

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) ATAP DENGAN SISTEM HYBRID DI
HOTEL MAHKOTA PATI
LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



DISUSUN OLEH :

RISKI BUDI SUJITO

30601800036

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT

***PLANNING OF ROOFTOP SOLAS POWER PLANTS WITH
HYBRID SYSTEM AT MAHKOTA PATI HOTEL***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departemen of Eletrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECNOLOGAL TECNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP DENGAN SISTEM HYBRID DI HOTEL MAHKOTA PATI”

Disusun oleh:

Nama : RISKI BUDI SUJITO

NIM : 30601800036

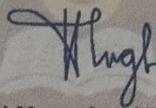
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari :

Tanggal :

Pembimbing I

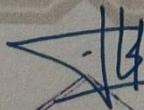


Dedi Nugroho, ST., MT.

NIDN. 0617126602

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



120325

Jenny Putri Hapsari, ST., MT.

NIDN. 0607018501



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP DENGAN SISTEM HYBRID DI HOTEL MAHKOTA PATI" ini telah dipertahankan di depan Penguji Sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 4 Maret 2025

TIM PENGUJI

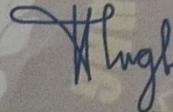
Penguji I


120325

Jenny Putri Hapsari, ST., MT.

NIDN. 0607018501

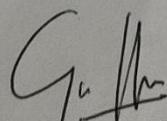
Penguji II



Dedi Nugroho, ST., MT.

NIDN. 0617126602

Ketua Penguji


Dr. Gunawan, ST., MT.

NIDN. 0607117101

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riski Budi Sujito
NIM : 30601800036
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul "Perencanaan Pembarangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Dengan Sistem On-Grid Di Hotel Mahkota Pati", adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 14 Februari 2025

Yang Menyatakan

Mahasiswa



Riski Budi Sujito

NIM. 30601800036

Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan nikmat Iman, nikmat sehat, nikmat akal, serta kasih sayangNya. Sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dan dapat melewati proses segala ujian dan rintangannya.

Kedua,

Mempersembahkan kepada kedua Orang Tua saya (Bapak Munadi & Ibu Mariyati), sebagai bukti rasa kasih sayang kepada kedua Orang Tua, Kakak kandung yang saya Sayangi, Kepada Paman / Om saya sekeluarga yang telah menyemangati serta memberikan dukungan Moril & Materil sehingga bisa kuliah sampai jenjang ini dan bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini sampai selesai, dan kepada keluarga besar saya yang selalu mendoakan dan memberi semangat sehingga bisa terselesaikan Studi ini. Bahwa dengan terselesainya laporan Tugas Akhir ini, saya sudah bisa memenuhi kepercayaan kedua orang tua dan keluarga saya selama berkuliah di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Ketiga,

Tidak lupa juga saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini untuk seluruh Dosen Fakultas Teknologi Industri Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan Ilmu yang berguna dan Motivasi, serta bermanfaat dalam menyelesaikan Studi dikampus tercinta ini.

MOTTO

Dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik
kepada-Mu

(Qs. Al-Qashash: 77)

Jangan menyerah. Semua butuh waktu. Kamu tidak tertinggal dari
Siapapun

(Indra Sugiharto)

Guru tidak berjanji setelah sekolah akan sukses, Dokter tidak berjanji setelah
suntik akan sembuh, Tapi Allah berjanji setelah kamu memperbaiki ibadah-mu
maka Allah akan memperbaiki Kehidupan-mu

(Denny Yusuf)

Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dikerjakan, Hanya tidak ada sesuatu yang
mudah

(Napoleon Bonaparte)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Segala Puji Syukur kita Panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, Karunia dan hidayah-Nya bisa diberi kekuatan dan petunjuk untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Rasulullah muhammad SAW, Semoga kelak mendapat Syafaat darinya. Amiin Ya Robbal'amin.

Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Strata-1 (S1) pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Ucapan terima kasih terutama kepada Bapak dan Ibu serta saudara yang telah memberikan bimbingan, Dukungan, serta Nasehat.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak sekali kekurangan dan jauh dari kata sempurna, sehingga tanpa bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai Pihak, Penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan selesai dengan Baik. Oleh karena itu Penulis menyampaikan banyak Ucapan Terimakasih kepada:

1. Kepada kedua Orang Tua saya, yang telah memberikan dukungan materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap Ibadahnya.
2. Bapak Prof. Dr. Gunarto, SH., MH. Selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng. Selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. Selaku Ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Bapak Munaf Ismail, ST., MT. Selaku dosen Wali jurusan saya di Teknik elektro Angkatan 2018 Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

6. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT. Selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Bapak Dedi Nugroho, ST., MT. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing serta memberikan bantuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.
8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan semangat kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat selesai.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, semangat, ilmu yang telah membantu Baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan dan kelemahan, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada pembaca yang bersedia memberikan kritik dan saran yang membangun bagi penyusun.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Semarang

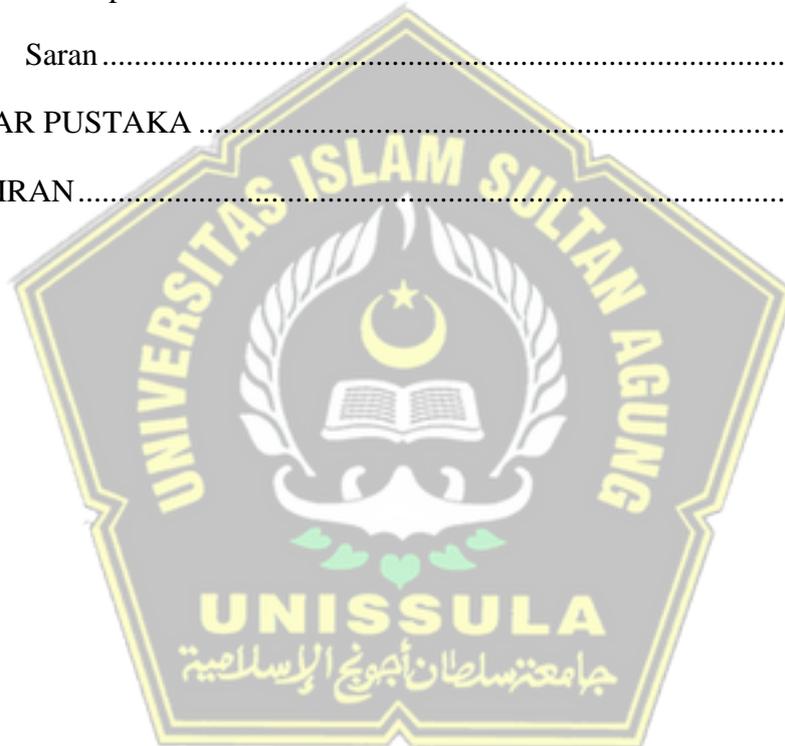
Penulis

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
FINAL PROJECT	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Pembangkit Listrik.....	7
2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.2.3 Energi Terbarukan.....	8

2.2.4	Konsep Daya Energi	9
2.2.5	Perbedaan kWh dengan kWp.....	10
2.2.6	Energi Matahari dan Pemanfaatanya	10
2.2.7	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	11
2.2.8	Jenis – jenis Sel Surya.....	13
2.2.9	Komponen – komponen Sistem PLTS Hybrid	16
2.2.10	Pengukuran Luas Atap	22
2.2.11	Array Modul Surya	24
2.2.12	Menghitung Kapasitas Baterai	25
BAB III METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Objek Penelitian	27
3.2	Alat dan Peralatan Dalam Penelitian.....	27
3.3	Metode Pengumpulan Data	27
3.3.1	Data Iradiasi	29
3.3.2	Konsumsi Energi Hotel Mahkota Pati.....	30
3.4	Komponen	31
3.5	Tahapan – tahapan Penelitian.....	32
3.6	Alur Perencanaan PLTS	33
3.7	Desain PLTS Hybrid	33
3.8	Flowchart.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Iradiasi Sinar Matahari	35
4.2	Luas Atap	36
4.3	Jumlah Panel.....	38
4.4	Penyusunan Array Panel Surya	41

4.5	Menghitung Energi Yang Dihasilkan PLTS Atap.....	43
4.6	Menentukan Kapasitas Baterai	44
4.7	Menentukan Kapasitas Inverter	46
4.8	Penempatan Array Pada Atap.....	47
4.9	Menghitung Performance Ratio	48
BAB V KESIMPULAN		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		53



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pemakaian Konsumsi Energi Listrik di Hotel Mahkota Pati	30
Tabel 3. 2 Spesifikasi Modul Panel Surya 405 Wp Jinko Monocrystalline.....	32
Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahati di Hotel Mahkota Pati.....	35



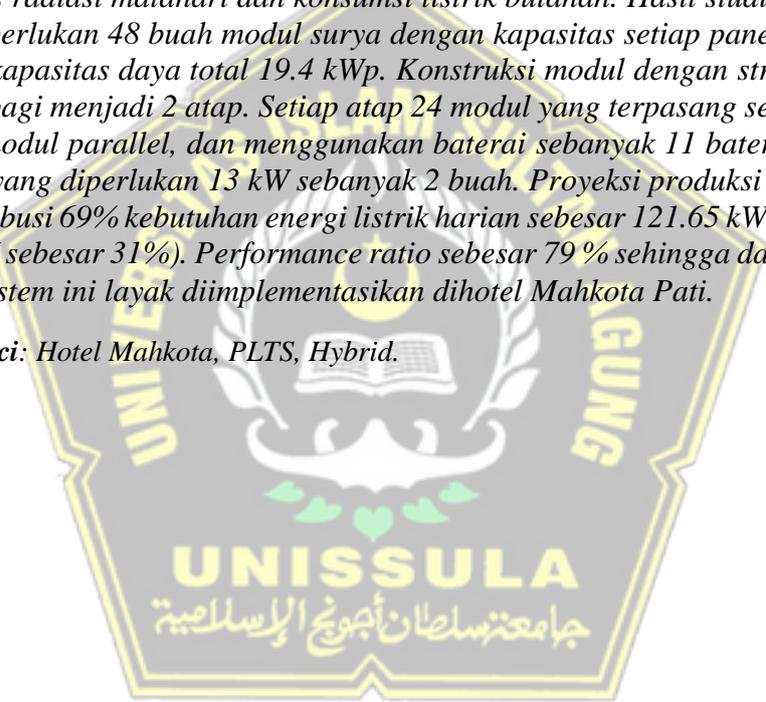
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	8
Gambar 2. 2 Sistem PLTS Off-Grid	12
Gambar 2. 3 Sistem PLTS On-Grid	13
Gambar 2. 4 Sistem PLTS Hybrid	13
Gambar 2. 5 Sel Surya Monocrystalline	14
Gambar 2. 6 Sel Surya Polycrystalline	15
Gambar 2. 7 Sel Surya Thin Film Solar Cell	16
Gambar 2. 8 Panel Surya.....	17
Gambar 2. 9 Jenis Inverter Hybrid.....	18
Gambar 2. 10 Baterai VRLA	19
Gambar 2. 11 ATS PLTS	19
Gambar 2. 12 Panel Combiner.....	20
Gambar 2. 13 MCB 3 Phase.....	21
Gambar 2. 14 Luasan yang akan dihitung.....	22
Gambar 2. 15 Atap Tampak Depan.....	23
Gambar 3. 1 Lokasi Hotel Mahkota Pati.....	27
Gambar 3. 2 Data Intensitas Matahari Berdasarkan Dari NASA.....	29
Gambar 3. 3 Modul Panel Surya Jinko 405 Wp.....	31
Gambar 3. 4 Desain PLTS Hybrid	33
Gambar 4. 1 Kemiringan atap Hotel Mahkota	36
Gambar 4. 2 Denah beserta panjang ukuran atap Hotel Mahkota.....	37
Gambar 4. 3 Array Panel Surya	42
Gambar 4. 4 Tabel Datasheet Baterai 6-DFM-200	45
Gambar 4. 5 Tabel Datasheet Inverter MOD 13KTL3-X	46
Gambar 4. 6 Penempatan Array Pada Atap	47

ABSTRAK

Hotel Mahkota Pati adalah Hotel yang digunakan untuk persinggahan bagi para tamu maupun wisatawan yang ingin berkunjung di pati khususnya bagi mereka yang mendalami profesi sebagai sales maupun marketing suatu produk. Hotel ini meliputi luas sebesar 1,400m² dan luas bangunan 1,000 m². Memiliki kamar dengan jumlah 42 kamar , yang menggunakan AC 34 kamar dan yang tidak ber-AC sejumlah 8 Kamar. Jadi untuk daya listrik yang terpasang PLN sebesar 33 KVA. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap dengan Sistem Hybrid di lakukan guna menggali potensi energi yang dapat dimanfaatkan. Model PLTS ditetapkan berdasar kapasitas luas atap gedung eksisting. Energi listrik yang dihasilkan difungsikan secara Hybrid untuk membantu pasokan listrik. Parameter yang ditentukan antara lain: luas atap, kapasitas panel surya, kapasitas inverter, intensitas radiasi matahari dan konsumsi listrik bulanan. Hasil studi perencanaan PLTS diperlukan 48 buah modul surya dengan kapasitas setiap panel sebesar 405 Wp dan kapasitas daya total 19.4 kWp. Konstruksi modul dengan struktur 2 array yang terbagi menjadi 2 atap. Setiap atap 24 modul yang terpasang seri 8 buah dan 3 buah modul parallel, dan menggunakan baterai sebanyak 11 baterai. Kapasitas inverter yang diperlukan 13 kW sebanyak 2 buah. Proyeksi produksi PLTS mampu berkontribusi 69% kebutuhan energi listrik harian sebesar 121.65 kWh (daya listrik dari PLN sebesar 31%). Performance ratio sebesar 79 % sehingga dapat dikatakan bahwa sistem ini layak diimplementasikan dihotel Mahkota Pati.

