JURNAL EDUNITRO
JURNAL PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
HTTPS://JURNAL-EDUNITRO.JEDUNITRO.COM/EDUNITRO
E-ISSN 2776-284X
P-ISSN 2776-2920
Vol. 6, No. 2, October 2026

Implementasi PLTS–PLN dengan Automatic Transfer Switch pada Penerangan Gedung Parkir (Implementation of a Solar PV–Grid System with an Automatic Transfer Switch for Parking Garage Lighting)

Muchamad Kurnia[1*], dan Joko Tri Susilo[2]
[1,2] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
[*]Corresponding author, e-mail: muchamdkurnia211@gmail.com[1]

Received: September 22nd, 2026. Revised: November 3rd, 2026. Accepted: November 9th, 2026.
Available online: November 14th, 2026. Published: November 14th, 2026.

Abstract— Parking garage lighting needs an uninterrupted power supply, but solar PV output varies with irradiance and weather. This study implements a solar PV–PLN system with an Automatic Transfer Switch (ATS) for lighting on the seventh floor of the Universitas Pamulang Viktor parking building, and examines how far the field test records support conclusions about battery backup and energy contribution. The system consists of three 550 Wp PV panels, a 60 A MPPT controller, a 48 V 50 Ah battery, an inverter with a 1,500 W continuous rating, and a 63 A two-pole ATS, serving 75 LED lamps of 18 W each (1,350 W). Observations ran for seven days, 09:00–21:00 WIB, with readings every 30 minutes on the PV, battery, and PLN sides. The load was activated in three scenarios (12, 40, and 75 lamps) without controlled repetition. The system was assembled and supplied the lighting load. The design requirement of four hours at full load is 5.4 kWh, while the battery's usable AC energy is only about 1.82 kWh (80% DoD, 95% inverter efficiency), equivalent to roughly 81 minutes. Transfer to PLN was observed at around 18:30, when battery voltage approached 45 V. Daily PV output was recorded at 275–446 W. On the first day, battery current differed substantially between instruments (11.86 A and 22.12 A), and ATS transfer time and actual irradiance were not recorded. The 50 Ah battery is adequate only for short-term backup. The 45.83% reduction in PLN energy use is a scenario-based estimate. Battery capacity should be matched to the required backup duration, and further work needs controlled loads, calibrated instruments, and per-source energy logging.

Keywords: solar photovoltaic system; Automatic Transfer Switch; battery; parking building lighting; energy contribution

Abstrak—Penerangan gedung parkir memerlukan pasokan listrik yang tidak terputus, sedangkan keluaran PLTS berubah mengikuti iradiasi dan cuaca. Penelitian ini mengimplementasikan sistem PLTS–PLN dengan Automatic Transfer Switch (ATS) untuk penerangan parkir lantai 7 Universitas Pamulang Viktor, lalu menilai sejauh mana catatan uji lapangan mendukung kesimpulan tentang cadangan baterai dan kontribusi energi. Sistem terdiri atas tiga panel surya 550 Wp, MPPT 60 A, baterai 48 V 50 Ah, inverter berdaya kontinu 1.500 W, dan ATS 2P 63 A, dengan beban 75 lampu LED 18 W (1.350 W). Pengamatan berlangsung tujuh hari pada pukul 09.00–21.00 WIB, dengan pencatatan tiap 30 menit pada sisi PLTS, baterai, dan PLN. Beban diaktifkan dalam tiga skenario (12, 40, dan 75 lampu) tanpa pengulangan terkontrol. Sistem dapat dirakit dan melayani beban penerangan. Kebutuhan desain empat jam pada beban penuh adalah 5,4 kWh, sedangkan energi AC efektif baterai hanya sekitar 1,82 kWh (DoD 80%, efisiensi inverter 95%), setara sekitar 81 menit. Perpindahan ke PLN teramati sekitar pukul 18.30 saat tegangan baterai mendekati 45 V. Keluaran PLTS harian tercatat 275–446 W. Pada hari pertama, arus baterai berbeda jauh antar instrumen (11,86 A dan 22,12 A), sementara waktu transfer ATS dan iradiasi aktual tidak terekam. Baterai 50 Ah hanya memadai sebagai cadangan jangka pendek. Angka pengurangan energi PLN 45,83% merupakan estimasi, bukan penghematan terukur. Kapasitas baterai perlu disesuaikan dengan durasi cadangan yang dibutuhkan, dan studi lanjutan memerlukan beban terkontrol, alat yang terkalibrasi, serta pencatatan energi per sumber.

Kata kunci: PLTS; Automatic Transfer Switch; baterai; penerangan gedung parkir; kontribusi energi

Copyright (c) 2026. Muchamad Kurnia, and Joko Tri Susilo.

