

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA DI SD BINTANG
JUARA SEMARANG**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATAT SATU (S1) PADA PROGRAM
STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTASI TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



DISUSUN OLEH :

IKHLASH RAKHMANTA

NIM 30602100062

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI SULTAN AGUNG
SEMARANG MEI 2024**

**PLANNING FOR THE DEVELOPMENT OF A SLOR
POWER PLANT AT SD BINTANG JUARA
SEMARANG**

FINAL PROJECT REPORT

THIS REPORT IS PREPARED TO FULFILL ONE OF THE REQUIREMENT FOR OBTAINING A BACHELOR'S DEGREE IN THE ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM, FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY, UNIVERSITAS SULTAS AGUNG SEMARANG.



PREPARED BY:

IKHLASH RAKHMANTA

NIM 30602100062

ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS SULTAN AGUNG
SEMARANG MEI 2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

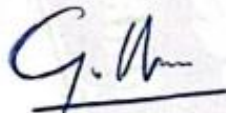
Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SD BINTANG JUARA SEMARANG” ini disusun oleh:

Nama : IKHLASH RAKHMANTA
NIM : 30602100062
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Senin
Tanggal : 02 December 2024

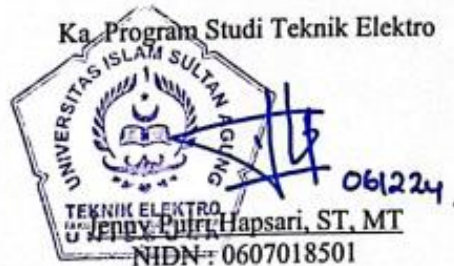
Pembimbing I



Dr. Gunawan S.T., M.T
NIDN : 0607117101

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
TEKNIK ELEKTRO
Jenny Puji Hapsari, ST, MT
NIDN : 0607018501

061224.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

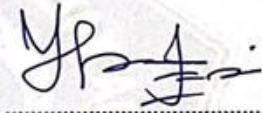
Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SD BINTANG JUARA SEMARANG” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin
Tanggal : 02 December 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Ida Widiastuti, M.T
NIDN : 0005036501
Ketua



Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN : 0617126602
Penguji I



Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo,
M.T.
NIDN : 0619076401
Penguji II



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ikhlah Rakhmanta
NIM : 30602100062
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SD BINTANG JUARA SEMARANG”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 02 December 2024

Yang Menyatakan


Ikhlah Rakhmanta

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala hormat dan kerendahan hati, tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. **Allah SWT** - Atas rahmat dan karunia-Nya yang tiada henti, memberikan kekuatan dan kesabaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. **Orang Tua Tercinta** - Yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa batas sepanjang perjalanan hidup dan pendidikan saya.
3. **Dosen Pembimbing** - Yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu yang berharga dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
4. **Sahabat dan Teman** - Yang selalu memberikan semangat, bantuan, dan keceriaan di setiap langkah yang diambil.
5. **Universitas Sultan Agung Semarang** - Tempat yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk menimba ilmu dan berkembang menjadi lebih baik.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta menjadi kebanggaan bagi semua yang telah memberikan dukungan dan doa.

Semarang, Desember 2024

Ikhlah Rakhmanta

HALAMAT MOTTO

"The only limit to our realization of tomorrow is our doubts of today."

Franklin D. Roosevelt



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**PERENCANAAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SD BINTANG JUARA SEMARANG**". Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Strata 1.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Bapak Dr. Gunawan, ST.MT** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
2. **Kedua Orang Tua Saya** yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa henti.
3. **Rekan-rekan Saya** yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini.
4. **Bapak Mustofa** selaku pemilik SD Bintang Juara Semarang yang telah memberikan izin dan fasilitas untuk penelitian ini.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua serta membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Semarang, Desember 2024

Ikhlash Rakhmanta

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAT MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Perumusan Masalah.....	18
1.3 Batasan Masalah.....	19
1.4 Tujuan.....	19
1.5 Manfaat.....	20
1.6 Sistematika Penulisan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Tinjauan Pustaka	22
2.2 Intensitas Radiasi.....	22
2.2.1 Radiasi Langsung	23
2.2.2 Radiasi Hambur.....	23

2.2.3	Radiasi Pantulan.....	23
2.3	Faktor yang mempengaruhi Keluaran PLTS.....	27
2.3.1	Iradiasi.....	28
2.3.2	Suhu Modul.....	29
2.3.3	Daya Masukan.....	29
2.3.4	Fill Factor.....	29
2.3.5	Tegangan Open Circuit dan Arus Short Circuit.....	29
2.3.6	Daya Keluaran Maksimum.....	30
2.3.7	Efisiensi Modul Panel Surya.....	30
2.4	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	31
2.4.1	PLTS tidak Terhubung Jaringan (Off grid PV plant).....	33
2.4.2	PLTS Terhubung Jaringan (On grid PV plant).....	34
2.4.3	PLTS Fasade.....	35
2.4.4	PLTS Hibrid.....	35
2.5	Komponen Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	36
2.5.1	Sel Surya (Photovoltaic).....	36
2.5.2	Modul Surya.....	37
2.5.3	Inverter.....	39
2.5.4	Proteksi dan Keamanan.....	40
2.6	Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	40
2.7	Aspek Biaya.....	43
BAB III LANDASAN TEORI.....		46
3.1	Gambaran Umum.....	46
3.2	Prosedur Penelitian.....	47
3.3	Tahap Perencanaan.....	48

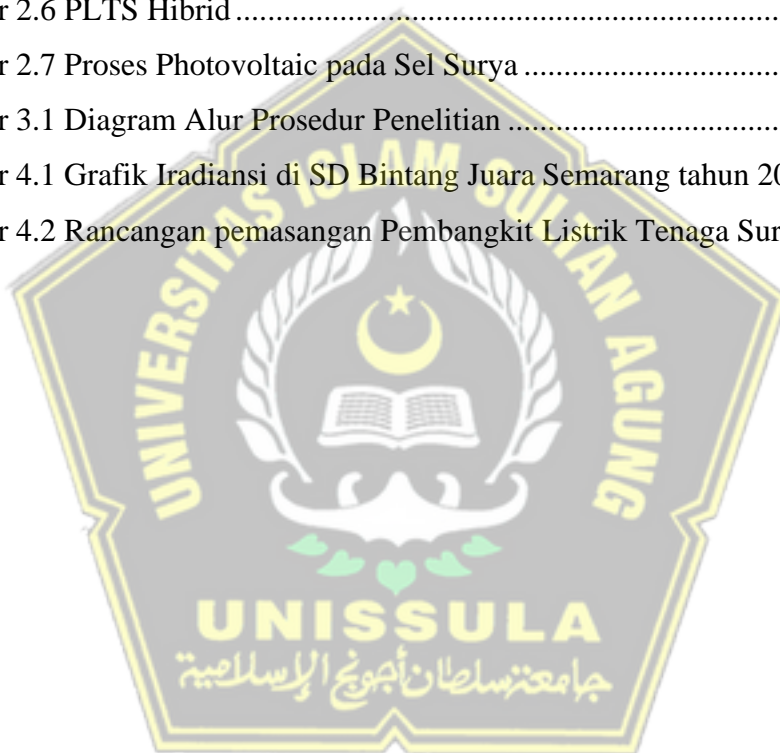
3.3.1 Mencari informasi dan data.....	48
3.3.2 Menentukan energi yang akan dibangkitkan.....	48
3.3.3 Menghitung rencana anggaran biaya yang dibutuhkan.....	48
3.3.4 Menganalisa dari segi ekonomi.....	49
3.3.5 Menentukan kelayakan investasi.....	49
BAB IV DATA DAN ANALISA	50
4.1 Pengambilan Data.....	50
4.1.1 Profil Beban	50
4.1.2 Potensi Energi Matahari.....	51
4.2 Analisa Rancangan	52
4.2.1 Peak Sun Hour	52
4.2.2 Perhitungan Penggunaan Photovoltaic.....	53
4.2.3 Perhitungan daya yang dibangkitkan keseluruhan.....	53
4.2.4 Perhitungan Photovoltaic Area	53
4.2.5 Perhitungan Kapasitas Inverter	55
4.2.6 Perhitungan Kapasitas Baterai	56
4.3 Rancangan Pembangkit Listrik	58
4.4 Analisa Ekonomi	59
4.4.1 Perhitungan Biaya Pemeliharaan dan Operasional	60
4.4.2 Perhitungan Life Cycle Cost	60
4.4.3 Perhitungan Faktor Pemulihan Modal	60
4.4.4 Perhitungan Biaya Energi	61
4.4.5 Analisa Kelayakan investasi	61
BAB V PENUTUP.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63

5.2	Saran.....	63
	DAFTAR PUSTAKA.....	64
	LAMPIRAN.....	66



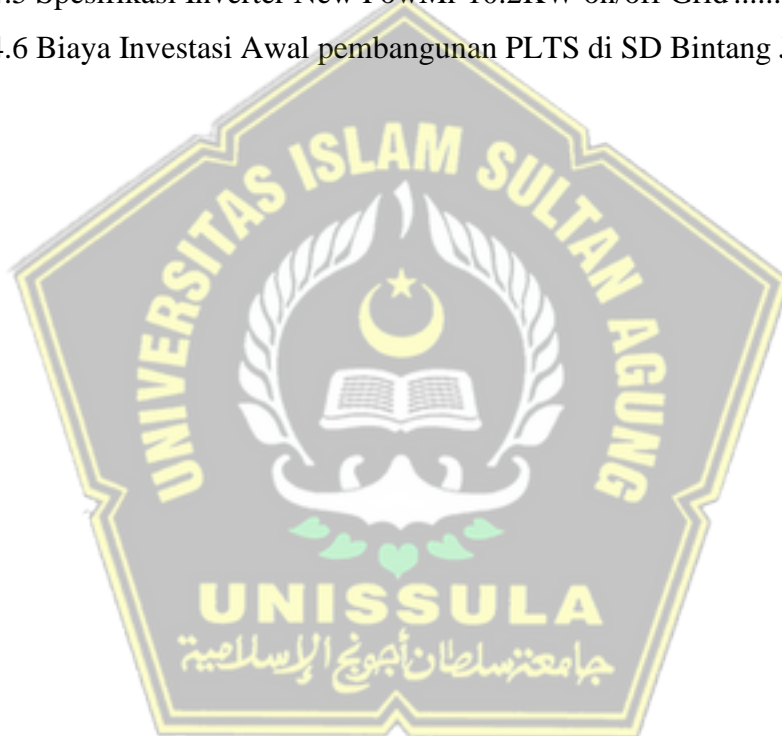
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar pantulan Ketika sinar matahari menyentuh permukaan	24
Gambar 2.2 Parameter sudut kedudukan matahari dalam bidang datang	26
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik tegangan dan arus terhadap Iradiasi (W/m^2)....	28
Gambar 2.4 PLTS Off Grid.....	33
Gambar 2.5 PLTS On Grid	34
Gambar 2.6 PLTS Hibrid	36
Gambar 2.7 Proses Photovoltaic pada Sel Surya	37
Gambar 3.1 Diagram Alur Prosedur Penelitian	47
Gambar 4.1 Grafik Iradiansi di SD Bintang Juara Semarang tahun 2023	52
Gambar 4.2 Rancangan pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Intensitas Radiasi Matahari Wilayah Kota Semarang.....	27
Tabel 4.1 Tabel Data beban SD Bintang Juara	50
Tabel 4.2 Tabel iradianssi SD Bintang Juara tahun 2023	51
Tabel 4.3 Spesifikasi PV Crystalline PV Module 200 W mono HQ	54
Tabel 4.4 Spesifikasi Inverter New PowMr 10.2KW on/off Grid	55
Tabel 4.5 Spesifikasi Inverter New PowMr 10.2KW on/off Grid	56
Tabel 4.6 Biaya Investasi Awal pembangunan PLTS di SD Bintang Juara	59



ABSTRAK

Indonesia, yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi besar dalam memanfaatkan energi terbarukan, khususnya energi matahari. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki tingkat intensitas cahaya matahari yang tinggi adalah Semarang. SD Bintang Juara, yang terletak di Jalan Dewi Sartika No. 17A, Semarang, menunjukkan potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) karena daerah tersebut memiliki intensitas radiasi sebesar 5,4 kWh/m²/hari menurut data Power Data Access Viewer NASA pada tahun 2023 .. Tingginya intensitas radiasi di SD Bintang Juara memberikan peluang untuk pembangunan PLTS. Daya yang dibutuhkan oleh SD Bintang Juara sebesar 67,045 kWh per hari, yang menyebabkan biaya operasional listrik mencapai Rp 2.600.000,00 per bulan. Pembangkit listrik tenaga surya on-grid merupakan solusi yang tepat untuk diterapkan di SD Bintang Juara. Dengan mengalihkan 50% dari beban listrik harian ke PLTS, biaya operasional bulanan dapat dihemat secara signifikan. Dalam perancangan biaya pembangunan PLTS di SD Bintang Juara Semarang, digunakan metode kuantitatif. Hasil dari perencanaan dari tugas akhir ini adalah mengetahui besarnya energi yang dibangkitkan oleh panel surya di SD Bintang Juara Semarang sebesar 7759,83 Watt per harinya, dari hasil berikut dapat disimpulkan estimasi biaya yang diperlukan untuk merencanakan dan memasang system pembangkit tenaga surya di SD Bintang Juara sebesar Rp. 61.584.436, dengan LCC atau life cycle cost yang pada saat pengoperasian pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara Semarang yaitu Rp 663.144.070, sehingga secara ekonomi pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara Semarang layak untuk dilaksanakan.

