

**ANALISA VARIASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA
TERHADAP OUTPUT DAYA PADA STASIUN NGROMBO**

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



Disusun Oleh :

AXEL PAMOGA AKBAR

NIM. 30601800010

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

2024

FINAL PROJECT

***ANALYSIS OF VARIATION OF SOLAR PANEL TILT
ANGLE ON POWER OUTPUT AT NGROMBO STATION***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree
(S1) at Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Sultan Agung Islamic University*



**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISA VARIASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP OUTPUT DAYA PADA STASIUN NGROMBO" ini disusun oleh:

Nama : Axel Pamoga Akbar

NIM : 30601800010

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 1 Maret 2024

Pembimbing I



Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.
NIDN. 0619076401

Pembimbing II



Dedi Nurroho, ST., MT.
NIDN. 0617126602

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Purnihapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISA VARIASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP OUTPUT DAYA PADA STASIUN NGROMBO" ini telah dipertahankan di depan penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 1 Maret 2024

TIM PENGUJI

Anggota I

Prof. Dr. Hj. Sri Artini Dwi P., M.Si.
NIDN. 0620026501

Anggota II

Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.
NIDN. 0618066301

Ketua Penguji

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.
NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Axel Pamoga Akbar

NIM : 30601800010

Judul Tugas Akhir : ANALISA VARIASI SUDUT KEMIRINGAN
PANEL SURYA TERHADAP OUTPUT DAYA
PADA STASIUN NGROMBO

Dengan ini menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 4 Maret 2024

Yang menyatakan



Axel Pamoga Akbar

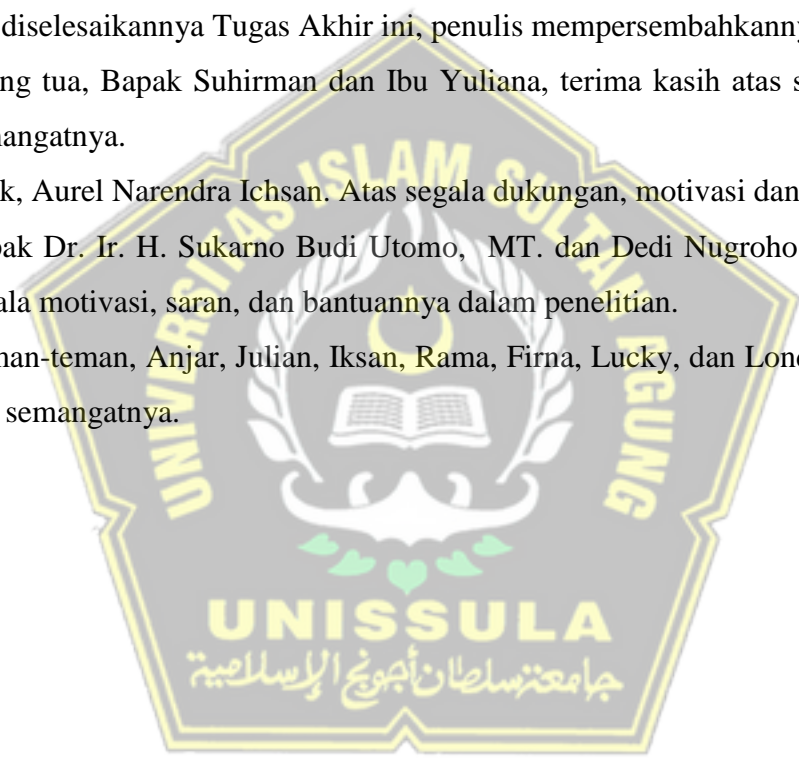


HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur yang mendalam kepada Allah ﷻ، تَعَالَى وَ سُبْحَانَهُ، atas nikmat iman, nikmat sehat, nikmat akal yang telah diberikan kepada saya, dan sholawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Nabi Muhammad ﷺ yang saya harapkan syafa'at Beliau di Yaumul Akhir kelak.

Dengan diselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkannya kepada:

1. Orang tua, Bapak Suhirman dan Ibu Yuliana, terima kasih atas segala do'a dan semangatnya.
2. Adik, Aurel Narendra Ichsan. Atas segala dukungan, motivasi dan semangatnya.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. dan Dedi Nugroho, ST., MT. atas segala motivasi, saran, dan bantuannya dalam penelitian.
4. Teman-teman, Anjar, Julian, Iksan, Rama, Firna, Lucky, dan Londo atas bantuan dan semangatnya.



HALAMAN MOTTO

“Man Jadda Wajada.”. Siapa Yang Bersungguh-Sungguh Pasti Akan Berhasil

“Man Shabaru Zahafira” Siapa Yang Bersabar Pasti Akan Beruntung.