I. PENDAHULUAN

Keandalan penerangan pada fasilitas umum bergantung pada kontinuitas pasokan listrik, terutama pada area parkir yang digunakan pada rentang waktu berbeda. Ketika jaringan utama terganggu, penerangan dapat berhenti dan mengurangi visibilitas pengguna. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan sumber energi alternatif, tetapi keluaran fotovoltaik berubah mengikuti iradiasi, temperatur, orientasi, serta bayangan pada modul. Evaluasi kinerja PLTS karena itu perlu mempertimbangkan kondisi operasi aktual, bukan hanya kapasitas puncak yang tertera pada panel (Dhimish, 2020; Ramkiran

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

dkk., 2020; Sherwani dkk., 2019; Vega-Garita dkk., 2023).

Penggabungan PLTS, baterai, dan jaringan utilitas dapat membantu mengatasi perubahan produksi surya. Baterai menyimpan energi ketika produksi lebih tinggi daripada kebutuhan sesaat dan memasok beban saat produksi turun. Jaringan PLN dapat berperan sebagai sumber pendukung ketika energi yang tersimpan tidak cukup, sehingga sistem tidak sepenuhnya bergantung pada kondisi cuaca. Berbagai penelitian membahas integrasi fotovoltaik dengan baterai dan jaringan, termasuk pengaturan energi hibrida, pembagian daya, serta perancangan kapasitas penyimpanan (Rauf & Khan, 2017; Gajewski & Pieńkowski, 2021; Abdel-Mawgoud dkk., 2021; Refaai dkk., 2022; Yu dkk., 2021; S. Li dkk., 2023; Jahangir dkk., 2024; Mamahit, C., 2024; Thabet dkk., 2025).

Sistem hibrida juga menuntut kendali perpindahan sumber yang tidak menghubungkan dua sumber secara bersamaan. ATS menyediakan mekanisme pemindahan sumber berdasarkan kondisi sumber yang dipantau perangkat. Untuk menilai manfaatnya, status sumber aktif saja belum cukup; pengujian idealnya mencatat kondisi pemicu, lama perpindahan, gangguan tegangan selama transisi, dan apakah beban tetap bekerja.

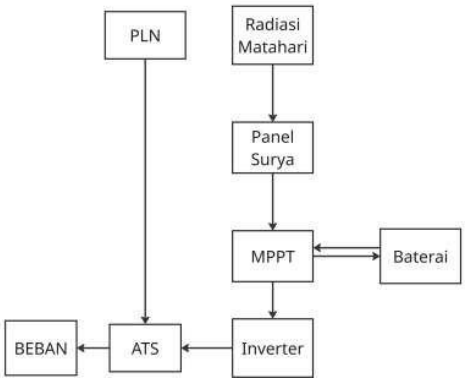
Kapasitas baterai perlu dikaitkan dengan kebutuhan energi, batas pengosongan, dan rugi konversi. Penaksiran state of charge (SOC) menggunakan metode coulomb counting bergantung pada nilai awal, kapasitas nominal, ketelitian arus, dan interval integrasi; galat pengukuran dapat terakumulasi sepanjang proses pengisian-pengosongan (Movassagh dkk., 2021). Kajian estimasi SOC membandingkan beragam pendekatan dan menunjukkan bahwa hasilnya perlu divalidasi dengan data yang sesuai (Singh dkk., 2023; Swarnkar dkk., 2023; X. Li dkk., 2023; Mamahit dkk., 2022; Yuan dkk., 2024; Carrera dkk., 2025; Ozer & Arabaci, 2025). Untuk itu, klaim tentang durasi cadangan baterai harus dibedakan antara hasil pengukuran langsung dan estimasi teoretis. Demikian pula, kinerja energi PLTS harus ditafsirkan secara hati-hati ketika pengukuran iradiasi, daya, dan energi tidak dilakukan secara konsisten.

Berdasarkan manuskrip awal, PLTS untuk penerangan parkir lantai 7 Universitas Pamulang Viktor terdiri atas tiga panel 550 Wp, baterai 48 V 50 Ah, inverter, dan ATS yang memilih antara PLTS/baterai dan PLN. Persoalan yang perlu dijawab bukan sekadar apakah semua komponen dapat dirangkai, melainkan seberapa sesuai kapasitasnya dengan beban, bagaimana perilaku sumber ketika baterai melemah, dan sejauh mana catatan uji mendukung klaim kontribusi energi. Literatur mengenai sistem penyimpanan menekankan bahwa kebutuhan energi, ukuran baterai, keandalan, dan keekonomian harus dinilai secara terpisah (Lazaroiu dkk., 2023; Ahmad dkk., 2024). Di sisi lain, data pengukuran daya di lapangan mengandung ketidakpastian yang dapat memengaruhi hasil perhitungan kinerja (Xia dkk., 2023).

