

DESAIN SISTEM INSTALASI ENERGI LISTRIK MENGUNAKAN TENAGA SURYA PADA GEDUNG LABORATORIUM FISIKA – UNIMED

¹Hutur P Siahaan,²Eka Dodi Suryanto, ³Dian Putra Saragi

¹²³Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan

¹hutur.5223230021@mhs.unimed.ac.id, ²ekadodisuryanto@unimed.ac.id,
dianpsaragi@unimed.ac.id

Abstract *This research aims to design and analyze a hybrid solar power plant (PLTS)-based electrical energy installation system in the Physics Laboratory Building of Medan State University (UNIMED) as a sustainable energy solution. The methods used include electrical load analysis, solar energy potential evaluation, and system simulation to determine the optimal configuration technically and economically. The results show that the daily electrical energy demand of ± 99 kWh/day can be met by a 17.4 kWp solar power plant system capable of supplying approximately 60% of the energy requirement, supported by a 37.1 kWh battery and a 21 kW inverter, while the remainder is met by the PLN grid. This hybrid system has been proven to improve energy supply reliability, reduce dependence on conventional energy, and has the potential to provide long-term cost efficiency, making it suitable for implementation as part of renewable energy development in the campus environment.*

Keywords: *hybrid PLTS, solar energy, electrical installation, energy efficiency, renewable energy*

Abstrak Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis sistem instalasi energi listrik berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hybrid pada Gedung Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan (UNIMED) sebagai solusi energi berkelanjutan. Metode yang digunakan meliputi analisis beban listrik, evaluasi potensi energi surya, serta simulasi sistem untuk menentukan konfigurasi yang optimal secara teknis dan ekonomis. Hasil menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik harian sebesar ± 99 kWh/hari dapat dipenuhi melalui sistem PLTS berkapasitas 17,4 kWp yang mampu menyuplai sekitar 60% kebutuhan energi, dengan dukungan baterai 37,1 kWh dan inverter 21 kW, sementara sisanya dipenuhi oleh jaringan PLN. Sistem hybrid ini terbukti mampu meningkatkan keandalan suplai energi, mengurangi ketergantungan terhadap energi konvensional, serta berpotensi memberikan efisiensi biaya dalam jangka panjang, sehingga layak diterapkan sebagai bagian dari pengembangan energi terbarukan di lingkungan kampus.

Kata kunci: *PLTS hybrid, energi surya, instalasi listrik, efisiensi energi, energi terbarukan*

Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aktivitas manusia, termasuk dalam sektor pendidikan. Perkembangan teknologi serta meningkatnya aktivitas akademik menyebabkan kebutuhan energi listrik pada fasilitas pendidikan seperti gedung perkuliahan dan laboratorium terus meningkat. Namun demikian, sebagian besar kebutuhan energi listrik saat ini masih bergantung pada sumber energi fosil yang bersifat tidak terbarukan. Ketersediaan energi fosil yang semakin terbatas serta dampak lingkungan yang ditimbulkannya menjadi tantangan besar dalam penyediaan energi listrik di masa depan.

Selain keterbatasan sumber energi fosil, ketergantungan terhadap pasokan listrik dari jaringan utama juga dapat menimbulkan permasalahan dalam operasional kegiatan akademik. Gangguan atau pemadaman listrik dari jaringan dapat menghambat proses pembelajaran, penelitian, maupun kegiatan praktikum yang membutuhkan suplai energi listrik yang stabil dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang dapat mendukung keandalan sistem kelistrikan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya. Energi surya merupakan sumber energi yang bersih, ramah lingkungan, serta memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan di Indonesia. Letak geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis memungkinkan negara ini menerima intensitas penyinaran matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun. Melalui teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan modul fotovoltaik, energi cahaya matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan.

Pemanfaatan sistem PLTS pada bangunan gedung, termasuk fasilitas pendidikan, menjadi salah satu langkah strategis dalam mendukung penggunaan energi terbarukan dan penerapan konsep green energy atau green campus. Selain mampu mengurangi konsumsi energi listrik dari jaringan utama, penggunaan PLTS juga dapat meningkatkan efisiensi energi serta menurunkan biaya operasional listrik dalam jangka panjang.