“Man Saaro’alaa Darbi Washola” Siapa Yang Berjalan Di Jalur-Nya Pasti Akan Sampai.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Analisa Variasi Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Output Daya Pada Stasiun Ngrombo”, dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan do`a dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Bapak Dr. Muhammad Khosyi`in, ST., MT Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
4. Bapak Munaf Ismail, ST., MT Selaku Dosen Wali dan
5. Bapak Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. selaku pembimbing pertama saya yang selalu membantu saya dalam mengerjakan Tugas Akhir saya.
6. Bapak Dedi Nugroho, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing ke dua saya yang selalu mensupport dan membantu saya dalam mengerjakan Tugas Akhir saya.
7. Seluruh dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
8. Ibu dan Ayah tercinta yang telah banyak berkorban demi keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir
9. Adik tersayang yang telah senantiasa mendo`akan dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir

10. Seluruh teman/sahabat saya yang selalu mensupport saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu

11. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

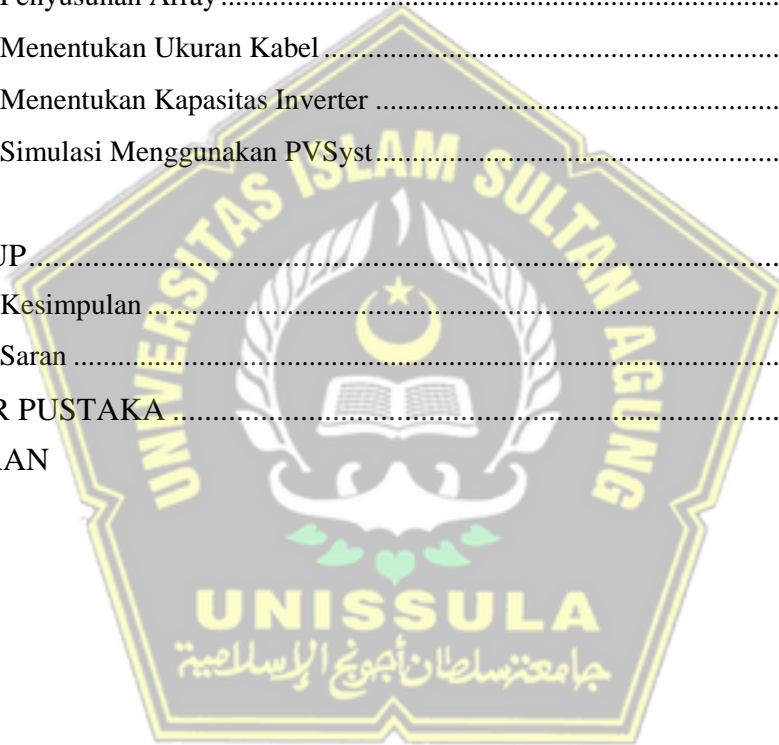
Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu diharapkan saran dan kritik untuk membangun kesempurnaan karya ini, semoga karya ini bermanfaat



DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
<i>FINAL PROJECT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I	
PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Batasan Masalah	17
1.4 Tujuan	18
1.5 Manfaat	18
1.6 Penulisan	18
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	20
2.1 Tinjauan Pustaka	20
2.2 Dasar Teori	23
BAB III	
METODE PENELITIAN	35
3.1 Objek Penelitian	35
3.2 Model Penelitian	36
3.3 Alat Dan Bahan	36
3.4 Photovoltaic (PV) dan Inverter	37

3.5	Data Penelitian	37
3.6	Tahapan Penelitian	39
3.7	Flowchart	40
BAB IV		
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Data Lapangan	41
4.2	Perhitungan Jumlah Panel	42
4.3	Penyusunan Array	45
4.4	Menentukan Ukuran Kabel	46
4.5	Menentukan Kapasitas Inverter	47
4.6	Simulasi Menggunakan PVSyst	48
BAB V		
PENUTUP.....		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konversi Energi Surya	24
Gambar 2. 2 Skema PLTS Sistim On-Grid.....	25
Gambar 2. 3 Skema PLTS Sistem Off Grid.....	25
Gambar 2. 4 Skema PLTS Sistem Hybrid	26
Gambar 2. 5 Monocrystalline Silicon	27
Gambar 2. 6 Polycrystalline Silicon	27
Gambar 2. 7 Thin Film Solar Cell.....	28
Gambar 2. 8 Struktur Panel Surya.....	28
Gambar 2. 9 Sudut Azimuth	29
Gambar 2. 10 Kabel NYM	30
Gambar 2. 11 Inverter 3 Phase.....	31
Gambar 2. 12 Meteran Exim.....	31
Gambar 3. 1 Stasiun Ngrombo Melalui Google Earth.....	35
Gambar 3. 2 Datasheet Jinko JKM 330PP-72-V	37
Gambar 3. 4 Single Line Diagram Dari Rancangan Rangkaian PLTS Stasiun Ngrombo	39
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4. 1 Single Line Diagram Dari Rangkaian Array Simulasi PVSyst.....	45
Gambar 4. 2 Datasheet Inverter Growatt MOD 4000TL3-X.....	48
Gambar 4. 3 Tampilan menu geographical site	49
Gambar 4. 4 Menu Utama PVSyst.....	49
Gambar 4. 5 Project PVsyst	50
Gambar 4. 6 Menu Orientation PVSyst	50
Gambar 4. 7 System Menu PVSyst.....	51
Gambar 4. 8 Hasil Run Simulation PVSyst.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Radiasi dan Temperature Dari Aplikasi PVSyst.....	38
Tabel 4. 1 Intensitas Radiasi Matahari Pada Daerah Stasiun Ngrombo Berdasarkan Meteonorm	41
Tabel 4. 2 Data Konsumsi Energi Harian Pada Stasiun Ngrombo.....	42
Tabel 4. 3 Kuat Hantar Arus Kabel NYM Sesuai PUIL 2011	47
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Variasi Sudut Terhadap Energi Yang Dihasilkan Dalam 1 Bulan Menggunakan Aplikasi PVSyst.....	52