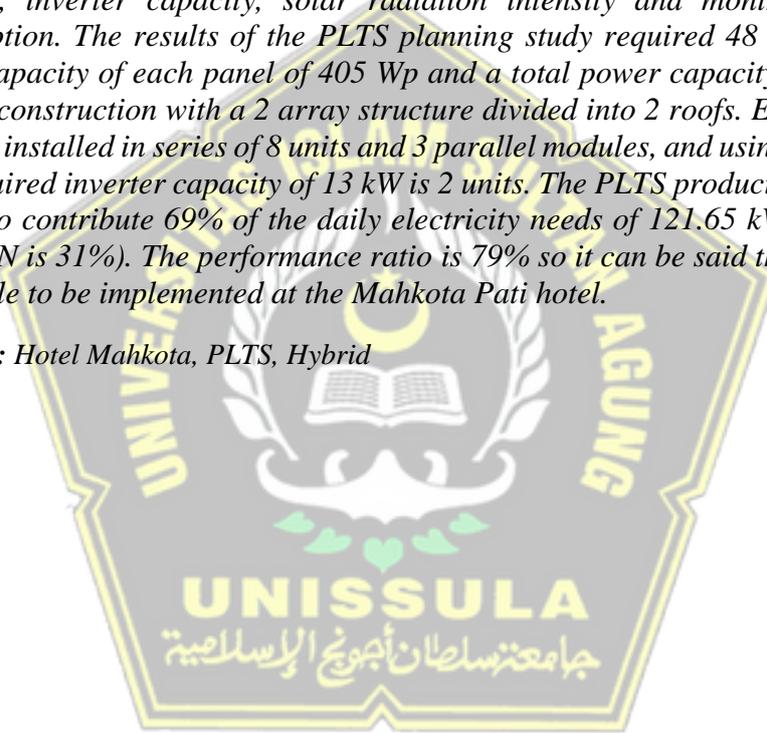
Kata Kunci: Hotel Mahkota, PLTS, Hybrid.



ABSTRACT

Hotel Mahkota Pati is a hotel used as a stopover for guests or tourists who want to visit Pati, especially for those who study the profession of sales or marketing of a product. This hotel covers an area of 1,400m² and a building area of 1,000m². It has 42 rooms, 34 of which use AC and 8 of which do not have AC. So for the installed electricity capacity of PLN is 33 KVA. Planning for Rooftop Solar Power Plants with an Hybrid System is carried out to explore the potential energy that can be utilized. The PLTS model is determined based on the capacity of the existing building roof area. The electrical energy generated is used in an Hybrid manner to help supply electricity. The parameters determined include: roof area, solar panel capacity, inverter capacity, solar radiation intensity and monthly electricity consumption. The results of the PLTS planning study required 48 solar modules with a capacity of each panel of 405 Wp and a total power capacity of 19.4 kWp. Module construction with a 2 array structure divided into 2 roofs. Each roof of 24 modules installed in series of 8 units and 3 parallel modules, and using 11 batteries. The required inverter capacity of 13 kW is 2 units. The PLTS production projection is able to contribute 69% of the daily electricity needs of 121.65 kWh (electricity from PLN is 31%). The performance ratio is 79% so it can be said that this system is feasible to be implemented at the Mahkota Pati hotel.

Keyword: Hotel Mahkota, PLTS, Hybrid



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi yang dibutuhkan masyarakat untuk melakukan berbagai macam aktivitas adalah listrik. Oleh karena itu, saat ini listrik menjadi salah satu kebutuhan energi yang paling penting. Di Indonesia, jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) menyediakan sebagian besar listrik yang digunakan oleh konsumen. PLN menggunakan berbagai sumber energi dalam menyalurkan energi listrik melalui jaringan transmisi tenaga listrik. Salah satunya adalah penggunaan batu bara, sumber energi fosil, pada pembangkit listrik tenaga uap[1].

Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap dengan sistem Hybrid pada Hotel Mahkota Pati. Hotel Mahkota merupakan salah satu hotel bintang 2 di daerah Kaborongan, lokasi tepatnya yaitu terletak di Jalan Penjawi No.22, Kaborongan, Pati Lor, Kec. Pati, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Hotel ini memiliki 2 lantai dengan luas lahan 1.400 m² dan luas bangunan 1.000 m² dan jumlah kamar sebanyak 34 kamar menggunakan AC dan 8 kamar tidak menggunakan AC. Pemanfaatan energi surya di hotel dapat membantu mengurangi emisi karbon, menekan biaya operasional dalam jangka panjang, serta meningkatkan citra perusahaan sebagai bisnis yang berkomitmen terhadap keberlanjutan.

Perencanaan ini merujuk pada ketentuan yang tertuang dalam PERMEN ESDM Nomor 26 Tahun 2021 mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap. Kapasitas PLTS Atap yang dirancang berada dalam kisaran 60% hingga 100% dari daya tersambung PLN, sesuai dengan batas yang telah ditetapkan. Kapasitas Daya listrik PLN yang terpasang di Hotel Mahkota Pati sebesar 33 kVA. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang sesuai di Indonesia karena terletak di garis khatulistiwa dengan rata-rata penyinaran matahari 4,8 kWh/m, dimana intensitas penyinaran matahari cukup tinggi, hal ini menjadi potensi untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi listrik[2].

Oleh karena itu, dalam laporan ini penulis mengangkat judul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Dengan Sistem Hybrid Di Hotel Mahkota Pati”. Diharapkan dapat menjelaskan cara perancangan energi surya di Hotel mahkota.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dapat dibuat sebagai berikut:

1. Berapa kebutuhan daya yang diperlukan untuk menyuplai kebutuhan listrik di hotel Mahkota Pati?
2. Bagaimana desain PLTS atap dapat dimanfaatkan di Hotel Mahkota Pati?
3. Bagaimana pola pembebanan pada Hotel Mahkota dengan sistem PLTS Hybrid?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan secara lebih terarah dan mendalam, diperlukan pembatasan terhadap variabel yang diteliti. Oleh karena itu, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan untuk mengukur besar daya listrik yang dihasilkan dari PLTS dengan perkiraan luas atap Hotel Mahkota.
2. Penelitian fokus pada perencanaan PLTS, tidak analisa ke biaya konsumsi listrik PLN.
3. Desain instalasi PLTS hanya memperhitungkan luasan area total atap bangunan.
4. Penelitian ini memperkirakan berapa banyak solar panel yang terpasang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari laporan tugas akhir ini untuk:

1. Mengukur penggunaan daya listrik dan membuat pola beban harian selama 1 bulan di Hotel Mahkota Pati.

2. Merencanakan kapasitas pembangkitan berdasarkan luas bidang yang tersedia dan merencanakan sistem PLTS yang sesuai kebutuhan Hotel Mahkota Pati.
3. Merencanakan pola pembebanan listrik dengan pembagian persentase 65% PLTS dan 35% PLN.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi atap Hotel Mahkota sebagai PLTS.
2. Mengetahui berapa besar daya yang dihasilkan dari solar panel.
3. Mengetahui hasil pengurangan konsumsi energi listrik dari PLN.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan dalam penyusunan tugas akhir ini maka penulis membuat sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan sebuah ulasan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika dalam penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dalam bab ini berisikan tentang penjelasan sebuah tinjauan pustaka penelitian yang pernah ada sebelumnya yang berkaitan dengan komponen sebuah panel surya atau PLTS sistem *Hybrid*, dan juga persamaan rumus pada perhitungan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian, objek penelitian, data penelitian, Desain PLTS, dan langkah-langkah yang dipakai dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini membahas analisis data serta hasil penelitian yang diperoleh dari lokasi penelitian. Selain itu, dijelaskan juga proses pengolahan data yang dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih akurat.

BAB V : PENUTUP

Bab ini menyajikan hasil penelitian serta analisis data yang telah dilakukan. Dari hasil yang diperoleh, dapat disusun kesimpulan serta rekomendasi sebagai bagian akhir dari tugas akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan pustaka

Beberapa penelitian tentang studi potensi dan perencanaan PLTS telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, antara lain:

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Sulthon Novera Rega, Nazaruddin Sinaga, dan Jaka Windarta dengan judul “*Perencanaan PLTS Rooftop untuk Kawasan Pabrik Teh PT Pagilaran Batang*” mengkaji potensi sistem PLTS atap dalam memenuhi kebutuhan listrik pabrik. Berdasarkan hasil analisis, estimasi total energi listrik yang dapat dihasilkan dalam satu tahun mencapai 629.840,8 kWh. Jumlah ini mampu memenuhi sekitar 95,85% dari total kebutuhan listrik kawasan pabrik. Selain itu, nilai *kWh/kWp* atau rasio antara total energi yang dihasilkan dengan kapasitas PV array dalam satu tahun diperoleh sebesar 1.209. Hasil simulasi juga menunjukkan rasio kinerja (*performance ratio*) sistem sebesar 77,5%, yang mencerminkan efisiensi operasional PLTS yang cukup baik[3].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gallant Pradika, Ida Ayu Dwi Giriantari, dan I Nyoman Setiawan dengan judul “*Potensi Pemanfaatan Atap Tribun di Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS Rooftop*”. Cara pertama yang dilakukan adalah penelitian literatur dan mengidentifikasi letak penelitian dan letak geografisnya. Kedua, Data penelitian seperti data AMR trafo sebagai penunjang, model kelistrikanya, data radiasi matahari serta komponen PLTS. Kemudian dilakukan perancangan PLTS dibagi 2 skenario, menghitung daya beban konsumsi yang dapat disuplai PLTS, dan dilakukan perhitungan biaya konsumsi energi dan kelayakan PLTS. Dengan cara Skenario 1 mendapatkan kapasitas 83.300 Wp dengan modul surya sebanyak 238 buah dan inverter 2 buah inverter menghasilkan energi sebesar 112.321 kWh/tahun dan sebagai penyuplai beban siang trafo 2 dan 3 stadion sebesar 35.470 kWh/tahun. Untuk skenario 2 berkapasitas 156.800 Wp dengan panel surya sebanyak 448 buah dan inverter 4 buah menghasilkan energi

sebesar 211,458 kWh/tahun dan sebagai penyuplai beban siang trafo 1 di stadion sebesar 100.919 kWh/tahun[4].

Penelitian yang dilakukan oleh Allan Ardiansyah, I Nyoman Setiawan, dan I Wayan Sukerayasa dengan judul “*Perancangan PLTS Atap On-Grid System pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian, dan Pengembangan Kota Probolinggo*” membahas perancangan sistem PLTS dengan dua skenario kapasitas. Berdasarkan hasil perancangan, Skenario 1 dengan kapasitas 21,6 kWp membutuhkan investasi sebesar Rp267.000.000, sedangkan Skenario 2 dengan kapasitas 32,4 kWp memerlukan investasi sebesar Rp395.850.000. Pada tahun pertama operasional, PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 mampu menghemat biaya listrik Kantor BAPPEDA LITBANG masing-masing sebesar Rp43.979.592 dan Rp64.642.977[5].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Etik Puspitasari, Eko Yudiyanto, Lisa Agustriyana, dan Nila Alia dengan judul “*Small PLTS Off Grid 240 WP On Residential House Rooftop*”. Penelitian ini menghitung penggunaan daya listrik pada rumah tinggal, merancang dan membuat PLTS skala kecil off grid 240 WP dari penggunaan daya listrik, menghitung BEP kapan waktu pengembalian modal dari total investasi pengadaan PLTS kecil 240 WP dengan sistem DC dan AC. Daya 240 WP di atap rumah tinggal dilakukan untuk beban 8 lampu AC dengan daya 6 watt dan satu buah kipas angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total penggunaan daya listrik harian sebesar 0,55 kWh/hari atau 16,5 kWh/bulan. Perancangan PLTS 240 WP di atap rumah tinggal sesuai dengan total kebutuhan listrik rumah tangga sebesar 550 watt/hari membutuhkan peralatan inti berupa dua buah panel surya (120 WP), satu buah aki (12 V 100 Ah), Inverter (12 V ke 220 V) = 1000 Watt atau 1 kWh sebanyak satu buah, SCC = 20 A sebanyak satu buah. Hasil dari pembuatan PLTS 240 WP di atap rumah tinggal sesuai dengan total kebutuhan daya listrik rumah tangga tersebut. Break Even Point pada aplikasi PLTS 240WP di atap rumah tinggal dengan daya 1300 V ini akan kembali modal dalam waktu 19,5 tahun. Dimana total biaya investasi pengadaan PLTS 240 WP sebesar Rp. 5.558.000, dan biaya listrik per bulan dari beban di atas adalah Rp. 23.850/bulan[6].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yakobus Kariongan dan Joni dengan judul “Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika”. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan atap beton gedung IRD RSUD Kabupaten Mimika sebagai lokasi pemasangan panel surya. PLTS yang dirancang dalam proyek ini bertujuan untuk menyuplai sekitar 60% dari kebutuhan beban puncak sebesar 211,2 kWh, dengan sistem *on-grid* sebagai sumber daya tambahan. Berdasarkan hasil perencanaan, luas total array panel surya yang dibutuhkan adalah 375 m², dengan daya yang dapat dibangkitkan mencapai 63.000 Wp. Sistem ini menggunakan 210 panel surya berkapasitas 300 Wp yang disusun dalam tiga array, masing-masing dengan kapasitas 21.000 Wp, sehingga total kapasitas daya mencapai 63.000 Wp. Dengan konfigurasi ini, PLTS *rooftop* di RSUD Kabupaten Mimika dapat menghasilkan energi listrik sekitar 242,874 kWh per hari atau 90.474 kWh per tahun. Biaya energi (*Cost of Energy*) untuk sistem PLTS *rooftop* ini diperkirakan sebesar Rp1.700,00 per kWh. Analisis kelayakan investasi dilakukan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), dan *Discounted Payback Period* (DPP) untuk menilai apakah proyek ini layak dijalankan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai NPV positif sebesar Rp1.761.529,00, nilai PI sebesar 1,0015, dan DPP berada di bawah umur proyek 25 tahun, yaitu 24 tahun 8 bulan. Berdasarkan hasil kajian dari aspek teknis dan ekonomi, investasi proyek PLTS di RSUD Kabupaten Mimika dinilai layak untuk dilaksanakan[7].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik adalah suatu alat yang dapat membangkitkan dan memproduksi tegangan listrik dengan cara mengubah suatu energi (seperti energi kinetik, panas, atau cahaya matahari) menjadi energi listrik melalui berbagai proses teknologi. Pembangkit listrik terdiri dari berbagai macam tergantung pemanfaatan energi mekaniknya di antaranya PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTN

(Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Batubara), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) dan PLTGU (Pembangkit Tenaga Gas Uap).

