

PENERAPAN TEKNOLOGI FOTOVOLTAIK UNTUK PENERANGAN LINGKUNGAN DI SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN MUHAMMADIYAH 2 TURI KABUPATEN SLEMAN

Muhammad Nadjib, Fitroh Anugrah Kusuma Yudha, Aditya Kurniawan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

E-mail: nadjibar@umy.ac.id, fitroh.anugrah@umy.ac.id, aditya.kirniawan@umy.ac.id

Abstrak

Sekolah Menengah Kejuruan Muhammadiyah 2 di Turi, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan institusi dengan kepedulian yang tinggi terhadap energi terbarukan, terbukti dengan tersedianya instalasi fotovoltaiik. Instalasi fotovoltaiik yang dimiliki masih terbatas untuk melayani utilitas di dalam gedung yaitu catu daya di laboratorium komputer. Sekolah sering mengalami pemadaman listrik khususnya di malam hari. Untuk membantu keamanan dan kenyamanan di malam hari, Sekolah memerlukan penerangan di luar gedung yang tidak mengganggu bila listrik PLN tidak aktif. Tujuan dari paper ini adalah untuk mengimplementasikan teknologi fotovoltaiik untuk penerangan lingkungan sekolah. Kegiatan yang dilakukan adalah merancang dan memasang sistem fotovoltaiik untuk teras sekolah. Estimasi beban harian dihitung berdasarkan kebutuhan tiga buah lampu LED masing-masing berdaya 10 W. Perancangan tersebut meliputi modul surya, baterai, dan pengontrol pengisian baterai. Hasil perancangan adalah modul surya daya 60 Wp, kapasitas baterai 70 Ah, dan arus masukan alat kontrol 8 A. Modul surya diletakkan di atas genting, sedangkan baterai, alat kontrol, pengontrol waktu, dan kotak panel di dalam ruangan. Penempatan lampu adalah di teras sekolah. Sistem fotovoltaiik telah berfungsi dengan baik. Semua lampu menyala selama 4 jam setiap malam.

Abstract

Muhammadiyah 2 Vocational High School in Turi, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, demonstrates a strong commitment to renewable energy, as shown by the presence of photovoltaic installations. However, these installations are still limited to supplying electricity for computer laboratories. The school frequently experiences power outages, particularly at night. To enhance safety and comfort during these periods, the school requires outdoor lighting that remains operational even when the PLN grid is down. This paper aims to apply photovoltaic technology to provide lighting for the school's outdoor environment. The activities undertaken include designing and installing a photovoltaic system for the school terrace. The estimated daily load is determined based on the requirement of three LED lamps, each rated at 10 W. The system design consists of a solar module, a battery, and a charge controller. The final design specifies a 60 Wp solar module, a 70 Ah battery, and a controller with an 8 A input current. The solar module is installed on the tiled roof, while the battery, controller, timer, and panel box are placed indoors. The lamps are installed on the school terrace. The photovoltaic system operates effectively, providing illumination for four hours every night.

Kata kunci: baterai, energi listrik, energi terbarukan, estimasi beban harian, fotovoltaiik, modul surya.

1. PENDAHULUAN

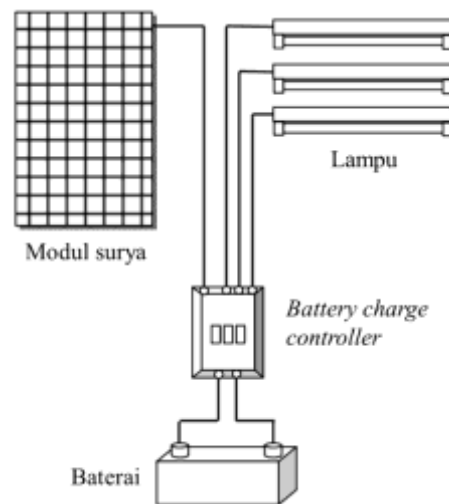
Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Muhammadiyah 2 di Turi, Sleman (selanjutnya disebut Mitra) adalah termasuk institusi yang maju dengan bukti peringkat akreditasinya A.