Celah penelitian pada kasus ini terletak pada evaluasi implementasi fisik PLTS–baterai–PLN untuk penerangan gedung parkir dengan beban yang berubah menurut jalur lampu, sekaligus penilaian kritis terhadap kecukupan bukti pengujian. Kontribusi artikel ini adalah dokumentasi konfigurasi, perhitungan kebutuhan beban, pembahasan batas dukungan baterai, serta pemisahan antara observasi perpindahan sumber dan parameter ATS yang belum terukur. Tujuan penelitian ialah (1) mendeskripsikan implementasi sistem PLTS–PLN dengan ATS; (2) mengevaluasi hasil pengamatan tegangan, arus, dan daya yang tersedia; serta (3) menilai batas kesimpulan mengenai backup baterai dan kontribusi energi PLTS. Karena data yang tersedia belum memadai untuk menetapkan waktu transfer dan penghematan aktual, kedua parameter itu diperlakukan sebagai kebutuhan validasi lanjutan, bukan sebagai capaian yang telah dibuktikan.

II. METODE

Penelitian berupa implementasi dan pengamatan lapangan pada sistem penerangan gedung parkir lantai 7 Universitas Pamulang Viktor. Pengujian dilakukan selama tujuh hari, setiap hari pada pukul 09.00–21.00 WIB, dengan interval pencatatan 30 menit. Pengamatan mencakup sisi keluaran PLTS, baterai, dan sumber PLN. Beban terdiri atas 75 lampu LED berdaya 18 W per unit, dengan skenario beban ringan sebanyak 12 lampu (216 W), sedang 40 lampu (720 W), dan penuh 75 lampu (1.350 W). Aktivasi beban berbeda antarhari, sehingga hasil harian tidak membentuk eksperimen terkontrol.



Gambar 1. Diagram blok sistem PLTS–PLN dengan ATS.

Komponen yang tercatat meliputi tiga panel surya Jinko 550 Wp yang disusun seri, MPPT POWMR 60 A untuk sistem 48 V, baterai Shoto SDA10-4850 48 V 50 Ah, inverter Taffware 48 V dengan label daya 3.000 W dan daya kontinu 1.500 W, serta ATS TOMZN 2P 63 A (lihat Gambar 1). Rangkaian dilengkapi MCB sisi AC dan DC, fuse, dan surge protective device (SPD). Rancangan instalasi fotovoltaik perlu mempertimbangkan ketentuan instalasi PV, termasuk PUIL 2020 Bagian 7-712 (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Audit kepatuhan, verifikasi Voc pada temperatur terendah, dan pengujian proteksi terpisah tidak tercatat.

Tegangan dan arus dicatat menggunakan AVO meter SANWA CD800A dan clamp meter DELI DL334203. Catatan metode juga menyebut modul PZEM untuk pembacaan waktu nyata, tetapi tipe modul, rentang dan resolusi, spesifikasi akurasi, serta riwayat kalibrasinya tidak tercantum. Karena itu, angka dari instrumen berbeda dibandingkan secara deskriptif, bukan digabungkan seolah-olah setara. Log SOC awal-akhir, pengulangan skenario, dan waktu transfer ATS tidak tersedia, sehingga reproduksi hasil terbatas.

Kebutuhan daya dihitung dari jumlah lampu dikalikan daya tiap lampu, sedangkan kebutuhan energi desain dihitung dari daya nominal dikalikan lama operasi. Kebutuhan panel dihitung dengan membagi kebutuhan energi harian oleh peak sun hours (PSH) dan faktor kinerja desain. Nilai PSH 4,585 jam/hari berasal dari data potensi Global Solar Atlas, bukan pengukuran iradiasi pada jam pengujian. Kapasitas baterai serta durasi teoritis backup dihitung dari kapasitas Ah, tegangan sistem, asumsi depth of discharge (DoD), dan efisiensi konversi inverter. Persentase 90% dihitung sebagai rasio beban 1.350 W terhadap daya kontinu inverter 1.500 W, sehingga merupakan persentase pembebanan, bukan efisiensi inverter. Pengurangan energi PLN hanya dapat dihitung secara valid bila energi dari tiap sumber tercatat konsisten; karenanya angka berbasis asumsi dilaporkan sebagai estimasi skenario dan tidak dianggap sebagai pengukuran penghematan aktual.

III. HASIL

Beban nominal penerangan adalah 75 lampu LED × 18 W, sehingga daya totalnya 1.350 W. Untuk waktu operasi desain empat jam, kebutuhan energi adalah 5.400 Wh atau 5,4 kWh per hari. Kebutuhan ini merupakan nilai desain berdasarkan beban penuh, bukan gambaran bahwa seluruh lampu aktif selama empat jam pada setiap hari pengujian. Pada catatan lapangan, beban berubah antara 12, 40, dan 75 lampu, dan waktu aktivasi tidak seragam.