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Perbandingan Total Energi Yang Disalurkan Ke Grid Dalam Setahun Berdasarkan Sudut Kemiringan Panel.....	53
Grafik 4. 2 Perbandingan Hasil Output Dari Variasi Arah Sudut Azimut.....	54



ABSTRAK

Saat ini Pemerintah Indonesia melalui RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) menargetkan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025. Tahun 2023 PT.KAI telah melakukan pemasangan PLTS pada 40 Stasiun dengan total kapasitas panel sebesar 1072,5 kWp dengan kontribusi rata-rata sebesar 49,63% dari kebutuhan listrik normal. Langkah tersebut merupakan komitmen PT.KAI untuk turut ikut serta menghijaukan Indonesia dalam program Environmental, Social and Governance (ESG) dalam pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT). Stasiun Ngrombo merupakan stasiun kelas 1 yang berada di Purwodadi. Memiliki konsumsi listrik harian sebesar 64,22 kWh. Penelitian ini membahas analisa variasi sudut kemiringan panel surya dilakukan guna mengetahui optimalisasi sudut pada Stasiun Ngrombo. Model dan spesifikasi dari PLTS ditetapkan berdasarkan konsumsi listrik harian dari Stasiun. Energi listrik yang nantinya dihasilkan akan difungsikan secara On-Grid sebesar 60% guna membantu suplai listrik pada Stasiun. Parameter yang ditentukan antara lain kapasitas dari panel, konsumsi listrik harian, intensitas radiasi matahari dan kapasitas inverter. Hasil perhitungan diperlukan sekitar 32 buah panel dengan kapasitas masing-masing 330 Wp dengan kapasitas total sebesar 10,8 kWp. Konstruksi dari array dengan struktur 4 string dimana setiap string terdiri atas 8 modul dirangkai seri. Kapasitas inverter yang digunakan sebesar 4,0 kW sebanyak 2 buah. Optimalisasi sudut kemiringan maksimum 15° dengan sudut azimuth menuju utara.

Kata Kunci : PLTS, Sudut Kemiringan, Optimalisasi

ABSTRACT

Currently, the Government of the Republic of Indonesia through RUPTL (Electricity Supply Business Plan) is targeting the New and Renewable Energy (EBT) mix to reach 23% by 2025. In 2023 PT. KAI has implemented PLTS at 40 stations with a total panel capacity of 1072, 5 KWp with an average contribution of 49.63% of normal electricity needs. This step is PT. KAI's commitment to participate in greening Indonesia in the Environmental, Social and Governance (ESG) program in the use of new renewable energy (EBT). Ngrombo Station is a class 1 station in Purwodadi. Has a daily electricity consumption of 64.22 kWh. This research discusses the analysis of variations in the angle of inclination of solar panels to determine the optimization of angles at Ngrombo Station. The model and specifications of the PLTS are determined based on the daily electricity consumption of the station. The electrical energy that will be generated will be used on-grid by 60% to help supply electricity to the station. The parameters determined include panel capacity, daily electricity consumption, solar radiation intensity and inverter capacity. The calculation results require around 32 panels with a capacity of 330 Wp each with a total capacity of 10.8 kWp. Construction of an array with a 4 string structure where each string consists of 8 series modules. The inverter capacity used is 4.0 kW, 2 units. Optimized maximum tilt angle of 15o with azimuth angle towards north.

Keywords: PLTS, Tilt Angle, Optimization

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi surya sebagai energi alternatif dalam mengatasi krisis energi, khususnya bahan bakar minyak bumi, yang terjadi sejak tahun 1970-an menjadi perhatian bagi semua negara. Selain dari jumlah yang tidak dapat habis, dalam aplikasinya sendiri tidak berakibat polusi lingkungan. Cahaya dapat dirubah menjadi listrik dengan menggunakan teknologi solar cell. (Farizky, Tirta 2020).

Pemerintah Indonesia lewat RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) memasang target Energi Baru dan Terbarukan (EBT) hingga 23% di tahun 2025. Namun pada bulan Oktober 2019 pemanfaatan EBT hanya sebesar 12%. Implementasi sel surya untuk tenaga listrik diekspektasikan sebesar 6500 KW pada tahun 2025 dan 45000 KW pada tahun 2050 (Tirta, Farizky 2020). Indonesia adalah negara yang dilintasi oleh garis khatulistiwa maka indonesia berpotensi dalam hal penggunaan sel surya. Hal ini dipengaruhi oleh radiasi matahari berdasarkan posisi garis lintang, kondisi atmosfer, dan letak matahari pada garis khatulistiwa. Indonesia memiliki posisi geografis di 6° LU – 11° LS dan 95° - 141° BT dengan nilai iradiasi rata-rata sebesar $4,81 \text{ kWh/m}^2$ per harinya (Farizky, Tirta 2020).

Tahun 2023 PT.KAI telah melakukan pengaplikasian PLTS pada 40 Stasiun dengan kapasitas total panel sebesar 1072,5 KWp dengan kontribusi rata-rata sebesar 49,63% dari kebutuhan listrik normal. Langkah tersebut merupakan komitmen PT.KAI untuk turut ikut serta menghijaukan Indonesia dalam program Environmental, Social and Governance (ESG) dalam pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT). Langkah tersebut juga selaras dalam program yang

diselenggarakan pemerintah untuk mengurangi gas rumah kaca menuju Net Zero Emission pada tahun 2060 mendatang. (Hayat. 2023)

Lokasi Stasiun Ngrombo berada di alamat Jl. Solo-Purwodadi, Depok Timur, Kecamatan Toroh, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah 58171. Karena letaknya berada pada garis khatulistiwa dengan rata-rata solar iradiasi sebesar 4,8 KWh/m² maka Stasiun Ngrombo menjadi salah satu sumber energi listrik. Simulasi sistem PLTS ini dibuat dengan cara digabungkan dengan listrik dari PLN dengan metode sistem on-grid.