Mitra memiliki kelengkapan fasilitas sekolah, diantaranya adalah halaman yang luas, ruang kelas yang memadai, laboratorium, perpustakaan, aula, dan sarana olah raga. Lingkungan yang bersih, asri dan cukup luas menjadikan sekolah ini nyaman untuk proses belajar-mengajar. Mitra juga menyelenggarakan kegiatan ekstrakurikuler, seperti bidang keagamaan, olah raga, seni, dan wirausaha. Kegiatan ini dimaksudkan untuk pendidikan pengenalan diri, pengembangan kemampuan, dan tempat belajar berhubungan sosial.

Mitra berkomitmen untuk terus mengembangkan sarana dan prasarana yang ada dalam rangka meningkatkan kualitas pembelajaran. Mitra mempunyai kekhasan dalam penyediaan prasarana sekolah yaitu kepedulian terhadap energi terbarukan, khususnya energi matahari. Prasarana dengan teknologi fotovoltaik yang telah dimiliki Mitra adalah sistem catu daya listrik untuk laboratorium komputer. Pilihan Mitra untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi listrik di sekolah merupakan langkah yang tepat. Matahari menyediakan fluks energi yang cukup untuk memenuhi permintaan energi di seluruh dunia (Kalidasan et al., 2020). Energi matahari memiliki sifat sebagai energi yang bersih dan tersedia di sebagian besar tempat di bumi (Guangul & Chala, 2019). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat melimpah, khususnya energi matahari. Data dari Ditjen EBTKE menyebutkan bahwa wilayah Indonesia memiliki insolasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/day (Sugiyono et al., 2019). Sementara itu, kebutuhan tenaga listrik di Indonesia mencapai sekitar 120 GW pada tahun 2025 (Sukmajati & Hafidz, 2015). Kebijakan Energi Nasional seperti tertuang dalam Perpres No. 79/2014 sudah mengamanatkan untuk memanfaatkan energi baru dan terbarukan pada tahun 2030 dengan bauran sebesar 31% terhadap energi primer (Setyono et al., 2019). Maksud energi primer adalah energi yang berasal dari fosil yaitu minyak, batu bara, dan gas. Hal ini menjadi alasan kuat bagi Indonesia untuk mengembangkan energi matahari sebagai sumber energi masa depan.

Permasalahan yang dihadapi Mitra berkaitan dengan prasarana sekolah adalah gangguan aliran listrik PLN. Gangguan pada siang hari dapat mengganggu aktivitas belajar siswa. Untuk laboratorium komputer, gangguan listrik dapat diatasi karena telah tersedia instalasi fotovoltaik sebagai sumber daya listrik. Apabila gangguan listrik terjadi pada malam hari, permasalahan utama adalah keamanan dan kenyamanan sekolah karena lingkungan gelap. Meskipun ada petugas jaga malam, suasana gelapnya sekolah saat listrik PLN tidak aktif tetap menjadi pemikiran manajemen sekolah. Kekhawatiran pihak Mitra tidak berlebihan karena aset yang dimiliki cukup besar. Aset tersebut harus dijaga dengan baik karena merupakan amanah dari pemerintah dan umat.