Gedung Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan (UNIMED) merupakan salah satu fasilitas akademik yang memiliki kebutuhan energi listrik cukup besar untuk menunjang kegiatan praktikum, penelitian, serta pengoperasian berbagai peralatan laboratorium. Kebutuhan energi listrik yang tinggi tersebut memerlukan sistem instalasi listrik yang andal dan efisien. Oleh karena itu, perancangan sistem instalasi energi listrik berbasis tenaga surya pada gedung ini menjadi salah satu alternatif solusi untuk mendukung penyediaan energi listrik yang berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang desain sistem instalasi energi listrik menggunakan tenaga surya pada Gedung Laboratorium Fisika UNIMED. Perancangan ini diharapkan dapat memberikan gambaran

mengenai sistem PLTS yang sesuai dengan kebutuhan beban listrik gedung serta dapat menjadi salah satu upaya pemanfaatan energi terbarukan di lingkungan kampus.

Kajian Literatur

1. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari radiasi sinar matahari dan tersedia secara melimpah di alam. Energi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui teknologi fotovoltaik yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Pemanfaatan energi surya memiliki beberapa keunggulan, di antaranya ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, serta memiliki sumber energi yang tidak terbatas selama matahari masih bersinar (Suman & Ahamad, 2018).

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar karena berada di wilayah khatulistiwa. Rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia berkisar antara 4,5 hingga 4,8 kWh/m² per hari, sehingga sangat potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya di berbagai sektor, termasuk pada bangunan gedung dan fasilitas pendidikan

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan modul fotovoltaik untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sistem PLTS umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya (solar module), inverter, baterai (jika menggunakan sistem penyimpanan energi), charge controller, dan sistem instalasi kelistrikan (Alamsyah et al., 2019).

Panel surya berfungsi untuk menangkap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi arus listrik searah (DC). Energi listrik DC tersebut kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter sehingga dapat digunakan oleh peralatan listrik pada bangunan. Sistem PLTS dapat diterapkan dalam beberapa konfigurasi, antara lain sistem off-grid, on-grid, dan hybrid, tergantung pada kebutuhan sistem dan sumber energi yang tersedia.

3. Sistem PLTS pada Bangunan Gedung

Pemanfaatan PLTS pada bangunan gedung atau dikenal dengan istilah Solar Rooftop System merupakan salah satu bentuk penerapan energi terbarukan yang semakin banyak digunakan. Sistem ini memanfaatkan area atap bangunan sebagai lokasi pemasangan panel surya sehingga tidak memerlukan lahan tambahan. Penerapan PLTS pada bangunan dapat membantu mengurangi konsumsi listrik dari jaringan utama serta meningkatkan efisiensi energi pada bangunan (Afif & Martin, 2022).

Selain itu, penggunaan PLTS pada bangunan juga dapat mendukung konsep green building dan green campus, yaitu pembangunan yang memperhatikan efisiensi energi serta dampak lingkungan. Dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi listrik, emisi karbon yang dihasilkan dari penggunaan energi fosil dapat dikurangi secara signifikan.

4. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai perancangan sistem PLTS pada bangunan gedung. Afif dan Martin (2022) melakukan kajian mengenai potensi energi surya sebagai sumber energi alternatif di Indonesia dan menyatakan bahwa pemanfaatan energi surya sangat potensial untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Alamsyah et al. (2019) membahas perencanaan sistem PLTS rooftop pada bangunan dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan PLTS pada bangunan dapat meningkatkan efisiensi energi serta memberikan manfaat ekonomi dalam jangka panjang.

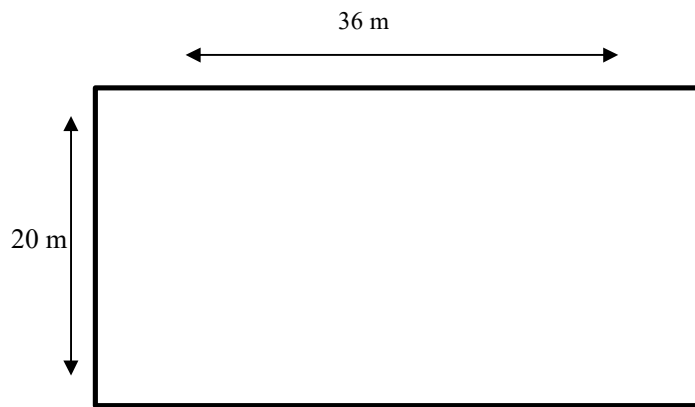
Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, perancangan sistem PLTS pada bangunan pendidikan seperti gedung laboratorium fisika menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan serta meningkatkan keandalan sistem kelistrikan pada fasilitas pendidikan.

5. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan (UNIMED) yang digunakan sebagai fasilitas akademik untuk kegiatan praktikum, penelitian, dan proses pembelajaran mahasiswa. Gedung ini memiliki

beberapa ruangan laboratorium serta ruang pendukung yang membutuhkan suplai energi listrik secara kontinu untuk menunjang operasional kegiatan akademik.

Kebutuhan energi listrik pada gedung ini meliputi penggunaan berbagai peralatan elektronik seperti lampu penerangan, kipas angin, komputer, proyektor, serta peralatan laboratorium yang digunakan selama kegiatan praktikum dan pembelajaran berlangsung. Dalam penelitian ini, analisis beban listrik difokuskan pada ruangan yang memiliki aktivitas penggunaan energi listrik yang cukup tinggi sehingga dapat menggambarkan kebutuhan energi listrik pada gedung laboratorium secara umum.



Gambar 1 Desain Atap Gedung

6. Perhitungan Beban

Data penggunaan beban listrik pada ruang kuliah di Gedung Teknik elektro dikumpulkan untuk menghitung jumlah kebutuhan daya listrik. Profil beban diperoleh dari komponen elektronik yang digunakan pada ruang kelas (belajar). Spesifikasi yang terdapat pada komponen tersebut dicatat untuk mengetahui kapasitas yang terpasang pada komponen tersebut. Diperlihatkan pada tabel di bawah ini,

Tabel 1 Penggunaan Beban

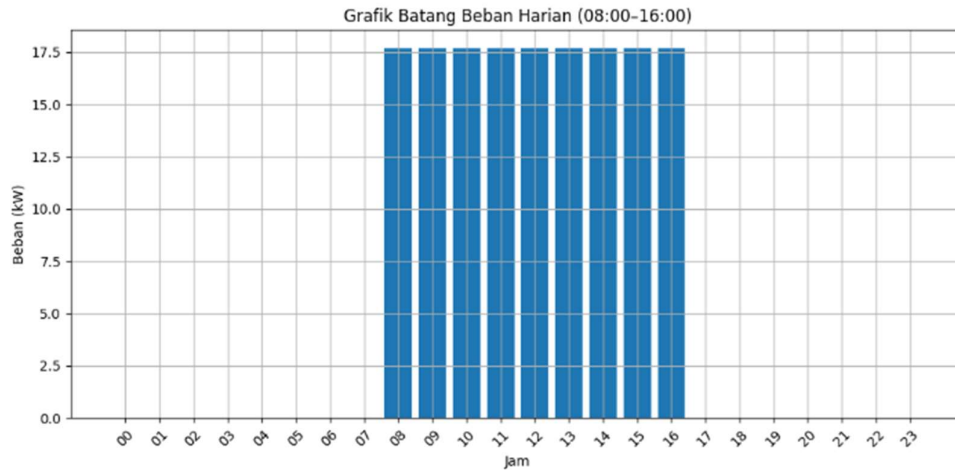
Ruang	Beban	Daya	Jumlah	Total Daya
Koridor Lantai 1	Lampu	36	16	576
Koridor Lantai 2	Lampu	36	12	432

**DESAIN SISTEM INSTALASI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN TENAGA SURYA
PADA GEDUNG LABORATORIUM FISIKA – UNIMED**

Lab Mterial	Lampu	36	6	216
	Ac	700	2	1400
Ruang Baca	Lampu	36	8	288
	Ac	700	1	700
Ruang Dikusi	Lampu	36	2	72
	Ac	700	1	700
	Proyektor	270	1	270
Lam Media	Lampu	36	6	216
	Ac	700	2	1400
	Proyektor	270	1	270
Lab Listik 1	Lampu	36	8	288
	Ac	700	2	1400
Lab Listrik 2	Lampu	36	8	288
	Ac	700	2	1400
	Proyektor	270	1	270
Lab Listrik 3	Lampu	36	8	288
	Ac	700	2	1400
	Proyektor	270	1	270
Lab Listrik 4	Lampu	36	8	288
	Ac	700	2	1400
	Proyektor	270	1	270
Lab Listrik 5	Lampu	36	8	288
	Ac	700	2	1400
	Proyektor	270	1	270
Lab Material	Lampu	36	6	216
	Ac	700	2	1400
Total				17.676

