

ANALYSIS OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM TO SUPPORT THE ENERGY REQUIREMENTS OF LIQUID CRYSTAL DISPLAY (LCD) PROJECTORS IN THE FACULTY OF ENGINEERING BUILDING 2, UNIVERSITAS TIDAR

ANALISIS PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) UNTUK Mendukung Kebutuhan Energi Liquid Crystal Display (LCD) Proyektor Di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar

Arbye, S¹, Feri Adriyanto²

¹) Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

Email: arbye.s@untidar.ac.id

ABSTRACT

This study presents the analysis and design of a small-scale off-grid solar photovoltaic (PV) system to supply the electrical energy requirements of Liquid Crystal Display (LCD) projectors used in nine classrooms at Faculty of Engineering Building 2, Universitas Tidar. LCD projectors operate for approximately 10–11 hours per day, resulting in a total daily energy demand of 29.7 kWh. The objective of this research is to (1) analyze the daily load profile of projector usage, (2) determine the appropriate capacity of PV modules, batteries, and inverter, and (3) evaluate the techno-economic feasibility of the proposed system. Data collection was carried out through field observation, device power measurement, rooftop area assessment, and retrieval of solar irradiation data. The system design combines manual engineering calculations with optimization using HOMER Pro software. Results indicate that a PV capacity between 9–10.5 kWp is sufficient to fulfill daily load demand. HOMER simulation recommends an optimal configuration consisting of a 9 kWp PV array, a 3.2 kW inverter, and 17 battery units, yielding a Net Present Cost (NPC) of USD 23,874.79 and a Levelized Cost of Energy (LCOE) of USD 0.296/kWh. The system achieves 100% renewable fraction with minimal shortage. Overall, the designed PV system is technically and economically feasible and can serve as a practical applied-learning resource for engineering students studying renewable energy systems.

Keywords: *Photovoltaic system, LCD projector, techno-economic analysis, energy planning, HOMER*

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan analisis dan perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil untuk memenuhi kebutuhan energi listrik LCD proyektor yang digunakan pada sembilan ruang kuliah di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar. Proyektor beroperasi selama sekitar 10–11 jam per hari dengan total kebutuhan energi harian mencapai 29,7 kWh. Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) menganalisis profil beban harian penggunaan proyektor, (2) menentukan kapasitas panel surya, baterai, dan inverter yang sesuai, serta (3) mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis sistem. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran daya perangkat, analisis luas atap, serta pengambilan data iradiasi matahari. Perancangan sistem dilakukan menggunakan perhitungan teknik secara manual yang dikombinasikan dengan simulasi optimasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas panel surya 9–10,5 kWp mampu memenuhi kebutuhan energi harian. Simulasi HOMER merekomendasikan konfigurasi optimal berupa PV 9 kWp, inverter 3,2 kW, dan 17 unit baterai yang menghasilkan Net Present Cost (NPC) sebesar USD 23.874,79 dan Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar USD 0,296/kWh. Sistem mencapai renewable fraction 100% dengan shortage yang sangat rendah. Secara keseluruhan, sistem PLTS ini layak diterapkan dan berpotensi menjadi sarana pembelajaran praktis bagi mahasiswa dalam memahami sistem energi terbarukan.

Kata Kunci: *PLTS, proyektor LCD, analisis tekno-ekonomis, perencanaan energi, HOMER*

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang andal merupakan salah satu faktor kunci dalam mendukung kegiatan operasional institusi pendidikan, khususnya pada ruang-ruang pembelajaran yang membutuhkan perangkat

elektronik seperti *Liquid Crystal Display* (LCD) proyektor. Di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar, LCD proyektor menjadi perangkat utama dalam proses pembelajaran karena digunakan hampir sepanjang jam akademik setiap harinya. Ketergantungan yang tinggi

pada energi listrik konvensional menyebabkan konsumsi daya yang besar dan berkelanjutan, s radiasi matahari harian yang tinggi, yaitu sekitar 4,5–4,8 kWh/m² per hari di sebagian besar wilayah termasuk Magelang (Arbye *et al.*, 2025). Potensi ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai pilihan strategis dalam mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Sistem PLTS terus berkembang dan telah terbukti mampu menyediakan suplai listrik berkelanjutan untuk berbagai jenis fasilitas, baik di perkotaan maupun di daerah terpencil (Ajiwiguna and Kirom, 2024; Warburg, Pogrebnya and Kivevele, 2024).