Kata Kunci : PLTS, Fotovoltaik, Penghematan

ABSTRACT

Indonesia, located on the equator, has significant potential for utilizing renewable energy, particularly solar energy. One of the regions in Indonesia with a high level of sunlight intensity is Semarang. SD Bintang Juara, located at Jalan Dewi Sartika No. 17A in Semarang, shows great potential for developing a solar power plant (PLTS) as the area has a solar radiation intensity of 5.4 kWh/m²/day, according to NASA's Power Data Access Viewer in 2023. The high solar radiation intensity at SD Bintang Juara presents an opportunity for the construction of a PLTS. The school requires 67.045 kWh of energy per day, leading to operational electricity costs of Rp 2,600,000.00 per month. An on-grid solar power plant is an appropriate solution for SD Bintang Juara. By shifting 50% of the daily electricity load to the PLTS, the school's monthly operational costs can be significantly reduced. In designing the cost of building the PLTS at SD Bintang Juara in Semarang, a quantitative method was used. The collected data includes solar radiation potential, building orientation, and the electrical load at SD Bintang Juara. This data is used to analyze the technical aspects of the PLTS system and to determine the appropriate solar panel modules. The results of the PLTS construction cost design cover both technical and economic aspects. Based on the design analysis, the technical aspect of electricity production from the PLTS at SD Bintang Juara is (insert amount). Economically, the analysis indicates that the total revenue from the PLTS system over 15 years is Rp 64,151,108.00. This revenue could be increased by maximizing the use of the electricity generated by the solar panels.

Keyword : PLTS, Photovoltaic, Saving

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah pengguna listrik terus meningkat dengan total mencapai 68.068.283 pelanggan. Angka ini menunjukkan kenaikan sebesar 5,9% dibandingkan dengan tahun 2016 [2]. Selain itu, kebutuhan akan subsidi listrik juga terus meningkat seiring dengan bertambahnya permintaan listrik, yang dipicu oleh pertumbuhan ekonomi dan populasi yang cukup tinggi. Dengan adanya kebijakan pemerintah untuk mengurangi subsidi nasional, harga energi konvensional seperti listrik dari jaringan (grid) dapat mengalami fluktuasi atau kenaikan. Selain itu, listrik konvensional juga rentan terhadap pemadaman, dan ketidakstabilan ini dapat mengganggu aktivitas sehari-hari dan kegiatan ekonomi [3].

Pemerintah mendorong peningkatan peran energi baru dan terbarukan sebagai bagian dari upaya menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, pemerintah menargetkan penggunaan energi baru terbarukan mencapai paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 [4].

Penerapan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) di sekolah dapat membantu mengurangi dampak lingkungan negatif yang dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional berbasis fosil dan juga mengurangi emisi gas rumah kaca. Pemanfaatan energi surya memiliki potensi yang sangat baik untuk diterapkan di Indonesia, mengingat Indonesia terletak di wilayah khatulistiwa, yang berarti negara ini menerima sinar matahari dengan intensitas yang cukup stabil [5].

SD Bintang Juara, yang terletak di Jalan Dewi Sartika No. 17 A, Sukorejo, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang, terdiri dari dua gedung, yaitu Gedung A dan Gedung B, dengan rata-rata pengeluaran biaya listrik bulanan sebesar Rp 2.600.000,00 dan total beban harian sebesar 67,045 kWh. Puncak aktivitas belajar

mengajar di SD Bintang Juara berlangsung antara pukul 07.00 hingga 16.00, yang mempengaruhi tingginya konsumsi energi pada jam-jam tersebut. Untuk mengurangi konsumsi energi di SD Bintang Juara, penulis merancang sumber energi sekunder untuk menghemat konsumsi energi dan biaya listrik bulanan.

Secara geografis, SD Bintang Juara terletak pada latitude -7.0226° dan longitude 110.3868° . Berdasarkan data dari situs resmi National Aeronautics and Space Administration (NASA), rata-rata penyinaran di daerah tersebut selama periode Januari hingga Desember tahun 2023 adalah $5,40 \text{ kWh/m}^2/\text{jam}$ [1]. Hal ini menunjukkan potensi yang baik untuk pemasangan PLTS sebagai sumber energi sekunder guna menghemat konsumsi energi dan biaya listrik. Perancangan pembangunan PLTS secara On-Grid dengan memanfaatkan 50% energi dari PLN dan 50% dari PLTS menjadi pilihan yang tepat, mengingat puncak penggunaan energi di SD Bintang Juara terjadi pada siang hari ketika intensitas penyinaran sangat tinggi.

Dalam jangka panjang, investasi awal pada PLTS dapat memberikan pengembalian investasi yang positif melalui penghematan biaya energi. Selain itu, PLTS juga dapat menjadi proyek edukatif yang berguna untuk mengajarkan siswa, guru, dan komunitas sekolah tentang energi terbarukan dan pentingnya konservasi energi. Ini dapat meningkatkan kesadaran lingkungan dan mendorong tindakan berkelanjutan di kalangan siswa dan staf sekolah. Penelitian mengenai PLTS di SD Bintang Juara dapat menjadi studi kasus yang relevan untuk wilayah tersebut dan menjadi contoh nyata tentang bagaimana energi terbarukan dapat diintegrasikan ke dalam infrastruktur lokal serta menjadi acuan bagi sekolah-sekolah lain di wilayah tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kapasitas energi yang dapat dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara Semarang untuk mendukung kebutuhan energi di Sekolah tersebut ?
2. Berapa estimasi biaya yang diperlukan untuk merencanakan dan memasang sistem panel surya di SD Bintang Juara Semarang?
3. Bagaimana nilai Life Cycle Cost (LCC) dari sistem pembangkit listrik tenaga surya yang dioperasikan di SD Bintang Juara Semarang ?
4. Apakah secara ekonomi proyek pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara Semarang layak untuk dilaksanakan ?

1.3 Batasan Masalah

Pemasangan Pembangkit Listrik pada Industri atau rumah pembahasannya sangat luas, maka perlu dibatasi sebagai berikut :

1. Menghitung kelayakan ekonomi untuk perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap sistem On-Grid di SD Bintang Juara, Semarang.
2. Pajak tidak diperhitungkan dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB) atau diasumsikan bernilai 0.
3. Kelayakan investasi akan dihitung menggunakan dua metode, yaitu Net Present Value (NPV) dan Payback Period (PP).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan proposal tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Mampu menghitung estimasi energi yang akan dihasilkan dari perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SD Bintang Juara.
2. Mampu menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan untuk perencanaan dan pemasangan sistem PLTS On-Grid di SD Bintang Juara.
3. Mampu menghitung biaya siklus hidup (Life Cycle Cost/LCC) dari pengoperasian sistem PLTS On-Grid di SD Bintang Juara.

4. Mampu melakukan analisis kelayakan ekonomi untuk perencanaan sistem PLTS On-Grid di SD Bintang Juara.

1.5 Manfaat

Penulis berharap bahwa tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi :

a) Penulis

Menambah pengetahuan dan wawasan penulis dibidang Analisa Pembangkit Listrik tenaga Surya serta untuk menyelesaikan tugas akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Universitas Sultan Agung Semarang.

b) Akademik

Diharapkan dapat menambah perbendaharaan buku-buku karya ilmiah di perpustakaan akademik baik secara kualitas maupun kuantitas. Sebagai bahan refrensi bagi mahasiswa lainnya dalam melakukan penelitian selanjutnya.

c) SD Bintang Juara

Dapat membantu mengkalkulasi biaya pembuatan Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan membantu mengurangi pemakaian listrik dengan energi baru terbarukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari lima BAB yang saling berkaitan, di mana setiap BAB disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas dan memudahkan pembahasan dalam pembuatan tugas akhir ini. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini penulis membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan kegunaan skripsi dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini penulis membahas tentang tinjauan dari beberapa makalah yang pernah ditulis sebelumnya sebagai acuan dalam Menyusun skripsi ini. Selain itu, penulis membahas tentang landasan-landasan yang digunakan dalam Menyusun skripsi ini, yaitu teori – teori yang berhubungan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

BAB III. METODE PENELITIAN

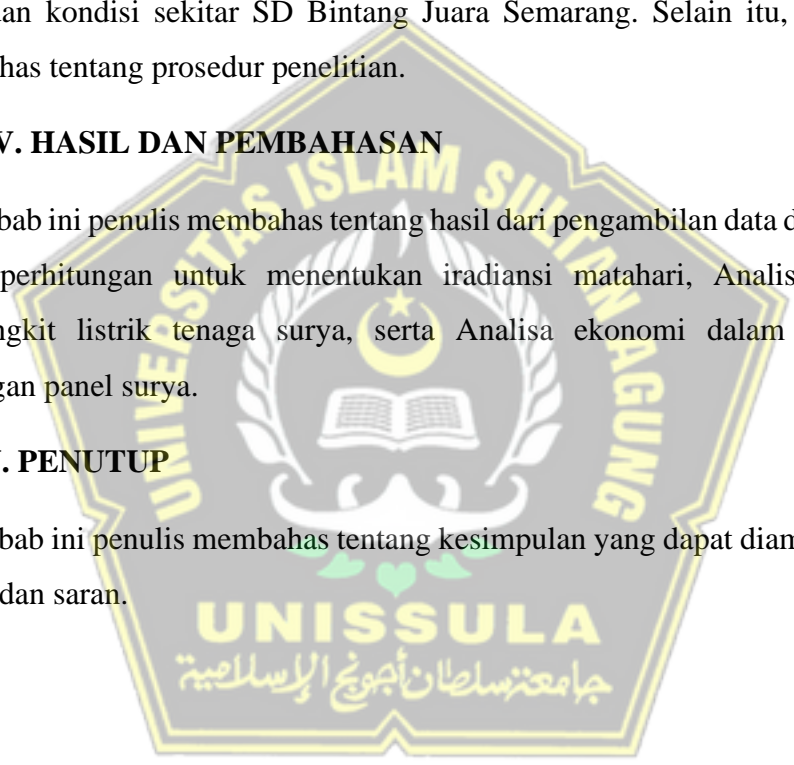
Dalam bab ini penulis membahas tentang gambaran umum tentang SD Bintang Juara dan kondisi sekitar SD Bintang Juara Semarang. Selain itu, penulis juga membahas tentang prosedur penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini penulis membahas tentang hasil dari pengambilan data di SD Bintang Juara, perhitungan untuk menentukan iradiansi matahari, Analisa rancangan pembangkit listrik tenaga surya, serta Analisa ekonomi dalam menentukan rancangan panel surya.

BAB V. PENUTUP

Dalam bab ini penulis membahas tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil skripsi dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penulis melakukan telaah terhadap beberapa penelitian, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang penulis lakukan.