Berdasarkan permasalahan di atas, Mitra memerlukan sistem penerangan luar gedung yang tidak bergantung kepada PLN. Jawaban atas kebutuhan ini adalah teknologi fotovoltaik yang diaplikasikan untuk *solar lighting system* (SLS). SLS bekerja dengan mengkonversikan energi elektromagnetik dari matahari menjadi energi listrik arus searah (*direct current*, DC) secara langsung (Sani, 2020). Sistem PV termasuk peralatan yang populer karena karakteristik teknologinya yang handal dan bersifat modular (Alotaibi & Darwish, 2021). Aplikasi SLS sangat luas untuk melayani penerangan suatu obyek seperti penerangan rumah, penerangan jalan, penerangan jembatan, dan lain-lain. SLS untuk listrik DC terdiri dari empat komponen utama yaitu modul surya, alat kontrol baterai (*battery charge controller*, BCC), baterai, dan lampu (Nadjib, 2011) seperti ditunjukkan pada skema di Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi solar lighting system listrik DC

Paper ini bertujuan untuk mendesain dan memasang SLS sebagai penerangan lingkungan di Mitra. Penerapan teknologi fotovoltaik untuk penerangan di lingkungan dapat membantu menjamin kenyamanan dan keamanan sekolah di malam hari walaupun ada gangguan aliran listrik dari PLN. Instalasi ini juga bermanfaat untuk pengenalan dan sosialisasi energi terbarukan kepada para siswa.

2. METODE PELAKSANAAN

Gambar 2 menunjukkan skema aktivitas yang dilakukan di Mitra. Pengabdian kepada masyarakat ini menerapkan metode partisipatif. Mitra dilibatkan secara aktif dalam proses survai lapangan, instalasi, training, dan testing. Pelibatan Mitra pada saat survai sangat diperlukan karena menguasai kondisi lapangan. Pada saat instalasi, Mitra membantu dalam menentukan lokasi penempatan komponen SLS. Mitra juga berpartisipasi penuh dalam aktivitas training dan testing alat.



Gambar 2 Skema aktivitas

Survei lapangan dilakukan di area luar bangunan sekolah. Tujuan survei adalah untuk mengetahui kebutuhan lokasi penerangan dan jumlah lampu. Informasi ini bermanfaat untuk membuat desain SLS yang meliputi pemilihan komponen dan gambar instalasinya. Jumlah lampu yang dipasang merupakan informasi sangat penting dalam langkah awal desain yaitu menentukan estimasi beban harian SLS.

Desain SLS dilakukan memakai konsep arus (Chow, 2010). Komponen SLS yang didesain adalah modul surya, baterai, dan BCC. Langkah pertama desain SLS adalah membuat estimasi beban harian. Estimasi beban harian dipakai untuk menentukan kebutuhan modul surya. Parameter yang dibutuhkan meliputi jumlah lampu, daya tiap lampu dan lama menyala tiap malam. Output langkah ini adalah mendapatkan beban harian teoritis. Kemudian, dipilih *charge:load* (C:L) ratio, yaitu perbandingan antara energi suplai dan beban. C:L ratio dipakai untuk mengalikan beban harian teoritis menjadi beban harian aktual. Selanjutnya, ditentukan *peak sun hour* (PSH), yaitu lama waktu efektif matahari.

digunakan untuk membagi beban harian aktual sehingga diperoleh *minimum current at the maximum power*. Parameter ini digunakan untuk mencari produk modul surya yang dibutuhkan.