Total beban pada Gedung Lab. Fisika unimed adalah sebesar 17. 676 Watt dengan asumsi penggunaan sekitar 8 jam, yaitu pada saat proses belajar dari pukul

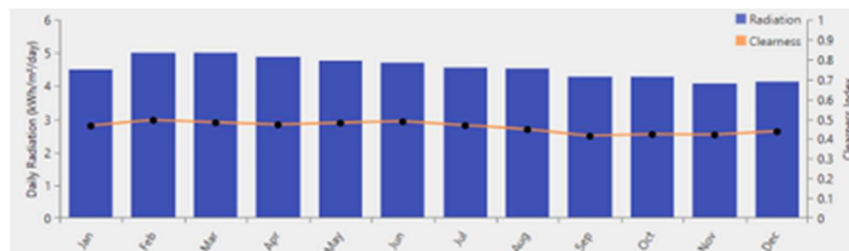
08.00 sampai dengan pukul 16.00. grafik profil beban harian yang digunakan ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2 Profil Beban Harian

7. Potensi Energi Surya

Potensi radiasi matahari sebagai sumber energi dinyatakan dalam indeks kejernihan dan data radiasi matahari, yang merupakan rata-rata radiasi matahari horizontal. Global pada permukaan data direpresentasikan dalam kWh/m² untuk setiap hari dalam setahun. Data radiasi di NASA (National Aeronautics and Space Administration) terhubung langsung dengan software HOMER Pro. Berdasarkan letak geografis, Gedung Laboratorium Fisika Unimed ini memiliki potensi radiasi matahari dengan indeks kecerahan rata-rata 0,456 dan radiasi harian rata-rata 4,56 kWh/m²/hari.



Gambar 3 Grafik Radiasi Matahari

Tabel 2 Data Radiasi Matahari Dalam Setahun

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0.465	4.490
Feb	0.493	4.990
Mar	0.481	5.020
Apr	0.470	4.870
May	0.479	4.770
Jun	0.486	4.710
Jul	0.466	4.560
Aug	0.446	4.520
Sep	0.413	4.270
Oct	0.421	4.280
Nov	0.419	4.080
Dec	0.436	4.130

Annual Average (kWh/m²/day): 4.56

8. Panel Surya

Konversi energi surya ke energi listrik bergantung pada perangkat yang disebut sel photovoltaic, yang juga disebut sel surya. Perangkat ini menghasilkan listrik langsung dari radiasi elektromagnetik, khususnya cahaya. Modul atau panel surya merupakan komponen utama PV yang terdiri dari beberapa sel surya. Modul merupakan rangkaian dari sel–sel yang disusun seri dan parallel.

Output daya dan efisiensi dari PV-array dalam menghasilkan energi listrik dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut (HOMER Energy, 2016):

$$P_{pv} = f_{pv} Y_{pv} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_C - T_{C,STC})] \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi } m_{p,STC} = \frac{Y_{PV}}{A_{PV} G_{T,STC}}$$

Dengan : f_{pv} : faktor penurunan daya

Y_{pv} : kapasitas rata rata PV- array (kW)

G_T : radiasi matahari yang mengenai PV (kW/m²)

$G_{T,STC}$: radiasi yang terjadi pada kondisi pengujian standar (1 kW/m²)

α_p : koefisien suhu daya keluaran (%/ °C)

T_C : suhu sel PV pada saat digunakan (°C)

$T_{C,STC}$:suhu sel PV pada kondisi pengujian standar (25°C)

A_{PV} :luas dari modul panel surya yang digunakan (m²)

9. Baterai

Baterai merupakan penyimpanan energi listrik yang diperoleh dari panel surya ketika siang hari dan digunakan ketika malam hari saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Terik matahari yang didapatkan panel surya mempengaruhi proses pengisian (charging) atau pengosongan (discharging) baterai. Kemampuan dari lama baterai untuk memberikan aliran listrik ke beban yang sering disebut dengan kapasitas baterai dinyatakan dalam satuan Wh (Watt hour). Total kapasitas baterai merupakan hasil perhitungan dari persamaan 3, sedangkan baterai yang digunakan merupakan kapasitas baterai yang akan digunakan berdasarkan spesifikasi.

$$C_b = \frac{E_T}{DOD}$$

Dimana : C_b : kapasitas bataerai (Wh)

E_T : energi total (Wh)

DOD : Depth Of Discharge

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{C_b}{C_{use}}$$

Dimana: C_b : kapasitas bataerai (Wh)

C_{use} : baterai yang diguakan (Wh)

10. Inverter

Inverter adalah elemen peralatan paling signifikan berikutnya dari sistem PV. Fungsi inverter adalah untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh modul PV ke dalam bentuk daya AC untuk beban listrik sistem. Rasio Arus Searah ke Arus Bolak-balik / ILR (Inverter Load Ratio) adalah parameter penting dalam merancang ukuran sistem energi surya. ILR 1,2 sering menghasilkan kerugian minimal.