Penelitian yang pertama berjudul “Perancangan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 MW on Grid Di Yogyakarta”, Penelitian ini bertujuan untuk merancang system pembangkit listrik tenaga surya (PV Cell) dengan kapasitas 10 MW on Grid yang terletak di daerah Istimewa Yogyakarta. Pada penelitian ini mempertimbangkan desain system jaringan kala besar. Penilaian dari data radiansi matahari untuk lokasi yang akan digunakan, pemilihan komponen system PV surya, dan merancang tata letak PLTS On-Grid [6] .

Penelitian yang kedua berjudul “Analisis PLTS On-Grid” membahas tentang kemampuan pembangkit listrik tenaga surya system on Grid. Total daya yang dihasilkan menggunakan kapasitas panel 50WP dengan perhitungan manual sebesar 0.106 KWh dalam sehari, sedangkan total daya output inverter on Grid dengan hasil perhitungan manual sebesar 0.073 KWh dalam sehari. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan kapasitas panel surya menggunakan grid inverter menghemat pengeluaran listrik dengan cara membagi beban Bersama dengan PLN [7].

2.2 Intensitas Radiasi

Radiasi matahari adalah jumlah energi yang diterima oleh permukaan bumi per satuan luas. Karena letak astronomis Indonesia berada di garis khatulistiwa, negara ini memperoleh intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi. Posisi Indonesia di garis khatulistiwa merupakan salah satu faktor utama yang

mempengaruhi tingginya intensitas radiasi, selain faktor-faktor lain seperti perubahan orbit matahari dan kondisi atmosfer bumi. Intensitas radiasi matahari juga dipengaruhi oleh jarak antara matahari dan bumi, dengan nilai rata-rata intensitas mencapai 1367 W/m^2 , yang dikenal sebagai konstanta matahari. Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi dapat terjadi melalui tiga mekanisme:

2.2.1 Radiasi Langsung

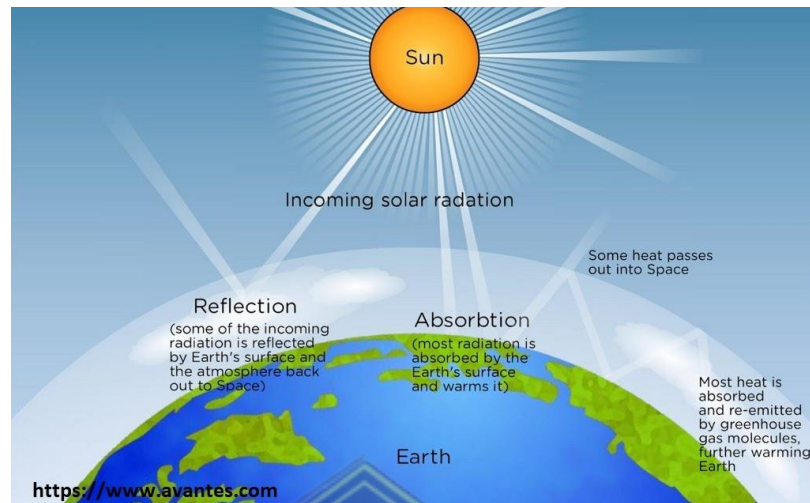
Radiasi langsung, yang juga disebut sebagai *Beam Radiation* atau *Direct Radiation*, adalah radiasi yang mencapai permukaan bumi tanpa mengalami difusi atau perubahan arah oleh atmosfer. Radiasi ini bergerak langsung dari matahari ke bumi tanpa gangguan signifikan dari partikel-partikel di atmosfer.

2.2.2 Radiasi Hambur

Radiasi hambur, yang juga disebut sebagai *Diffuse Radiation*, adalah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi setelah mengalami perubahan arah akibat pemantulan atau penghamburan oleh atmosfer. Proses ini terjadi karena interaksi radiasi dengan uap air, partikel debu, atau polusi di atmosfer, yang menyebabkan radiasi menyebar sebelum mencapai permukaan bumi.

2.2.3 Radiasi Pantulan

Radiasi Pantulan atau *Reflection Radiation* adalah pantulan yang terjadi Ketika sinar matahari dihamburkan oleh suatu objek seperti tanah dan permukaan air.



Gambar 2.1 Gambar pantulan Ketika sinar matahari menyentuh permukaan

Tidak semua pancaran radiasi matahari mencapai permukaan tanah. Radiasi matahari yang diterima bumi dalam periode waktu tertentu dikenal sebagai insolasi. Insolasi matahari, yang juga disebut sebagai global radiation, mengacu pada jumlah total radiasi yang dapat diterima oleh permukaan bumi, mencakup baik radiasi langsung maupun radiasi tidak langsung. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya insolasi matahari meliputi intensitas radiasi matahari, durasi penyinaran, kejernihan atmosfer, serta konstanta matahari.

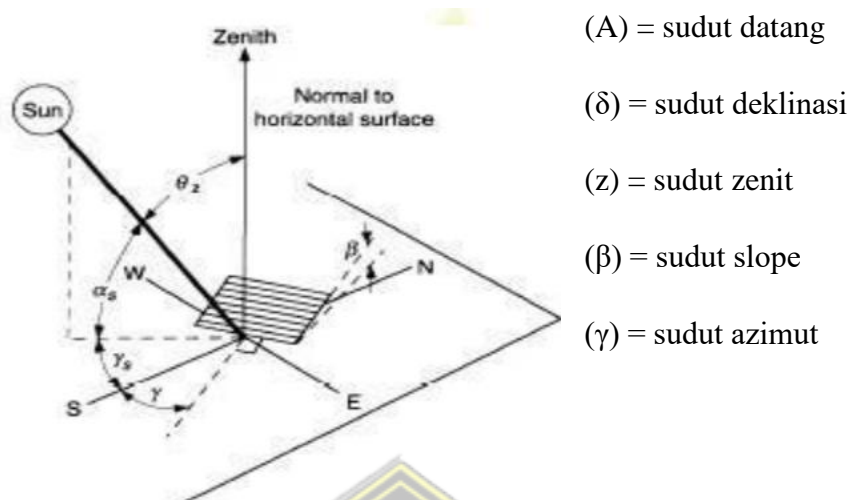
Gerak semu harian matahari mempengaruhi pergantian siang dan malam, yang menyebabkan variasi intensitas radiasi matahari yang diterima oleh bumi setiap jam. Selain itu, gerak semu tahunan matahari mempengaruhi perubahan musim di berbagai belahan bumi, yang berdampak pada jumlah radiasi matahari yang diterima oleh bumi setiap bulan.

Selain dipengaruhi oleh gerak semu matahari, posisi matahari juga sangat berperan dalam menentukan tingkat radiasi matahari di suatu daerah. Intensitas radiasi matahari akan bervariasi sesuai dengan posisi matahari, dan hal ini menjadi faktor penting yang mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Besarnya intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi dan panel

surya dapat dihitung dengan menggunakan parameter sudut yang berkaitan dengan posisi matahari dan letak geografisnya.

- a. Sudut datang (A) adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal pada permukaan bidang atau tanah.
- b. Sudut deklinasi (δ) adalah sudut yang dibentuk oleh garis radial ke pusat bumi pada suatu lokasi dengan proyeksi garis pada ekuator. Besarnya sudut akan berubah-ubah tergantung pada gerak semi tahunan matahari.
- c. Sudut Zenit (z) adalah sudut yang dibuat oleh garis vertical ke arah zenit dengan garis ke arah titik matahari.
- d. Sudut azimuth (γ) yaitu sudut yang dibuat oleh garis bidang horizontal antara garis selatan dengan proyeksi garis normal pada suatu bidang horizontal dengan arah selatan sebagai arah acuan.
- e. Sudut slope (β) adalah sudut kemiringan yang dibuat oleh permukaan bidang panel surya terhadap garis horizontal.

Intensitas radiasi matahari yang diterima sangat bergantung pada sudut letak dan posisi matahari, yang merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan besarnya daya yang dihasilkan oleh panel surya. Hubungan antara berbagai sudut yang mempengaruhi besarnya radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dapat dijelaskan lebih jelas dengan melihat gambar berikut ini



(A) = sudut datang

(δ) = sudut deklinasi

(z) = sudut zenit

(β) = sudut slope

(γ) = sudut azimut

Gambar 2.2 Parameter sudut kedudukan matahari dalam bidang datang



Data intensitas matahari dari *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) yang diakses dari laman resminya untuk Kota Semarang pada tahun 2023 ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2.1 Intensitas Radiasi Matahari Wilayah Kota Semarang

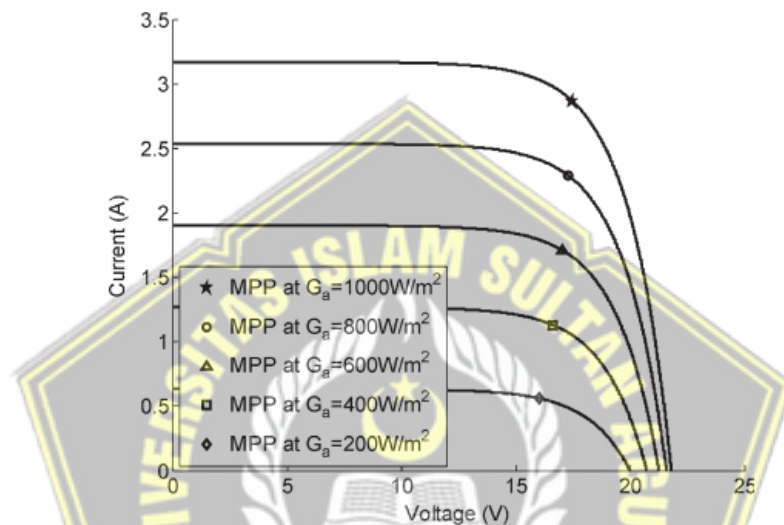
Bulan	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4.77
Februari	4.32
Maret	5.16
April	5.15
Mei	5.19
Juni	4.79
Juli	5.08
Agustus	5.91
September	6.35
Oktober	6.52
November	5.51
Desember	5.47

2.3 Faktor yang mempengaruhi Keluaran PLTS

Faktor-faktor yang mempengaruhi keluaran dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) meliputi iradiasi, daya masukan, suhu modul, tegangan Open Circuit (Voc), arus Short Circuit (Isc), Fill Factor (FF), dan daya keluaran maksimum.

2.3.1 Iradiasi

Pembangkitan energi listrik sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi atau intensitas sinar matahari yang diterima oleh modul fotovoltaik. Kurva karakteristik antara tegangan (V) dan arus (A) mengindikasikan bahwa semakin rendah tingkat iradiasi yang diterima oleh fotovoltaik, semakin rendah pula arus yang dihasilkan.



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik tegangan dan arus terhadap Iradiasi (W/m^2)

Ketika iradiasi sinar matahari yang diterima oleh modul fotovoltaik berkurang, arus yang dihasilkan oleh modul juga menurun secara bertahap, sedangkan perubahan tegangan tanpa beban tetap sangat kecil. Efisiensi modul tidak dipengaruhi oleh tingkat iradiasi selama berada dalam kisaran operasi standar, sehingga efisiensi produksi listrik dari modul fotovoltaik tetap konsisten, baik dalam kondisi cerah maupun berawan. Penurunan produksi energi oleh modul fotovoltaik lebih disebabkan oleh rendahnya intensitas sinar matahari yang diterima, bukan oleh penurunan efisiensi modul itu sendiri.

2.3.2 Suhu Modul

Suhu modul surya memiliki dampak signifikan terhadap tegangan listrik yang dihasilkan. Suhu udara yang optimal diperlukan untuk meningkatkan produksi energi listrik. Semakin rendah suhu modul fotovoltaik, semakin tinggi tegangan dan daya yang dihasilkan. Oleh karena itu, lingkungan yang sejuk sangat diperlukan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan.

2.3.3 Daya Masukan

Perhitungan daya masukan PLTS dapat dihitung dengan rumus :

$$P_{in} = E \times A \quad (2.1)$$

Dimana:

- P_{in} = Daya input panel surya (watt)
- E = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)
- A = Luas permukaan modul surya (m^2)

2.3.4 Fill Factor

Fill factor adalah rasio antara tegangan dan arus pada kondisi daya maksimum terhadap tegangan open circuit dan arus short circuit. Ini menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh sel surya mungkin tidak sepenuhnya dapat disalurkan ke beban. Nilai fill factor yang ideal berkisar antara 0,7 hingga 0,85.