Berbagai studi menunjukkan bahwa sistem PLTS, baik *on-grid*, *off-grid*, maupun *hybrid*, dapat berfungsi secara mandiri sebagai sumber energi utama untuk beban listrik rendah hingga menengah. Sistem *off-grid* bahkan menjadi solusi yang dapat diandalkan untuk wilayah yang memerlukan suplai listrik kontinu tanpa bergantung pada jaringan listrik umum (Aljuboury *et al.*, 2024). Selain itu, implementasi sistem PLTS dengan kombinasi unit penyimpanan energi (*multi-storage*) terbukti mampu meningkatkan stabilitas pasokan, mengurangi kehilangan energi, serta memperpanjang keandalan operasi harian (Anayochukw Ani, 2024). Ketersediaan metodologi perencanaan PLTS yang semakin baik juga didukung oleh literatur terkini. Banyak studi menekankan pentingnya proses *sizing*, optimasi kapasitas, dan perhitungan tekno-ekonomis, termasuk analisis kapasitas panel, inverter, serta kebutuhan baterai berdasarkan profil beban aktual (Henry and Mohamad Nor, 2023; Kafando, Yamegueu and Houdji, 2024). Pendekatan perencanaan modern juga memanfaatkan perangkat lunak berbasis optimasi seperti HOMER Pro, yang telah terbukti mampu menghasilkan konfigurasi PLTS paling efisien dari sisi teknis dan ekonomis. Penjelasan komprehensif terkait pendekatan ini telah dikemukakan oleh Ross-Hopley, Ugwu and Ibrahim, (2024) dan Yadav, Kumar and Kumar, (2024), yang menegaskan bahwa optimasi PLTS perlu mempertimbangkan *Renewable Fraction*, *Capacity Shortage*, *Battery Autonomy*, NPC, dan LCOE untuk mendapatkan desain yang optimal.

Dalam konteks bangunan pendidikan, kebutuhan energi yang stabil dan berkelanjutan tidak hanya berdampak pada kelancaran kegiatan akademik, tetapi juga mendukung upaya efisiensi energi institusi serta implementasi kampus hijau (*green campus*). Beberapa institusi pendidikan bahkan telah memulai integrasi PLTS sebagai sumber energi utama untuk fasilitas pembelajaran (Riyanto *et al.*, 2025). Dengan semakin meningkatnya kesadaran terhadap energi bersih dan tuntutan efisiensi operasional, penerapan sistem PLTS di lingkungan kampus menjadi langkah realistis dan relevan. Berdasarkan latar belakang tersebut, perancangan sistem PLTS untuk mendukung operasional LCD proyektor di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar menjadi penting untuk dilakukan. Penggunaan PLTS tidak hanya berpotensi mengurangi beban konsumsi listrik dari PLN,

tetapi juga memberikan nilai tambah berupa stabilitas suplai energi, pengurangan biaya operasional jangka panjang, serta kontribusi terhadap upaya transisi energi bersih di lingkungan perguruan tinggi.

METODE PENELITIAN

Alur Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis agar hasil perencanaan sistem panel surya dapat diperoleh dengan baik. Tahapan tersebut meliputi proses identifikasi kebutuhan energi, pengumpulan data teknis, perhitungan kapasitas sistem, perancangan konfigurasi sistem, serta analisis kelayakan lokasi. Alur pelaksanaan kajian yaitu terdiri dari:

1. Identifikasi Masalah dan Tujuan – Menentukan permasalahan utama berupa tingginya konsumsi listrik dari operasional LCD proyektor dan kebutuhan akan sumber energi alternatif berbasis PLTS.
2. Pengumpulan Data – Melakukan observasi langsung di Gedung Fakultas Teknik 2 untuk memperoleh data jumlah ruang, daya proyektor, waktu penggunaan, kondisi atap, dan data iradiasi matahari wilayah Magelang.
3. Perhitungan Kebutuhan Energi – Menghitung total kebutuhan energi harian berdasarkan daya proyektor dan durasi pemakaian.
4. Perancangan Sistem PLTS – Menentukan kapasitas panel surya, baterai *buffer*, *inverter*, serta skema sistem kelistrikan yang sesuai.
5. Analisis Pemilihan Area Atap – Mengevaluasi pemasangan sistem berdasarkan kondisi arah bangunan, luas area atap, dan kebutuhan energi.
6. Simulasi dan Optimasi dengan HOMER Pro - Memasukkan hasil perhitungan manual ke dalam HOMER untuk mendapatkan konfigurasi PV–baterai–inverter yang paling optimal secara teknis dan ekonomis.
7. Penyusunan Laporan Akhir – Mengkompilasi seluruh hasil perhitungan, analisis, dan rancangan sistem ke dalam bentuk laporan studi kasus.

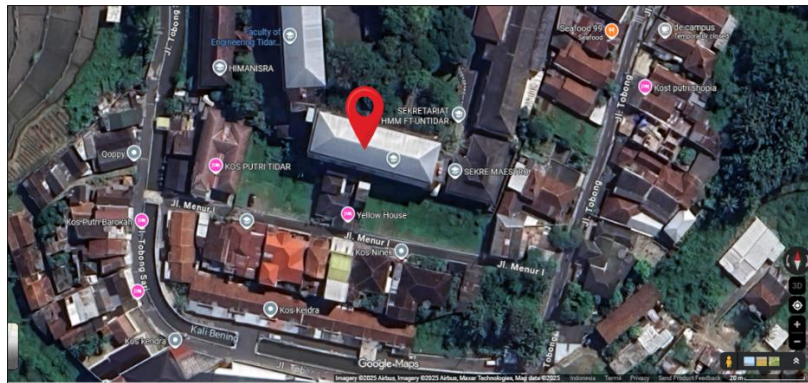
Tahapan tersebut dilakukan secara berurutan dan saling berkaitan sehingga hasil perencanaan dapat menggambarkan kondisi nyata di lapangan serta mendukung kelayakan teknis penerapan sistem PLTS di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar.

