwa keberhasilan ini tidak akan bermakna jika tidak ada upaya keberlanjutan, khususnya dalam pemeliharaan sistem PV. Oleh karena itu, pada tahun-tahun mendatang sebaiknya LPM UMY mengagendakan *monitoring* ke mitra tentang hasil pengabdian masyarakat yang telah dilaksanakan.

SIMPULAN

Pelatihan pemeliharaan sistem PV di SMK Muhammadiyah 2 Turi telah dilaksanakan. Materi yang diberikan adalah teknologi dan sistem PV, pemasangan,

serta pemeliharannya. Pemeliharaan merupakan salah satu kunci keberhasilan pengoperasian sistem PV. Pengetahuan tentang pemeliharaan dapat membantu usaha mempertahankan unjuk kerja dan umur pakai sistem PV. Pelatihan ini cukup berhasil, ditandai peran aktif peserta dan terjadi peningkatan pengetahuan, baik secara individu maupun dalam kategori persoalan PV. Hasil ini dapat membantu mitra dalam memelihara sistem PV yang telah ada. Pelatihan ini juga dapat digunakan sebagai acuan model pemberdayaan masyarakat, khususnya sebagai petunjuk operasional sistem PV yang ada di lingkungannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah memfasilitasi pengabdian ini dengan Nomor Kontrak 35/A.3-RA/LPM/I/2022. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada pihak SMK Muhammadiyah 2 Turi yang telah mendukung penuh pelaksanaan program pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Architectural Energy Corporation, A.E. 1991. *Maintenance and Operation of Stand-Alone Photovoltaic System*. Colorado: Photovoltaic Design Assistance Center, Sandia National Laboratories.
- Dias, P.R., Benevit, M.G. and Veit, H.M. 2016. "Photovoltaic Solar Panels of Crystalline Silicon: Characterization and Separation", *Waste Management and Research*, 34(3), pp. 235–245. Available at: <https://doi.org/10.1177/0734242X15622812>.
- Gonzalo, A.P., Marugan, A.P. and Marquez, F.P.G. 2020. "Survey of Maintenance Management for Photovoltaic Power Systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134(July). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110347>.
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S. and Alonso-Gómez, V. 2019. "A Review of Photovoltaic Systems: Design, Operation and Maintenance". *Solar Energy*, 188(March), pp. 426–440. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.017>.
- Huacuz, J.M., Flores, R., Agredano, J. and Munguia, G. 1995. "Field Performance of Lead-acid Batteries in Photovoltaic Rural Electrification Kits". *Solar Energy*, 55(4), pp. 287–299. Available at: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00047-U](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00047-U).
- Kalidasan, B., Pandey, A.K., Shahabuddin, S., Samykano, M., Thirugnanasambandam, M. and Saidur, R. 2020. "Phase Change Materials Integrated Solar Thermal Energy Systems: Global Trends and Current Practices in Experimental Approaches". *Journal of Energy Storage*, 27(August 2019). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101118>.
- Livera, A., Theristis, M., Micheli, L., Fernandez, E.F., Stein, J.S. and Georghiou, G.E. 2022. "Operation and Maintenance Decision Support System for Photovoltaic Systems". *IEEE Access*, 10(January), pp. 42481–42496. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168140>.
- Nadjib, M. 2014. "Investigasi Unjuk Kerja Sistem Penerangan Tenaga Surya Tipe Berdiri-Sendiri Setelah". *TeknikA*, 21(2), pp. 19–34.
- Nehru, N., Naswir, M. and Saputra, O. 2020. "Implementasi Plts pada Kelompok Tani Surya Sosial di Desa Renah Kayu Embun Kota Sungai Penuh". Available at: <https://repository.unja.ac.id/id/eprint/17624> (Accessed: 26 July 2022).
- Nieuwenhout, F.D.J., Van Dijk, A., Lasschuit, P.E., Van Roekel, G., Van Dijk, V.A.P., Hirsch, D., Arriaza, H., Hankins, M., Sharma, B.D. and Wade, H. 2001. "Experience with Solar Home Systems in Developing Countries: A review". *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 9(6), pp. 455–474. Available at: <https://doi.org/10.1002/pip.392>.
- Osmani, K., Haddad, A., Lemenand, T., Castanier, B. and Ramadan, M. 2020. "A Review on Maintenance

- Strategies for PV Systems". *Science of the Total Environment*, 746, p. 141753. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141753>.
- Paiano, A. 2015. "Photovoltaic Waste Assessment in Italy". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp. 99–112. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.208>.
- Patel, M.R. 1999. "*Wind and Solar Power Systems*". Washington: CRC Press.
- Perdue, M. and Gottschalg, R. 2015. "Energy Yields of Small Grid Connected Photovoltaic System: Effects of Component Reliability and Maintenance". *IET Renewable Power Generation*, 9(5), pp. 432–437. Available at: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2014.0389>.
- Stampolidis, V.L., Katsigiannis, Y.A. and Georgilakis, P.S. 2006. "A Methodology for The Economic Evaluation of Photovoltaic Systems". *Operational Research*, 6(1), pp. 37–54. Available at: <https://doi.org/10.1007/bf02941137>.
- Sugiyono, A., Anindhita, Fitriana I., Wahid, L.O.M.A. and Adiarso. 2019. "*Outlook Energi Indonesia 2019: Dampak Peningkatan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Terhadap Perekonomian Nasional*". Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/337918819> (Accessed: 26 July 2022).
- Sukmajati, S. and Hafidz, M. 2015. "Perancangan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 MW on Grid di Yogyakarta". *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(1), pp. 49-63. Available at: <https://jurnal.itpln.ac.id/energi/article/view/582>.