Penelitian ini menganalisa sudut kemiringan panel polycrystalline 330 Wp untuk mengetahui sudut kemiringan yang optimal, yang dibahas dalam penelitian ini tentang pengaruh sudut kemiringan panel polycrystalline 330 Wp terhadap optimalisasi daya output.

1.2 Rumusan Masalah

Masalahan yang akan diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini diantaranya adalah :

1. Berapa kebutuhan daya harian pada Stasiun Ngrombo ? Berapa rasio energi yang ingin dibangkitkan ?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut terhadap keluaran dari panel surya ?
3. Bagaimana mengetahui kelayakan dari panel pada stasiun berdasarkan hasil output pengaruh dari sudut kemiringan panel ?

1.3 Batasan Masalah

Pada pembuatan laporan penelitian tugas akhir ini, telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan panel 330 Wp polycrystalline terhadap besar energi yang dihasilkan oleh panel.
2. Data parameter yang digunakan adalah data lapangan dari Stasiun Ngrombo.
3. Data radiasi yang digunakan berupa data dari Meteonorm.

4. Data lain menggunakan metode simulasi dari aplikasi pvsyst, untuk penambihan gambar lokasi menggunakan google earth.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian tugas akhir ini diantaranya adalah :

1. Menghitung kebutuhan energi pada Stasiun Ngrombo.
2. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan panel terhadap daya keluaran.
3. Mengetahui kelayakan modul panel surya melalui efisiensi daya keluaran.

1.5 Manfaat

Diharapkan penelitian tugas akhir ini dapat menghasilkan manfaat antara lain adalah :

1. Mengetahui performa dari panel surya apabila dipasang pada daerah tersebut.
2. Mengetahui pengaruh dari sudut kemiringan panel terhadap energi yang dihasilkan oleh panel.
3. Hasil Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan apabila akan memasang PLTS pada Stasiun Ngrombo dan menjadi referensi bagi orang lain yang akan mengkaji masalah yang serupa.

1.6 Penulisan

Dalam memudahkan penulis untuk menyusun laporan tugas akhir, penulis membuat ketentuan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, pembatas masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Berisi tinjauan pustaka penelitian, alat yang bersangkutan dengan PLTS, juga formula sebagai rumus dalam kalkulasi.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi objek penelitian, data penelitian, serta langkah dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan terkait dalam perhitungan, pembahasan, analisa penelitian dan data yang dihasilkan dalam simulasi serta pengolahan data penelitian.

BAB V : PENUTUP

Terdiri atas kesimpulan dari penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa tinjauan pustaka dari penelitian yang menyangkut tentang analisa variasi sudut kemiringan panel surya telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2 1:

Tabel 2 1 Tinjauan Pustaka Dari Bebrapa Peneliti Sebelumnya

No	Peneliti	Judul	Metode	Permasalahan	Hasil
1	Friska Ayu Fitrianti Sugiono	Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Potensi Pemanfaatan PLTS Rooftop Di Bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang	Simulasi dengan tools Helioscope dengan parameter luas rooftop dari bengkel	Pengaruh sudut kemiringan panel terhadap output energi dari PLTS Rooftop pada Bengkel Politeknik Negeri Semarang	Sudut kemiringan panel yang paling optimal berada pada sudut 10 derajat dengan radiasi yang diterima sebesar 1773,7 kWh/m ² dengan total produksi energi yang dibangkitkan sebesar 13577,8 kWh
2	Suriadi	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSyst Pada Kompleks Perumahan di Banda Aceh	Perhitungan Dengan Aplikasi PVSyst berdasarkan kebutuhan listrik dari lokasi penelitian	Perencanaan Untuk Kebutuhan Listrik Rumah Tangga Sebesar 26,92 kWh Perhari	Karakteristik modul berkapasitas 200 Wp dengan baterai sebanyak 30 buah kapasitas 100 Ah, baterai charge regulator kapasitas arus 500 A dan inverter kapasitas 12 kW. Sistem tersebut mampu melayani 10 rumah dengan daya sambung 6 A.

3	Zamaldi Syamsudin	Perencanaan Penggunaan PLTS Di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat	Perhitungan dengan menggunakan data beban total pada stasiun Cirebon	Perencanaan Sistem PLTS Pada Stasiun Cirebon Berdasarkan Beban Total dari Stasiun	Pada hasil perhitungan menunjukkan bahwa perencanaan sistem PLTS khususnya pada Stasiun Cirebon tidak menguntungkan secara ekonomis. Karena tingginya investasi sistem PLTS dibanding pembelian listrik konvensional.
4	Farisky Tirta	Analisa Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di SMA Negeri 4 Semarang Menggunakan PVSyst 6.43	Perhitungan dan simulasi melalui software PVSyst 6.43 berdasarkan luas area parkir SMAN 4	SMA Negeri 4 Semarang memiliki lahan kosong dan area parkir yang terbuka dan belum teroptimalkan dengan baik sehingga dapat digunakan untuk siteplan PLTS	Berpotensi sebesar 84 MWh pertahun, terdiri atas 480 modul kapasitas 100 Wp, 68 baterai kapasitas 24V 200Ah, 1 unit inverter 45 kWh dan 5 unit SCC dengan 460A. Setelah proses konversi berkurang menjadi 75,5 MWh dengan pembagian 62,4 MWh digunakan untuk Suplai beban dan 12,1 MWh dikirim ke baterai untuk suplai daya pada malam hari.
5	Samsurizal	Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin	Perbandingan berdasarkan hasil perhitungan dengan metode regresi linier	Kecepatan angin berhubungan langsung dengan pendinginan sistem PV dan juga dapat mempengaruhi kinerja kolektor daya	Tingkat korelasi 2,81% kecepatan angin yang akan berpengaruh. Efisiensi panel kristal mono sebesar 11,716%, efisiensi panel polycristalin sebesar 10,02%. Disimpulkan bahwa efisiensi modul kristal mono meningkat secara signifikan.