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. Sistem ini menggunakan panel surya fotovoltaik sebagai komponen utama yang berfungsi mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Panel surya fotovoltaik menghasilkan listrik dalam bentuk arus searah (DC), sehingga diperlukan inverter untuk mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan oleh berbagai perangkat listrik. Sistem PLTS dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis. Berdasarkan konfigurasi dan cara kerjanya, secara umum PLTS terbagi menjadi dua sistem utama, yaitu sistem PLTS yang terhubung ke jaringan listrik (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang beroperasi secara mandiri tanpa jaringan (*off-grid PV system*) [8].



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
(<https://images.app.goo.gl/mNt85fqJCKhVy21LA>)

2.2.3 Energi Terbarukan

Istilah "energi terbarukan" mengacu pada jenis energi alam yang dapat diregenerasi secara teratur dan digunakan tanpa batas waktu. Energi terbarukan dapat dibuat dengan menggunakan pergantian peristiwa inovatif yang semakin kompleks, sehingga dapat menjadi sumber energi pilihan. Energi terbarukan ini memiliki berbagai macam pemanfaatan energy alam diantaranya:

1. Energi matahari : Energi ini berasal dari radiasi sinar matahari yang dapat dikonversi menjadi listrik, panas, atau air panas. Untuk menghasilkan listrik, energi matahari diserap oleh panel surya (*solar panel*) dan diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan.
2. Energi angin : Energi angin dihasilkan dari pergerakan udara. Pemanfaatan tenaga angin telah dilakukan sejak lama, seperti di Belanda, di mana kincir angin digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. Saat ini, generator modern menggunakan turbin angin untuk mengubah energi kinetik angin menjadi listrik.
3. Energi panas laut : Air laut memiliki perbedaan suhu antara permukaan dan bagian dalamnya. Permukaan air yang terkena sinar matahari lebih hangat, sementara bagian dalam tetap dingin. Dengan teknologi canggih, perbedaan suhu ini dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik melalui sistem konversi energi panas laut.
4. Energi pasang surut : Energi ini berasal dari pergerakan pasang surut air laut. Teknologi ini telah diterapkan di beberapa wilayah Eropa dan pesisir timur Amerika Serikat. Turbin yang dipasang di pantai memanfaatkan arus pasang surut untuk menghasilkan energi mekanik, yang kemudian dikonversi menjadi listrik[9].

2.2.4 Konsep Daya Energi

Daya adalah besaran yang menunjukkan seberapa cepat energi diubah atau dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain. Daya diukur dalam satuan watt (W). Semakin tinggi daya, semakin cepat energi diubah atau dipindahkan. Daya yang digunakan oleh suatu alat listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti berikut:

1. Tegangan (Volt): Tegangan adalah beda potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik, semakin tinggi tegangannya maka semakin besar daya yang dialirkan.

2. Arus (Ampere): Arus adalah jumlah muatan listrik yang mengalir dalam suatu konduktor per detik, semakin besar arus maka daya yang digunakan semakin besar.
3. Resistansi (Ohm): Resistensi adalah hambatan terhadap aliran arus listrik dalam suatu konduktor. Semakin besar resistensinya maka daya yang digunakan semakin kecil.

2.2.5 Perbedaan kWh dengan kWp

Kilowatt-jam (KWh) adalah alat mengukur penggunaan energi dari perangkat atau beban listrik. Semakin tinggi daya perangkat listrik dan semakin lama perangkat tersebut digunakan, semakin banyak listrik yang dikonsumsi.

Watt peak (Wp) adalah satuan yang menyatakan daya produksi tertinggi yang mampu dihasilkan oleh panel surya sesuai kondisi tertentu. Satuan ini menjelaskan jumlah produksi daya yang dapat dihasilkan panel surya ketika matahari bersinar dengan tingkat penyinaran tertinggi. Sedangkan (kWp) merupakan satuan yang juga menyatakan daya produksi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh panel surya sesuai kondisi, namun dalam satuan kilo. Satuan (MWp) digunakan untuk menyatakan daya produksi tertinggi pada panel surya dengan kapasitas besar.

2.2.6 Energi Matahari dan Pemanfaatannya

Energi merupakan elemen penting bagi kelangsungan hidup manusia dan memiliki peran besar dalam berbagai aspek kehidupan. Konsep energi pertama kali diperkenalkan oleh James Prescott Joule. Secara alami, energi tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya bisa berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam kehidupan sehari-hari, energi mengalami perpindahan dan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya adalah energi matahari. Matahari menjadi sumber energi utama bagi banyak makhluk hidup, baik sebagai sumber panas maupun cahaya. Selain itu, energi matahari juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.

Dalam penerapannya, pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan melalui tiga cara. Pertama, dengan prinsip pemanasan langsung, di mana sinar matahari secara langsung memanaskan benda atau medium tertentu, seperti saat

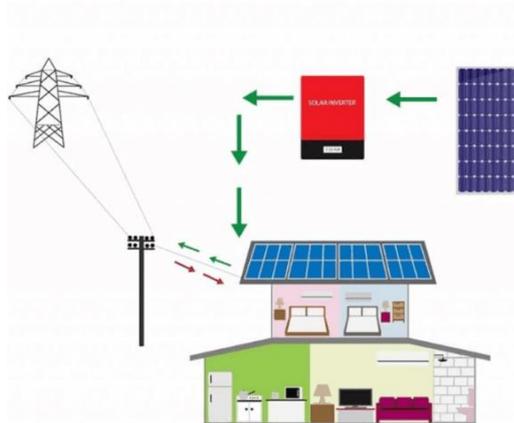
menjemur pakaian. Kedua, dengan menggunakan kolektor surya untuk menyerap dan menyimpan panas matahari sebelum disalurkan ke medium lain. Ketiga, dengan mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik menggunakan sel surya (*solar cell*)[10].

2.2.7 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem PLTS terdiri dari modul fotovoltaik, *solar charge controller* atau *grid inverter*, baterai, inverter baterai, serta beberapa komponen pendukung lainnya. Terdapat beberapa jenis sistem PLTS, yaitu sistem yang terhubung ke jaringan listrik PLN (*On-Grid*) dan sistem yang berdiri sendiri tanpa koneksi ke jaringan listrik PLN (*Off-Grid*). Meskipun sistem PLTS tersebar (*Solar Home System* atau SHS) lebih umum digunakan karena biaya yang lebih terjangkau dan desainnya yang sederhana, saat ini sistem PLTS *On-Grid*, *Off-Grid*, dan hibrida, yang mengombinasikan tenaga surya dengan sumber energi lain seperti angin, juga semakin banyak diterapkan. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas listrik yang dihasilkan serta memastikan penggunaan energi yang lebih optimal dan berkelanjutan melalui kepemilikan kolektif.

1. Sistem PLTS Off-Grid

PLTS Off-Grid adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini sepenuhnya bergantung pada radiasi matahari sebagai sumber energi utama, dengan menggunakan panel surya atau *photovoltaic* untuk menghasilkan listrik. PLTS Off-Grid umumnya digunakan di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN, seperti wilayah pedesaan atau terpencil[4].

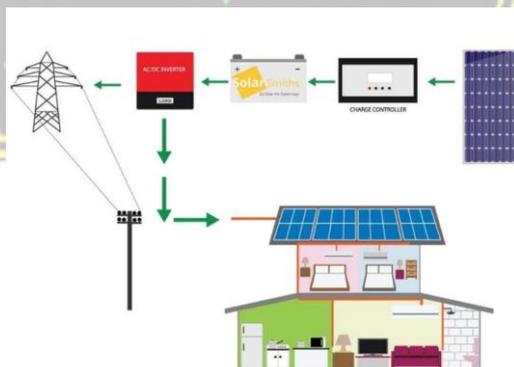


Gambar 2. 3 Sistem PLTS On-Grid

(<https://images.app.goo.gl/u7DnS2K4mUZ3HBbHA>)

3. Sistem PLTS Hybrid

Penggunaan PLTS dikombinasikan dengan pembangkit listrik lain maka disebut sistem hybrid. Biasanya sistem pembangkit yang banyak digunakan adalah PLTMH, PLTB, dan genset, sistem dapat dilihat pada gambar 4. Sistem Hybrid memberikan tenaga untuk mengibangi daya dari beberapa pembangkit, setiap terjadi kelebihan daya yang dihasilkan maka akan disimpan terlebih dahulu untuk penggunaan selanjutnya[2].



Gambar 2. 4 Sistem PLTS Hybrid

(<https://images.app.goo.gl/X8EkhBLXghCHi6UJ6>)

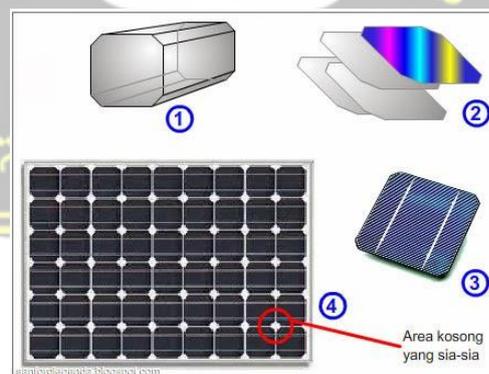
2.2.8 Jenis – jenis Sel Surya

Sel surya memiliki beberapa jenis, di mana setiap jenisnya berpengaruh terhadap daya keluaran serta harga jual panel surya. Bahan yang umum

digunakan dalam pembuatan sel surya antara lain cadmium telluride dan copper indium gallium selenide, serta bahan semikonduktor seperti silikon. Selain itu, sel surya berbasis film tipis juga dikembangkan dengan metode *plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PECVD) menggunakan gas metana dan hidrogen. Berikut adalah jenis-jenis sel surya berdasarkan bahan pembuatannya:

1. Monocrystalline

Monocrystalline dibuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis. Teknologi ini menghasilkan kepingan sel surya yang seragam dengan kinerja tinggi, menjadikannya salah satu jenis sel surya paling efisien dengan tingkat efisiensi sekitar 15–20%. Namun, karena bahan baku berupa silikon murni dan proses pembuatannya yang lebih kompleks, harga sel surya monocrystalline cenderung lebih mahal dibandingkan jenis lainnya di pasaran. Kelemahannya, sel surya jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya, seperti terlihat pada gambar 2.5[12].



Gambar 2. 5 Sel Surya Monocrystalline

(<https://images.app.goo.gl/PtiFfKmQmwgpu8Wi6>)

Keterangan Gambar:

1. Batang Kristal Silikon Murni.
2. Irisan Kristal Silikon Yang Sangat Tipis.
3. Sebuah Sel Surya Monocrystalline Yang Sudah Jadi.

4. Sebuah Panel Surya Monocrystalline Yang berisi Susunan Sel Surya monocrystalline, Nampak area kosong yang tidak tertutup karena bentuk sel surya jenis ini.

2. Polycrystalline

Polycrystalline memiliki proses pembuatan yang serupa dengan monocrystalline, yaitu menggunakan metode Czochralski. Ketebalannya berkisar antara 130–180 μm , lebih tipis dibandingkan dengan monocrystalline. Hal ini membuat biaya produksinya lebih rendah, tetapi berdampak pada efisiensi yang sedikit lebih rendah, yakni sekitar 12–14%. Secara tampilan, sel surya polycrystalline memiliki motif seperti pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi membuat susunan panel menjadi lebih rapat tanpa celah kosong, berbeda dengan panel monocrystalline. Selain proses pembuatannya yang lebih sederhana, harga polycrystalline juga lebih terjangkau dibandingkan monocrystalline[12].