Gambaran Umum Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan sistem panel surya berada di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar yang berlokasi di Kampus Utama Universitas Tidar, Jalan Kapten Suparman No. 39, Kota Magelang, Jawa Tengah. Gedung ini merupakan salah satu fasilitas utama kegiatan akademik di lingkungan Fakultas Teknik yang digunakan untuk kegiatan perkuliahan, penelitian, dan administrasi akademik terutama untuk program studi S1 Teknik Mesin. Aktivitas di dalam gedung berlangsung cukup padat setiap

hari kerja, mulai pukul 07.00 hingga 18.00 WIB, dengan dominasi kegiatan pembelajaran di ruang-ruang kuliah.

Pada Gambar 1 disajikan informasi mengenai lokasi gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar.



Gambar 1. Lokasi Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar di Kampus Utama

Gedung Fakultas Teknik 2 memiliki empat lantai dengan fungsi ruang yang berbeda pada tiap tingkatnya. Lantai pertama digunakan untuk laboratorium serta ruang penyimpanan alat-alat praktik. Lantai kedua difungsikan sebagai ruang dosen, ruang administrasi program studi, dan laboratorium komputer yang digunakan untuk kegiatan pembelajaran berbasis perangkat lunak teknik. Pada lantai ketiga terdapat empat ruang kuliah dan satu laboratorium praktikum yang aktif digunakan untuk

kegiatan perkuliahan setiap hari. Sementara itu, lantai keempat digunakan sebagai area utama kegiatan pembelajaran dengan lima ruang kuliah aktif yang seluruhnya dilengkapi dengan perangkat LCD proyektor. Dengan demikian, total terdapat sembilan ruang kuliah aktif yang menjadi fokus utama dalam perencanaan sistem panel surya ini. Pada Gambar 2 disajikan informasi mengenai cuplikan ruang kuliah di gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar.



Gambar 2. Cuplikan Pemanfaatan LCD Proyektor Dalam Proses Belajar Mengajar di Ruang Kuliah

Setiap ruang kuliah di lantai tiga dan empat Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar dilengkapi satu unit LCD proyektor dengan daya 203 Watt (Mode Eco) hingga 282 Watt (Mode Normal), yang beroperasi sekitar 9–10 jam per hari mengikuti jadwal perkuliahan. Dominasi penggunaan beban pada siang hari menjadikan PLTS sangat relevan karena ketersediaan energi surya berada pada puncaknya pada waktu yang sama. Secara geografis, gedung ini berada pada koordinat $7^{\circ}46'$ LS dan $110^{\circ}21'$ BT dengan ketinggian ± 400 meter, serta berada pada wilayah tropis basah dengan intensitas radiasi harian rata-rata $4,5\text{--}4,8$ kWh/m²/hari (S *et al.*, 2025), sehingga ideal untuk penerapan panel surya. Atap gedung memiliki kemiringan $15\text{--}20$ derajat dan orientasi utara–selatan, memungkinkan kedua sisi atap (timur dan barat)

menerima paparan matahari sepanjang hari tanpa halangan dari bangunan atau pepohonan tinggi. Akses menuju atap juga mudah sehingga mempermudah instalasi dan pemeliharaan. Dari sisi kelistrikan, gedung terhubung ke jaringan PLN tiga fasa, namun sistem PLTS yang dirancang dalam penelitian ini bersifat off-grid dan diprioritaskan untuk menyuplai beban LCD proyektor. Berdasarkan kondisi arsitektur gedung, orientasi atap, dan potensi radiasi matahari di Magelang, lokasi ini sangat layak untuk implementasi PLTS skala kecil sekaligus berfungsi sebagai proyek percontohan energi terbarukan di lingkungan Universitas Tidar.

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar, meliputi identifikasi jumlah ruang kuliah yang menggunakan LCD proyektor serta pencatatan durasi operasional hariannya. Data sekunder diperoleh dari spesifikasi teknis perangkat, data radiasi matahari, literatur perancangan PLTS atap, dan dokumen internal kampus. Seluruh data tersebut digunakan dalam perhitungan kebutuhan energi dan perancangan sistem PLTS. Analisis data dilakukan dengan memadukan perhitungan manual dan simulasi optimasi menggunakan HOMER Pro. Seluruh perhitungan dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) – (2.9) sebagai berikut:

(i) **Kapasitas panel surya:** dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian (E_{load}), nilai Peak Sun Hours (PSH), dan efisiensi sistem (η_{system}). Nematirad *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa PSH dan rugi-rugi sistem merupakan parameter paling berpengaruh dalam menentukan ukuran modul PV. Rumus umum yang digunakan adalah:

$$P_{PV} = \frac{E_{load}}{PSH \times \eta_{system}} \quad (2.1)$$

(ii) **Pemilihan kapasitas inverter:** didasarkan pada daya puncak beban (P_{peak}) dan efisiensi inverter (η_{conv}). Untuk menjaga keandalan, kapasitas minimum inverter dianalisis menggunakan:

$$P_{conv,min} = \frac{P_{peak}}{\eta_{conv}} \quad (2.2)$$

Henry and Mohamad Nor, (2023) menyarankan penggunaan faktor cadangan 10–25% untuk mengantisipasi lonjakan arus dan derating suhu pada sistem *off-grid*:

$$P_{conv, rekom} = P_{conv,min} \times FC \quad (2.3)$$

(iii) **Perencanaan Kapasitas Baterai:** Sistem penyimpanan energi diperlukan untuk menjaga kontinuitas suplai listrik terutama ketika radiasi matahari menurun. Henry and Mohamad Nor, (2023) dan Nematirad *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa perhitungan kapasitas baterai melibatkan kebutuhan energi buffer, karakteristik baterai, dan durasi otonomi. Energi buffer dihitung dari daya rata-rata operasi (P_{avg}) dan durasi otonomi yang dibutuhkan (t_b):

$$E_{buffer} = P_{avg} \times t_b \quad (2.4)$$

Energi efektif yang dapat disalurkan per unit baterai dipengaruhi oleh kapasitas nominal (E_{nom}), *depth of discharge* (DOD), dan efisiensi konversi sistem (η_{conv}):

$$E_{unit,AC} = E_{nom} \times DOD \times \eta_{conv} \quad (2.5)$$

Jumlah baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi durasi otonomi tertentu ditentukan dengan:

$$N_{batt} = \frac{E_{buffer}}{E_{unit,AC}} \quad (2.6)$$

Selain itu, kapasitas energi total baterai juga dapat dihitung dengan pendekatan umum berbasis kebutuhan energi harian dan durasi otonomi:

$$E_{bat} = \frac{E_{load} \times N_{aut}}{DOD \times \eta_{bat}} \quad (2.7)$$

(iv) **Dari aspek ekonomi:** HOMER menghitung *Net Present Cost* (NPC) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) untuk menentukan biaya total sistem sepanjang umur proyek. Formulasi NPC secara umum dirumuskan sebagai (Yadav, Kumar and Kumar, 2024):

$$NPC = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2.8)$$

dengan: C_t = biaya tahunan ke- t , meliputi investasi awal, penggantian komponen, operasi, dan pemeliharaan; r = tingkat diskonto, dan N = umur proyek (tahun). LCOE dihitung berdasarkan total biaya sepanjang umur proyek dibagi total energi listrik tahunan (Alhayali and Mehrtash, 2024):

$$LCOE = \frac{NPC_{total} \times CRF}{E_{annual}} \quad (2.9)$$

di mana, NPC_{total} = nilai kini bersih total sistem, CRF = *capital recovery factor*, dan E_{annual} = energi listrik tahunan (kWh).

Gabungan formula ini digunakan untuk menentukan kapasitas baterai yang optimal berdasarkan kebutuhan energi, durasi otonomi, efisiensi konversi, dan performa teknologi baterai yang digunakan. Dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi secara simultan, analisis tekno-ekonomis berbasis HOMER memberikan landasan kuat dalam perencanaan PLTS modern, terutama untuk aplikasi *off-grid* dan hybrid di wilayah dengan potensi radiasi yang stabil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Energi Listrik Operasional LCD Proyektor

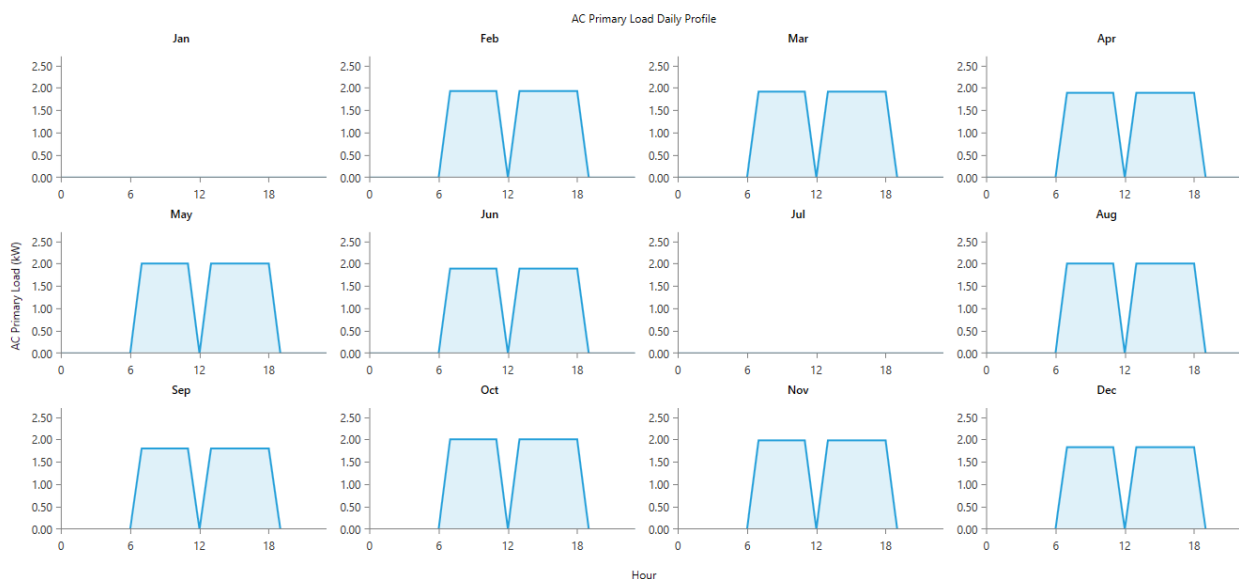
Analisis kebutuhan energi dimulai dengan mengidentifikasi jumlah perangkat, kapasitas daya, serta lama waktu pemakaian harian. Berdasarkan hasil observasi, Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar memiliki sembilan ruang kuliah aktif yang masing-masing dilengkapi satu unit LCD proyektor merek ESPON seri X450. Perangkat ini digunakan sebagai media pembelajaran utama pada kegiatan perkuliahan di lantai tiga dan empat gedung, dengan waktu operasional rata-rata sepuluh sampai sebelas jam per hari. Spesifikasi dari LCD proyektor yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis LCD Proyektor EPSON XP450