6	Albert Gifson	RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID DI ECOPARK ANCOL	Perhitungan perencanaan PLTS berdasarkan total beban pada lokasi penelitian	Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) On Grid dengan membangkitkan 60 % dari kapasitas beban di area Learning Farm	Daya yang dibangkitkan sebesar 68,17 kWp dengan menggunakan 100 modul sel surya. PLTS dirancang untuk mengurangi pemakaian listrik PLN. Lokasi ini memiliki radiasi matahari yang baik dan lahan yang luas. Diharapkan menjadi acuan agar diperoleh kesesuaian antara kebutuhan energi, harga, dan kualitas.
7	Muhammad Alvin Ridho	ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYST 6.43	Menggunakan dua buah skenario simulasi guna mengetahui pengaruh bayangan/shading factor terhadap unjuk kerja PLTS	Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro memiliki parkir sepeda motor yang belum teroptimalkan. Dengan radiasi matahari tinggi, dapat dimanfaatkan menjadi sebuah siteplan PLTS yang cukup besar.	Diperkirakan berpotensi 272 MWh pertahunnya. Dengan sistem PLTS terhubung GridConnected, memiliki rasio penghematan energi listrik penggunaan sendiri dan penjualan kembali menuju jala-jala PLN (Grid) yang cukup besar pula, yaitu 197,67 MWh dan 75,11 MWh tiap tahunnya.
8	Virgiano M. J. Mamangkey	POTENSI PENGEMBANGAN PLTS DI LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SAM RATULANGI	Simulasi berdasarkan data hasil pengukuran panel surya HY015-12P	Menentukan potensi perencanaan PLTS Rooftop pada gedung fakultas teknik Sam Ratulangi	Berkapasitas total 40 kWp. Luas PV area terbagi dua yaitu area 1 sebesar 300,228m ² dan Area 2 sebesar 448.175m ² dengan jumlah modul sebanyak 125 untuk kedua area yang di orientasikan ke arah utara 10° dengan kemiringan panel 10°, daya yang dibangkitkan PLTS sesuai design adalah 59,9mWh.

2.2 Dasar Teori

Solar Cell merupakan komponen yang mengkonversi energi surya menjadi listrik. Teknologi ini digunakan untuk merubah energi yang berasal dari matahari menjadi energi listrik. Kemudian, energi listrik disimpan pada baterai yang dapat digunakan pada perangkat elektronik dan kebutuhan listrik lainnya.

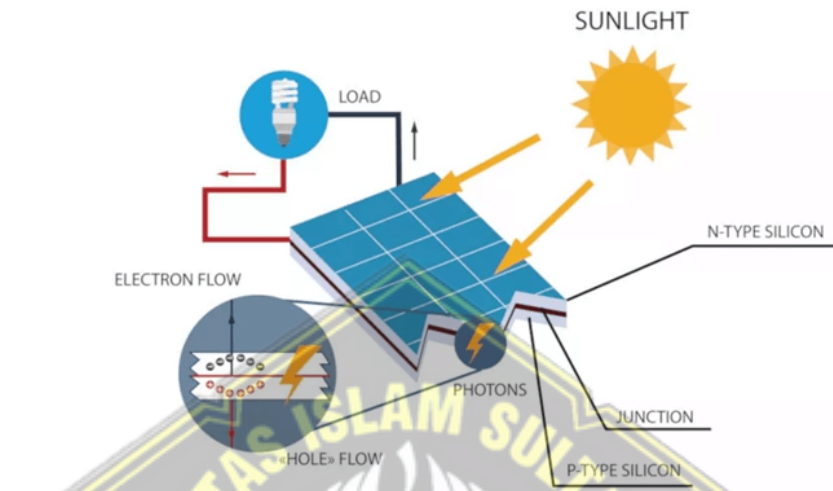
Teknologi ini sudah ada pada abad ke-18, tepatnya pada tahun 1839. Seorang ahli fisika asal Prancis bernama Alexandre Edmond Becquerel yang pertama kali mencetuskan teknologi ini. Teknologi ini awalnya menggunakan dua elektroda yang disinari cahaya matahari. Penyinaran ini memanfaatkan selenium yang mampu menghasilkan listrik dalam jumlah yang minim. Albert Einstein juga pernah melakukan penelitian terhadap panel surya pada tahun 1904 yang disebut efek photolistrik. Pada tahun 1941 ilmuwan bernama Russel Ohl berhasil mengembangkan teknologi solar cell. (Jembo Energindo)

Energi yang dihasilkan oleh panel surya sering dimanfaatkan menjadi energi alternatif untuk mengatasi pembengkakan biaya listrik. Selain itu, panel surya menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dikarenakan semakin berkurangnya bahan bakar fosil sebagai sumber daya pembangkit listrik.