Dengan PSH 4,585 jam/hari dan faktor kinerja desain 0,80, kapasitas panel minimum hasil perhitungan adalah 5.400 Wh ÷ (4,585 × 0,80) = sekitar 1.473 Wp. Tiga panel 550 Wp menghasilkan kapasitas terpasang 1.650 Wp. Pada konfigurasi seri, nilai nominal yang dihitung dari spesifikasi panel adalah Vmp 122,70 V dan Voc 148,86 V, sedangkan arus operasi nominal tetap 13,45 A. Ini perhitungan nominal dari data pabrikan, bukan hasil pengukuran daya maksimum. Batas tegangan input maksimum MPPT dan pemeriksaan Voc pada temperatur terendah tidak tersedia, sehingga kecocokan tegangan string belum dapat dikonfirmasi secara menyeluruh.

Perhitungan kebutuhan energi ideal untuk beban penuh empat jam pada sistem 48 V menghasilkan kapasitas baterai 5.400 Wh ÷ 48 V = 112,5 Ah, belum termasuk rugi konversi dan batas pengosongan. Unit yang terpasang hanya 50 Ah. Dengan asumsi DoD 80%, energi DC efektifnya diperkirakan 50 Ah × 48 V × 0,80 = 1,92 kWh. Apabila efisiensi inverter 95% digunakan sebagai nilai nominal, energi AC yang diperkirakan tersedia sekitar 1,82 kWh. Pada beban 1.350 W, durasi teoritisnya sekitar 1,35 jam atau 81 menit. Ini merupakan estimasi berbasis asumsi, bukan hasil uji otonomi baterai dengan SOC awal dan akhir yang tervalidasi. Inverter berdaya kontinu 1.500 W akan menerima beban 1.350 W atau 90% dari nilai kontinu tersebut, sehingga sisa margin berdasarkan spesifikasi sekitar 150 W.

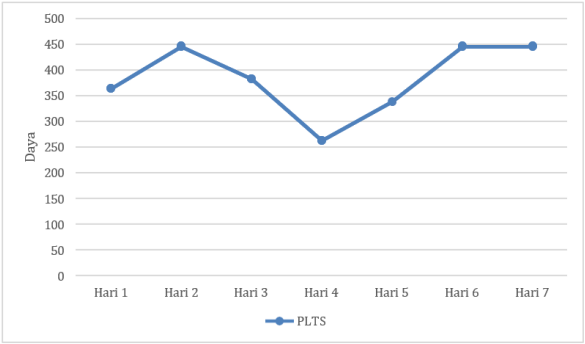
Pada hari pertama, tegangan rata-rata yang tercatat pada sisi PLTS adalah 119,49 V menggunakan AVO meter dan 119,58 V pada PZEM. Tegangan baterai rata-rata tercatat 54,58 V pada pengukuran langsung dan 53,90 V pada PZEM, sedangkan tegangan PLN tercatat 238,7 V dan 238,6 V. Arus PLTS pada ringkasan hari pertama tercatat 3,63 A dan 3,28 A. Perbedaan paling mencolok terdapat pada arus baterai, yaitu sekitar 11,86 A pada pengukuran langsung dibanding 22,12 A dari PZEM. Selisih sebesar ini berpengaruh langsung pada hitungan daya dan energi, sehingga nilai arus kedua instrumen tidak dapat dipertukarkan tanpa pemeriksaan alat dan titik ukur. Kisaran PLN juga tidak konsisten antara 236–240 V dan 235–245 V, sehingga nilai lintas-hari perlu diperiksa dari log mentah.

Angka yang diberi label keluaran daya PLTS harian pada ringkasan tujuh hari (lihat Gambar 2) berada pada kisaran sekitar 275–446,15 W: hari pertama 365 W, hari kedua 445 W, hari ketiga 383,35 W, hari keempat 275 W, hari kelima 338,54 W, hari

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

keenam 446,15 W, dan hari ketujuh 445,92 W. Log tidak menjelaskan apakah nilai tersebut merupakan daya rata-rata atau maksimum, sehingga angka hanya deskriptif dan tidak dapat dianggap sebagai energi harian atau rasio kinerja. Iradiasi aktual dan temperatur modul pada saat pengukuran juga tidak tersedia untuk menjelaskan variasi keluaran secara kuantitatif.



Gambar 2. Grafik keluaran daya PLTS selama 7 hari

Peristiwa perpindahan ke PLN dilaporkan terjadi sekitar pukul 18.30 ketika tegangan baterai turun mendekati 45 V dan sistem manajemen baterai memutus suplai untuk mencegah pengosongan lebih lanjut. Pengamatan ini menunjukkan adanya perpindahan sumber pada kondisi baterai lemah, tetapi lama transisi, jumlah percobaan, tegangan sesaat selama perpindahan, dan kemungkinan kedipan lampu tidak dicatat dengan instrumen beresolusi waktu yang memadai. Rekap awal mencatat 31,053 kWh dalam tujuh hari (4,436 kWh/hari), tetapi alokasi pada tiap sumber belum dapat diverifikasi. Estimasi awal 45,83% menggunakan asumsi 1.100 W selama 1,83 jam terhadap acuan 1.100 W selama empat jam. Karena tidak konsisten dengan ringkasan daya PLTS 275–446 W dan terdapat selisih antaralat, 45,83% bukan bukti penghematan aktual.