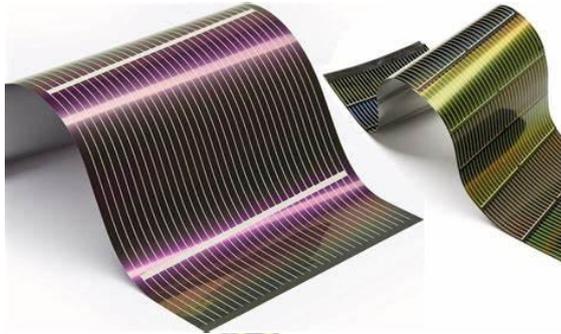
Gambar 2. 6 Sel Surya Polycrystalline

(<https://images.app.goo.gl/HPD2H7jKTNBj9ybj8>)

3. Thin Film Solar Cell

Jenis sel surya ini dibuat dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tipis material sel surya ke dalam lapisan dasarnya. Karena ketebalannya yang sangat tipis, sel surya ini menjadi ringan dan fleksibel, sehingga cocok untuk

berbagai aplikasi. Teknologi ini lebih dikenal dengan sebutan TFPV (Thin Film Photovoltaic).



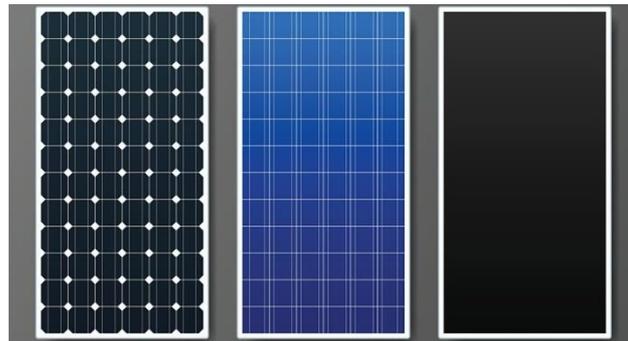
Gambar 2. 7 Sel Surya Thin Film Solar Cell

(<https://images.app.goo.gl/mTD6MKgDhQpYQjFe6>)

2.2.9 Komponen – komponen Sistem PLTS Hybrid

1. Panel Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik[13]. Panel ini terdiri dari beberapa sel surya yang tersusun baik secara seri maupun paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya. Gabungan dari panel surya membentuk suatu "array". Kapasitas daya panel surya dinyatakan dalam satuan Wattpeak (Wp), yang menunjukkan jumlah daya maksimum yang dapat dihasilkan dalam kondisi ideal, yakni saat intensitas radiasi matahari mencapai 1000 W/m². Namun, dalam penggunaan nyata, daya serta arus listrik yang dihasilkan panel surya dapat berubah-ubah tergantung pada tingkat intensitas cahaya matahari yang diterima. Selain itu, beberapa faktor lain seperti kondisi lingkungan, kemiringan sudut pemasangan, serta kebersihan permukaan panel juga berpengaruh terhadap efisiensi daya yang dihasilkan.



Gambar 2. 8 Panel Surya

(<https://images.app.goo.gl/ihV3xrDPLu6VfsLb8>)

2. Inverter

Inverter adalah perangkat listrik yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Alat ini biasa digunakan untuk mengonversi arus DC dari sumber seperti baterai atau panel surya menjadi arus AC 220V yang dapat digunakan untuk berbagai perangkat elektronik. Pemilihan inverter yang tepat bergantung pada kebutuhan daya serta jenis sistem PLTS yang digunakan, apakah terhubung ke jaringan PLN atau berdiri sendiri. Secara umum, inverter terbagi dalam tiga kategori utama: grid-tied, grid-tied dengan baterai cadangan, dan stand-alone. Inverter grid-tied digunakan pada sistem PLTS yang tersambung dengan jaringan listrik utama, sedangkan inverter stand-alone atau off-grid cocok untuk sistem yang beroperasi secara mandiri tanpa koneksi ke PLN[2].

Yang diperhatikan dalam penerapan inverter antara lain sebagai berikut:

- a. Kapasitas daya Inverter Kerja inverter adalah bekerja dalam kondisi normal, rata-rata maupun daya puncak. Maka dari itu perlunya factor safety untuk pengamanan jika terjadi beban puncak, safety factor inverter sebesar 1,25. Salah satu cara untuk menentukan kapasitas inverter dengan menggunakan persamaan (2.1) yang sudah ada safety factor-nya.

$$\text{Capacity of inverter} = P_{mpp} \times \text{Safety factor} \quad (2.1)$$

Dengan,

P_{mpp} = Daya keluaran maksimum panel surya (W)

Safety factor = Faktor keamanan

Capacity of inverter = Kapasitas Inverter

- b. Tegangan masukan inverter.
- c. Arus masukan inverter.
- d. Memiliki kualitas siklus murni.
- e. Menggunakan sistem komunikasi elektronik dengan insulated gate bipolar transistor.
- f. Memiliki sistem aturan MPPT (Maximum Power Point Tracking).
- g. Mampu bekerja dalam suhu 45 °C².



Gambar 2. 9 Jenis Inverter Hybrid

(<https://images.app.goo.gl/rSGfEPERMbQdQiq7>)

3. Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid)

VRLA adalah singkatan dari Valve Regulated Acid, yaitu baterai yang diatur oleh katup dan terbuat dari asal timbal. Jenis baterai ini dirancang khusus untuk digunakan pada sistem panel surya dan dianggap sebagai baterai terbaik untuk aplikasi panel surya karena efisiensi dan daya tahan yang tinggi[14].

VRLA menggunakan teknologi yang lebih canggih dari pada baterai konvensional, baterai VRLA memiliki sistem katup yang mengatur aliran gas dan menjaga tekanan di dalam baterai agar tetap stabil, ini membuat baterai VRLA lebih tahan lama dan lebih aman digunakan dalam lingkungan yang berbeda. VRLA untuk panel surya bekerja dengan cara ketika panel surya

menghasilkan energi, baterai menyimpan energi tersebut untuk digunakan pada waktu yang dibutuhkan.



Gambar 2. 10 Baterai VRLA

(<https://images.app.goo.gl/tTMjEGUDZAM8RK9t5>)

4. ATS PLTS

ATS adalah Automatic Transfer Switch yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya, ATS berfungsi untuk menghubungkan beban listrik ke dua sumber tenaga listrik yang berbeda, yaitu sumber utama dan sumber cadangan, cara kerja ATS plts jika daya dari plts tidak mencukupi, ATS akan secara otomatis beralih ke sumber listrik PLN atau tegangan baterai mencapai batas minimum maka ATS akan memutus pasokan listrik dari baterai.



Gambar 2. 11 ATS PLTS

(<https://images.app.goo.gl/HTdPTxARF1bj8X1y5>)

5. Panel Combiner

Panel Combiner atau Combener Box merupakan suatu komponen yang melindungi sistem kelistrikan PLTS dari gangguan-gangguan yang dapat merusak komponen lainnya di dalam sistem PLTS. Oleh karena itu combiner box sangat penting dalam pembangunan PLTS. Combiner box memiliki fungsi penting yaitu menggabungkan beberapa string modul PV menjadi 1 output kemudian dihubungkan pada satu inverter.

Combiner box bekerja dimulai pada saat modul PV menghasilkan listrik dari sinar matahari untuk digabungkan dengan listrik dari sumber listrik dari modul PV yang lain menjadi satu aliran arus dan keluaran akan lebih besar. Didalam kotak tertutup selengkap ini kabel-kabel yang mengaliri listrik dari modul PV akan disatukan dengan busbar. Sebelum arus listrik dari *combiner box* di alirkan keluar, tegangan maupun arus diolah oleh inverter agar arus tetap aman dan teraliri dengan stabil.



Gambar 2. 12 Panel Combiner

(<https://images.app.goo.gl/U4Lek9YkpqCgdDja8>)

6. Miniatur Circuit Breaker (MCB)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) atau *Miniatur Pemutus Sirkuit* adalah Saklar untuk Menjalankan Dan mematikan Catu daya 24VDC yang nantinya sebagai *Supply* tegangan untuk Menjalankan PLC, HMI Monitor, *Pressure Sensor*, dan *Flow Sensor*. Arti MCB yakni sebuah perangkat *elektromekanikal* yang bekerja sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus lebih. Dengan kata lain, MCB dapat memutuskan arus listrik secara otomatis ketika arus listrik

yang melewati MCB tersebut melebihi nilai yang diseting. Saat arus dalam kondisi normal, MCB dapat berfungsi sebagai saklar yang bisa menyambung atau memutuskan arus listrik secara manual.

Dalam sistem kelistrikan, gangguan atau kesalahan dalam pengoperasian sering kali tidak dapat dihindari. Gangguan tersebut bisa berupa hubung singkat, pengaruh cuaca, atau arus berlebih. Oleh karena itu, diperlukan pengaman dalam rangkaian kelistrikan untuk mencegah kerusakan. Salah satu komponen penting dalam perlindungan sistem ini adalah MCB, yang berfungsi untuk meminimalkan risiko kerusakan akibat gangguan tersebut[15].

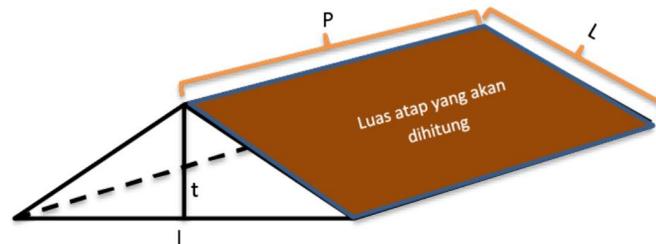


Gambar 2. 13 MCB 3 Phase

(<https://images.app.goo.gl/TEVfRnQh5iBSNnFY6>)

2.2.10 Pengukuran Luas Atap

Dalam menghitung luas atap prisma, perlu mempertimbangkan kemiringan sudutnya, sehingga menjadi lebih kompleks. Pada ilustrasi di bawah, area atap yang dihitung ditandai dengan warna coklat.



Gambar 2. 14 Luasan yang akan dihitung

Dimana:

P = Panjang Atap

L = Lebar Sisi Miring Atap

I = Lebar Sisi Datar Atap

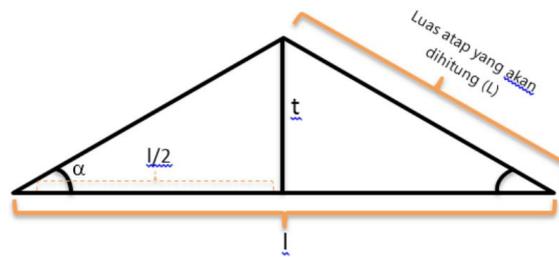
t = Tinggi

Pada prinsipnya, luas atap dari gambar diatas dihitung menggunakan persamaan (2.2).

$$\text{Luas Atap} = P \times L \quad (2.2)$$

Lebar sisi miring atap (L) dapat diketahui langsung melalui denah rumah. Namun, jika denah tidak tersedia, pengukuran dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak Google Earth, dengan beberapa langkah perhitungan tambahan sebagai berikut[16]:

1. Mengukur lebar sisi datar atap (I) dengan meteran atau fitur penggaris pada Google Earth.
2. Menghitung lebar sisi miring atap (L) menggunakan rumus trigonometri seperti persamaan (2.3).



Gambar 2.15 Atap Tampak Depan

Dimana:

α : Sudut kemiringan atap prisma (antara 150 – 450)

t : Tinggi atap prisma

l : Lebar atap prisma

$\frac{1}{2}l$: Setengah dari lebar atap prisma

$$\text{Lebar Sisi Miring Atap (L)} = \sqrt{\frac{1}{2}l^2 + t^2} \quad (2.3)$$

3. Menghitung luas atap miring, dengan menggunakan persamaan (2.4) setelah sisi L diketahui:

$$\text{Luas Atap} = P \times L \quad (2.4)$$

Atau menggunakan, rumus perhitungan luas atap miring menjadi persamaan (2.5).

$$\text{Luas Atap} = P \times \left(\frac{1}{2}l \times \cos \alpha\right) \quad (2.5)$$

2.2.11 Array Modul Surya

Dalam merancang pembangkit listrik tenaga surya, mengetahui luasan area yang tersedia menjadi langkah awal yang penting. Sebelum menentukan komponen lainnya, perlu dipastikan bahwa penyusunan array modul surya dilakukan secara efisien agar tidak memakan ruang secara berlebihan. Luas array modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).

$$Luas Array = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT} \quad (2.6)$$

Dengan:

EL = Besar energi yang akan dibangkitkan (kWh/hari)

Gav = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m²/hari)

η_{PV} = Efisiensi Panel Surya (%)

η_{out} = Efisiensi Keluaran Sistem (%)

FKT = Faktor Koreksi Temperatur (%)

$Luas Array$ = Luas Permukaan Array Surya (m²)

Setelah mendapatkan luas array modul surya, maka selanjutnya dapat mengetahui besarnya pembangkit yang bisa di bangkitkan. Untuk itu persamaan (2.7) merupakan persamaan mencari maksimal besarnya daya yang akan dibangkitkan.

$$P Wattpeak = Luas Array \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2.7)$$

Dengan:

$P Wattpeak$ = Daya yang dibangkitkan PLTS (W)

$Luas Array$ = Luas permukaan panel surya (m²)

PSI = Peak solar insolation (1000W/m²)

η_{PV} = Efisiensi panel surya (%)

Daya yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.7), dari perhitungan ini, juga dapat ditentukan jumlah panel yang dapat terpasang berdasarkan kapasitas yang tersedia dengan menggunakan persamaan (2.8).