Parameter	Nilai / Keterangan
Merek / Tipe	EPSON XP450
Sumber Daya Listrik	100–240 V AC ±10%, 50/60 Hz
Daya Konsumsi (Mode Normal)	282 W
Daya Konsumsi (Mode Eco)	203 W
Daya Siaga (Standby)	2,0 W (Network On) / 0,2 W (Network Off)
Dimensi (P × L × T)	234 × 302 × 77 mm
Berat	± 2,5 kg

Selama kegiatan perkuliahan berlangsung, perangkat ini beroperasi mulai pukul 07.00 hingga 18.00 WIB. Berdasarkan spesifikasi tersebut, daya konsumsi proyektor dalam mode Normal adalah 282 watt, sedangkan dalam mode Eco sebesar 203 watt. Dalam kegiatan perkuliahan, mode yang digunakan bervariasi

tergantung kebutuhan pencahayaan ruang. Oleh karena itu, untuk kepentingan analisis perencanaan, digunakan nilai konservatif sebesar 300 watt per unit sebagai acuan perhitungan kebutuhan energi harian. Pada Gambar 3. disajikan informasi mengenai profil beban listrik untuk operasional LCD proyektor selama 1 tahun.



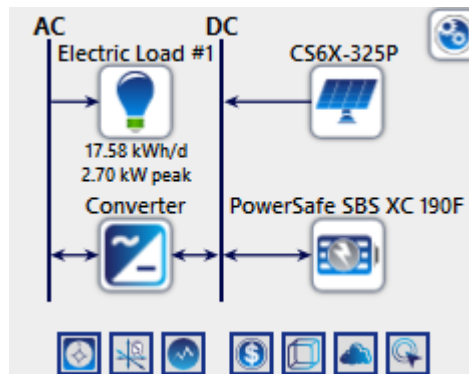
Gambar 3. Hasil Simulasi Profil Beban Listrik Harian Rata-Rata LCD Proyektor Menggunakan Software HOMER

Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil simulasi profil beban listrik harian rata-rata untuk sembilan unit LCD proyektor yang digunakan dalam kegiatan perkuliahan di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar. Pola beban listrik harian menunjukkan karakteristik yang relatif konstan selama jam operasional, yaitu antara pukul 07.00 hingga 18.00 WIB. Tidak terdapat puncak beban yang mencolok karena seluruh ruang kuliah digunakan secara bersamaan sejak awal hingga akhir kegiatan belajar mengajar. Konsumsi energi dimulai pada pukul 07.00 ketika semua ruang kuliah mulai aktif, kemudian bertahan stabil hingga sekitar pukul 12.00, dilanjutkan kembali setelah jeda istirahat siang pada pukul 13.00 hingga 18.00. Setiap unit proyektor memiliki daya konsumsi rata-rata sebesar 300 W, sehingga total energi harian yang digunakan mencapai sekitar 29,7 kWh. Nilai ini dimasukkan ke dalam perangkat lunak HOMER sebagai

daily load profile utama yang merepresentasikan kondisi operasional nyata di lingkungan kampus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total konsumsi energi tahunan untuk operasional seluruh perangkat mencapai 6.414 kWh per tahun, yang setara dengan 641 kWh per bulan aktif apabila disesuaikan dengan periode efektif perkuliahan selama sepuluh bulan dalam satu tahun kalender.

Analisis Kapasitas dan Konfigurasi Sistem PLTS Off Grid Menggunakan HOMER

Penentuan ukuran komponen sistem dilakukan melalui optimasi menggunakan HOMER, dengan sasaran utama *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) terendah, serta tingkat keandalan yang sesuai dengan operasional perkuliahan. Pada Gambar 4 disajikan informasi mengenai arsitektur sistem yang digunakan pada pemodelan di HOMER.



Gambar 4 Konfigurasi Pemodelan Sistem di HOMER

Secara umum, sistem terdiri atas tiga komponen utama, yaitu modul panel surya (PV), baterai penyimpanan energi, dan inverter. Hasil simulasi dengan

menggunakan *software* HOMER terkait teknis, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Teknis Hasil Simulasi Sistem

Parameter	Konfigurasi (PV-Baterai-Konverter)
Komponen	PV: 14,6 kWp (46 panel), EnerSys PowerSafe SBS XC 190F Battery: 24 qty, Converter: 2,9 kW
Electricity production (kWh/year)	
a. PV	20.638
b. Baterai	Energy in (1.853) - Energy out (1.808)
Excess Electricity (kWh/year) (%)	13.841 (67,1%)
Renewable Fraction	100%