A. Konversi Energi Surya

Partikel foton merupakan yang berukuran amat kecil yang fungsinya sebagai dasar pengoperasian dari sel surya. Sel surya sendiri mampu menghasilkan banyak energi untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya ketika foton tersebut mengenai atom semikonduktor. Pada area pita konduksi semikonduktor, terdapat elektron dengan muatan negative terpisah bergerak secara bebas, atom yang kehilangan elektron menjadi struktur kosong yang disebut sebagai "hole" dengan muatan positif. Semikonduktor tipe "N" sendiri merupakan semikonduktor dengan elektron bebas negative yang berfungsi menjadi penerima elektron. Semikonduktor tipe "P" sendiri

merupakan semikonduktor dimana daerah “Hole” berfungsi sebagai akseptor dari elektron bebas.



Gambar 2. 1 Konversi Energi Surya

Energi dihasilkan pada persimpangan dari daerah positif dengan daerah negative, yang menyebabkan elektron dari hole bergerak berlawanan arah. Hole keluar dari daerah positif sedangkan elektron keluar dari daerah negative. Hal ini menciptakan arus listrik saat diterapkan pada beban. Penjelasan secara sederhananya yaitu pergerakan electron terjadi antara sisi bermuatan positif dengan sisi yang bermuatan negative pada sel surya saat penyerapan cahaya. Arus listrik dapat dimanfaatkan untuk perangkat listrik berkat adanya pergerakan elektron tersebut. (UMY. 2021)

B. Jenis – Jenis PLTS

1. PLTS dengan Sistem On Grid

PLTS dengan sistim On-Grid merupakan varian dari PLTS yang sistemnya tersambung secara langsung dengan beban yang di suplai oleh PLN. Pada Sistem ini memiliki kelebihan yaitu melibatkan kontribusi dari energy terbarukan dalam jaringan, serta mengurangi ketergantungan daripada sumber energi konvensional. Namun sistem ini juga memiliki

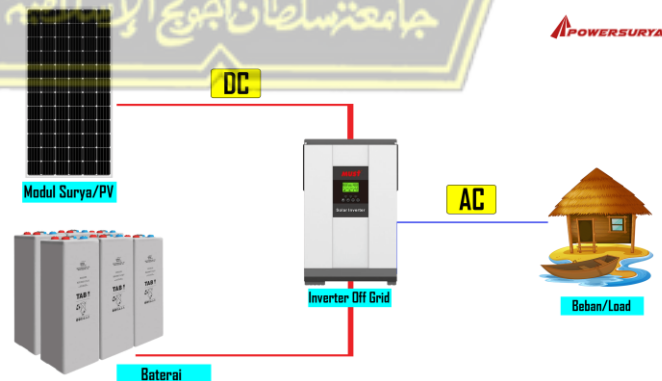
kekurangan yaitu ketergantungan terhadap sinar matahari sehingga tidak dapat mensuplai energi listrik saat matahari tidak bersinar.



Gambar 2. 2 Skema PLTS Sistem On-Grid

2. PLTS dengan Sistem Off-Grid

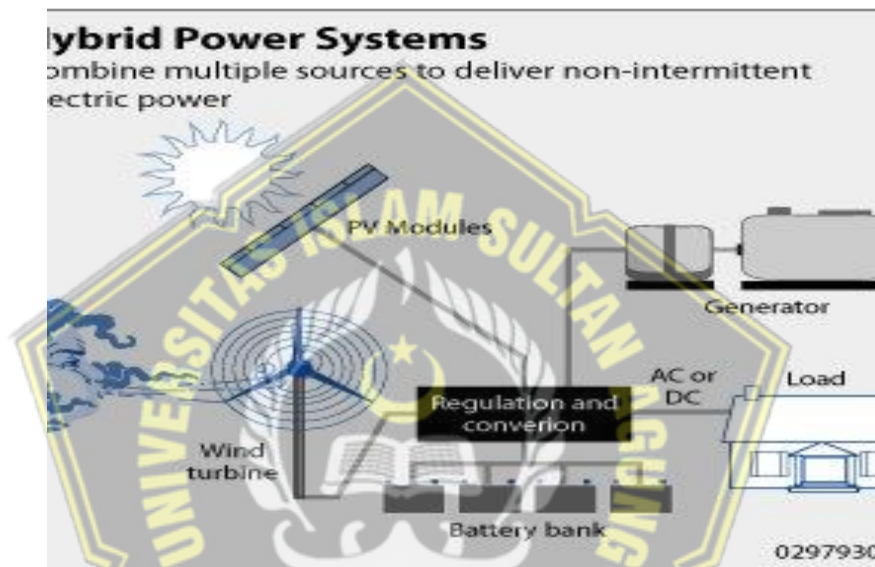
PLTS dengan sistem Off-Grid merupakan jenis PLTS dimana sistemnya berdiri sendiri (Standalone) dimana tidak terkoneksi langsung pada beban listrik utama. Dalam sistem tersebut memakai baterai dalam menyimpan energi sehingga dapat dipakai ketika tidak ada penyinaran dari matahari. Sistem ini memiliki kekurangan yaitu memerlukan baterai yang memadai untuk penyimpanan energi yang perlu dikelola dengan seksama agar efisiensi tetap terjaga.