IV. PEMBAHASAN

Hasil implementasi menunjukkan bahwa rangkaian PLTS–baterai–PLN dengan ATS dapat dirakit dan dioperasikan untuk melayani sistem penerangan, tetapi bukti pengujiannya belum cukup untuk menyatakan seluruh kinerja sistem telah tervalidasi. Kontribusi paling kuat dari kasus ini adalah memperlihatkan kesesuaian sebagian komponen secara nominal sekaligus mengungkap batas pengukuran pada instalasi nyata. Pendekatan ini berbeda dari studi yang terutama menitikberatkan optimasi simulasi, pengendalian energi, atau penentuan konfigurasi hibrida (Gajewski & Pieńkowski, 2021; Refaai dkk., 2022; Yu dkk., 2021; S. Li dkk., 2023; Jahangir dkk., 2024; Thabet dkk., 2025).

Pertama, keluaran PLTS harus dibaca dengan mempertimbangkan kapasitas panel dan kondisi saat pengukuran. Kapasitas 1.650 Wp merupakan daya puncak nominal pada kondisi uji standar, bukan daya yang dapat diharapkan konstan sepanjang hari. Perubahan iradiasi, temperatur, orientasi, bayangan, serta kondisi permukaan dapat mengubah hasil operasi. Kajian kinerja fotovoltaik menempatkan temperatur dan iradiasi sebagai unsur penting dalam membaca performance ratio, sedangkan penelitian tentang bayangan dan kondisi luar ruang menunjukkan bahwa keluaran modul tidak dapat dibandingkan secara adil tanpa konteks kondisi operasi (Dhimish, 2020; Ramkiran dkk., 2020; Sherwani dkk., 2019; Vega-Garita dkk., 2023). Literatur deteksi gangguan juga menunjukkan bahwa penurunan daya dapat berkaitan dengan shading atau kegagalan, sehingga tidak tepat mengaitkan nilai rendah hanya dengan cuaca tanpa data pendukung (Appiah dkk., 2019; Ahsan & Mehmood, 2020). Tanpa sensor iradiasi dan temperatur modul yang disinkronkan dengan data daya, sebab variasi keluaran belum dapat ditentukan.

MPPT berfungsi mengatur titik operasi panel dan pengisian baterai, tetapi penggunaan pengendali 60 A saja tidak membuktikan bahwa energi panel telah dioptimalkan. Literatur MPPT menekankan pengaruh perubahan kondisi operasi serta perbedaan karakteristik algoritma dalam menelusuri titik daya maksimum (Lyu dkk., 2025). Pada sistem yang diteliti, catatan hanya memuat beberapa nilai daya dan tegangan, tanpa kurva I–V atau P–V, iradiasi pada saat yang sama, temperatur panel, maupun data pembatasan pengisian. Karena itu tidak tersedia dasar untuk menghitung performance ratio atau efisiensi konversi PLTS. Verifikasi selanjutnya juga perlu membandingkan Voc string pada temperatur terendah dengan batas input MPPT berdasarkan lembar data unit yang benar-benar dipasang.

Kedua, ukuran baterai merupakan batas utama untuk memenuhi tujuan cadangan energi. Kebutuhan desain 5,4 kWh per hari untuk beban penuh empat jam memerlukan kapasitas lebih besar daripada 50 Ah pada sistem 48 V. Perkiraan energi efektif 1,92 kWh sebelum rugi inverter hanya menyediakan bagian terbatas dari energi kebutuhan. Jika efisiensi inverter nominal 95% diterapkan, energi AC teoritis turun menjadi sekitar 1,82 kWh. Dengan demikian, baterai terpasang lebih tepat dipandang sebagai cadangan jangka pendek, bukan sebagai sumber yang sanggup memenuhi kebutuhan empat jam pada beban penuh. Penilaian ini konsisten dengan prinsip sizing bahwa kapasitas sistem fotovoltaik dan baterai perlu

disesuaikan dengan profil kebutuhan, bukan hanya dibatasi oleh ketersediaan komponen (Rauf & Khan, 2017; Abdel-Mawgoud dkk., 2021; Lazaroiu dkk., 2023; Ahmad dkk., 2024). Keputusan menggunakan 50 Ah karena keterbatasan anggaran harus dinyatakan sebagai kompromi implementasi, bukan sebagai kapasitas optimum.