Berdasarkan hasil simulasi teknis sistem PV–Baterai–Konverter untuk Gedung FT 2 menggunakan HOMER, diperoleh bahwa total produksi energi listrik tahunan dari panel surya mencapai 20.638 kWh/tahun dengan *Renewable Fraction* sebesar 100%, menandakan bahwa seluruh kebutuhan energi listrik sepenuhnya dipasok oleh sumber energi terbarukan dengan *annual capacity shortage* sebesar 0%. Namun demikian, hasil simulasi juga menunjukkan adanya *excess electricity* yang cukup tinggi, yaitu mencapai 13.841 kWh/tahun atau sekitar 67,1% dari total energi yang dihasilkan. Nilai ini menunjukkan bahwa kapasitas sistem PV jauh lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan beban aktual yang hanya 6.414 kWh/tahun, sehingga sebagian besar energi listrik yang dihasilkan tidak termanfaatkan secara optimal. Energi yang tersimpan di dalam baterai mencapai 1.853 kWh, dengan energi yang dilepaskan kembali sebesar 1.808 kWh, menunjukkan bahwa sistem penyimpanan hanya digunakan sebagian kecil dari total energi yang dihasilkan oleh panel surya. Kombinasi antara kapasitas PV sebesar 14,2 kW, baterai sebanyak 24 unit, dan konverter berkapasitas 2,9 kW terbukti mampu menyediakan energi listrik secara berkelanjutan untuk operasional LCD proyektor. Dari sisi ekonomi, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ini memiliki NPC sebesar \$37.654,67 dan LCOE sebesar \$0,454/kWh.

Analisis Konfigurasi Teknis Sistem PLTS Off-Grid Perhitungan Manual

Sebagai langkah verifikasi terhadap hasil simulasi, dilakukan perhitungan manual juga untuk memastikan kecukupan kapasitas sistem PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi harian.

(i) Kapasitas PV:

Berdasarkan Persamaan (2.1), kapasitas PV dihitung dari kebutuhan energi harian sebesar 29,7 kWh/hari dengan nilai PSH 4,5–5,0 jam dan efisiensi sistem 0,836. Hasil perhitungan menghasilkan kebutuhan kapasitas PV sebesar 7,1–7,9 kWp. Nilai ini mewakili kondisi ideal tanpa mempertimbangkan variabilitas cuaca, rugi-rugi instalasi, serta degradasi modul. Dalam praktiknya, output energi PV dapat berkurang akibat pergerakan awan, suhu tinggi, shading sesaat, serta performa komponen yang menurun dari waktu ke waktu. Selain itu, agar siklus pengisian–pengosongan baterai tidak terlalu sering, sebagian energi diupayakan mengalir langsung dari panel ke beban (*direct PV to load*). Oleh karena itu, kapasitas hasil perhitungan ideal tersebut ditingkatkan secara konservatif menjadi 9–10,5 kWp untuk memberikan buffer energi tambahan sekaligus menjaga keandalan suplai harian. Dengan kapasitas 9–10,5 kWp, estimasi keluaran energi harian berada pada kisaran 33,8–44,0 kWh/hari, yang memberi margin 14–48% terhadap kebutuhan beban 29,7 kWh/hari. Margin ini cukup untuk mengatasi fluktuasi irradiansi dan mengurangi ketergantungan pada baterai.

Oleh karena itu, kapasitas 9–10,5 kWp direkomendasikan sebagai pilihan konservatif yang lebih andal dan efisien.

(ii) Kapasitas PV:

Penentuan kapasitas konverter dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat mampu melayani daya puncak beban sekaligus menahan lonjakan arus sesaat. Berdasarkan Persamaan (2.2), kapasitas minimum konverter dihitung dari daya puncak beban 2,7 kW dengan efisiensi konversi 0,95 sehingga diperoleh nilai 2,84 kW. Dalam kondisi operasi nyata, kapasitas minimum ini tidak cukup karena perlu mempertimbangkan lonjakan arus awal, deviasi tegangan, dan derating akibat suhu. Oleh sebab itu, kapasitas konverter direkomendasikan menggunakan faktor cadangan sebagaimana pada Persamaan (2.3), yaitu sebesar 1,12–1,24 kali kapasitas minimum, sehingga menghasilkan kapasitas konverter ideal pada rentang 3,2–3,5 kW. Rentang kapasitas ini dinilai paling sesuai karena memberikan margin keamanan 20–30%, tetap efisien secara energi, tidak menyebabkan oversizing pada sistem, serta kompatibel dengan kapasitas PV konservatif 9–10,5 kWp yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan beban siang hari.

(iii) Kapasitas Baterai:

Perhitungan kapasitas baterai dilakukan untuk menyediakan buffer energi beberapa jam ketika irradiansi turun. Berdasarkan Persamaan (2.4), energi buffer dihitung dari rasio durasi backup terhadap total energi harian beban. Energi efektif satu unit baterai (2,51 kWh, DoD 80%, $\eta = 0,95$) dihitung menggunakan Persamaan

(2.5), menghasilkan sekitar 1,9 kWh/unit. Jumlah baterai yang dibutuhkan kemudian diperoleh melalui Persamaan (2.6), sedangkan durasi otonomi operasi dapat diperkirakan dengan Persamaan (2.7). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa buffer 6 jam membutuhkan sekitar 11–12 unit, sedangkan buffer 8 jam membutuhkan sekitar 12–14 unit. Dengan mempertimbangkan beban siang-hari 2,7 kW dan kapasitas PV konservatif 9–10,5 kWp, konfigurasi yang paling optimal dan stabil adalah 12 unit baterai, memberikan buffer sekitar 8 jam. Alternatif lebih hemat dapat menggunakan 8–10 unit, sedangkan untuk cuaca sering mendung jumlahnya dapat ditingkatkan hingga 14 unit.