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \quad (2.8)$$

Dengan:

P_{wattpeak} = Daya Yang Akan Dibangkitkan PLTS (W)

P_{max} = Kapasitas Daya Maksimal Panel Surya (W)

Setelah jumlah panel yang dapat terpasang diketahui berdasarkan persamaan (2.8), langkah selanjutnya adalah menghitung energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap menggunakan persamaan (2.9)[13].

$$E_{\text{out}} = E_{\text{in}} \times G_{\text{av}} \quad (2.9)$$

Dengan:

E_{in} = Jumlah Panel x P_{mpp} saat naik °C

G_{av} = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/hari)

2.2.12 Menghitung Kapasitas Baterai

Dalam menghitung kapasitas baterai yang dibutuhkan, spesifikasi baterai yang dipilih harus memiliki tegangan lebih rendah dari tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Hal ini disebabkan oleh prinsip kerja baterai, dimana pengisian

hanya dapat terjadi jika tegangan keluaran dari panel surya lebih besar dibandingkan tegangan baterai. Dengan persamaan (2.10) kapasitas baterai dapat ditentukan.

$$C_T = \frac{C_R}{DOD} \quad (2.10)$$

Dengan:

C_T = Kapasitas Baterai

C_R = Kapasitas penyimpanan yang dibutuhkan

DOD = Persentase kapasitas Baterai

Setelah menentukan kapasitas baterai, maka perlu dilakukan konversi kapasitas besaran energi listrik yang dapat disimpan, dari Wh menjadi Ah.

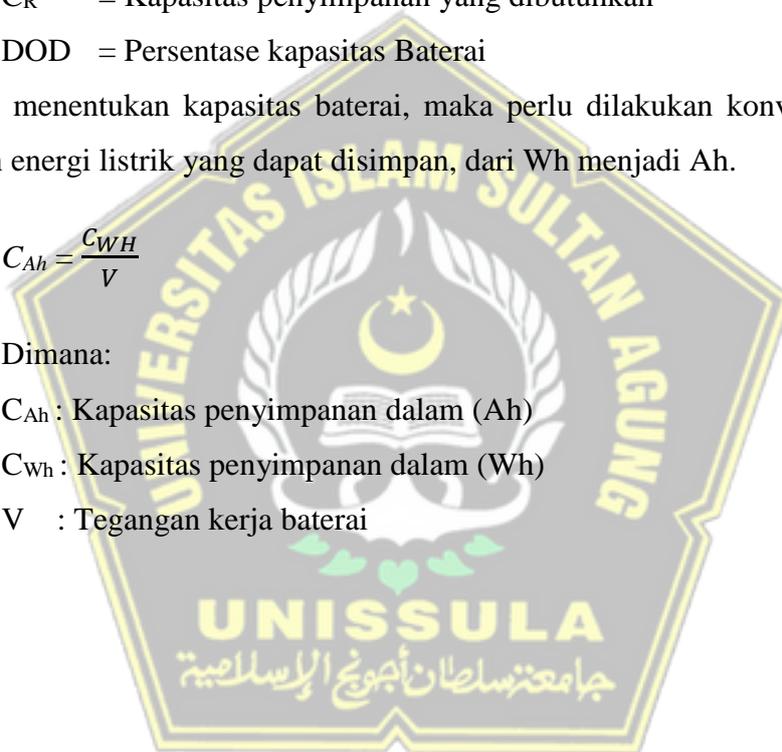
$$C_{Ah} = \frac{C_{Wh}}{V} \quad (2.11)$$

Dimana:

C_{Ah} : Kapasitas penyimpanan dalam (Ah)

C_{Wh} : Kapasitas penyimpanan dalam (Wh)

V : Tegangan kerja baterai



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan yang digunakan dalam proses penelitian ini. Dalam tugas akhir ini, metode yang diterapkan meliputi berbagai tahapan untuk memperoleh data sebagai berikut:

3.1 Objek Penelitian

Objek perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap di Hotel Mahkota Pati dengan menggunakan sistem hybrid menjadi bahan analisis penulis.



Gambar 3. 1 Lokasi Hotel Mahkota Pati

3.2 Alat dan Peralatan Dalam Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini, beberapa peralatan yang digunakan antara lain handphone Oppo Reno 5, laptop Acer tipe Swift 3 dan aplikasi Hooper yang berperan dalam membantu proses penyusunan tugas akhir.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan menentukan lokasi penelitian yang akan menjadi objek kajian, kemudian dilanjutkan dengan proses pengumpulan data. Data yang dikumpulkan terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari proses pengukuran dan pengujian objek di tempat penelitian secara langsung di Hotel Mahkota. Kemudian diikuti data sekunder atau pengumpulan

data – data yang diperlukan dari buku, jurnal ataupun data arsip dari Hotel Mahkota.

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data untuk penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah:

1. Observasi

Metode ini dilakukan dengan mengamati langsung kondisi lapangan untuk mendapatkan data terkait konsumsi daya listrik bulanan, beban listrik yang terpasang, serta luas atap bangunan.

2. Perhitungan

Metode perhitungan dilakukan dengan menghitung hasil dari pengukuran yang diperoleh selama observasi. Perhitungan ini mencakup luas array modul untuk memastikan penyusunan yang efisien tanpa memakan terlalu banyak ruang. Selain itu, dilakukan juga perhitungan kapasitas pembangkit yang dapat dihasilkan berdasarkan susunan array, guna menentukan daya maksimal yang bisa dicapai. Selanjutnya, jumlah panel yang dapat dipasang dihitung sesuai dengan kapasitas yang tersedia. Untuk pengukuran luas atau ketinggian atap, dapat digunakan Google Earth ataupun dilakukan secara manual dengan meteran untuk mengukur sisi-sisi atap secara langsung.

3. Studi Literature

Metode ini mencakup pengumpulan teori dasar yang digunakan dalam tugas akhir. Sumber teori diperoleh dari jurnal yang telah dipublikasikan, materi kuliah, serta beberapa referensi dari internet. Dalam perancangan PLTS dengan sistem hybrid, terdapat tahapan yang harus dilakukan, menghitung luas atap yang tersedia, mengumpulkan data intensitas radiasi matahari, menentukan jumlah panel yang akan dipasang, serta menghitung kapasitas daya PLTS menggunakan rumus yang sesuai. Selain itu, proses ini juga mencakup perhitungan kapasitas baterai, kapasitas inverter yang diperlukan, serta kapasitas scc yang digunakan sebagai acuan utama dalam menyelesaikan tugas akhir.

4. Studi Geografis

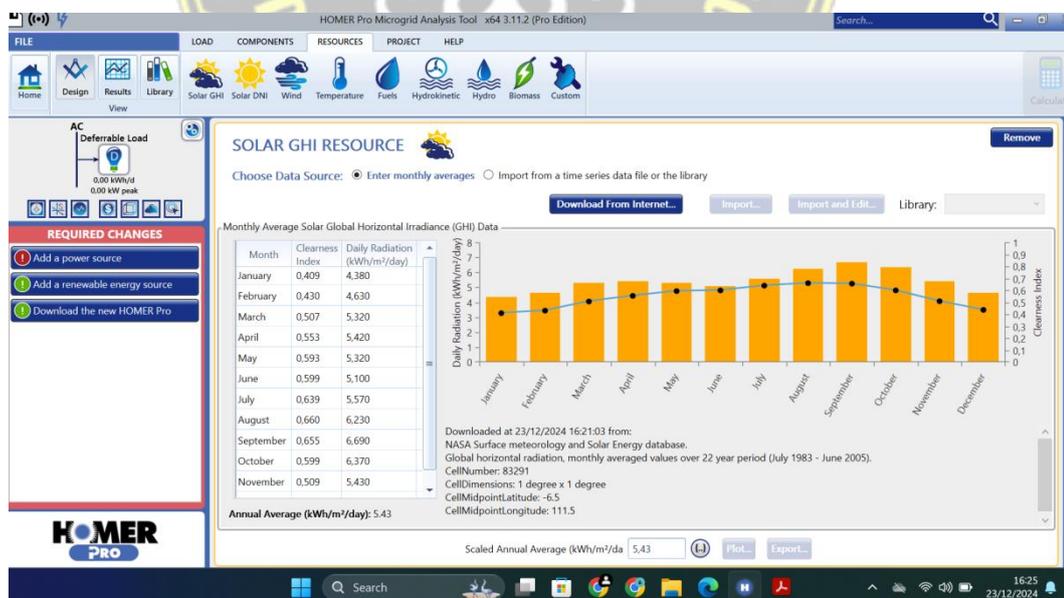
Metode ini memanfaatkan Google Earth untuk menentukan lokasi berdasarkan koordinat lintang dan bujur, yakni LU (Lintang Utara) - LS (Lintang Selatan) serta BT (Bujur Timur) sebagai titik acuan dalam pengambilan data radiasi satelit. Hotel Mahkota sendiri terletak di perkotaan, sehingga memiliki potensi menerima paparan sinar matahari yang cukup, namun, kondisi cuaca bisa berubah-ubah, misalnya dari cerah menjadi mendung secara tiba-tiba. Meski demikian, pada rentang waktu pukul 11.00 hingga 13:00 WIB, intensitas panas matahari terasa cukup tinggi. Informasi berdasarkan letak geografis digunakan untuk mengukur radiasi matahari di Hotel Mahkota Pati yakni :

Garis Lintang : 6.4445

Garis Bujur : 111.0219

3.3.1 Data Iradiasi

Intensitas radiasi matahari diperoleh menggunakan aplikasi HOMER PRO yang mengacu pada data yang tersedia dari NASA.



Gambar 3. 2 Data Intensitas Matahari Berdasarkan Dari NASA

3.3.2 Konsumsi Energi Hotel Mahkota Pati

Data konsumsi energi di Hotel Mahkota Patidengan daya terpasang sebesar 33 KVA. Berdasarkan data dari hasil observasi dan perhitungan didapatkan rata-rata pemakaian energi listrik di bulan November tahun 2024 di tunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Pemakaian Konsumsi Energi Listrik di Hotel Mahkota Pati

Hari	Pemakaian Energi Listrik/Hari (kWh)
1	128,41
2	106,30
3	28,72
4	34,2
5	121,91
6	198,44
7	268,88
8	111,14
9	96,37
10	47,6
11	53,56
12	127,35
13	167,37
14	230,7
15	156,90
16	71,57
17	55,6
18	65,9
19	135,64
20	82,5
21	98,35

22	188,51
23	112,41
24	88,76
25	102,11
26	147,54
27	182,22
28	206
29	150,83
30	83,34
Jumlah pemakaian 1 bulan	3649,71
Rata - rata Harian	121,65

3.4 Komponen

Penelitian ini menggunakan panel surya jenis monocrystalline dengan daya maksimal 405 Wp. Panel jenis ini dipilih karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi, sehingga mampu menghasilkan energi lebih banyak dibandingkan jenis lainnya. Selain itu, penggunaan panel dengan daya besar juga bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan lahan serta menekan biaya pemasangan. Adapun bentuk panel surya yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Modul Panel Surya Jinko 405 Wp
(<https://images.app.goo.gl/ZShoaDvdvYDX7XNU6>)

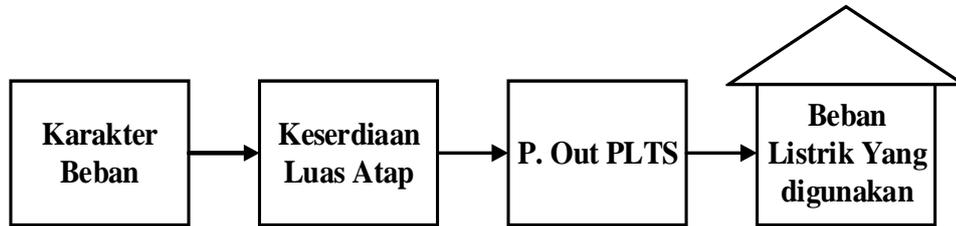
Tabel 3. 2 Spesifikasi Modul Panel Surya 405 Wp Jinko Monocrystalline

Module Type	JKM405M-72H-V(STC)
Maximum Power (Pmax)	405 Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.0 Volt
Maximum Power Current (Imp)	9.65 A
Open-circuit Current (Voc)	50.1 V
Short-circuit Current (Isc)	10.69 A
Module Efficiency STC (%)	20.13 %
Maximum System Voltage	1500VDC(IEC)
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Power Tolerance	0-+3%
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C

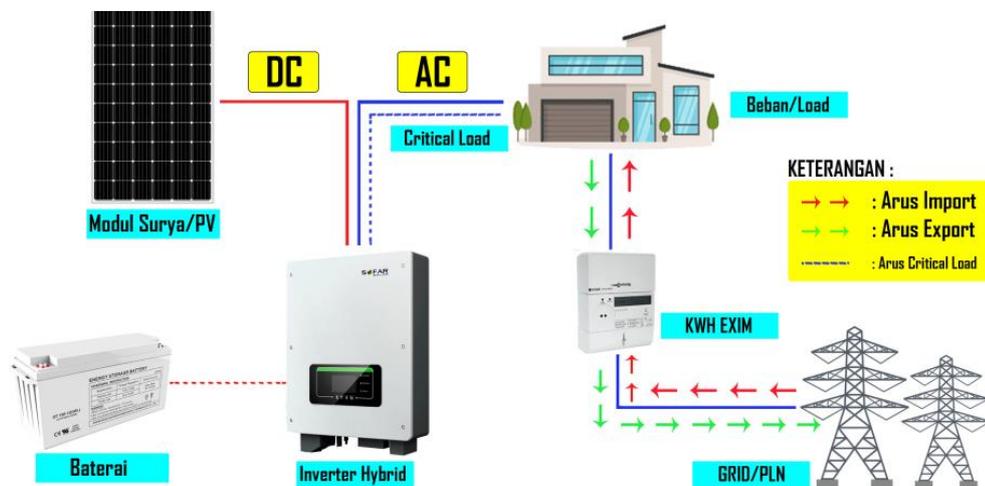
3.5 Tahapan – tahapan Penelitian

1. Menentukan lokasi perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap dengan sistem hybrid yang akan menjadi objek penelitian. Dalam studi ini, data diambil dari Hotel Mahkota.
2. Menentukan pemodelan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap yang cocok diterapkan di Hotel Mahkota.
3. Menentukan parameter awal yang digunakan, yaitu luas atap, intensitas radiasi matahari, konsumsi listrik bulanan, serta beban terpasang.
4. Melakukan perhitungan jumlah panel, kapasitas daya PLTS, dan kapasitas inverter, lalu menganalisis hasilnya. Jika hasil perhitungan tidak sesuai, maka proses kembali ke langkah pertama. Jika sudah memenuhi standar, maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.
5. Mengambil kesimpulan dari analisa dari penelitian yang telah dilakukan.