Gambar 2. 3 Skema PLTS Sistem Off Grid

3. PLTS Hybrid

Sistem hybrid sendiri mengacu pada PLTS dengan kombinasi dari beberapa sumber energi lainnya seperti energi angin dan energi hidro. Sistem ini dirancang guna meningkatkan keandalan terhadap suplai energi dengan memanfaatkan kelebihan dari sumber energi lainnya dan mengatasi keterbatasan dari masing-masing sumber energi.



Gambar 2. 4 Skema PLTS Sistem Hybrid

C. Jenis – Jenis Panel Surya

Ada beberapa jenis panel surya yang biasa digunakan, yaitu :

1. Monocrystalline Silicon

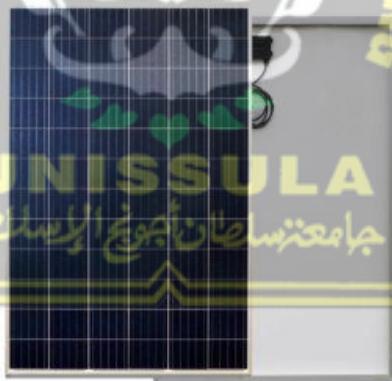
Jenis panel surya ini merupakan varian paling banyak dipakai dikarenakan lebih efisien menyerap energi matahari. Sayangnya, panel surya ini hanya efisien jika keadaan cahaya sangat terang, jika keadaan berawan maka panel surya jenis ini tidak akan bekerja secara efisien. Ciri -ciri panel surya ini berwarna hitam dengan bentuk yang tipis.



Gambar 2. 5 Monocrystalline Silicon

2. Polycrystalline Silicon

Modul polycrystalin mempunyai kelebihan susunan yang rapat serta rapi. Kekurangan panel ini hamper sama seperti jenis panel Monocrystalline Silicon yang mana tidak dapat bekerja secara efisien dalam keadaan mendung dan berawan.



Gambar 2. 6 Polycrystalline Silicon

3. Thin Film Solar Cell

Panel surya ini berbentuk sangat tipis seperti kertas. Kelebihannya adalah bobot yang ringan dengan sifat yang fleksibel. Selain itu, panel ini dapat bekerja

secara efisien pada kondisi cahaya fluorescent. Kekurangannya adalah panel ini kurang efisien dibandingkan dengan panel monocrystalline silicon.



Gambar 2. 7 Thin Film Solar Cell

D. Struktur Panel Surya

Panel Surya biasanya terdiri dari bingkai dari logam yang menutupi seluruh sisi samping *board* yang mana board ini terdiri dari bahan pendukung yang bersifat kaku, sel silikon-kristal, lembar transparan dan kaca pelindung. Pada tiap sel memiliki ukuran sekitar 4 hingga 6 inchi persegi. Pada satu modul ukuran penuh dapat berisi 60 atau 72 sel silicon, sehingga jika sel disambungkan secara seri dapat menghasilkan tegangan 30 atau 36 volt.

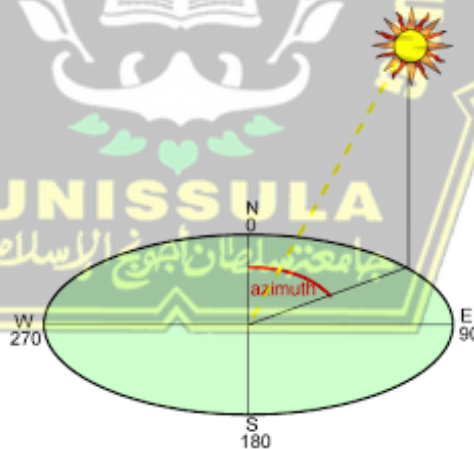


Gambar 2. 8 Struktur Panel Surya

Jumlah sel bergantung juga dengan daya yang dihasilkan. Misal, panel surya 30 Wp memiliki jumlah sel lebih banyak dibandingkan dengan panel surya 10 Wp. Wp adalah singkatan dari Watt-peak. Wp atau disebut juga daya puncak adalah ukuran maksimum daya yang dapat dihasilkan panels surya pada kondisi ideal.

E. Sudut Azimuth

Sudut azimuth sendiri dapat di artikan sebagai arah sudut cahaya matahari datang. Matahari selalu berposisi tepat di selatan pada belahan bumi utara dan tepat di utara pada belahan bumi selatan. Sudut Azimuth selalu berubah sepanjang waktu sesuai pada Gambar 2. 9. Pada saat equinox, matahari terbit tepat berposisi di timur dan terbenam di posisi barat terlepas dari derajat lintangnya sehingga sudut azimuth adalah 90 pada saat terbit dan 270 pada saat tenggelam. Namun nyatanya sudut azimuth bervariasi tergantung dari derajat lintang dan waktu pertahunnya.(Ali, 2019) Sudut Azimuth sendiri dapat diukur berdasarkan titik arah utara terhadap titik acuan, diukur searah jarum jam.