2.3.5 Tegangan Open Circuit dan Arus Short Circuit

Pengujian dasar pada sebuah modul surya biasanya melibatkan pengukuran arus short circuit (arus hubung singkat) dan tegangan open circuit (tegangan rangkaian terbuka). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan besarnya daya puncak (Peak Power) yang dapat dicapai oleh modul surya. Karakteristik dari modul surya ini secara sederhana dijelaskan melalui kurva arus terhadap tegangan, atau yang dikenal sebagai I-V curve.

Saat modul surya terkena sinar matahari, tegangan yang dihasilkan dapat diukur antara kutub positif dan negatif dengan menggunakan voltmeter. Pada kondisi ini, tidak ada arus yang mengalir karena sistem belum terhubung dengan beban, sehingga pengukuran ini disebut sebagai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Jika beban ditambahkan dan dihubungkan secara paralel, maka arus yang mengalir akan meningkat sementara tegangan akan menurun. Untuk mengukur arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh modul, kedua terminal modul dapat dihubungkan langsung, menyebabkan tegangan turun menjadi nol. Pada saat ini, arus maksimum yang dihasilkan oleh modul, yang disebut arus hubung singkat (I_{sc}), dapat diukur menggunakan amperemeter.

2.3.6 Daya Keluaran Maksimum

Salah satu spesifikasi penting yang diberikan oleh produsen pada modul fotovoltaik (PV) adalah Daya Puncak (Peak Power). Daya listrik ini dapat dicapai melalui kombinasi arus dan tegangan. Untuk mencapai Daya Puncak dari modul, arus dan tegangan harus berada pada nilai maksimumnya, yang dapat dilihat pada kurva I-V untuk intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2 .

Untuk mendapatkan tegangan, arus, dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, panel-panel surya harus dikombinasikan dalam konfigurasi seri dan paralel dengan ketentuan:

- a. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih tinggi, dua atau lebih panel surya harus dihubungkan secara seri.
- b. Untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih besar, dua atau lebih panel surya harus dihubungkan secara paralel.
- c. Untuk mendapatkan daya keluaran yang lebih besar, panel-panel surya harus dihubungkan dalam kombinasi seri dan paralel.

2.3.7 Efisiensi Modul Panel Surya

Efisiensi energi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan terhadap daya input yang diterima. Efisiensi yang rendah berpengaruh

pada daya listrik output modul surya. Nilai efisiensi dari panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana: P_{in} = Daya input panel surya (watt)

P_{out} = Daya output panel surya (watt)

η = Efisiensi modul surya (%)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi utama, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Dalam sistem PLTS, terdapat komponen yang bertugas menangkap, mengumpulkan, dan mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik, yang dikenal sebagai photovoltaic (PV). Sistem PLTS dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Berdasarkan lokasi pemasangannya, sistem PLTS dapat dibagi menjadi dua pola: pola tersebar (Distributed PV Plant) dan sistem terpusat (Centralized PV Plant).
2. Berdasarkan daya yang dihasilkan, sistem PLTS dikategorikan menjadi tiga jenis: PLTS skala kecil dengan kapasitas hingga 10 kW, skala menengah dengan kapasitas antara 10 kW hingga 500 kW, dan skala besar dengan kapasitas di atas 500 kW.
3. Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, PLTS terbagi menjadi tiga jenis: PLTS yang tidak terhubung ke jaringan listrik (off-grid PV plant) atau PLTS mandiri (stand-alone), PLTS yang terhubung ke jaringan listrik (on-grid PV plant), dan sistem PLTS hybrid yang menggabungkan dengan sumber pembangkit listrik lainnya.
4. Berdasarkan teknologi aplikasi pada bangunan terintegrasi (BIPV), sistem PV dapat dipasang pada atap (rooftop) atau pada dinding bangunan (sistem

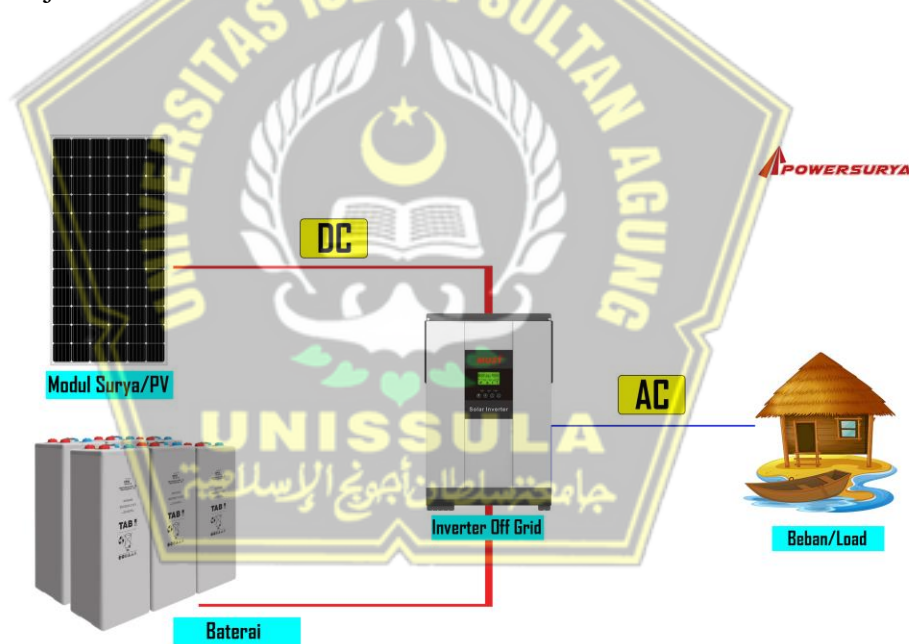
fasade), yang masing-masing disebut sebagai PLTS Rooftop dan PLTS Fasade..



2.4.1 PLTS tidak Terhubung Jaringan (Off grid PV plant)

PLTS yang tidak terhubung ke jaringan listrik (off-grid PV plant) adalah sistem yang beroperasi secara independen, tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN. Sistem ini biasanya diterapkan di wilayah terpencil atau terisolasi yang tidak memiliki akses ke jaringan listrik, sehingga sepenuhnya bergantung pada energi matahari sebagai sumber listrik utama. Oleh karena itu, sistem ini sering dikenal sebagai sistem PV mandiri (stand-alone PV system).

Dalam sistem off-grid, baterai digunakan untuk menyimpan energi agar listrik tetap tersedia saat intensitas radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Konfigurasi umum dari sistem PLTS terpusat dapat dilihat pada ilustrasi seperti yang ditunjukkan di Gambar 4.

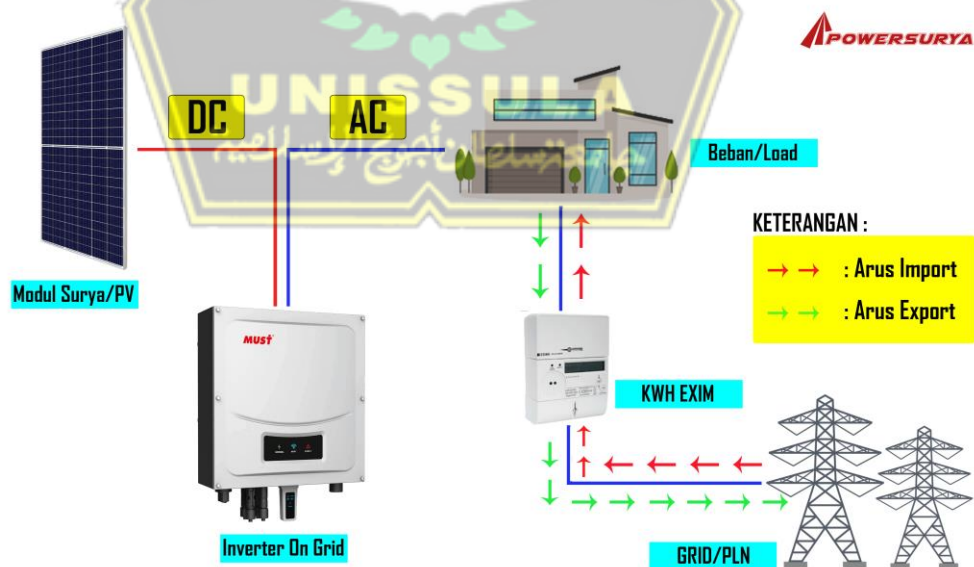


Gambar 2.4 PLTS Off Grid

2.4.2 PLTS Terhubung Jaringan (On grid PV plant)

PLTS yang terhubung ke jaringan (on-grid PV plant) adalah sistem di mana panel surya terhubung langsung dengan jaringan distribusi listrik PLN. Sistem ini semakin populer di kawasan perkotaan, baik untuk rumah tangga maupun perkantoran, karena selain dapat mengurangi biaya listrik, juga memiliki potensi untuk memberikan keuntungan tambahan jika mendapatkan insentif dari pemerintah.

Dalam sistem ini, jika listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan, kelebihan listrik tersebut akan dialirkan ke jaringan listrik. Sebaliknya, jika kebutuhan listrik melebihi jumlah yang dihasilkan oleh panel surya, jaringan listrik PLN akan secara otomatis menyediakan kekurangan tersebut, sehingga pasokan listrik tetap terjaga stabil.



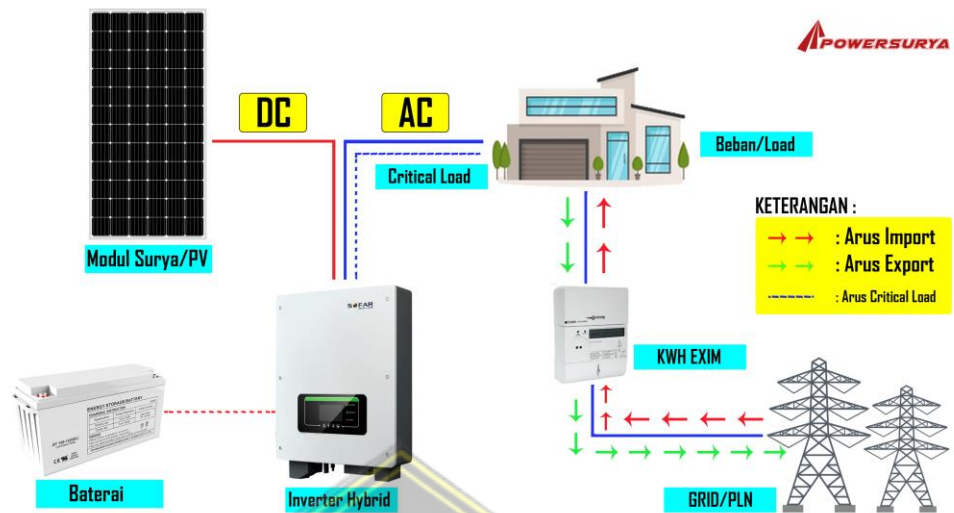
Gambar 2.5 PLTS On Grid

2.4.3 PLTS Fasade

PLTS Fasade adalah jenis pembangkit listrik tenaga surya yang dipasang secara vertikal, umumnya di dinding bangunan atau jendela. Sistem ini sering diterapkan pada gedung-gedung tinggi di perkotaan karena bangunan-bangunan tersebut memiliki area vertikal yang lebih luas dibandingkan dengan atap atau bidang horizontal. Salah satu keunggulan sistem ini adalah kemudahan dalam perawatan, karena debu dan kotoran yang dapat mengganggu kinerja PLTS cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan sistem yang dipasang di atap (rooftop).

2.4.4 PLTS Hibrid

PLTS Hibrid adalah sistem PLTS yang menggabungkan lebih dari satu jenis pembangkit listrik, menggunakan berbagai sumber energi. Pemilihan sistem PLTS hibrid dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ketersediaan sumber daya energi, kebutuhan beban kritis, dan besarnya investasi awal. Di Indonesia, beberapa sistem hibrid yang telah diterapkan meliputi kombinasi PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, dan PLTS-Tenaga Angin. Namun, kombinasi PLTS-Genset adalah yang paling umum dikembangkan. Tujuan utama dari sistem hibrid ini adalah untuk mencapai operasi yang lebih optimal, lebih hemat biaya, dan lebih efisien dalam penggunaan energi.