3.6 Alur Perencanaan PLTS



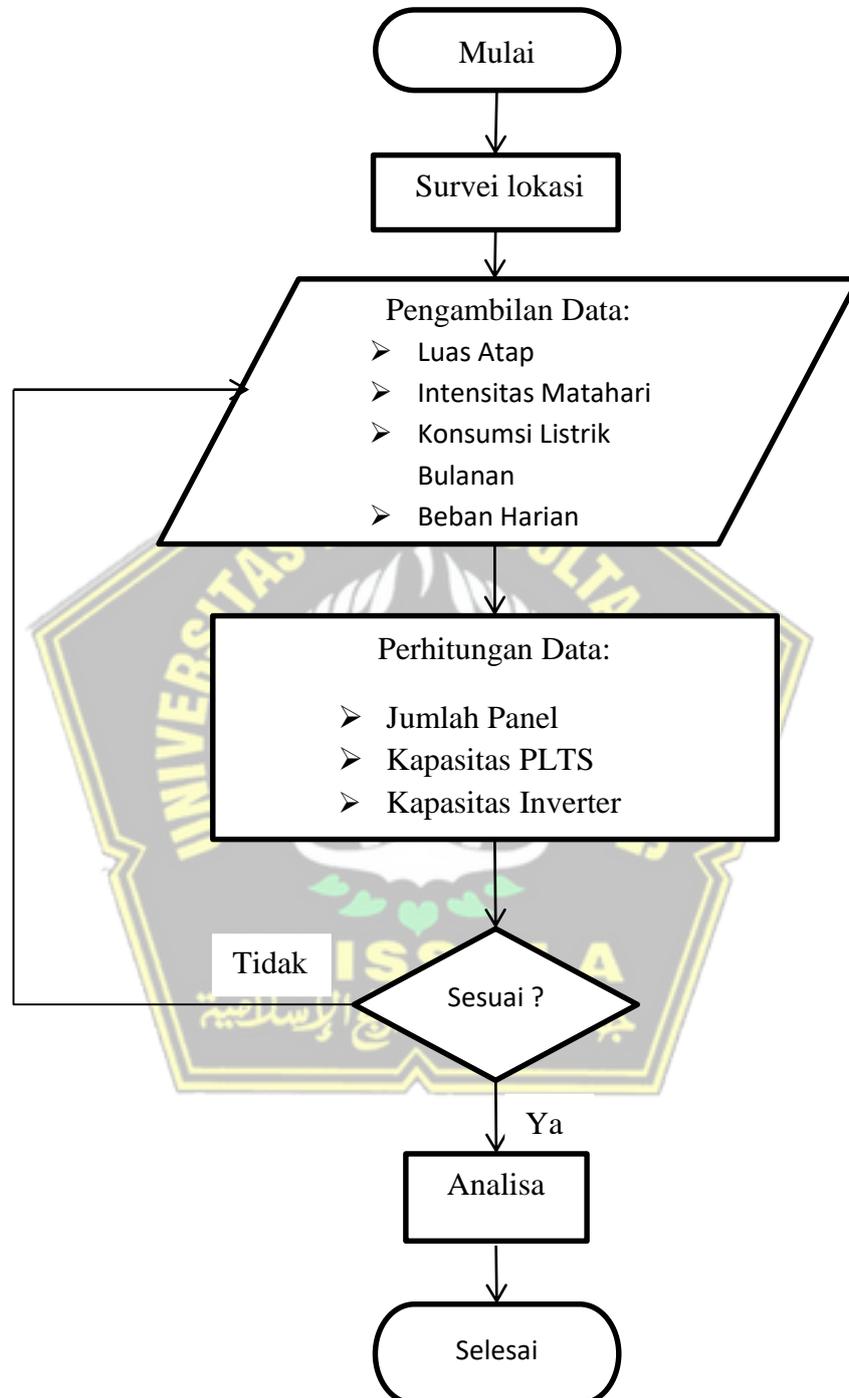
3.7 Desain PLTS Hybrid



Gambar 3. 4 Desain PLTS Hybrid

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

3.8 Flowchart



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Iradiasi Sinar Matahari

Data radiasi sinar matahari menurut NASA yang diambil pada software HOOMER menunjukkan seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Iradiasi Matahati di Hotel Mahkota Pati

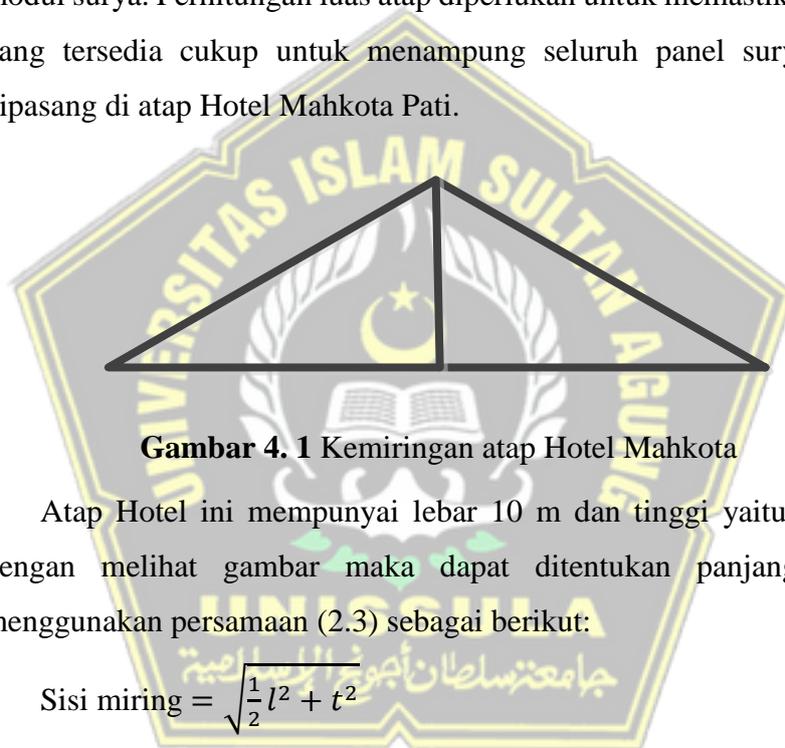
Bulan	Temperature Udara (°C)	Solar GHI (kWh/ m² /d)	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	26.06	4.38	4.23
Februari	26.02	4.63	4.40
Maret	26.07	5.32	3.16
April	26.21	5.42	3.46
Mei	26.12	5.32	4.88
Juni	25.75	5.10	5.61
Juli	25.45	5.57	6.30
Agustus	25.74	6.23	6.30
September	26.21	6.69	5.37
Oktober	26.38	6.37	4.08
November	26.16	5.43	3.34
Desember	26.04	4.64	3.23
Rata-rata	26.02	5.43	4.53
Sumber	NASA	NASA	NASA

Pada tabel 4.1 Menunjukkan perubahan suhu dan kecepatan angin dalam waktu satu tahun. Salah satunya yang terpenting dalam penelitian kali ini adalah intensitas radiasi sinar matahari pada Hotel Mahkota di Desa Kaborongan Pati dengan rata- rata intensitas radiasi sinar matahari sebesar 5,43 kWh/m²/d. Data ini diambil dari 22 tahun periode (Jul 1983- Jun 2005).

Desain perencanaan didasarkan pada nilai intensitas radiasi matahari di bulan Januari, yaitu 4,38 kWh/m²/hari. Bulan ini dipilih karena memiliki intensitas cahaya matahari terendah dibandingkan bulan lainnya. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem dapat menghasilkan energi listrik secara optimal sepanjang tahun.

4.2 Luas Atap

Penelitian ini mempertimbangkan luas atap sebagai lokasi pemasangan modul surya. Perhitungan luas atap diperlukan untuk memastikan bahwa area yang tersedia cukup untuk menampung seluruh panel surya yang akan dipasang di atap Hotel Mahkota Pati.



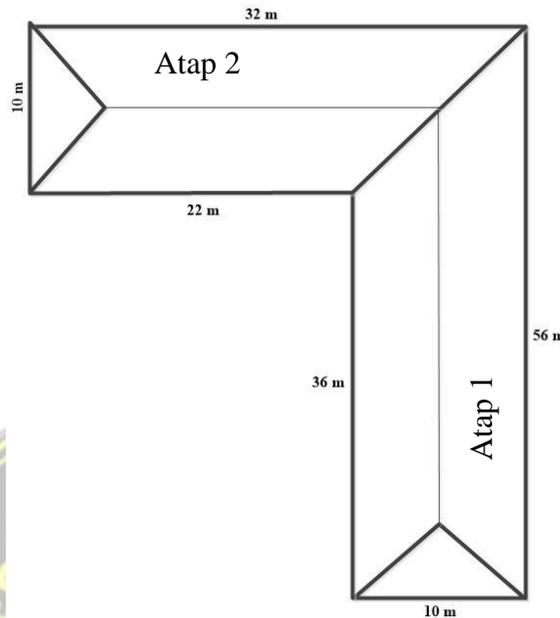
Gambar 4. 1 Kemiringan atap Hotel Mahkota

Atap Hotel ini mempunyai lebar 10 m dan tinggi yaitu sebesar 2 m. dengan melihat gambar maka dapat ditentukan panjang kemiringan menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi miring} &= \sqrt{\frac{1}{2}l^2 + t^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2}10^2 + 2^2} \\
 &= \sqrt{5^2 + 2^2} \\
 &= \sqrt{25 + 4} \\
 &= \sqrt{29} \\
 &= 5,38 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kemiringan atap yang diperoleh adalah 5,38 m, sehingga jika kedua sisi miring digabungkan, totalnya menjadi 10,76 m. Kemiringan ini akan menentukan lebar atap saat dilihat dari atas serta berpengaruh pada jumlah

panel surya yang dapat dipasang. Selanjutnya, luas atap dapat dihitung dengan mengalikan panjang dengan sisi miring atau menggantinya dengan lebar yang sesuai.