Analisis Hasil Optimasi (*Search Space*) HOMER Dan Konfigurasi Final

Pada tahap ini dilakukan simulasi HOMER dengan *search space* yang telah dikunci pada rentang yang dinilai konservatif dari hasil perhitungan manual, yakni PV = 9,0–10,5 kWp dan converter = 3,2–3,5 kW. Variabel yang dieksplorasi adalah baterai (jumlah unit) dan batas *shortage* pada, dengan kendala maksimum *shortage* = 5%. Simulasi dijalankan bertahap untuk *shortage* target mulai dari 0 - 5%, sehingga diperoleh tren kebutuhan kapasitas (PV, konverter, dan baterai) terhadap toleransi *shortage* serta dampaknya pada NPC dan LCOE. Pada Tabel 3. disajikan informasi mengenai hasil simulasi konfigurasi baterai dengan variasi nilai *shortage* maksimum.

Tabel 3. Hasil simulasi search space HOMER berdasarkan variasi nilai shortage

Nilai <i>shortage</i>	PV	Konverter	Baterai	NPC	LCOE
0% (<i>basic</i>)*	14,6 kWp (46 panel)	2.9 kW	24 qty	\$37.654,67	\$0,454/kWh
0%	10 kWp (32 panel)	3.2 kW	20 qty	\$33.488,39	\$0,404/kWh
1%	9.21kWp (29 panel)	3.2 kW	25 qty	\$29.410,54	\$0,357/kWh
2%	10 kWp (32 panel)	3.2 kW	20 qty	\$26.929,88	\$0,329/kWh
3%	9.04 kWp (29 panel)	3.2 kW	20 qty	\$25.913,49	\$0,319/kWh
4%	9 kWp (28 panel)	3.2 kW	19 qty	\$25.209,72	\$0,311/kWh
5%	9 kWp (28 panel)	3.2 kW	17 qty	\$23.874.79	\$0,296/kWh

**Basic*: simulasi tanpa batasan search space untuk PV dan Converter

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 3 terlihat bahwa variasi batas *shortage* dari 0% hingga 5% memberikan dampak terhadap konfigurasi sistem, terutama dalam pengurangan kapasitas PV dan jumlah baterai yang dibutuhkan. Pada kondisi awal tanpa batasan (*baseline*), HOMER cenderung menghasilkan konfigurasi yang terlalu besar dengan PV 14,6 kWp dan baterai 24

unit untuk menjaga *shortage* 0%, sehingga biaya sistem menjadi sebesar NPC USD 37.654,67; LCOE USD 0,454/kWh. Ketika dilakukan pembatasan *search space* dengan PV 9–10,5 kWp dan converter 3,2–3,5 kW, sistem menjadi lebih proporsional. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik diperoleh pada *shortage* 5%, dengan PV 9 kWp (setara 28 panel 320 Wp), converter 3,2

kW, dan baterai 17 unit. Kombinasi ini menghasilkan nilai NPC hingga USD 23.874,79 dan LCOE menjadi USD 0,296/kWh, dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.8) – (2.9). Dengan nilai *shortage* 5%, berdasarkan hasil simulasi HOMER yang masih dalam batas aman untuk operasi beban siang-hari, konfigurasi ini dipilih sebagai rancangan akhir yang paling layak secara teknis dan ekonomis, serta sejalan dengan hasil perhitungan manual

yang bersifat konservatif. Berdasarkan perhitungan manual, konfigurasi dengan baterai 17 unit dapat bertahan sekitar ± 12 jam pada beban rata-rata operasi 2,7 kW, dan diyakini mampu memenuhi seluruh *load* hingga batas *shortage* 0%. Pada Gambar 5 disajikan informasi visualisasi pemasangan panel surya pada atap gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar.



Gambar 5 Visualisasi Pemasangan 28 Modul Panel Surya Berkapasitas 9 kWp pada Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan ruang, 28 panel surya berkapasitas 320 Wp dengan dimensi rata-rata $1,0 \times 1,93$ m ($\approx 1,93$ m²/panel) memerlukan luasan efektif sekitar 55–60 m², termasuk jarak antar panel dan ruang servis minimal 10–15%. Konfigurasi PV 9 kWp (28 panel 320 Wp), converter 3,2 kW, dan baterai 17 unit merupakan rancangan yang diusulkan untuk tahap implementasi lapangan. Desain sistem ini diharapkan juga dapat dipasang dan beroperasi secara optimal tanpa memerlukan perubahan struktural yang signifikan pada struktur bangunan existing.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, kebutuhan energi harian untuk pengoperasian sembilan LCD proyektor di Gedung Fakultas Teknik 2 Universitas Tidar adalah sekitar 29,7 kWh per hari. Perhitungan kapasitas menunjukkan bahwa PLTS dengan kisaran 9–10,5 kWp, inverter 3,2–3,5 kW, dan baterai 10–14 unit sudah mampu memenuhi kebutuhan energi harian tersebut. Sementara itu, hasil optimasi HOMER Pro merekomendasikan konfigurasi paling optimal berupa 9 kWp PV, inverter 3,2 kW, dan 17 unit baterai, yang memberikan annual capacity shortage sangat rendah. Evaluasi tekno-ekonomis juga menunjukkan bahwa sistem ini layak diterapkan, dengan nilai *Net Present Cost* (NPC) sebesar USD 23.874,79 dan *Levelized Cost of Energy*