Estimasi durasi baterai tetap bergantung pada asumsi DoD dan efisiensi inverter. Perhitungan tersebut tidak menggantikan uji backup aktual karena kapasitas yang dapat digunakan juga bergantung pada karakteristik baterai, beban, dan kondisi awal pengisian. Perkiraan SOC menggunakan coulomb counting membutuhkan nilai SOC awal yang diketahui dan arus dengan ketelitian memadai; kesalahan arus dapat berkembang menjadi galat SOC kumulatif (Movassagh dkk., 2021). Berbagai kajian SOC memakai metode berbasis model, fitur data, atau pembelajaran mesin, tetapi seluruhnya tetap menuntut validasi terhadap data rujukan yang sesuai (Singh dkk., 2023; Swarnkar dkk., 2023; X. Li dkk., 2023; Yuan dkk., 2024; Carrera dkk., 2025; Ozer & Arabaci, 2025). Dalam penelitian ini, perbedaan arus baterai 11,86 A dan 22,12 A perlu ditelusuri terlebih dahulu sebelum perhitungan SOC, daya, ataupun energi diulang. Model PZEM, kesesuaian titik ukur, faktor daya bila pengukuran dilakukan di sisi AC, resolusi, dan kalibrasi kedua instrumen harus dicatat. Sampai verifikasi itu dilakukan, penggunaan angka-angka arus gabungan akan menghasilkan presisi semu.

Ketiga, pengamatan perpindahan sumber sekitar pukul 18.30 mendukung pernyataan terbatas bahwa sumber PLN mengambil alih ketika tegangan baterai mendekati batas pemutusan yang teramati. Pengamatan ini belum mengukur keandalan ATS secara kuantitatif. Untuk menyatakan transfer berjalan tanpa gangguan berarti, perlu dicatat waktu sejak kehilangan sumber hingga sumber baru stabil, penurunan tegangan pada beban, jumlah transfer berhasil dan gagal, serta kondisi beban saat transisi. Studi kualitas daya pada sistem PV menunjukkan bahwa penilaian sistem kelistrikan perlu lebih dari sekadar keberadaan tegangan pada sumber (Sharew dkk., 2021). Penelitian ini juga tidak menguji ATS berulang dengan skenario gangguan yang sama, sehingga tidak mendukung klaim bahwa sistem lebih cepat atau lebih andal dibanding ATS berbasis mikrokontroler. Konfigurasi tanpa mikrokontroler hanya dapat disebut sebagai karakteristik perangkat yang digunakan, bukan bukti keunggulan kinerja komparatif.

Keempat, klaim penghematan energi memerlukan pemisahan antara energi yang dihasilkan, energi yang masuk ke baterai, energi yang dilepas baterai, energi yang diterima beban, dan energi yang disuplai PLN. Perhitungan 45,83% pada naskah awal menggunakan asumsi daya 1.100 W untuk kedua skenario pembanding, sementara ringkasan keluaran PLTS harian berada pada kisaran 275–446 W. Karena data sumber belum sebanding, persentase tersebut tidak dapat dianggap sebagai penghematan aktual atau digunakan untuk menilai efisiensi sistem. Kajian sistem PV-baterai menggabungkan analisis teknis dan ekonomi berdasarkan kapasitas, aliran energi, serta biaya. Studi ini tidak memiliki data rekening atau tarif aktual; karena itu nilai 45,83% hanya merupakan hasil hitung skenario, bukan temuan empiris utama (Refaai dkk., 2022; Lazaroiu dkk., 2023; Ahmad dkk., 2024). Untuk pengukuran berikutnya, meter energi terpisah perlu dipasang pada sisi PLN, keluaran inverter, dan jalur pengisian/pengosongan baterai agar neraca energi dapat ditutup.

Aspek keselamatan juga perlu dinilai terpisah dari keberhasilan operasi. Pemasangan MCB, fuse, dan SPD merupakan bagian dari desain proteksi, tetapi belum membuktikan bahwa nilai proteksi, kapasitas pemutusan, pembumian, polaritas, luas penampang kabel, atau batas tegangan DC telah sesuai untuk seluruh kondisi gangguan. Rujukan PUIL 2020 Bagian 7-712 memberi kerangka persyaratan instalasi suplai daya fotovoltaik (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Karena tidak tersedia berita acara pemeriksaan atau hasil pengujian proteksi, manuskrip ini tidak menyatakan bahwa seluruh instalasi telah lulus audit standar. Kesimpulan yang lebih terukur ialah sistem berfungsi pada kondisi pengamatan yang dilaporkan, sementara validasi keselamatan dan parameter ATS perlu dilengkapi sebelum sistem dinyatakan siap untuk penggunaan berkelanjutan.