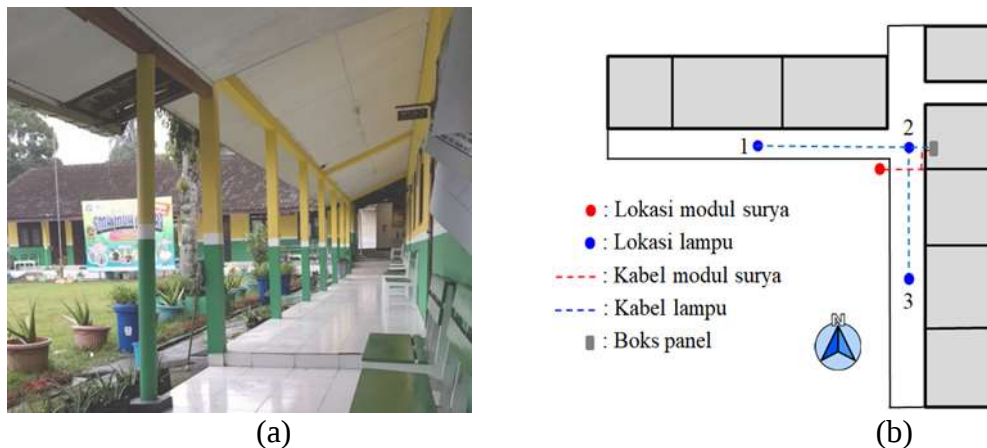
Parameter yang harus diketahui untuk menentukan kapasitas baterai adalah beban harian aktual, jumlah hari otonomi dan *depth of discharge* (DOD) baterai. Jumlah hari otonomi adalah parameter yang menggambarkan jumlah hari pada saat tidak tersedia iradiasi matahari karena mendung dan hujan sepanjang hari (Chow, 2010). DOD adalah kapasitas baterai yang diizinkan digunakan untuk melayani beban. Kapasitas baterai dihitung dengan mengalikan beban harian aktual dan jumlah hari otonomi kemudian dibagi DOD.

Pemasangan SLS dilaksanakan memakai prinsip yang sesuai dengan standar teknis meliputi orientasi modul surya, penempatan lampu, pemasangan baterai dan BCC. Lokasi pemasangan SLS mengikuti kesepakatan dengan Mitra. Hal ini dimaksudkan agar SLS yang dipasang sesuai dengan kebutuhan Mitra. Setelah pemasangan SLS selesai, langkah berikutnya adalah memberikan pelatihan tentang cara operasional SLS dan pemeliharaan komponen SLS dengan melibatkan staf Mitra yang ditunjuk. Aktivitas dilanjutkan dengan testing penyalaan lampu baik pada siang hari maupun malam hari. Tujuan testing ini adalah untuk menjamin bahwa SLS telah berfungsi sebagaimana mestinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kebutuhan Penerangan Luar

Mitra memerlukan penerangan di area teras seperti yang disajikan di Gambar 3(a). Jumlah titik lampu yang dibutuhkan adalah tiga buah dan daya masing-masing adalah 10 W. Lokasi pemasangan lampu adalah di depan laboratorium komputer, di depan ruang laboratorium keperawatan, dan di depan ruang aula. Pemilihan lokasi ini mempertimbangkan kestrategisan ruang karena penerangannya dapat melingkupi seluruh area teras. Lokasi penempatan komponen SLS disepakati seperti ditunjukkan di Gambar 3(b).



Gambar 3 Kebutuhan penerangan lingkungan Mitra: (a) teras sekolah, (b) rencana instalasi SLS

3.2 Desain SLS

Komponen SLS untuk penerangan lingkungan terdiri dari modul surya, baterai, BCC, dan lampu seperti skema yang diberikan di Gambar 1. Alat yang perlu didesain adalah modul surya, baterai, dan BCC. Desain yang dilakukan hanya untuk memenuhi kebutuhan lokal sehingga sistem PV ini termasuk tipe *stand-alone* (Kaundinya et al., 2009).

Langkah pertama adalah melakukan estimasi beban harian berdasarkan hasil survei. Jumlah lampu yang digunakan adalah tiga buah dengan tipe *light emitting diode* (LED) dan

tiap lampu memiliki daya 10 W. Tegangan sistem dipilih 12 V sehingga arus tiap lampu adalah 0,83 A. Desain sistem PV menggunakan konsep arus memerlukan data arus tiap beban. Rencana penyalan lampu setiap malam adalah empat jam. Beban teoritis setiap hari diperoleh dengan mengalikan jumlah beban, arus tiap beban, dan lama menyala. Tabel 1 menyajikan estimasi beban harian dengan total beban teoritis tiap hari sebesar 10 Ah/hari. Beban harian teoritis ini belum mempertimbangkan rugi-rugi elektrik di instalasi.