(LCOE) sebesar USD 0,296/kWh. Secara keseluruhan, konfigurasi ini dinilai stabil, efisien, dan sesuai untuk implementasi PLTS skala kecil pada beban siang-hari di lingkungan kampus.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajiwiguna, T. A. and Kirom, M. R. (2024) 'Uninterrupted Electricity Supply using Off-Grid Solar PV Systems for Remote Areas', *International Journal of Technology*, 15(5), p. 1561. doi: 10.14716/ijtech.v15i5.6089.
- Alhayali, O. J. and Mehrtash, M. (2024) 'Techno-economic optimization of hybrid energy systems for zero energy buildings in remote communities: a case study from Turkey', *Journal of Building Design and Environment*, pp. 1–19. doi: 10.70401/jbde.2024.0002.
- Aljouboury, A. S. *et al.* (2024) 'Analysis of a self-sufficient photovoltaic system for a remote, off-grid community', *F1000Research*, 11, p. 1540. doi: 10.12688/f1000research.128868.2.
- Anayochukwu Ani, V. (2024) 'Development of a stand-alone photovoltaic (PV) energy system with multi-storage units for sustainable power supply', *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 9, p. 10. doi: 10.1051/rees/2024007.
- Arbye, S. *et al.* (2025) 'Analysis of Rooftop Solar Power Plant Development Potential in Magelang City : A Case Study of Office Buildings , Universities , And Hotels',

- Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)*, 8(01), pp. 10–26. doi: 10.25299/rem.2025.vol8(01).20775.
- Henry, A. Z. and Mohamad Nor, A. F. (2023) 'Sizing Standalone PV Systems: A Review of Optimization Techniques and Methodologies', *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 10(12), pp. 54–59. doi: 10.22362/ijcert/2023/v10/i12/v10i127.
- Kafando, J. G., Yamegueu, D. and Houdji, E. T. (2024) 'Review on sizing and management of stand-alone PV/WIND systems with storage', *Heliyon*, 10(18), p. e38080. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e38080.
- Nematirad, R. *et al.* (2023) 'Optimal sizing of photovoltaic-battery system for peak demand reduction using statistical models', *Frontiers in Energy Research*, 11(December), pp. 1–13. doi: 10.3389/fenrg.2023.1297356.
- Patrisia, Y., Gunasekara, C., Setunge, S., Mendis, P., & Nanayakkara, O. (2025). Multi-perspective evaluation of waste-derived cellulose fiber concrete: engineering performance, microstructure and sustainability. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/23789689.2025.2561203>
- Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D.W., Loh, T., Nguyen, K., Setunge, S., & So, T.S. (2025) Advanced manufacturing of waste-integrated concrete roof tiles: Scaling up to TRL 6. *Sustainable Materials and Technologies*, 45: e01461. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2025.e01461>
- Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D.W., Setunge, S., & Kaminsky, B. (2025b) Engineering and thermo-acoustic insulation performance of recycled waste concrete composites. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*:1-19. <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2533996>.
- Peiris, D., Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D. W., Tam, V. W. Y., & Setunge, S. (2025). Environmental impact of recycled aggregate treatment methods using life-cycle assessment and cost analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02565-1>
- Riyanto, S. D. *et al.* (2025) 'Perancangan dan Simulasi Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On Grid Pada Gedung Kuliah dan Laboratorium', *Infotekmesin*, 16(02), pp. 471–476. doi: 10.35970/infotekmesin.v16i2.2800.
- Ross-Hopley, D., Ugwu, Lord and Ibrahim, H. (2024) 'Review of Techno-Economic Analysis Studies Using HOMER Pro Software', in *1st International Conference on Industrial, Manufacturing, and Process Engineering (ICIMP-2024)*. Basel Switzerland: MDPI, p. 94. doi: 10.3390/engproc2024076094.
- S, A. *et al.* (2025) 'Analisis Penyediaan Air Bersih Berkelanjutan di Kota Magelang Melalui Pemanfaatan Energi Surya Sampai Dengan Tahun 2033', *DINAMIKA : Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), pp. 12–22. doi: 10.33387/dinamik.v10i1.9939.
- Warburg, C. T., Pogrebnaya, T. and Kivevele, T. (2024) 'Electrical power output potential of different solar photovoltaic systems in Tanzania', *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(4), pp. 673–682. doi: 10.61435/ijred.2024.58972.
- Yadav, S., Kumar, P. and Kumar, A. (2024) 'Techno-economic assessment of hybrid renewable energy system with multi energy storage system using HOMER', *Energy*, 297(September 2023), p. 131231. doi: 10.1016/j.energy.2024.131231.