Gambar 4. 2 Denah beserta panjang ukuran atap Hotel Mahkota

Dengan di ketahuinya panjang Hotel maka dapat diketahui luas atap Hotel, luas atap Hotel Mahkota sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Atap 1} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \cdot t \\
 &= \frac{1}{2} (\text{kemiringan 1} + \text{kemiringan 2}) \cdot \text{panjang} \\
 &= \frac{1}{2} (5,38 \text{ m} + 5,38 \text{ m}) \cdot 56 \text{ m} \\
 &= \frac{1}{2} 10,76 \text{ m} \cdot 56 \text{ m} \\
 &= 5,38 \text{ m} \cdot 56 \text{ m} \\
 &= 301,3 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Atap 2} &= \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \cdot t \\
 &= \frac{1}{2} (\text{kemiringan 1} + \text{kemiringan 2}) \cdot \text{panjang} \\
 &= \frac{1}{2} (5,38 \text{ m} + 5,38 \text{ m}) \cdot 32 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} 10,76 \text{ m} \cdot 32 \text{ m} \\
 &= 5,38 \text{ m} \cdot 32 \text{ m} \\
 &= 172,2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk luas Luas atap 1 menjadi $301,3 \text{ m}^2$, Luas atap 2 menjadi sebesar $172,2 \text{ m}^2$. Jadi luuas semua atap Hotel mahkota adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas semua atap} &= 301,3 \text{ m}^2 + 172,2 \text{ m}^2 \\
 &= 473,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

4.3 Jumlah Panel

Hotel Mahkota memiliki daya terpasang sebesar 33 kVA. Perencanaan sistem PLTS dirancang untuk menghasilkan sekitar 65% dari rata-rata konsumsi energi harian pada bulan November, yaitu sebesar 121,65 kWh. Energi listrik yang akan dipasok oleh PLTS atap dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) berdasarkan kebutuhan tersebut adalah:

$$EL = 65 \% \times \text{Pemakaian Rata-rata energi listrik harian}$$

$$EL = 65 \% \times 121,65 \text{ kWh}$$

$$EL = 79,07 \text{ kWh}$$

Temperatur berpengaruh terhadap kinerja setiap panel surya, sehingga penting untuk mengetahui rata-rata intensitas matahari guna menghitung daya maksimum yang dapat dihasilkan ketika menggunakan panel berkapasitas 405 Wp. Setiap kenaikan suhu panel surya sebesar 1°C di atas 25°C akan mengurangi efisiensi panel sekitar 0,5%. Pada bulan Oktober, temperatur tertinggi mencapai $26,38^\circ\text{C}$, sehingga terjadi kenaikan suhu sebesar $1,38^\circ\text{C}$. Pengaruh ini dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$P \text{ saat } \Delta t = 0,5\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan suhu } (^\circ\text{C})$$

$$P \text{ saat } 26,38^\circ\text{C} = 0,5\% \times 405 \text{ Watt} \times 1,38^\circ\text{C}$$

$$= 2,025 \times 1,38^\circ\text{C}$$

$$= 2,79 \text{ Watt}$$

Kenaikan suhu di Hotel Mahkota Pati mempengaruhi kinerja panel surya. Menggunakan solar panel dengan ukuran 405 Wp, mengetahui Δt dapat menentukan daya maksimal.

$$\begin{aligned} P_{\max t} &= 405 - 2,79 \\ &= 402,21 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Faktor koreksi temperature (FKT) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FKT} &= \frac{P_{\max t}}{P_{\max}} \\ &= \frac{402,21}{405} \\ &= 0,99 \% \end{aligned}$$

Luas array dalam penerapan panel surya di atap Hotel Mahkota dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti efisiensi panel sebesar 20,13%, efisiensi inverter 95%, serta faktor suhu dan intensitas cahaya matahari yang mencapai 4,38 kWh/m² per hari. Selain itu, luas array juga ditentukan oleh jumlah energi yang ingin dihasilkan menggunakan persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} \text{Luas Array} &= \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times \text{FKT}} \\ &= \frac{79,07}{4,38 \times 20,13 \% \times 0,95 \times 0,99} \\ &= \frac{79,07}{0,820} \\ &= 96,42 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dengan luas array yang diketahui sebesar 96,42 m² dan efisiensi panel mencapai 20,13%, daya maksimum yang dapat dihasilkan dapat dihitung berdasarkan intensitas radiasi matahari puncak di Indonesia, yaitu 1000 W/m². Dengan menggunakan persamaan (2.7), nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh sistem dapat ditentukan.

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV}$$

$$= 96,42 \text{ m}^2 \times 1000 \times 0,2013$$

$$= 19.409 \text{ Wp}$$

Pemasangan modul dapat dimaksimalkan sebesar 19.409 Wp karena hasil daya maksimum tidak melebihi kWh meter yang terpasang. Dengan kapasitas panel sebesar 405 Wp, maka jumlah panel yang akan digunakan dapat ditentukan hingga tercapai kapasitas maksimum modul sebesar 19.409 Wp. Kemudian menggunakan persamaan (2.8) untuk menentukan berapa banyak panel yang dapat dipasang.

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}}$$

$$= \frac{19.409 \text{ Watt}}{405 \text{ Watt}}$$

$$= 47,92 \text{ buah panel surya atau } 48 \text{ buah panel surya}$$

Kebutuhan energi listrik di Hotel Mahkota Pati saat ini dipasok oleh PLN dengan daya pelanggan sebesar 33 kVA. Untuk memastikan tegangan yang cukup, panel surya perlu dikombinasikan dalam susunan seri dan paralel. Selanjutnya, kapasitas daya puncak (*watt-peak*) dari sistem PLTS atap dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) berdasarkan jumlah panel surya yang digunakan, yaitu sebanyak 48 unit:

$$P_{\text{wattpeak}} = P_{\text{max}} \times \text{Jumlah panel surya}$$

$$= 405 \times 48$$

$$= 19.440 \text{ Wp} = 19,4 \text{ kWp}$$

Untuk P_{wattpeak} sebesar 19.440 Wp maka luas area *array* adalah:

$$\text{Area Array} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{PSI \times \eta_{\text{PV}}}$$

$$= \frac{19.440}{1000 \times 0,2013}$$

$$= 96,57 \text{ m}^2$$

Setelah diketahui jumlah panel surya yang akan dipasang, maka dihitung berapa total luas modul yang akan dipakai untuk penempatannya, kemudian menghitung luas area panel yang akan digunakan menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

- a. Panjang total panel = Panjang modul \times Seri
 = 2008 mm \times 8 seri
 = 16.066 mm = 16.06 m
- b. Lebar total panel = Lebar modul \times Pararel
 = 1001 mm \times 3 pararel
 = 3.003 mm = 3.00 m
- c. Luas area panel = Panjang total modul \times Lebar total modul
 = 16.06 m \times 3.00 m
 = 48.18 m^2

Untuk 1 array luas total sebesar 48.18 m^2 dikarenakan menggunakan 2 array maka 48.18 $m^2 \times 2 = 96.36 m^2$

4.4 Penyusunan Array Panel Surya

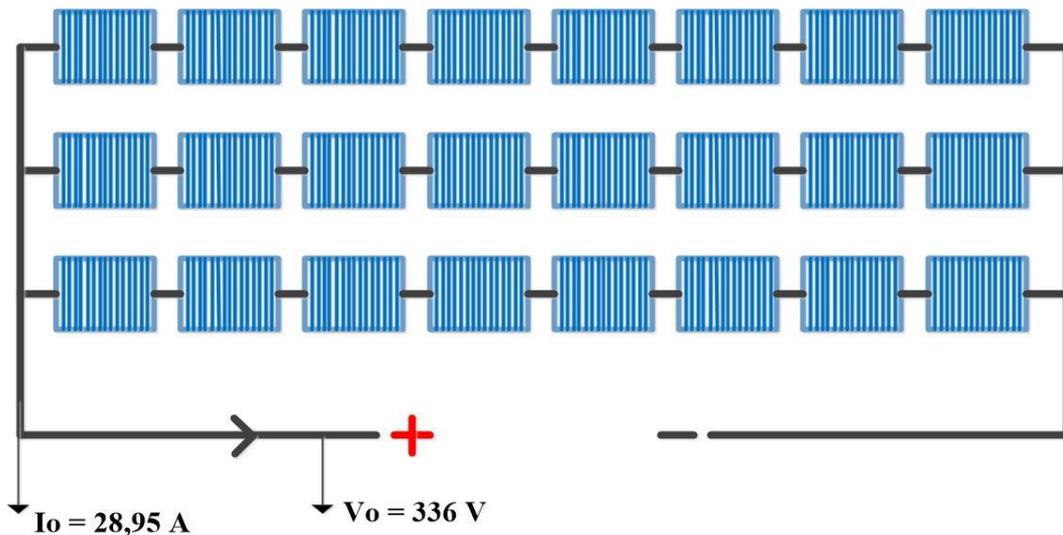
Dalam merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), penyusunan array panel surya harus dilakukan secara optimal agar tegangan kerja sesuai dengan kebutuhan dan tetap mempertimbangkan luas atap Hotel Mahkota. Susunan panel surya dalam konfigurasi seri dan paralel akan menentukan tegangan, arus, serta daya yang dihasilkan. Setiap array dirancang untuk menghasilkan tegangan maksimum (V_{mpp}) dan arus maksimum (I_{mpp}) sebagai berikut:

Tegangan maksimum yang dihasilkan setiap arraynya adalah:

$$\begin{aligned} V_{mpp} \text{ array} &= V_{mp} \times \text{Jumlah Seri} \\ &= 42 \text{ V} \times 8 \\ &= 336 \text{ V} \end{aligned}$$

Arus maksimum yang dihasilkan setiap arraynya adalah:

$$\begin{aligned} I_{mpp \text{ array}} &= I_{mp} \times \text{Jumlah Pararel} \\ &= 9,65 \text{ A} \times 3 \\ &= 28,95 \text{ A} \end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Array Panel Surya

Berdasarkan gambar rangkaian array PLTS di Hotel Mahkota terdapat 24 panel surya. Daya maksimal yang dihasilkan panel surya setiap arraynya adalah:

$$\begin{aligned} P_{mpp \text{ array}} &= V_{mpp} \times I_{mpp} \\ &= 336 \text{ V} \times 28,95 \text{ A} \\ &= 9.727 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pada sistem PLTS yang dipasang di Hotel Mahkota, terdapat dua array panel surya. Setiap array memiliki tegangan maksimum sebesar 336 Volt dan arus maksimum 28,95 Ampere, sehingga menghasilkan daya sebesar 9.727 Watt. Total daya listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam sistem ini adalah:

$$9.727 \text{ Watt} \times 2 \text{ array} = 19.454 \text{ Wattpeak atau } 19,4 \text{ kWp.}$$

4.5 Menghitung Energi Yang Dihasilkan PLTS Atap

Produksi energi dari panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima. Dalam perencanaan PLTS Atap, nilai intensitas harian terendah yang digunakan sebagai acuan adalah 4,38 kWh/m² per hari. Berdasarkan nilai ini, jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dalam satu hari dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$E_{out} = E_{in} \times \eta$$

$$E_{in} = \text{Jumlah panel} \times P_{mpp} \text{ saat naik } ^\circ\text{C}$$

$$= 48 \times 402,21$$

$$= 19.306 \text{ WP}$$

$$E_{out} = 19.306 \times 4,38$$

$$= 84.560 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{84.560}{121.650} \times 100\%$$

$$= 69 \%$$

PLTS atap yang dirancang mampu menyuplai sekitar 69% dari kebutuhan tambahan daya listrik. Dalam satu tahun menggunakan persamaan (2.9), sistem ini diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar:

$$A_{kWh} = E_{out} \times 365$$

$$= 84.560 \times 365$$

$$= 30.864.400$$

$$= 30.864 \text{ kWh/tahun}$$

4.6 Menentukan Kapasitas Baterai

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.10), bahwa kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk PLTS sebagai berikut:

$$C_T = \frac{C_R}{DOD}$$

$$= \frac{19.306}{80\%} = 24.132,5 \text{ Wh}$$

$$C_{Ah} = \frac{C_{Wh}}{V}$$

$$= \frac{24.132,5}{12} = 2.011,4 \text{ Ah}$$

Total kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk sistem PLTS ini adalah 2.011,4 Ah. Dengan menggunakan baterai jenis VRLA berkapasitas 12V – 200Ah per unit, jumlah baterai yang diperlukan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{\text{kebutuhan baterai PLTS}}{\text{kapasitas baterai}}$$

$$= \frac{2.011,4}{200} = 10,057$$

Jadi baterai yang dibutuhkan untuk kebutuhan PLTS sebanyak 10,057 baterai dibulatkan menjadi 11 baterai.

INFORMASI TEKNIS		
Nomor Model Baterai:		6-DFM-200
Tegangan Nominal:		12V
Kapasitas (10 jam @ 25 ° C):		200Ah
Panjang [mm]		525
Lebar [mm]		243
Tinggi [mm]		220
Tinggi Total [mm]		245
Berat (Kg)		61,0 ± 5%
Kehidupan Siklus	50% DOD @10jam	≥ 600 kali
	80% DOD @10jam	≥ 400 kali
Desain Kehidupan Mengambang pada suhu 25°C		10 tahun
Tingkat Pelepasan Sendiri:		≤ 3%/bulan
Suhu Operasional:		-20~60 derajat Celcius
Tegangan Pengisian Konstan @25°C	Penggunaan siklus	14,5-14,9V
	Penggunaan siaga	13,6-13,8V

Gambar 4. 4 Tabel Datasheet Baterai 6-DFM-200



4.7 Menentukan Kapasitas Inverter

Inverter merupakan komponen yang berfungsi mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC agar sesuai dengan tegangan PLN. Pemilihan inverter harus disesuaikan dengan kapasitas daya yang akan disalurkan agar sistem bekerja secara optimal. Jika daya yang dihasilkan oleh PLTS mencapai 9.727 W, maka setiap array memerlukan inverter yang mampu menyesuaikan tegangan dengan standar PLN. Karena sistem di Hotel Mahkota terdiri dari dua atap, panel surya dibagi ke dalam dua array, sehingga dibutuhkan dua inverter. Selain itu, kapasitas inverter dihitung dengan mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 1,25. Perhitungan kapasitas inverter untuk Hotel Mahkota Pati dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.1) sebagai berikut:

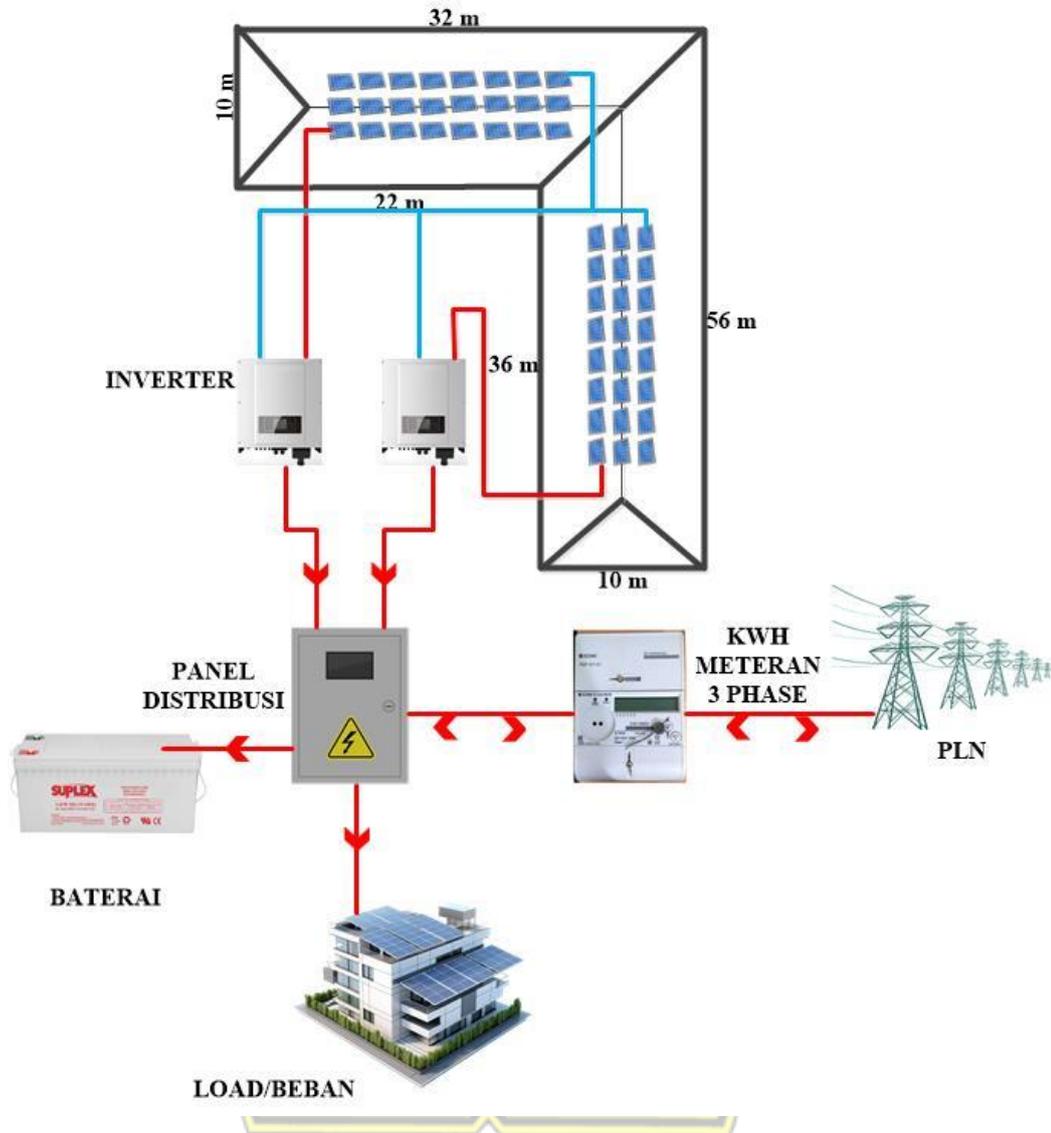
$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Inverter} &= P_{\text{mpp}} \times \text{safety factor} \\ &= 9.727 \times 1,25 \\ &= 12.158 \text{ Watt} = 12.1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Inverter yang dibutuhkan PLTS berkapasitas 12.1 kW karena inverter berkapasitas 12.1 kW tidak ada maka memakai inverter berkapasitas di atasnya yaitu 13 kW.

Datasheet	MOD 10KTL3-X	MOD 11KTL3-X	MOD 12KTL3-X	MOD 13KTL3-X	MOD 15KTL3-X
Input data (DC)					
Max. recommended PV power (for module STC)	15000W	16500W	18000W	19500W	22500W
Max. DC voltage			1100V		
Start voltage			160V		
Nominal voltage			580V		
MPPT voltage range			140V-1000V		
No. of MPPT trackers			2		
No. of PV strings per MPPT tracker	1	1	1/2	1/2	1/2
Max. input current per MPPT tracker	13A	13A	13/26A	13/26A	13/26A
Max. short-circuit current per MPPT tracker	16A	16A	16/32A	16/32A	16/32A
Output data (AC)					
AC nominal power	10000W	11000W	12000W	13000W	15000W
Max. AC apparent power	11000VA*	12100VA	13200VA	14300VA	16500VA
Nominal AC voltage (range*)	220V/380V, 230V/400V (340-440V)				
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)				
Max. output current	16.7A	18.3A	20A	21.7A	25A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging				
THDI	<3%				
AC grid connection type	3W+N+PE				
Efficiency					
MAX. efficiency				98.6%	
European efficiency	98.1%	98.1%		98.2%	98.2%
MPPT efficiency				99.9%	

Gambar 4. 5 Tabel Datasheet Inverter MOD 13KTL3-X

4.8 Penempatan Array Pada Atap



Gambar 4. 6 Penempatan Array Pada Atap

Berdasarkan Gambar 4.4, penempatan array pada atap Hotel Mahkota dirancang untuk dipasang pada dua atap gedung. Total terdapat 48 panel surya, dengan masing-masing gedung dilengkapi 24 panel. Sistem ini menggunakan dua inverter yang berfungsi mengonversi tegangan DC menjadi AC dari setiap array. Energi yang dihasilkan kemudian didistribusikan melalui panel distribusi, dengan kelebihan daya disimpan dalam baterai. Jika kapasitas baterai mencapai batas minimum, sistem secara otomatis akan beralih menggunakan ATS PLTS untuk terhubung ke jaringan listrik PLN.

4.9 Menghitung Performance Ratio

Performance Ratio (PR) digunakan untuk menilai efisiensi sistem dalam menghasilkan energi sepanjang tahun. Jika nilai PR berada dalam kisaran 70-90%, maka sistem dapat dikategorikan sebagai layak. Nilai PR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PR = \frac{E \text{ 1 tahun}}{E \text{ ideal}}$$

$$E \text{ ideal} = P \text{ array} \times H_{\text{tilt}}$$

$$H_{\text{tilt}} = PSH \times 365$$

$$H_{\text{tilt}} = 5.43 \times 1000 \times 365$$

$$= 1981,9 \text{ kWh/m}^2$$

H_{tilt} adalah rata-rata radiasi matahari, sehingga rata-rata radiasi matahari selama satu tahun sebesar 1981,9 kWh/m².

$$E \text{ ideal} = P \text{ array} \times H_{\text{tilt}}$$

$$E \text{ ideal} = 405 \text{ Wp} \times 48 \text{ panel} \times 1981,9 \text{ kWh/m}^2$$

$$E \text{ ideal} = 38.666 \text{ kWh/ tahun}$$

Sehingga performance rasionya adalah:

$$PR = \frac{30.864 \text{ kWh/tahun}}{38.666 \text{ kWh/tahun}} = 0,79 = 79\%$$

Rancangan ini memberikan ratio daya sebesar 79%, sehingga sistem ini dapat dikatakan layak diimplementasikan.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Hybrid di Hotel Mahkota Pati dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan, perencanaan PLTS Atap di Hotel Mahkota Pati diproyeksikan dapat menyuplai sekitar 69% dari kebutuhan energi listrik harian, yang rata-rata mencapai 121,65 kWh. Sementara itu, sisanya, sekitar 31%, masih bergantung pada pasokan listrik dari PLN.
2. Salah satu strategi untuk mengurangi konsumsi energi di Hotel Mahkota Pati adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan melalui penerapan PLTS Atap pada sistem *Hybrid*. Berdasarkan hasil perhitungan, sistem PLTS yang dirancang memiliki kapasitas sebesar 19,4 kWp dengan total 48 panel surya. Setiap panel memiliki daya 405 Wp dan disusun dalam dua array yang ditempatkan di dua atap berbeda. Masing-masing atap menampung 24 panel surya yang tersusun dalam konfigurasi 8 seri dan 3 paralel. Sistem ini juga dilengkapi dengan 11 baterai untuk penyimpanan energi serta inverter berkapasitas 13.000 Watt.
3. Berdasarkan hasil perencanaan, sistem PLTS *Hybrid* ini memiliki *performance ratio* sebesar 79%. Dengan nilai tersebut, sistem ini dinilai layak untuk diimplementasikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat ditambahkan pada Tugas Akhir ini untuk pengembangan perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengembangan selanjutnya perlu menambahkan fitur pemantauan berbasis IOT guna mengoptimalkan penggunaan energi secara real-time.
2. Kapasitas pembangkitan dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan area atap secara lebih maksimal.
3. Untuk melakukan optimasi kapasitas PLTS dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi panel, pola konsumsi listrik hotel, serta intensitas radiasi matahari sepanjang tahun agar sistem lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. G. Sastrawan and R. Subagyo, "ANALISA PERPINDAHAN PANAS COOLING TOWER (INDUCED DRAFT) PLTU I PULANG PISAU (2 x 60 MW)," *Jtam Rotary*, vol. 2, no. 2, p. 171, 2020, doi: 10.20527/jtam_rotary.v2i2.2413.
- [2] Muh. Daffa Abbas Rizal Ashari Nita Sri Indah Sari, "Studi Perencanaan PLTS Hybrid Dengan Penambahan Sistem Automatic Transfer Switch Pada Gedung Kantor Bupati Sidenreng Rappang," *Stud. Perenc. PLTS Hybrid Dengan Penambahan Sist. Autom. Transf. Switch Pada Gedung Kant. Bupati Sidenreng Rappang*, no. manajemen resiko, pp. 39–40, 2023.
- [3] M. S. N. REGA, N. SINAGA, and J. WINDARTA, "Perencanaan PLTS Rooftop untuk Kawasan Pabrik Teh PT Pagilaran Batang," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 888, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.888.
- [4] G. Pradika, I. A. D. Giriantari, and I. N. Setiawan, "Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS Rooftop," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, p. 225, 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p15.
- [5] A. Ardiansyah, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, "Perancangan Plts Atap on Grid System Pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan Pengembangan Kota Probolinggo," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 4, p. 200, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i04.p23.
- [6] E. Puspitasari, E. Yudiyanto, L. Agustriyana, and N. Alia, "Small PLTS Off Grid 240 WP On Residential House Rooftop," vol. 01, no. 03, pp. 81–87, 2024.
- [7] Y. dan J. Kariongan, "Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, pp. 3763–3773, 2022, [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/3453>.
- [8] G. H. Sihotang, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- [9] M. C. ALKHOLISH, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Dengan Sistem On-Grid Di Cv. Qirana Meubel Jepara," SEMARANG, 2023. [Online]. Available: [http://repository.unissula.ac.id/30021/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik Elektro_30601800028_fullpdf.pdf](http://repository.unissula.ac.id/30021/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik%20Elektro_30601800028_fullpdf.pdf).

- [10] Y. Teguh Priyono, Kho Hie Khwee, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Peternakan Ayam Pedaging (Broiler) Di Gang Karya Tani Pontianak Selatan,” *Univ. Tanjung Pura Pontianak*, 2019.
- [11] D. Rika Widianita, “Perencanaan PLTS Atap On-Grid untuk Melayani Beban Penerangan Gedung Fakultas Teknik 03 UNTIDAR,” *AT-TAWASSUTH J. Ekon. Islam*, vol. VIII, no. I, pp. 1–19, 2023.
- [12] F. Sianturi, R. Purnama, and A. A. Takdir, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap di Gedung Rumah Sakit Mata Makassar,” 2023, [Online]. Available: [https://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/8524/1/Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya %28PLTS%29 Atap di Gedung Rumah Sakit Mata Makassar.pdf](https://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/8524/1/Studi%20Perencanaan%20Pembangkit%20Listrik%20Tenaga%20Surya%20PLTS%29%20Atap%20di%20Gedung%20Rumah%20Sakit%20Mata%20Makassar.pdf).
- [13] R. T. Saksena, D. Nugroho, and S. B. Utomo, “SURYA DI GEDUNG FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI,” *Konf. Ilm. Mhs. UNISSULA 2*, no. Oktober, pp. 396–404, 2019, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/322604038.pdf>.
- [14] M. I. Situmorang, J. Ignatius, N. Eva, and M. Silalahi, “ANALISIS ALIRAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON – GRID 3540 Wp MENGGUNAKAN KWH METER DUA ARAH PADA LABORATORIUM TEKNIK MESIN , FAKULTAS TEKNIK UKI – JAKARTA DENGAN BEBAN MESIN PENCACAH SAMPAH 2 HP,” *Lektrokom J. Ilm. Progr. Stud. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 52–60, 2024, [Online]. Available: https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=ANALISIS+ALIRAN+DAYA+PEMBANGKIT+LISTRIK+TENAGA+SURYA+%28PLTS%29+ON+GRID+3540+Wp+MENGGUNAKAN+KWH+METER+DUA+ARAH+PADA+LABORATORIUM+TEKNIK+MESIN%2C+FAKULTAS+TEKNIK+UKI+--+JAKARTA+DENGAN+BEBAN+MESIN+PENCACAH&btnG=.
- [15] M. P. Dwi Feriyanto, S.T, “PERLINDUNGAN TERHADAP BAHAYA HUBUNG SINGKAT (SHORT CIRCUIT) PADA INSTALASI LISTRIK,” *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 4, no. November, pp. 274–282, 2020, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/249934819.pdf>.
- [16] Karseno and M. R. T. Siregar, “Analisa Perencanaan Energi Terbarukan Sistem Atap Surya,” *ISTN SAINTECH*, vol. 31, no. 1, pp. 22–29, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/sainstech/article/download/1011/699/>.