11. Jaringan Listrik (Grid)

Grid adalah jaringan yang berasal dari PLN. Menu advanced grid pada homer pro dapat memodelkan sistem pembangkit yang terhubung dengan jaringan PLN (grid) dengan harga jaringan yang berbeda, spesifikasi jaringan yang terperinci atau sistem off-grid dimana penambahan jaringan dimungkinkan. Menu ini juga dapat memodelkan sistem yang terhubung ke jaringan dengan harga real-time atau terjadwal, serta waktu pemadaman jaringan.

12. Desain dan Parameter

Berdasarkan ketersediaan sumber energi terbarukan dan beberapa parameter input, sistem dimodelkan untuk mendapatkan konfigurasi terbaik melalui simulasi. Skema pemodelan sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem yang paling layak akan dipilih berdasarkan nilai NPC dan COE terendah berdasarkan parameter yang diinput pada simulasi yang ditunjukkan pada tabel 3.

Table 3 Data Parameter Input Sistem

Komponen	Spesifikasi	
	Deskripsi	Nilai
Jaringan (Grid)	Harga Jual (\$/Kwh)	0,098
	Harga Beli (\$/Kwh)	0,063
Panel Surya	Jenis	Sharp ND-250QCS
	Daya Modul (Kw)	0,25
	Effisiensi (%)	15,30
	Harga (\$/Unit)	275
	Biaya Operasi & Perawatan (\$/Kw)	0
	Masa Pakai (Tahun)	25
Baterai	Jenis	Trojan SSIG 12 255
	Kapasitas Nominal (Kwh)	3,05
	Kapasitas (Ah)	257
	Tegangan (V)	12
	Effisiensi (%)	80
	Harga (\$/Unit)	275
	Biaya Operasi & Perawatan (\$/Kw)	0
	Masa Pakai (Tahun)	10
	Harga (\$/Kw)	171
Biaya Pergantian (\$/Kw)	171	

Inverter	Biaya Operasi & Perawatan (\$/Kw)	4
	Effisiensi (%)	90
	Masa Pakai (Tahun)	15

Hasil Dan Pembahasan

1. Hasil

a. Kebutuhan Energy

Perhitungan awal kebutuhan energi listrik berdasarkan daya terpasang menghasilkan nilai sebesar 141,408 kWh/hari. Namun, pendekatan ini cenderung menghasilkan estimasi yang lebih tinggi karena tidak mempertimbangkan pola penggunaan aktual dari masing-masing beban. Dalam kondisi operasional nyata, tidak seluruh peralatan listrik bekerja secara bersamaan maupun pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Oleh karena itu, digunakan faktor beban (load factor) sebesar 0,7 untuk merepresentasikan kondisi penggunaan energi yang lebih realistis. Dengan pendekatan ini, diperoleh kebutuhan energi harian sebesar 99 kWh/hari.

b. Penentuan Proporsi Sistem Hybrid

Dalam penelitian ini, sistem dirancang menggunakan konfigurasi hybrid dengan kontribusi PLTS sebesar 60% terhadap total kebutuhan energi, sementara 40% sisanya dipenuhi oleh jaringan PLN. Pemilihan proporsi ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomi, di mana sistem tidak sepenuhnya bergantung pada energi surya untuk menghindari kebutuhan kapasitas penyimpanan energi yang besar serta meningkatkan keandalan suplai listrik. Pendekatan ini juga memungkinkan optimasi biaya investasi awal tanpa mengurangi performa sistem secara signifikan.

c. Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Kapasitas sistem PLTS ditentukan berdasarkan kebutuhan energi harian yang akan disuplai oleh panel surya serta potensi radiasi matahari di lokasi penelitian. Dengan mempertimbangkan rata-rata radiasi matahari sebesar 4,56

kWh/m²/hari dan efisiensi sistem sebesar 75% akibat losses pada inverter, suhu, dan kabel, diperoleh kapasitas sistem PLTS sebesar 17,4 kWp. Nilai efisiensi sistem ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi operasional nyata yang tidak ideal, sehingga hasil perancangan lebih mendekati implementasi di lapangan. Jumlah modul panel surya yang dibutuhkan dihitung berdasarkan kapasitas total sistem yang telah diperoleh. Dengan menggunakan modul berkapasitas 250 Wp, diperlukan sebanyak 70 unit panel untuk memenuhi kapasitas sistem sebesar 17,4 kWp. Pemilihan jumlah panel ini telah disesuaikan dengan konfigurasi sistem serta mempertimbangkan ketersediaan ruang pada atap gedung sebagai lokasi pemasangan.

d. Perhitungan Kapasitas Baterai

Pada sistem hybrid, baterai tidak dirancang untuk menyuplai seluruh kebutuhan energi, melainkan sebagai cadangan untuk menjaga kontinuitas suplai saat terjadi fluktuasi produksi energi surya. Dalam penelitian ini, kapasitas baterai dirancang untuk memenuhi 30% kebutuhan energi harian dengan mempertimbangkan depth of discharge (DoD) sebesar 80%. Berdasarkan perhitungan, diperoleh kebutuhan kapasitas baterai sebesar 37,1 kWh atau setara dengan 13 unit baterai. Pendekatan ini dipilih untuk menyeimbangkan antara keandalan sistem dan efisiensi biaya investasi.

e. Penentuan Kapasitas Inverter

Kapasitas inverter ditentukan berdasarkan beban puncak sistem dengan mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 20% untuk mengantisipasi lonjakan beban dan meningkatkan keandalan sistem. Berdasarkan perhitungan, diperoleh kapasitas inverter sebesar 21 kW. Pemilihan kapasitas ini juga mempertimbangkan rasio inverter terhadap kapasitas panel (Inverter Load Ratio) yang umum digunakan dalam perancangan sistem PLTS untuk meminimalkan kehilangan energi.

f. Hasil simulasi

Hasil simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hybrid menunjukkan bahwa konfigurasi sistem yang dirancang mampu memenuhi sebagian besar kebutuhan energi listrik Gedung Laboratorium Fisika

Universitas Negeri Medan. Berdasarkan perhitungan, total kebutuhan energi harian setelah mempertimbangkan faktor beban adalah sebesar ± 99 kWh/hari. Sistem PLTS dirancang untuk menyuplai sekitar 60% dari kebutuhan energi tersebut, yaitu sebesar 59,5 kWh/hari.

Dengan kapasitas terpasang sebesar 17,4 kWp dan rata-rata radiasi matahari 4,56 kWh/m²/hari, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik yang relatif stabil sepanjang tahun dengan mempertimbangkan efisiensi sistem sebesar 75%. Energi yang dihasilkan digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan kelebihan energi disimpan dalam baterai untuk digunakan pada saat radiasi matahari rendah atau pada malam hari.

Integrasi dengan jaringan PLN dalam sistem hybrid memungkinkan peningkatan keandalan sistem, di mana kekurangan energi dari PLTS dapat disuplai oleh jaringan listrik utama. Hal ini menjadikan sistem lebih fleksibel dan ekonomis dibandingkan sistem off-grid yang sepenuhnya bergantung pada baterai.

Table 4 Hasil Simulasi Sistem PLTS Hybrid

Parameter	Nilai
Kebutuhan Energi Harian	99 kWh/hari
Energi Disuplai PLTS	59,5 kWh/hari
Energi dari PLN	39,5 kWh/hari
Persentase Kontribusi PLTS	60%
Persentase Kontribusi PLN	40%
Kapasitas PLTS	17,4 kWp
Jumlah Panel Surya	70 unit
Kapasitas Baterai Total	37,1 kWh
Jumlah Baterai	13 unit
Kapasitas Inverter	21 kW
Produksi Energi Tahunan PLTS	21.717 kWh/tahun
Estimasi Biaya Investasi Awal	\$26.416