Tabel 1 Estimasi beban harian

Komponen	Arus (A)	Waktu nyala (jam)	Kapasitas beban (Ampere.jam/hari, Ah/hari)
Lampu 1, 12 V	0,83	4	3,33
Lampu 2, 12 V	0,83	4	3,33
Lampu 3, 12 V	0,83	4	3,33
Total beban harian teoritis (Ah/hari)			10

Kehandalan sistem PV ditentukan pada saat mendesain modul surya karena komponen ini berfungsi menyediakan daya untuk beban. Modul surya termasuk komponen yang mahal (Huacuz et al., 1995). Oleh karena itu, desain modul surya harus dilakukan dengan tepat agar menghasilkan spesifikasi teknis yang sesuai kebutuhan. Desain modul surya untuk SLS ini memakai konsep arus (Hund, 1999). Berbeda dengan konsep daya yang banyak dijumpai di internet, konsep arus menentukan spesifikasi modul surya berdasarkan perhitungan arus listrik tiap beban.

Beban harian aktual diperoleh dengan mengalikan beban harian teoritis dan rasio *charge:load* (C:L). Nilai rasio C:L dipilih sebesar 1,2 (Chow, 2010). Alasan pemilihan nilai tersebut adalah karena instalasi SLS ini sederhana dan jarak antara titik lampu dan BCC tidak terlalu jauh sehingga rugi-rugi elektrik rendah. Hasil perhitungan beban aktual harian adalah 12 Ah/hari.

Insolasi matahari di Yogyakarta adalah 4,5 kWh/m²/hari (Suyanto, 2016). Iradiasi rata-rata matahari di permukaan bumi adalah 1000 W/m² (Balafas et al., 2010). Insolasi matahari dibagi iradiasi rata-rata menghasilkan maka nilai PSH di daerah Yogyakarta yaitu sebesar 4,5 jam. Nilai PSH digunakan untuk membagi beban harian aktual yang menghasilkan kebutuhan minimum arus modul surya. Menurut Tabel 2, arus minimum yang harus disediakan adalah 2,69 A. Arus sebesar 2,69 A dipakai untuk menentukan pilihan modul surya. Parameter pada spesifikasi teknis modul surya yang digunakan adalah arus pada daya maksimum (*current at maximum power*, Imp). Nilai Imp modul surya harus lebih tinggi dari nilai arus minimum hasil perhitungan. Berdasarkan survei pasar, dipilih produk modul surya yang memiliki Imp sebesar 2,73 A dengan daya nominal daya 60 watt peak (Wp).

Tabel 2 Perhitungan modul surya dan baterai

Parameter	Nilai
I. Modul surya	
Rasio C:L	1,2
Beban harian aktual	12

(Ah/hari)

PSH (jam)	4,5
Arus minimum (ampere)	2,69
II. Baterai	
Jumlah hari otonomi (hari)	2,5
DOD	0,5
Kapasitas minimum (Ah)	60

Kebutuhan baterai ditentukan berdasarkan beban harian aktual, hari otonomi dan DOD. Jumlah hari otonomi untuk aplikasi sistem PV skala domestik adalah 2-3 hari (Chow, 2010). Mengingat cuaca di wilayah Mitra termasuk fluktuatif maka jumlah hari otonomi diambil 2,5. Baterai yang dipakai di SLS adalah tipe *deep cycle* sehingga nilai DOD 0,5 (Chow, 2010). Kapasitas baterai minimal dihitung dengan cara mengalikan beban harian aktual dan jumlah hari otonomi kemudian dibagi DOD. Sesuai dengan Tabel 2, kapasitas baterai minimal yang dihasilkan adalah 60 Ah. Baterai yang dipilih memiliki kapasitas yang lebih besar dari 60 Ah. Berdasarkan survei pasar maka ditentukan baterai untuk SLS adalah berkapasitas 70 Ah. Langkah selanjutnya adalah memilih BCC. Prinsip pemilihan BCC adalah yang memiliki arus lebih besar dari arus modul surya. Produk BCC yang dipilih untuk SLS ini adalah memiliki tegangan nominal 12 V dan *input current rating* sebesar 8 A. Hasil desain SLS disajikan di Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi teknis SLS