Secara praktis, penelitian lanjutan perlu menggunakan skenario beban yang tetap dan pengulangan terencana, mengukur iradiasi serta temperatur panel, melakukan pencatatan energi pada setiap sumber dengan alat yang terverifikasi, dan merekam transisi ATS menggunakan pencatat waktu beresolusi memadai. Log SOC harus dilengkapi nilai awal dan akhir, metode estimasi, serta batas pemutusan BMS. Kapasitas baterai selanjutnya ditentukan dari durasi backup yang benar-benar dibutuhkan, bukan hanya dari kapasitas komponen yang tersedia.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

V. KESIMPULAN

Sistem PLTS–PLN dengan ATS dapat dirakit dan dioperasikan untuk menyuplai beban penerangan nominal 1.350 W di parkir lantai 7 Universitas Pamulang Viktor. Namun, baterai 50 Ah tidak memenuhi kebutuhan desain empat jam pada beban penuh. Dengan asumsi DoD 80% dan efisiensi inverter 95%, energi AC yang tersedia sekitar 1,82 kWh atau setara 81 menit, jauh di bawah kebutuhan 5,4 kWh. Karena itu baterai ini hanya layak dipandang sebagai cadangan jangka pendek. Perpindahan ke PLN teramati sekitar pukul 18.30 ketika tegangan baterai mendekati 45 V. Pengamatan ini mendukung pernyataan bahwa ATS berfungsi pada kondisi baterai lemah, tetapi belum cukup untuk menilai waktu transfer maupun keandalannya.

Dua hal belum dapat disimpulkan dari data ini, yaitu penghematan energi dan kinerja PLTS. Angka 45,83% adalah estimasi skenario yang tidak konsisten dengan keluaran PLTS tercatat (275–446 W) dan dengan selisih pembacaan arus baterai antarinstrumen, sehingga tidak boleh dibaca sebagai penghematan aktual. Keterbatasan penelitian ini meliputi pengujian hanya tujuh hari, profil beban yang berubah-ubah, iradiasi yang tidak diukur, tidak adanya data waktu transfer ATS dan kalibrasi alat, serta tidak dilakukannya audit proteksi berdasarkan PUIL 2020.

Implikasinya, kapasitas baterai perlu ditentukan dari durasi cadangan yang dibutuhkan, bukan dari komponen yang tersedia, dan kecocokan Voc string terhadap batas input MPPT perlu diverifikasi. Studi lanjutan sebaiknya memakai beban terkontrol dengan pengulangan, instrumen terkalibrasi, meter energi terpisah pada sisi PLN, keluaran inverter, dan jalur baterai, pencatat waktu untuk transisi ATS, serta sensor iradiasi.

PERNYATAAN

Penulis menyatakan bahwa penelitian ini dilaksanakan secara bertanggung jawab dan tidak memiliki konflik kepentingan yang dapat memengaruhi hasil penelitian. Data yang mendukung temuan penelitian dapat diberikan oleh penulis berdasarkan permintaan yang wajar. Dalam penyusunan manuskrip, kecerdasan buatan generatif digunakan untuk membantu penerjemahan dan penyuntingan bahasa. Penulis telah meninjau hasil penggunaannya dan bertanggung jawab sepenuhnya atas keakuratan, integritas, serta isi akhir manuskrip.

REFERENSI

Abdel-Mawgoud, H., Kamel, S., Tostado-Véliz, M., Elattar, E. E., & Hussein, M. M. (2021). Optimal incorporation of photovoltaic energy and battery energy storage systems in distribution networks considering uncertainties of demand and generation. Applied Sciences, 11(17), Article 8231. https://doi.org/10.3390/app11178231

Ahmad, A. S., Chattopadhyay, S. K., & Panigrahi, B. K. (2024). A quantitative assessment of the economic viability of photovoltaic battery energy storage systems. Energies, 17(24), Article 6279. https://doi.org/10.3390/en17246279

Ahsan, M. U., & Mehmood, K. (2020). Comparative analysis of photovoltaic faults and performance evaluation of its detection techniques. IEEE Access, 8, 26676–26700. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970531

Appiah, A. Y., Zhang, X., Ayawli, B. B. K., & Kyeremeh, F. (2019). Review and performance evaluation of photovoltaic array fault detection and diagnosis techniques. International Journal of Photoenergy, 2019, Article 6953530. https://doi.org/10.1155/2019/6953530

Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 0225-7-712:2020: Persyaratan umum instalasi listrik (PUIL) 2020—Bagian 7-712: Persyaratan untuk instalasi atau lokasi khusus—Sistem suplai daya fotovoltaik surya (PV). https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/12954-sni0225-7-7122020

Carrera, R., Quiroz, L., Guevara, C., & Acosta-Vargas, P. (2025). State-of-charge estimation of medium- and high-voltage batteries using LSTM neural networks optimized with genetic algorithms. Sensors, 25(15), Article 4632. https://doi.org/10.3390/s25154632

Dhimish, M. (2020). Thermal impact on the performance ratio of photovoltaic systems: A case study of 8000 photovoltaic

installations. Case Studies in Thermal Engineering, 21, Article 100693. https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100693

Gajewski, P., & Pieńkowski, K. (2021). Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage. Energies, 14(6), Article 1595. https://doi.org/10.3390/en14061595

Jahangir, D. M., Syed, I. M., Meng, Y., & Davis, B. (2024). Standalone hybrid PV/MHP/BES system sizing with complementarity adjustment. International Journal of Sustainable Engineering, 17(1), 510–523. https://doi.org/10.1080/19397038.2024.2365190