Estimasi COE

0,05 – 0,08 USD/kWh

Pembahasan

a. Analisis Kesesuaian Kapasitas Sistem

Hasil perancangan menunjukkan bahwa kapasitas sistem PLTS sebesar 17,4 kWp mampu menghasilkan energi sekitar 59,5 kWh/hari, yang setara dengan 60% dari total kebutuhan energi gedung. Kesesuaian antara kapasitas terpasang dan energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi target kontribusi energi secara optimal. Namun demikian, kesesuaian ini sangat bergantung pada asumsi radiasi matahari rata-rata harian. Dalam kondisi nyata, fluktuasi radiasi akibat perubahan cuaca dapat menyebabkan variasi produksi energi yang cukup signifikan. Oleh karena itu, meskipun secara perhitungan sistem telah optimal, dalam implementasinya masih diperlukan margin keamanan untuk mengantisipasi kondisi ekstrem.

b. Kinerja Sistem Hybrid terhadap Keandalan Energi

Penerapan sistem hybrid memberikan keuntungan utama dalam hal keandalan suplai energi. Sistem PLTS berperan sebagai sumber utama pada siang hari, sedangkan jaringan PLN berfungsi sebagai cadangan ketika produksi energi surya tidak mencukupi. Dengan konfigurasi ini, risiko terjadinya kekurangan suplai energi dapat diminimalkan dibandingkan dengan sistem off-grid yang sepenuhnya bergantung pada energi surya dan baterai. Selain itu, penggunaan baterai dalam kapasitas terbatas (30% kebutuhan) juga membantu menjaga kontinuitas energi tanpa meningkatkan biaya investasi secara signifikan.

c. Efisiensi Energi dan Reduksi Ketergantungan PLN

Kontribusi PLTS sebesar 60% menunjukkan bahwa sistem ini mampu secara signifikan mengurangi konsumsi energi dari jaringan PLN. Hal ini berdampak langsung pada efisiensi energi gedung serta potensi penghematan biaya operasional dalam jangka panjang. Namun demikian, tingkat kontribusi ini masih dapat ditingkatkan dengan menambah kapasitas panel surya atau sistem penyimpanan energi. Di sisi lain, peningkatan kapasitas tersebut akan berdampak pada kenaikan

biaya investasi awal, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk menentukan titik optimal antara efisiensi energi dan aspek ekonomi.

d. Analisis Ekonomi Sistem

Berdasarkan estimasi biaya investasi awal, sistem PLTS membutuhkan biaya yang relatif besar dibandingkan sistem konvensional. Namun, jika dilihat dari nilai cost of energy (COE) yang kompetitif, sistem ini memiliki potensi untuk memberikan keuntungan ekonomi dalam jangka panjang. Selain itu, pengurangan konsumsi listrik dari PLN juga berkontribusi terhadap penurunan biaya operasional tahunan. Dengan umur sistem panel surya yang mencapai 25 tahun, investasi awal dapat terkompensasi melalui penghematan energi yang dihasilkan selama masa operasional sistem.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis sistem instalasi energi listrik berbasis tenaga surya pada Gedung Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan (UNIMED), dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik harian gedung sebesar ± 99 kWh setelah mempertimbangkan faktor beban. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang dengan kapasitas 17,4 kWp mampu menghasilkan energi sebesar 59,5 kWh/hari atau sekitar 60% dari total kebutuhan energi gedung.

Konfigurasi sistem hybrid yang menggabungkan PLTS dengan jaringan PLN terbukti mampu meningkatkan keandalan suplai energi, di mana PLTS berperan sebagai sumber utama pada siang hari, sedangkan PLN berfungsi sebagai cadangan pada saat produksi energi surya tidak mencukupi. Dengan penggunaan 70 unit panel surya, 13 unit baterai, dan inverter berkapasitas 21 kW, sistem ini dinilai telah memenuhi kebutuhan energi secara optimal tanpa mengalami kelebihan atau kekurangan kapasitas yang signifikan.

Daftar pustaka

- [1] K. E. Okedu and R. Uahunmwangho, "Optimization of renewable energy efficiency using HOMER," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 421–427, 2014.
- [2] D. H. Sinaga, W. Pangaribuan, M. A. R. Sembiring, and A. H. Syahrir, "Desain

Sistem Cadangan Energi Listrik Menggunakan Tenaga Surya Pada Gedung Teknik Elektro FT – Unimed,” *J. Ins. Prof.*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.24114/jip.v2i1.28325.

- [3] T. Alamsyah, H. Ayong, and A. Zainal, “Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pemba,” 2021.
- [4] F. Afif and A. Martin, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, p. 43, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [5] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, “No Title.”
- [6] A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, “Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 145–154, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23956.