Gambar 2.6 PLTS Hibrid

2.5 Komponen Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

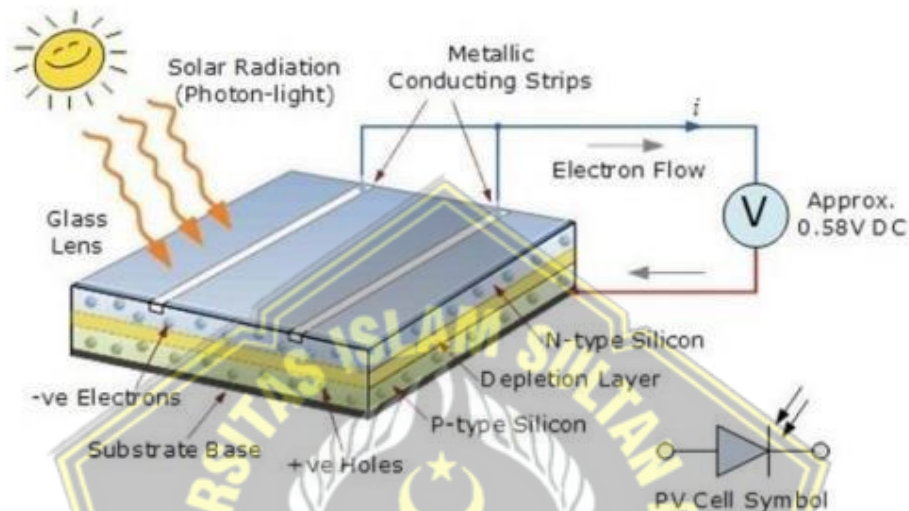
Pembangkit Listrik Tenaga Surya tersusun dari berbagai jenis komponen peralatan yang membentuk suatu kesatuan sistem, yang terdiri dari:

2.5.1 Sel Surya (Photovoltaic)

Sel surya dibuat dari bahan semikonduktor yang terdiri dari lapisan dengan kutub positif dan negatif. Cara kerja sel surya didasarkan pada efek Photovoltaic, yaitu kemampuan untuk mengonversi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Bahan utama yang digunakan adalah silikon kristal tunggal yang telah dimurnikan hingga membentuk susunan atom. Setiap atom terdiri dari inti bermuatan positif yang disebut proton, serta neutron yang tidak bermuatan, yang dikelilingi oleh elektron bermuatan negatif. [4]

Dalam struktur ini, atom memiliki sifat dengan tambahan 4 elektron, sehingga jumlah elektron valensi menjadi 14, dengan total 8 elektron di orbit terluar. Inti atom yang berdekatan dengan muatan positif saling tarik-menarik dengan gaya yang sama besar namun berlawanan arah. Hal ini menghasilkan medan elektromagnetik yang memungkinkan terjadinya efek fotovoltaiik. [5]

Proses Photovoltaic adalah konversi energi cahaya menjadi energi listrik. Efek Photovoltaic pertama kali ditemukan oleh fisikawan Prancis, Edmund Becquerel, pada tahun 1839. Hingga saat ini, prinsip ini masih digunakan dalam pembuatan sel surya.



Gambar 2.7 Proses Photovoltaic pada Sel Surya

Seperti gambar 7, arus listrik yang dihasilkan panel surya adalah arus listrik DC sehingga energi listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke baterai. Namun peralatan elektronik yang digunakan kebanyakan adalah AC (Alternative Current)..

2.5.2 Modul Surya

Dalam konfigurasi peralatan pada PLTS, sel surya disusun dalam konfigurasi paralel atau seri untuk membentuk modul surya, yang ditempatkan dalam satu bingkai dan dilengkapi dengan lapisan pelindung. Beberapa modul surya kemudian dihubungkan secara mekanis dan elektrik untuk membentuk panel surya. Selanjutnya, beberapa panel surya dihubungkan secara seri untuk membentuk sebuah array, dan beberapa array ini dihubungkan secara paralel untuk mencapai daya yang diinginkan.

Rangkaian paralel pada modul surya dibentuk dengan menghubungkan terminal positif dan negatif antar sel surya, sedangkan rangkaian seri dibuat dengan

menghubungkan sisi depan (+) dari satu sel surya ke sisi belakang (-) dari sel surya lainnya.

Produksi energi listrik dari modul surya dalam sistem PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti intensitas sinar matahari, bayangan, suhu, orientasi panel surya (array), dan sudut kemiringan panel surya. Intensitas sinar matahari sangat mempengaruhi jumlah energi listrik yang dihasilkan; ketika intensitas menurun, arus yang dihasilkan oleh modul surya juga berkurang. Namun, efisiensi konversi energi modul surya tetap stabil selama berada dalam batas standar operasi, meskipun iradiasi bervariasi. Penurunan energi listrik yang dihasilkan disebabkan oleh rendahnya intensitas sinar matahari, yang hanya berdampak pada penurunan arus listrik, bukan pada efisiensi modul.

Bayangan yang disebabkan oleh gedung, pepohonan, daun yang jatuh, asap, kabut, awan, atau bahkan modul surya lainnya yang menutupi sebagian sel pada modul dapat mempengaruhi produksi energi. Sel surya yang tertutupi akan berhenti menghasilkan energi listrik dan bisa berubah menjadi beban pasif, yang berpotensi menyebabkan panas berlebih dan merusak modul. Untuk mengatasi masalah ini, solusi yang umum digunakan adalah pemasangan diode by-pass secara paralel pada setiap modul.

Orientasi array panel surya terhadap matahari juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja panel dalam menghasilkan energi maksimum. Misalnya, untuk lokasi di belahan bumi utara, panel surya sebaiknya diorientasikan ke arah selatan, sedangkan untuk belahan bumi selatan, panel surya sebaiknya menghadap ke utara.

Selain itu, sudut kemiringan panel surya memiliki dampak signifikan terhadap jumlah radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel. Dengan sudut kemiringan yang tetap, daya maksimum tahunan akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel sesuai dengan garis lintang lokasi. Sebagai contoh, panel surya yang dipasang di khatulistiwa (lintang = 0°) dan dipasang secara horizontal (tilt angle = 0°) akan menghasilkan energi maksimum. Atap yang menghadap utara dan

selatan cenderung menerima sinar matahari lebih lama, sehingga dapat menghasilkan daya yang lebih besar.

2.5.3 Inverter

Inverter adalah perangkat yang mampu mengonversi arus DC menjadi arus AC. Dengan demikian, energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat langsung dialirkan ke Inverter, dan kemudian output AC dari Inverter dapat langsung digunakan. Berdasarkan jenis gelombang Output yang dihasilkan, Inverter dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu gelombang persegi (square wave), gelombang sinus yang dimodifikasi (Modified Sine Wave) dan gelombang sinus murni (pure sine wave).

Menurut gelombang output, Inverter dibagi menjadi :

1. Square Wave Inverter adalah jenis inverter yang mampu menghasilkan tegangan 220 VAC dengan frekuensi 50 Hz, namun kualitas output dari inverter ini tergolong rendah. Karakteristik output inverter ini memiliki tingkat total harmonic distortion (THD) yang sangat tinggi, sehingga hanya sedikit perangkat listrik yang dapat digunakan dengan inverter ini tanpa mengalami masalah kinerja.
2. Gelombang sinus Modifikasi (Modified Sine Wave) adalah bentuk gelombang yang menyerupai gelombang kotak (Square Wave), namun pada gelombang modifikasi ini, outputnya mencapai titik 0 untuk sementara sebelum beralih ke nilai positif atau negatif. Karena Modified Sine Wave memiliki distorsi harmonik yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang kotak, gelombang ini dapat digunakan untuk beberapa perangkat listrik seperti TV atau komputer.
3. Gelombang sinus murni (Pure Sine Wave) adalah Jenis gelombang inverter yang hampir identik dengan gelombang sinus dikenal sebagai Pure Sine Wave Inverter. Gelombang ini memiliki Total Harmonic Distortion (THD) kurang dari tiga persen, menjadikannya sumber daya yang sangat bersih dan stabil, sering disebut juga sebagai clean power supply. Inverter tipe ini sering menggunakan

teknik Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengkonversi tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang sangat mendekati sinusoidal, sehingga cocok digunakan untuk berbagai perangkat listrik yang sensitif. (Purwoto, 2018).

2.5.4 Proteksi dan Keamanan

Perangkat proteksi dan keamanan yang umumnya dipasang dalam sistem PLTS meliputi Miniature Circuit Breaker (MCB), yang dapat digunakan untuk tegangan DC maupun AC. Untuk melindungi array panel surya, umumnya digunakan Surge Protection Devices (SPD) pada tegangan DC di bagian input, sedangkan untuk bagian output, selain MCB AC, juga dipasang perangkat proteksi tambahan seperti SPD AC.

2.6 Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi surya, yang berupa radiasi elektromagnetik, dipancarkan ke bumi dalam bentuk cahaya matahari yang terdiri dari foton atau partikel energi surya yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Energi surya yang mencapai permukaan bumi dikenal sebagai radiasi surya global dan diukur berdasarkan kepadatan daya pada permukaan area penerima. Rata-rata nilai radiasi surya di atmosfer bumi adalah 1.353 W/m^2 , yang dikenal sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti siklus perputaran bumi, kondisi cuaca (termasuk kualitas dan kuantitas awan), perubahan musim, dan posisi garis lintang. Di Indonesia, intensitas radiasi matahari terjadi selama 4-5 jam per hari. Untuk menentukan lama penyinaran matahari maksimum per hari, atau Peak Sun Hour, dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{PSH} = \text{Insolasi minimum} \times 1000 \text{ w/m}^2 \quad (2.3)$$

Dimana: PSH = Peak Sun Hour

In_{Min} = Insolasi Minimum (Wh/m²/hari)

Untuk menentukan kapasitas panel surya dalam sebuah perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Ppv} = \text{Ed} \times \text{PSH} \quad (2.4)$$

Dimana: P_{PV} = Daya total yang dihasil panel surya (wh)

Ed = Daya per hari (wh)

PSH = Peak Sun Hour

Untuk menentukan berapa jumlah kebutuhan panel surya keseluruhan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{NPV} = \frac{50\% \times \text{Etotal}}{\text{Pmax}} \quad (2.5)$$

Dimana: N_{pv} = Jumlah panel surya yang dibutuhkan

P_{pv} = Daya total yang dapat dihasilkan panel surya

P_{max} = Nominal Max Power panel surya

Untuk menentukan luasan atau PV Area yang dibutuhkan, dapat dihitung dari luas yang tertera di Datasheet Panel Surya, rumus yang digunakan sebagai berikut ;

$$A_c = p \times l \quad (2.6)$$

Dimana: A_c = Luas Panel Surya (m²)

p = Panjang Panel Surya (m)

l = lebar Panel Surya (m)

Sehingga dapat dihitung luas Area penampang keseluruhan Area yang digunakan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_{pv} = A_c \times N_{pv} \quad (2.7)$$

Dimana: A_{pv} = Area total yang digunakan keseluruhan Panel Surya (m²)

A_c = Luas Panel Surya (m²)

N_{pv} = Jumlah panel surya yang digunakan

Untuk mendapatkan tegangan, arus, dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, panel-panel surya perlu dihubungkan dalam konfigurasi seri dan paralel dengan aturan berikut:

- a. Untuk mencapai tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan panel surya, dua atau lebih panel surya harus dihubungkan secara seri.
- b. Untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih besar dari arus panel surya, dua atau lebih panel surya perlu dihubungkan secara paralel. Jika ingin meningkatkan daya keluaran dengan tegangan yang tetap, panel-panel surya harus dikombinasikan baik dalam konfigurasi seri maupun paralel.

2.7 Aspek Biaya

Biaya mengacu pada pengeluaran yang dilakukan baik untuk mendapatkan sesuatu (harga pembelian) maupun untuk memproduksi sesuatu (biaya produksi). Komponen biaya terdiri dari biaya investasi serta biaya operasional dan pemeliharaan.

Biaya investasi mencakup pengeluaran untuk pengadaan material seperti sel surya (PV Cell), inverter, biaya perizinan ke PLN, jasa instalasi, dan biaya konsultasi. Sementara itu, biaya operasional dan pemeliharaan biasanya berkisar antara 1% hingga 2% dari biaya investasi, yang mencakup perawatan rutin dan pembersihan peralatan.