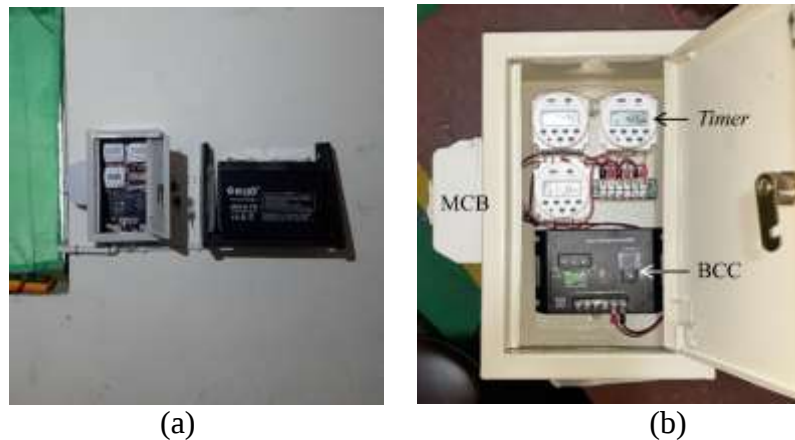
	Komponen	Spesifikasi	Jumlah
n			
surya	Modul	60 Wp, 12 V, arus 2,73 A	1 buah
	Baterai	12 V, 70 Ah	1 buah
	BCC	12 V, 8 A	1 buah
	Lampu	LED 10 W	3 buah

3.3 Instalasi SLS

Pemasangan SLS mengacu pada Gambar 3(b) sesuai hasil kesepakatan dengan Mitra. Berdasarkan Gambar 3(b), ada komponen SLS yang dipasang di dalam dan di luar ruangan. Komponen yang ditempatkan di dalam adalah baterai dan boks panel, sedangkan komponen yang dipasang di luar adalah modul surya dan lampu.

Baterai dan boks panel diletakkan di ruang kegiatan mahasiswa. Pemilihan ruang ini dengan alasan lokasinya berada di tengah-tengah rencana instalasi lampu sehingga jarak antara boks panel dan titik-titik lampu tidak terlalu jauh. Pertimbangan ini memberi pengaruh positif yaitu rugi-rugi elektrik tidak tinggi. Baterai dan boks panel dipasang berdekatan agar rugi-rugi elektrik antara BCC dan baterai dapat ditekan sebagaimana ditunjukkan di Gambar 4(a). Peletakan baterai dan boks panel berada pada jarak 125 cm dari lantai. Maksud pemberian jarak ini adalah agar baterai dan boks panel terbebas dari pengaruh uap air. Uap air dapat keluar dari lantai khususnya pada saat muka air tanah tinggi. Boks panel berisi BCC, timer dan MCB, seperti disajikan di Gambar 4(b). Fungsi timer adalah untuk mengatur penyalan lampu sesuai hasil perhitungan. Pengaturan penyalan lampu dikakukan untuk mencegah kondisi *overdischarging* baterai yang dapat menjadi potensi ketidakawetan SLS.

Setiap lampu diatur menyala selama empat jam tiap malam dengan metode bergantian: (i) lampu 1 pukul 18:00 – 22:00, (ii) lampu 2 pukul 22:00 – 02:00, (iii) lampu 3 pukul 01:00 – 05:00. MCB pada boks panel berfungsi untuk memutus arus dari modul surya ke BCC apabila ada tindakan perbaikan sehingga keamanan sistem dapat terjaga.