Lazaroiu, G., Osman, M. G., & Strejoiu, C.-V. (2023). Performance evaluation of renewable energy systems: Photovoltaic, wind turbine, battery bank, and hydrogen storage. Batteries, 9(9), Article 468. https://doi.org/10.3390/batteries9090468

Li, S., Zhang, T., Liu, X., & Liu, X. (2023). A battery capacity configuration method of a photovoltaic and battery system applied in a building complex for increased self-sufficiency and self-consumption. Energies, 16(5), Article 2190. https://doi.org/10.3390/en16052190

Li, X., Xu, J., Ding, X., & Lyu, H. (2023). State of charge estimation for batteries based on common feature extraction and transfer learning. Batteries, 9(5), Article 266. https://doi.org/10.3390/batteries9050266

Lyu, G., Soomar, A. M., Shah, S. H. H., Shaikh, S., & Musznicki, P. (2025). Maximum power point tracking strategies for solar PV systems: A review of current methods and future innovations. Results in Engineering, 28, Article 107227. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107227

Mamahit, C. (2024). Rumah Pintar dengan Lampu Kontrol Suara Menggunakan Arduino Uno R3. Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro, 18(2), 144-152. https://doi.org/10.23960/elc.v18n2.2567

Mamahit, C., Ticoh, J., Sangi, N., & Angmalisang, H. (2022). Studi Sistem Pengisian Cepat Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Papan Pengendali OpenEVSE. Jurnal Edunitro: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 2(1), 61-70. https://doi.org/10.53682/edunitro.v2i1.3909

Movassagh, K., Raihan, A., Balasingam, B., & Pattipati, K. (2021). A critical look at Coulomb counting approach for state of charge estimation in batteries. Energies, 14(14), Article 4074. https://doi.org/10.3390/en14144074

Ozer, O., & Arabaci, H. (2025). State of charge estimation in Li-ion batteries using a parallel LSTM-based approach: The impact of modeling based on operating states. IEEE Access, 13, 130719–130730. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3591970

Rauf, S., & Khan, N. (2017). Application of DC-AC hybrid grid and solar photovoltaic generation with battery storage using smart grid. International Journal of Photoenergy, 2017, Article 6736928. https://doi.org/10.1155/2017/6736928

Ramkiran, B., Sundarabalan, C. K., & Sudhakar, K. (2020). Performance evaluation of solar PV module with filters in an outdoor environment. Case Studies in Thermal Engineering, 21, Article 100700. https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100700

Refaai, M. R. A., Vonteddu, S. N. R., Nunna, P. K., Kumar, P. S., Anbu, C., & Markos, M. (2022). Energy management prediction in hybrid PV-battery systems using deep learning architecture. International Journal of Photoenergy, 2022, Article 6844853. https://doi.org/10.1155/2022/6844853

Sharew, E. A., Kefale, H. A., & Werkie, Y. G. (2021). Power quality and performance analysis of grid-connected solar PV system

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

based on recent grid integration requirements. International Journal of Photoenergy, 2021, Article 4281768. https://doi.org/10.1155/2021/4281768

Sherwani, A. F., Asjad, M., & Haleem, A. (2019). Performance evaluation of solar photovoltaic electricity-generating systems: An Indian perspective. International Journal of Sustainable Engineering, 12(1), 70–75. https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1491069

Singh, A., Pal, K., & Vishwakarma, C. B. (2023). State of charge estimation techniques of Li-ion battery of electric vehicles. e-Prime—Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 6, Article 100328. https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100328

Swarnkar, R., Ramachandran, H., Ali, S. H. M., & Jabbar, R. (2023). A systematic literature review of state of health and state of charge estimation methods for batteries used in electric vehicle applications. World Electric Vehicle Journal, 14(9), Article 247. https://doi.org/10.3390/wevj14090247

Thabet, S. F., Ibrahim, M. F., & Abu-Samah, A. (2025). Intelligent home energy management system based on genetic algorithm for hybrid PV-battery operation under on/off-grid conditions. IEEE Access, 13, 208832–208844. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3639963

Vega-Garita, V., Alpizar-Gutierrez, V., & Alpízar-Castillo, J. (2023). A practical method for considering shading on photovoltaics systems energy yield. Energy Conversion and Management: X, 20, Article 100412. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100412

Xia, H., Wang, X., Li, Q., Jia, N., & Zhang, Y. (2023). Research on analysis method of measurement uncertainty in the power performance assessment of tidal energy converters. Energy Reports, 9, 5688–5693. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.011

Yu, G., Meng, Z., Ma, H., & Liu, L. (2021). An adaptive Marine Predators Algorithm for optimizing a hybrid PV/DG/Battery System for a remote area in China. Energy Reports, 7, 398–412. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.005

Yuan, T., Liu, Y., Bai, J., & Sun, H. (2024). State of charge estimation of lithium battery utilizing strong tracking H-infinity filtering algorithm. Batteries, 10(11), Article 388. https://doi.org/10.3390/batteries10110388