Untuk melakukan evaluasi kinerja ekonomi secara umum, diperlukan;

1. Perkiraan biaya investasi yang harus dikeluarkan.
2. Perkiraan biaya operasional dan pemeliharaan setelah proyek mulai beroperasi.
3. Estimasi nilai sisa sistem ketika sudah akan diganti atau tidak lagi digunakan.
4. Estimasi masa operasional sistem.
5. Estimasi tingkat suku bunga yang merefleksikan perubahan nilai uang dari waktu ke waktu.

Istilah "estimasi" menunjukkan bahwa analisis ekonomi teknik sangat bergantung pada data atau informasi yang belum pasti, karena berkaitan dengan kondisi yang belum terjadi. Umumnya, investasi teknik memiliki umur ekonomis yang panjang, biasanya berlangsung selama beberapa tahun. Di sisi lain, nilai mata uang cenderung berubah seiring waktu, sehingga diperlukan proses ekivalensi nilai uang untuk membuat perbandingan yang tepat.

Dalam konteks sistem PLTS, biaya siklus hidup (Life Cycle Cost atau LCC) dihitung berdasarkan nilai sekarang dari total biaya sistem PLTS, termasuk biaya investasi awal serta biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional. Biaya siklus hidup ini dihitung dengan menggunakan rumus tertentu yang mempertimbangkan semua komponen biaya tersebut dalam periode waktu tertentu:

:

$$LCC = IA + PO_{pw} \quad (2.8)$$

Dimana:

A_{pv} = Area total yang digunakan keseluruhan Panel Surya (m²)

Biaya pemeliharaan dan operasional tahunan untuk PLTS biasanya diperkirakan sekitar 1-2%. Besaran biaya pemeliharaan dan operasional tahunan (M) untuk PLTS yang akan dibangun dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi} \quad (2.9)$$

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$P = A (1 + i)^{-n} \quad (2.10)$$

dimana,

P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek.

A = Biaya tahunan.

i = Tingkat diskonto.

n = Umur proyek.

Faktor diskonto (Discount factor) adalah faktor yang digunakan untuk menghitung nilai penerimaan di masa mendatang agar dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang. Tingkat diskonto yang digunakan untuk menghitung penerimaan-penerimaan tersebut biasanya berdasarkan tingkat suku bunga pasar atau tingkat suku bunga bank:

$$DF = 1(1+i)^{-n} \quad (2.11)$$

dimana,

DF = Faktor diskonto. i = Tingkat

diskonto. n = Periode dalam tahun (umur investasi).

Biaya energi adalah rasio antara total biaya tahunan dari sistem dengan jumlah energi yang dihasilkan selama periode yang sama. Dari perspektif ekonomi, biaya energi PLTS berbeda dengan biaya energi dari pembangkit konvensional. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor biaya yang mempengaruhi biaya energi PLTS, seperti:

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi;
- b. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah;
- c. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan A_{kWh} produksi tahunan PLTS. Perhitungan biaya energi PLTS dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = LCC \times CRF A_{kWh} \quad (2.12)$$

dimana,

COE = Cost of Energy atau Biaya Energi (Rp/kWh).

CRF = Faktor pemulihan modal.

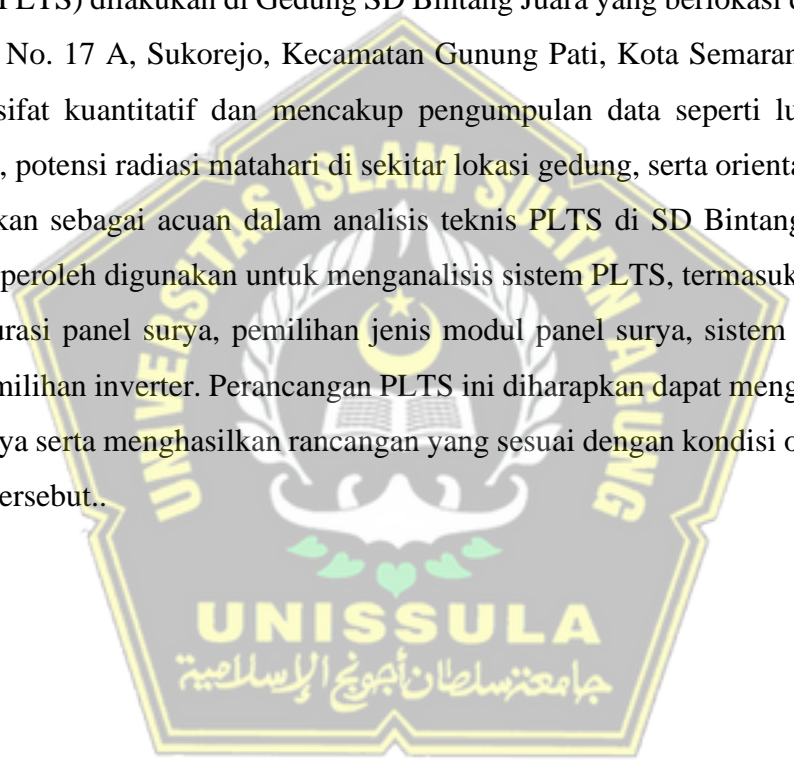
A_{kWh} = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

BAB III

LANDASAN TEORI

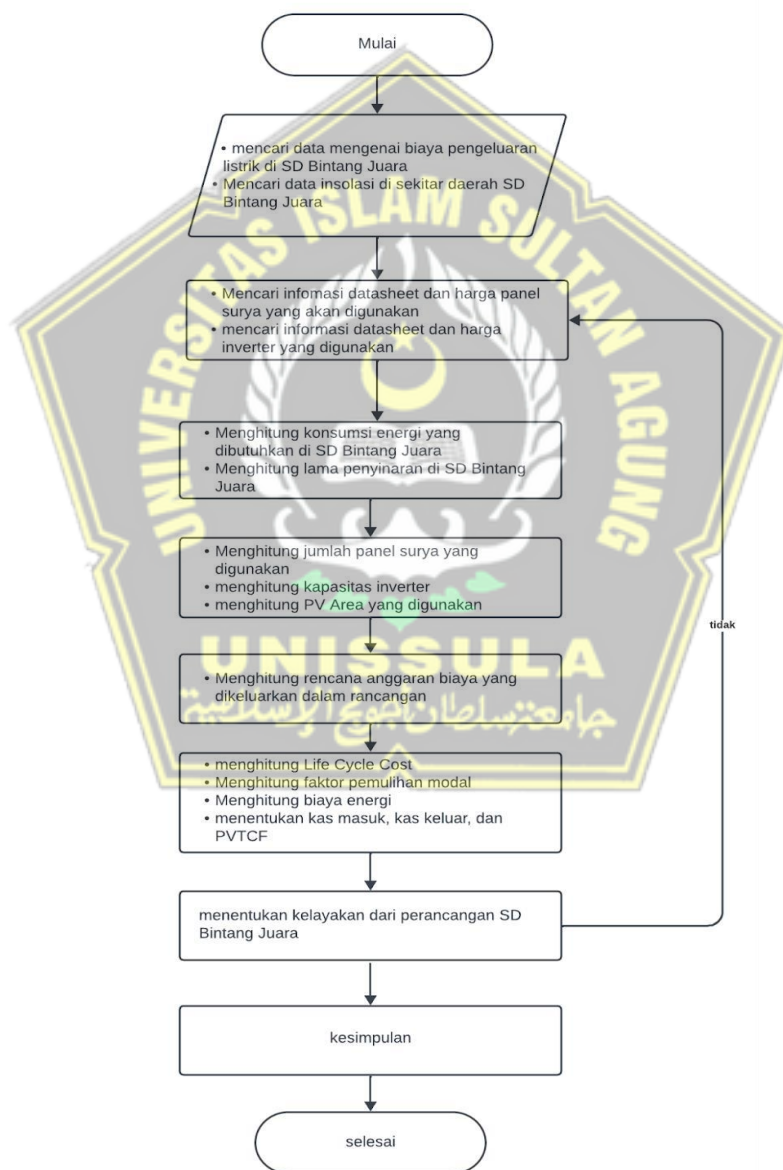
3.1 Gambaran Umum

Penelitian mengenai analisis teknis dan ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan di Gedung SD Bintang Juara yang berlokasi di Jalan Dewi Sartika No. 17 A, Sukorejo, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang. Penelitian ini bersifat kuantitatif dan mencakup pengumpulan data seperti luas area atap gedung, potensi radiasi matahari di sekitar lokasi gedung, serta orientasi yang akan digunakan sebagai acuan dalam analisis teknis PLTS di SD Bintang Juara. Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis sistem PLTS, termasuk menentukan konfigurasi panel surya, pemilihan jenis modul panel surya, sistem pemasangan, dan pemilihan inverter. Perancangan PLTS ini diharapkan dapat menghemat waktu dan biaya serta menghasilkan rancangan yang sesuai dengan kondisi operasional di lokasi tersebut..



3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan prosedur penelitian dimulai dari pengumpulan data hingga kesimpulan penelitian. Prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 8 Diagram alur prosedur penelitian dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alur Prosedur Penelitian

3.3 Tahap Perencanaan

Pada tahap ini data gambar diperoleh dari pembimbing lapangan, file gambar berupa arsitektur bangunan Gedung, untuk menghitung beban setiap ruangan dapat digunakan tang ampere untuk menghitung arus. Dari data yang dihasilkan maka dapat dilakukan prosedur penelitian sebagai berikut :

3.3.1 Mencari informasi dan data

Mencari Informasi dan data merupakan tahapan dalam menemukan variabel variabel yang digunakan dalam perhitungan dan perancangan biaya pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara. Mencari informasi dengan lembaga yang terkait untuk mengetahui biaya pengeluaran perbulan yang dikeluarkan, pencarian data untuk mengetahui tingkat penyinaran di lembaga yang terkait yaitu SD Bintang Juara.

3.3.2 Menentukan energi yang akan dibangkitkan

Menentukan energi yang akan dibangkit pada lembaga yang terkait, yaitu SD Bintang Juara menggunakan perhitungan. Pada tahap ini, energi yang akan dibangkitkan didapatkan dari data-data yang sudah didapatkan. Dalam perhitungan akan diperoleh jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi dan jumlah kapasitas inverter yang dibutuhkan.

3.3.3 Menghitung rencana anggaran biaya yang dibutuhkan

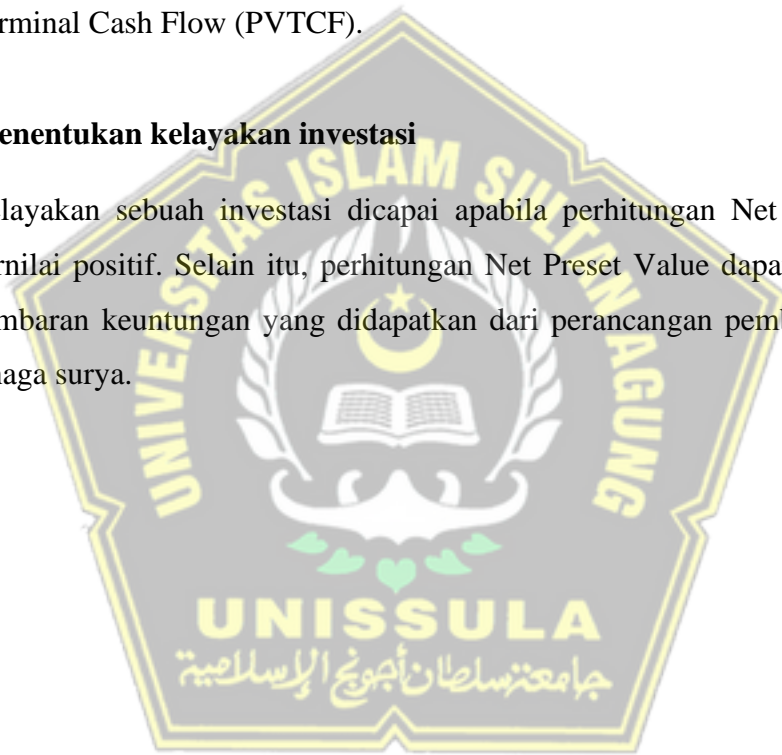
Menghitung rencana anggaran biaya yang dibutuhkan menggunakan sistem perhitungan. Pada tahap ini, seluruh pengeluaran yang akan digunakan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya dikalkulasi untuk mendapatkan investasi awal dari perancangan pembangkit listrik tenaga surya di SD Bintang Juara.