Gambar 4 Instalasi baterai dan boks panel: (a) posisi pemasangan, (b) isi boks panel

Sesuai Gambar 3(b), modul surya dipasang di sudut teras. Modul surya disangga oleh rangka yang terbuat dari besi siku ukuran 3 cm x 3 cm. Tiang modul surya diikatkan pada kolom teras. Bahan tiang adalah besi galvanis berdiameter 1,25 inci dan tingginya 3 m. Modul surya dipasang ke arah utara dan membentuk sudut sebesar 15° terhadap horizontal. Pemilihan arah pemasangan modul surya adalah dengan pertimbangan bahwa Yogyakarta terletak di sebelah selatan katulistiwa. Posisi modul surya yang mengarah ke utara akan mendapatkan energi matahari tahunan optimal.

Area teras yang dipasang lampu ada tiga titik. Lampu 1, lampu 2 dan lampu 3 masing-masing diletakkan di depan ruang komputer, ruang kegiatan mahasiswa dan ruang aula. Pemilihan lokasi pemasangan lampu mempertimbangkan faktor strategis ruang-ruang tersebut. Jalur pemasangan kabel di setiap lampu dilakukan secara terpisah dan langsung ke timer serta BCC. Metode instalasi ini dipilih untuk memudahkan pengaturan penyalan lampu. Pemasangan komponen SLS di lokasi luar seperti ditunjukkan di Gambar 5.



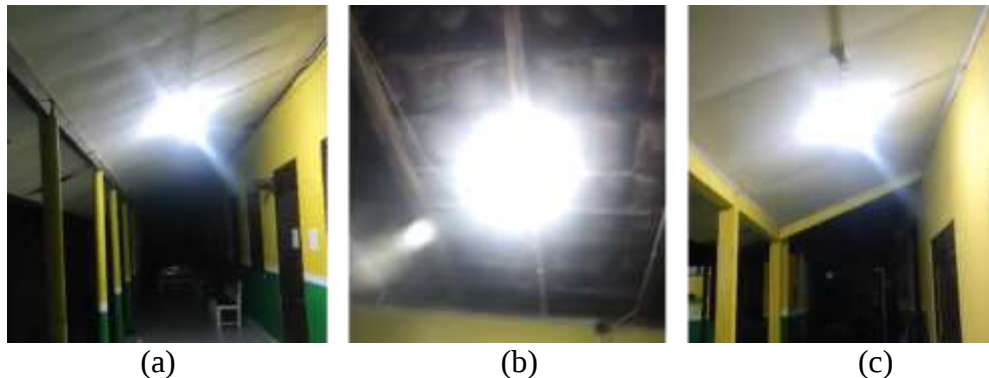
Gambar 5 Instalasi alat di luar ruangan: (a) modul surya, (b) lampu

3.4 Uji Coba SLS

Uji coba dilakukan untuk memastikan lampu menyala sesuai pengaturan timer. Aktivitas ini dilaksanakan bekerja sama dengan Mitra selama enam malam. Selama uji coba, lampu dengan sumber dari PLN dinonaktifkan. Hasil uji coba adalah sebagai berikut.

1. Selama waktu pemantauan, semua lampu on dan off sesuai dengan pengaturan waktu di timer.
2. Lampu 1 dan lampu 2 menyala bersamaan selama satu jam yaitu pukul 22:00.
3. Lampu 2 dan lampu 3 menyala bersamaan selama dua jam yaitu pukul 01:00 dan pukul 02:00.

Situasi teras di area titik lampu saat malam hari disajikan di Gambar 6. Berdasarkan uji coba ini, semua lampu dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Penerangan teras sekolah Mitra dilayani dengan sumber energi dari matahari sepanjang malam walaupun lampu menyala tidak secara bersamaan.