3.3.4 Menganalisa dari segi ekonomi

Menganalisa perancangan pembangkit listrik tenaga surya dari segi ekonomi menggunakan perhitungan. Analisa ini mencakup perhitungan Life Cycle Cost, Faktor pemulihan modal, dan perhitungan biaya energi. Tujuan dari analisa tersebut adalah mengetahui jumlah kas masuk, kas keluar, dan Present Value Terminal Cash Flow (PVTCF).

3.3.5 Menentukan kelayakan investasi

Kelayakan sebuah investasi dicapai apabila perhitungan Net Present Value bernilai positif. Selain itu, perhitungan Net Present Value dapat memberikan gambaran keuntungan yang didapatkan dari perancangan pembangkit listrik tenaga surya.



BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Pengambilan Data

Data perancangan sistem PLTS terdiri dari beberapa hal yang penting, yaitu data peralatan elektronik yang terpasang di SD Bintang Juara Semarang dan potensi energi terbarukan di SD Bintang Juara Semarang.

4.1.1 Profil Beban

Dalam perancangan sistem PLTS memerlukan data peralatan elektronik yang terpasang di SD Bintang Juara, berikut adalah data beban yang terdapat pada SD Bintang Juara Semarang ;

Tabel 4.1 Tabel Data beban SD Bintang Juara

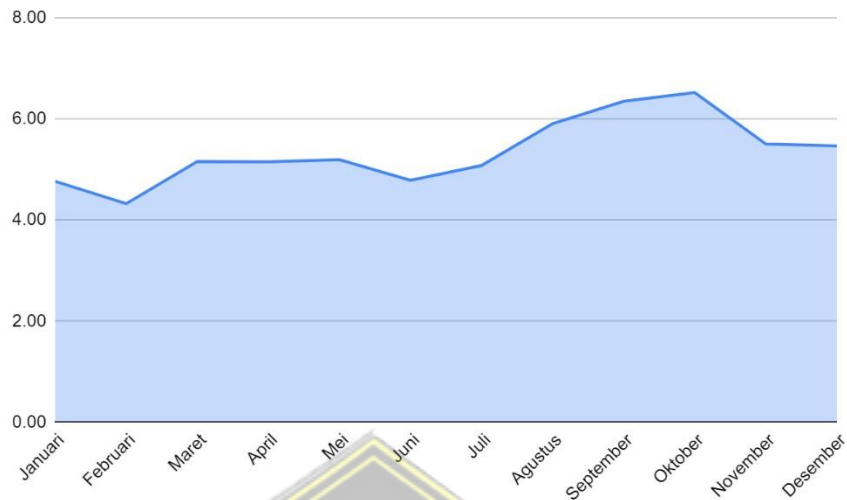
Peralatan elektronik	Beban (Watt)	Jumlah (buah)	Waktu Pemakaian (h)	Energi (Wh)
Lampu LED	10	26	6.5	1.690
Air Conditioner	390	8	6	18.720
Kipas angin	65	16	9	9.360
Mikrofon receiver	50	1	9	450
Laptop	180	4	6	4.320
Komputer	250	3	1.5	1.125
Kulkas	60	2	24	2.880
Pompa air	200	1	24	4.800
Proyektor	250	1	3	750
Dispenser	400	1	24	9.600
Lampu Sorot	50	5	15	3.750
Magic Com	200	2	24	9.600
Total Energi				67.045

4.1.2 Potensi Energi Matahari

SD Bintang Juara Semarang memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari. Radiasi matahari dapat digunakan untuk merancang kapasitas terbesar yang dapat ditangkap oleh panel surya. Informasi tentang tingkat radiasi sinar matahari untuk memperkirakan energi yang dapat dihasilkan oleh sistem per harinya. Data dari *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) yang diakses dari laman resmi digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di SD Bintang Juara. Pada perancangan simulai ini data yang diperlukan adalah radiansi pada tahun 2023.

Tabel 4.2 Tabel iradianssi SD Bintang Juara tahun 2023

Bulan	Iradiansi (kwh/m ² /jam)
Januari	4.77
Februari	4.32
Maret	5.16
April	5.15
Mei	5.19
Juni	4.79
Juli	5.08
Agustus	5.91
September	6.35
Oktober	6.52
november	5.51
Desember	5.47
Rata-rata	5.40



Gambar 4.1 Grafik Iradiansi di SD Bintang Juara Semarang tahun 2023

4.2 Analisa Rancangan

4.2.1 Peak Sun Hour

Dari data pada tabel 3 dapat diambil nilai maksimal iradiansi pada tahun 2023 yaitu pada bulan Oktober dengan iradiansi adalah 6.52 kWh/m²/jam dan Nilai minum iradiansi pada tahun 2023 yaitu pada bulan Desember dengan iradiansi adalah 4.79 Kwh/m²/jam. Rata rata penyinaran selama satu tahun adalah 5.40 Kwh/m²/jam.

Paramater untuk menyatakan perbandingan lamanya penyinaran matahari maksimum perhari terhadap intensitas radiasi matahari dengan nilai 1000 watt/m² [8]. .Dari data di tabel 3 maka, dapat dihitung Peak Sun Hour sebagai berikut :

$$\text{PSH} = \text{Insolasi minimum tahun 2023 per } 1000 \text{ w/m}^2$$

$$\text{PSH} = 4320 \text{ w jam/m}^2/\text{hari} \times 1000 \text{ w/m}^2$$

$$\text{PSH} = 4,32 \text{ jam/hari}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa lama penyinaran di area gedung SD Bintang Juara Semarang adalah 4,32 jam/hari.

4.2.2 Perhitungan Penggunaan Photovoltaic

Rancangan untuk pembangkit listrik tenaga surya menggunakan sistem on Grid dengan 50% Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan 50% dari sumber PLN. Apabila dihitung dari konsumsi energi perhari maka daya total yang digunakan adalah :

$$P_{pv} = \frac{50\% \times \text{total daya harian}}{4.32}$$

$$P_{pv} = \frac{50\% \times 67045 \text{ watt}}{4.32 \text{ jam/hari}}$$

$$P_{pv} = 7759,837963 \text{ watt}$$

Maka kebutuhan photovoltaic atau panel surya sebesar 7759.83 Watt.

4.2.3 Perhitungan daya yang dibangkitkan keseluruhan

Rancangan untuk pembangkitan listrik tenaga surya dihitung dari lama penyinaran maksimum matahari sebesar 7759.83 Watt, apabila diasumsikan penyinaran matahari selama jam 06.00 hingga jam 16.00 adalah 60% dari penyinaran maximum dan asumsi lama penyinaran matahari selama jam 06.00 hingga jam 16.00. Maka waktu efisiensi perhari dari panel surya sekitar 10 jam dalam sehari. Maka dapat dihitung jumlah daya harian yang dihasilkan oleh panel surya dalam sehari sebesar:

$$\text{Energi yang dihasilkan} = \frac{PPV}{psh}$$

$$\text{Energi yang dihasilkan} = \frac{7759.83}{4.32}$$

$$\text{Energi yang dihasilkan} = 1.796,06 \text{ Watt/Jam}$$

4.2.4 Perhitungan Photovoltaic Area

Berdasarkan perhitungan penggunaan photovoltaic, perencanaan panel surya dalam rancangan ini menggunakan panel PV dengan merk Mono Crystalline PV Module

200 W mono HQ. Spesifikasi PV dengan merek Mono Crystalline PV Module 200 W mono HQ sebagai berikut :

Tabel 4.3 Spesifikasi PV Crystalline PV Module 200 W mono HQ

Spesifikasi	Keterangan
Nominal Max.Power (Pmax)	200 WP
Opt. Operating Voltage (Vmp)	18.87 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.59 A
Open Circuit Voltage (VOC)	21.51 V
Short Circuit Current (Isc)	11.24 A
Dimensi	1480 mm x 670 mm x 30 mm
Efisiensi	21%

Berdasarkan table 4.3 spesifikasi panel surya 200 WP Crystalline PV Module 200 W mono HQ , maka untuk kebutuhan panel surya keseluruhan adalah sebagai berikut :

$$N_{pv} = \frac{P_{pv}}{P_{max}}$$

$$N_{pv} = \frac{7759,837963 \text{ watt}}{200 \text{ WP}}$$

$$N_{pv} = 38,79 \text{ buah} = 39 \text{ buah (pembulatan)}$$

Berdasarkan jumlah panel surya yang dibutuhkan, maka dapat dihitung luas area (PV) untuk pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya berdasarkan data dimensi dari panel surya tersebut. Untuk permukaan panel surya adalah :

$$A_c = p \times l$$

$$A_c = 1480 \text{ mm} \times 670 \text{ mm}$$

$$A_c = 991.600 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 0,9916 \text{ m}^2$$

Sehingga luas area pemasangan panel surya adalah :

$$\text{Area total} = A_c \times N_{pv}$$

$$\text{Area total} = 0.9916 \text{ m} \times 39 \text{ buah}$$

$$\text{Area total} = 38.6724 \text{ m}^2$$

4.2.5 Perhitungan Kapasitas Inverter

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah arus DC menjadi arus AC. Pemilihan inverter tepat untuk pengaplikasiannya tergantung dengan kebutuhan beban dan apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang terhubung ke jaringan listrik [9]. Dalam menentukan Inverter yang digunakan, harus memilih inverter yang tegangan keranya sama dengan tegangan kerja sumber. Menghitung kapasitas inverter dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Kapasitas Inverter} = W_{\text{max/beban}} + (25\% * W_{\text{max/beban}})$$

$$\text{Kapasitas Inverter} = 7759,83 + (25\% * 7759,83)$$

$$\text{Kapasitas Inverter} = 9699.78 \text{ Watt}$$

Karena adanya Safety Factor maka rekomendasi spesifikasi Inverter yang dibutuhkan minimal adalah 10.000 Watt. Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas inverter maka dapat dicari inverter yang sesuai yaitu New PowMr 10.2KW On/Off GRID Hybrid inverter 48vdc 160A solar [10].

Tabel 4.4 Spesifikasi Inverter New PowMr 10.2KW on/off Grid

Spesifikasi	Keterangan
Nominal Max.Power (Pmax)	200 WP
Opt. Operating Voltage (Vmp)	18.87 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.59 A

Open Circuit Voltage (VOC)	21.51 V
Short Circuit Current (Isc)	11.24 A
Dimensi	1480 mm x 670 mm x 30 mm
Efisiensi	21%

4.2.6 Perhitungan Kapasitas Baterai

Kapasitas Baterai dinyatakan dengan Ampere Hour atau Ah. Kapasitas baterai dalam suatu perencanaan dipengaruhi oleh faktor Autonom, yaitu keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh Ketika tidak ada energi yang masuk ke panel surya. Menghitung kapasitas baterai dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Kapasitas Baterai} = E_k / (V \times PF)$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = 7759.8 / (48 \times 0.9)$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = 179.6 \text{ Ah}$$

Untuk mengetahui besar jumlah energi yang dapat disimpan dapat dihitung menggunakan :

$$\text{Energi tersimpan} = V_s \times W_h$$

$$\text{Eenergi Tersimpan} = 48 \times 179.6$$

$$\text{Energi Tersimpan} = 9264 \text{ wh}$$

Baterai yang digunakan adalah Battery Meritsun Baterai Litium 348V 200Ah. [11].

Tabel 4.5 Spesifikasi Inverter New PowMr 10.2KW on/off Grid

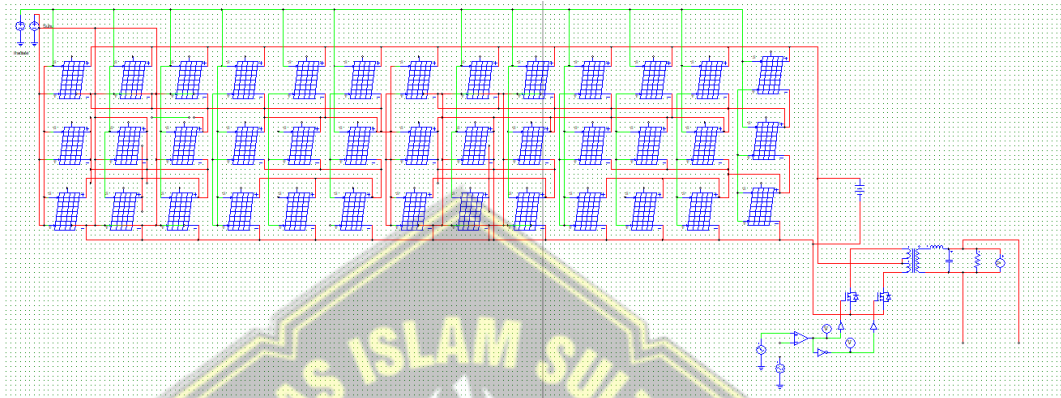
Spesifikasi	Keterangan
DC Power Usage	48 V
Max PV Array	10200 W
Max Charge Current	160 A

Max PV Array Open Circuit Voltage	500 VDC
Frekuensi input	50 hz/60hz



4.3 Rancangan Pembangkit Listrik

Berdasarkan hasil Analisa dan perhitungan sesuai dengan kebutuhan di SD Bintang Juara Semarang, maka didapatkan sebuah rangkaian sederhana sebagai berikut :



Gambar 4.2 Rancangan pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Dalam perancangan dibutuhkan modul PV sebanyak 39 buah, modul PV yang terhubung secara seri maupun paralel tergantung dari besarnya inverter yang ingin dibangkitkan. Pada Tabel 4.5, besarnya penggunaan power usage pada inverter sebesar 48 V dan untuk membangkitkan keseluruhan beban yang dibutuhkan sebesar 7759,837963 Watt. Maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut, PV dipasang secara paralel sebesar 13 buah, apabila tegangan dipasang secara paralel, maka jumlah tegangan sama dengan tegangan keluaran dari panel surya, yaitu sebesar 18.87 V sesuai dengan tabel nameplate pada Panel Surya. 13 Panel surya yang dipasang paralel lalu diseri dengan 2 panel surya yang dipasang paralel, apabila tegangan dalam suatu rangkaian listrik dipasang seri, maka total tegangan adalah penjumlahan dari tegangan yang dipasang seri, sehingga menghasilkan 56.61 V. Sehingga kebutuhan untuk menyalakan inverter terpenuhi dari panel surya. dalam perancangan rangkaian PV maka dihasilkan 245.31 V dan arus sebesar 31.77 Ampere.

4.4 Analisa Ekonomi

Biaya investasi awal pembangunan PLTS di Gedung SD bintang juara Semarang tidak menghitung biaya pemasangan dan didata dari asumsi asumsi perhitungan sebelumnya.

Tabel 4.6 Biaya Investasi Awal pembangunan PLTS di SD Bintang Juara

Uraian	Satuan	Harga satuan	Harga Total
Direct Cost			
Panel Surya 200 wp	38	Rp. 1.050.000	Rp. 40.950.000
Inverter New PowMr 10.2 Kw On/Off Grid Hybrid	1	Rp. 12.798.000	Rp. 12.798.000
KWH Meter Exim Power Energy 1P+N 220VAC	1	Rp. 1.150.000	Rp. 1.150.000
MERITSUN Baterai Litium 48v 200AH	1	Rp 9.521.436	Rp 9.521.436
Indirect Cost			
Kabel DC / Kabel AC / Aksesoris	1	Rp. 150.000	Rp. 150.000
Biaya Instalasi	1	-	-
Metal Support Profil (38pcs)	38	Rp. 99.000	Rp. 3.762.000
Subtotal			Rp. 61.584.436

4.4.1 Perhitungan Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya Pemeliharaan dan Operasional pertahun 1-2% dari investasi awal. Pedoman dari besarnya biaya operasional adalah 1%-2% dari biaya instalasi selama setahun [12] . Pemeliharaan dan operasional dapat dihitung:

$$Po = I \times 1\%$$

$$Po = (\text{Harga Investasi}) \times 1\%$$

$$Po = (61.584.436) \times 1\%$$

$$Po = \text{Rp } 615.844/\text{tahun}$$

Sedangkan nilai sekarang dari biaya operasional adalah:

$$PO_{pw} = PO (1+I)^N - i(1+i)^N$$

$$PO_{pw} = 615.844 (1+0.1)^{25} - 10.1(1+0.1)^{25}$$

$$PO_{pw} = \text{Rp } 1.559.844$$

4.4.2 Perhitungan Life Cycle Cost

Biaya siklus hidup atau Life Cycle Cost (LCC) PLTS pada SD Bintang Juara dapat dihitung sebagai berikut :

$$LCC = IA + PO_{pw}$$

$$LCC = \text{Rp. } 61.584.436 + \text{Rp } 1.559.844$$

$$LCC = \text{Rp. } 63.144.070$$

4.4.3 Perhitungan Faktor Pemulihan Modal

Faktor pemulihan modal adalah faktor yang digunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama [13]. Untuk mengetahui faktor pemulihan modal dapat dihitung sebagai berikut :

$$CRF = i(1+i)^N(1+i)^N - 1$$

$$CRF = 0.1(1+0.1)^5 / (1+i)^{30} - 1$$

$$CRF = 0.11$$

4.4.4 Perhitungan Biaya Energi

Biaya energi (Cost of Energy) sebagai pertimbangan kealayaan suatu proyek PLTS. Biaya energi PLTS ditentukan oleh Biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF), dan KWh produksi tahunan. Dari berbagai perhitungan yang sudah dilakukan, maka biaya energi dapat ditentukan sebagai berikut :

$$COE = (LCC \times CRF) / KWh$$

$$COE = (Rp. 63.144.070 \times 0.56) / 92.400,24 \text{ kwh/tahun}$$

$$COE = Rp. 382,498/\text{kwh}$$

4.4.5 Analisa Kelayakan investasi

Analisa kelayakan memiliki beberapa metode, metode yang dipilih oleh peneliti menggunakan metode Analisa *Net Present Value* (NPV) dan Metode analisa *Payback Period* (PP).

Net Present Value (NPV) adalah metode menghitung nilai bersih (net value) pada waktu sekarang. Metode ini menggunakan Teknik DFC atau *discounted cash flow* untuk menghitung nilai waktu uang dari semua aliran kas sebuah proyek [14].

Analisa *Payback Period* (PP) bertujuan untuk mengetahui seberapa lama (periode) investasi akan dikembalikan saat terjadinya kondisi Break Event-point. [14]

Arus kas masuk tahunan PLTS dihasilkan dengan mengalikan KWh produksi PLTS dengan biaya energi. Dengan KWh produksi tahunan PLTS sebesar 92kwh/tahun dan biaya energi sebesar Rp. 2.833/KWh, maka dapat dihitung arus kas masuk sebagai berikut :

$$K_{Masuk} = \text{Penghematan Bulanan} \times 12$$

$$K_{Masuk} = 1.300.000 \times 12$$

KMasuk= Rp 15.600.000

Arus kas keluar berasal dari biaya pemeliharaan dan operasional tahunan PLTS sebesar Rp 367.000/tahun. Sedangkan faktor Diskontonya pada tahun pertama dengan tingkat diskonto 10% adalah :

$$DF= 1/(1+i)^n = 1/(1+0.1)^1 = 0.91$$

Maka dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh tabel 8 (**lampiran**).

Pada tabel 8 Dapat dihitung besar nilai *Net Present Value* (NPV) sebagai berikut :

$$NPV= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - IA$$

$$NPV= Rp 62.637.514 - Rp. 61.584.436$$

$$NPV = Rp 1.053.078$$

Dari hasil perhitungan NPV, *Net Present Value* bernilai positif sebesar Rp. 1.053.078 . Menunjukkan bahwa investasi PLTS di SD Bintang Juara layak untuk dilaksanakan.

Pada tabel 8 dapat dilihat pada tahun ke-7 *balance* bernilai positif, *balance* adalah selisih antara PVNCF dengan investasi awal. Maka nilai dari *Payback Period* dapat dihitung besar nilai PP berdasarkan rumus berikut :

$$PP = \text{Tahun Sebelum} + (-\text{Balance}/\text{Arus kas bersih})$$

$$PP = 6 + (-(-970.000) / 15,600,000)$$

$$PP = 6.06 = 6 \text{ tahun } 21 \text{ hari.}$$

Maka dari hasil perhitungan *Payback Period* tidak melebihi rancangan investasi yaitu 6 tahun, maka Investasi di SD Bintang Juara layak untuk dilaksanakan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a. Energi yang dibangkitkan oleh Panel Surya di SD Bintang Juara Semarang sebesar 7759,83 watt per harinya.
- b. Estimasi biaya yang diperlukan untuk merencanakan dan memasang sistem pembangkit Tenaga Surya di SD Bintang Juara sebesar Rp. 61.584.436.
- c. Life Cycle Cost (LCC) yang pada saat pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya di SD Bintang Juara Semarang adalah Rp. 63.144.070.
- d. Secara ekonomi, pembangkit listrik tenaga Surya di SD Bintang Juara Semarang layak untuk dilaksanakan. Dari hasil Perhitungan NPV bernilai positif.

5.2 Saran

- a. Perancangan dapat dikembangkan atau disempurnakan lagi seiring berjalannya waktu.
- b. Ketika merancang alat ini, konsumsi tegangan dan kebutuhan tegangan harus diperhatikan untuk dapat menjalankan komponen yang digunakan
- c. Menggunakan beban yang konstan agar mendapatkan hasil yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>," [Online].
- [2] B. S. Aprilia, D. K. Silalahi and M. A. F. Rigoursyah, "Desain Sistem Panel Surya On-Grid untuk skala rumah tangga menggunakan perangkat lunak homer," Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom Bandung, Bandung, 2019.
- [3] R. S. Wibowo, O. Panangsang, N. K. Aryani, P. H. Mukti, F. A. Pamuji and R. Mardiyanto, "Implementasi Photovoltaic On-Grid guna Meminimalisir pemadaman listrik bergilir serta jaringan telekomunikasi di Pulau Bawean," Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya, 2023.
- [4] M. F. Hiswandi, F. Iswahyudi and W. M. Soeroto, "Analisis Kelayakan investasi pembangkit listrik tenaga surya atap dengan sistem on-grid di pabrik minuman siap saji," Surabaya, 2023.
- [5] M. F. Zambak, K. Lubis and A. Faisal, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Laboratorium Teknik UMSU menggunakan simulasi PVSyst," 2023.
- [6] s. sukrajati and M. hafidz, "Perancangan dan analisis pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 10 mw on grid di yogyakarta," [Online].
- [7] R. R. Ramadhana, M. I. M., A. Hafid and Adriani, "Analisis PLTS On-grid," 2022.
- [8] P. Megantoro, M. A. Syahbani, I. H. Sukmawan, S. D. Perkasa and P. Vigneshwaran, "Effect of Peak Sun Hour on Energy Productivity of solar photovoltaic power system," 2022.

- [9] R. P. Arinata and T. H. Akram, "Analisis Pengembangan PLTS di Pulau Takabonerate," Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 2024.
- [10] <https://www.tokopedia.com/artstor/powmr-10-2kw-on-off-grid-hybrid-inverter-48vdc-160a-solar-controller>, "Tokopedia," [Online].
- [11] https://indonesian.alibaba.com/p-detail/MERITSUN-1600267270298.html?spm=a2700.pccps_detail.0.0.191113a0E956HQ&s=p, "alibaba," [Online].
- [12] S. Ariyani, D. A. Wicaksono, Fitriana, R. Taufik and Gemenio, "Studi Perencanaan dan Monitoring system pembangkit listrik tenaga surya di Remote Area," Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, 2021.
- [13] Y. Kariongan and Joni, "Perancangan dan Analisis ekonomi pembangkit listrik tenaga surya rooftop dengan sistem on grid sebagai catu daya tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika," Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih, 2022.
- [14] Rafli, J. Ilham and S. Salim, "Perencanaan dan studi kelayakan PLTS rooftop pada gedung fakultas teknik UNG," Prodi Teknik Elektro Universitas Gorontalo , Gorontalo, 2022.