Gambar 6 Uji coba penyalaaan lampu: (a) lampu 1, (b) lampu 2, (c) lampu 3

Selama uji coba SLS, Mitra diberi penjelasan tentang nama komponen, prinsip kerja, cara operasional alat, dan pemeliharaan. Penekanan operasional alat adalah Mitra diminta untuk tidak mengubah arah modul surya dan pengaturan pada timer. Untuk menjaga umur pakai SLS maka pemeliharaan secara berkala sangat penting dilaksanakan. Pemeliharaan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Modul surya dibersihkan dari kotoran memakai kain yang dibasahi dengan air.
2. Kepala baterai dipastikan bersih dari garam-garaman.
3. Pemeriksaan kekencangan kabel di modul surya, baterai, dan BCC

4. KESIMPULAN

Pengabdian kepada masyarakat di SMK Muhammadiyah 2 Turi, Sleman berupa penerapan teknologi fotovoltaik untuk penerangan lingkungan telah dilakukan. Aktivitas pengabdian adalah perancangan, pemasangan dan uji coba SLS. Kesimpulan dari aktivitas ini adalah sebagai berikut.

1. SLS yang beroperasi dengan tegangan 12 V dirancang menggunakan konsep arus dan menghasilkan komponen modul surya daya 60 Wp, baterai berkapasitas 70 Ah, BCC dengan arus input 8 A serta tiga buah lampu LED masing-masing berdaya 10 W.
2. Pemasangan komponen SLS dilakukan dengan mengikuti kaidah teknis yang standar meliputi arah pemasangan modul surya, penempatan baterai dan BCC serta instalasi lampu. Hasil uji coba membuktikan bahwa SLS berfungsi dengan baik dan penyalaaan lampu sesuai dengan rencana berdasarkan perhitungan beban harian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alotaibi, S., & Darwish, A. (2021). Modular multilevel converters for large-scale grid-connected photovoltaic systems: A review. *Energies*, 14(19), 6213.
- Balafas, C. A., Athanassopoulou, M. D., Argyropoulos, T., Skafidas, P., & Dervos, C. T. (2010). Effect of the diffuse solar radiation on photovoltaic inverter output. *Melecon 2010-2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, 58–63.
- Chow, J. T. (2010). *Assessment of Solar Home Systems (SHS) for Isolated Rural Communities in Vanuatu Using Project Lifecycle/Sustainability Framework*. Michigan Technological University.
- Guangul, F. M., & Chala, G. T. (2019). Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis. *2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, 1–5.
- Huacuz, J. M., Flores, R., Agredano, J., & Munguia, G. (1995). Field performance of lead-acid batteries in photovoltaic rural electrification kits. *Solar Energy*, 55(4), 287–299.
- Hund, T. (1999). Capacity loss in PV batteries and recovery procedures. *Photovoltaic System Applications Department, Sandia National Laboratories*.
- Kalidasan, B., Pandey, A. K., Shahabuddin, S., Samykano, M., Thirugnanasambandam, M., & Saidur, R. (2020). Phase change materials integrated solar thermal energy systems: Global trends and current practices in experimental approaches. *Journal of Energy Storage*, 27(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101118>
- Kaundinya, D. P., Balachandra, P., & Ravindranath, N. H. (2009). Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2041–2050.
- Nadjib, M. (2011). Pemantauan Lapangan Sistem Penerangan Tenaga Surya 6 x 50 Wp di Sleman. *Semesta Teknika*, 14(2), 117–126.
- Sani, M. (2020). Effect of temperature on the performance of photovoltaic module. *Volume 5-2020, Issue 9-September*.
- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. F. K. (2019). Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di kota semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2), 177–186.
- Sugiyono, A., Anindhita, I. F., & Wahid, L. (2019). Adiarso, “Outlook Energi Indonesia 2019: Dampak Peningkatan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Terhadap Perekonomian Nasional.” In *Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi ...* (Issue December). Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- Sukmajati, S., & Hafidz, M. (2015). Perancangan dan analisis pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 10 MW on grid di Yogyakarta. *Energi & Kelistrikan*, 7(1), 49–63.
- Suyanto, H. (2016). KAJIAN POTENSI ENERGI SURYA DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT (NTB). *Energi Dan Kelistrikan*, 8(2).