Gambar 2. 9 Sudut Azimuth

F. Kabel NYM

Kabel jenis NYM sendiri sebenarnya merupakan kabel jenis NYA yang diperbanyak misalnya 2, 3 sampai 4 konduktor yang dibungkus kembali dengan double isolasi. Memiliki fungsi yang sama dengan kabel NYA yaitu untuk

instalasi listrik rumah atau gedung dan system tenaga. kabel ini memiliki isolasi PVC yang berwarna putih atau abu-abu. Kabel NYM memiliki isolasi 2 lapis sehingga relatif lebih aman dari pada kabel NYA dan harganya juga lebih mahal. Kabel NYA dapat digunakan baik di lingkungan yang kering dan basah tetapi tidak boleh ditanam. Karena kabel NYM memiliki isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA. Selain itu, kabel ini juga mampu bertahan dalam kondisi kering dan basah dan cukup sulit cacat.



Gambar 2. 10 Kabel NYM

G. Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika yang cara kerjanya yaitu merubah atau mengkonversi *direct current* menjadi *alternate current* dalam frekuensi tertentu. Dalam aplikasi inverter pada PLTS perlu memperhatikan pemilihan inverter antara lain yaitu kapasitas, tegangan masukan, arus masukan, kualitas siklus pure, memanfaatkan sistim komutasi elektronik dengan *insulate gate bipolartransistor*, memiliki sistim MPP Tracker, kemudian yang terakhir adalah mampu bekerja dalam suhu 45°C.



Gambar 2. 11 Inverter 3 Phase

H. Exim Meter

Meteran exims merupakan mekanisme pelayanan dimana daya listrik yang dibangkitkan dari PLTS mampu dialirkan pada jaringan distribusi PLN dan dimanfaatkan kembali dalam keperluan rumah tinggal maupun perindustrian. Alat ini dapat mengukur surplus energi listrik yang masuk dalam jaringan distribusi PLN dan mampu memperhitungkan konsumsi listrik PLN saat panel surya tidak mampu menghasilkan listrik.



Gambar 2. 12 Meteran Exim

I. Perhitungan

Menentukan faktor koreksi temperatur (FKT), hal ini sangat berpengaruh pada daya maksimum dari modul surya tiap ada peningkatan temperature daerah sekitar. Tiap terjadi peningkatan temperatur yang berkisar 1 °C dari 25 °C maka akan terjadi penurunan output pada modul sebesar 0,5 %. (Syamsudin. 2017)

$$P \Delta t = 0,5\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan Suhu} \quad (2.1)$$

Dimana,

P_{mpp} = Daya maksimum dari modul

Maka dari itu faktor koreksi temperature (FKT) dapat dihitung dengan persamaan (Syamsudin. 2017):

$$FKT = \frac{P_{max t}}{P_{max Modul}} \quad (2.2)$$

Dimana,

$P_{max t}$ = Daya Maksimum Saat Terjadi Kenaikan Suhu

$P_{max Modul}$ = Daya Maksimum Dari Modul

Sebelum memasang sistem panel surya, diperlukan perhitungan luas array untuk menentukan luas area yang akan dimanfaatkan, maka dengan menggunakan formula berikut ini dapat menentukan luas array solar cell. (Alkholis, M Chisanudin. 2023)

$$\text{Luas Array} = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT} \quad (2.3)$$

Dimana,

EL = Besar energi yang dibangkitkan (kWh/hari)

Gav = Intensitas solar irradiation (kWh/m²/hari)

η_{PV} = Nilai Efisien dari modul (%)

η_{Out} = Efisiensi output sistem (%)

FKT = Faktor koreksi temperature (%)

Setelah mengetahui luasan dari larik panel surya, selanjutnya dapat menghitung besar dari daya yang ingin dibangkitkan. Perhitungan bearnya maksimal daya yang akan dibangkitkan bisa menggunakan persamaan (Alkholis. 2023)

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} \quad (2.4)$$

Dimana,

PSI = Peak solar insolation ($1000\text{W}/\text{m}^2$)

η_{PV} = Efisiensi dari panel surya (%)

Setelah mengetahui nilai besarnya daya puncak dari panel maka dapat menentukan banyak panel modul yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan di bawah ini yaitu (Alkholis. 2023)

$$\text{Jumlah panel} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}} \quad (2.5)$$

Dimana,

P_{wattpeak} = Daya yang akan dibangkitkan (W)

P_{max} = Kapasitas total daya dari panel modul (W)

Kapasitas Inverter sendiri dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini (Alkholis. (2023):

$$\text{Kapasitas Inverter} = P_{\text{mpp}} \times \text{Safety Factor} \quad (2.6)$$

Dimana,

P_{mpp} = Poin daya maksimum pada titik pantau

Safety Factor = Margin keamanan

P_{mpp} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut antara lain adalah Maksimum tegangan pada tiap stringnya adalah sebagai berikut (Alkholis. 2023):

$$V_{\text{mpp}} = V_{\text{mp}} \times \text{Jumlah Seri} \quad (2.7)$$

Dimana

V_{mp} = Nilai Tegangan Maksimum Modul

Kemudian untuk I_{mpp} atau arus maksimum yang mengalir pada setiap stringnya dapat menggunakan persamaan berikut (Alkholis. 2023):

$$I_{\text{mpp}} = I_{\text{mp}} \times \text{Jumlah Pararel} \quad (2.8)$$

Dimana,

I_{mp} = Nilai Arus Maksimum Modul

Kemudian untuk mencari P_{mpp} atau daya maksimum pada setiap string dapat menggunakan persamaan berikut ini (Alkholis. 2023):

$$P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp} \quad (2.9)$$

Dimana,

V_{mpp} = Teganga Maksimum Pada Tiap String

I_{mp} = Arus Maksimum Pada Tiap String

Dalam menentukan kuat hantar arus dari kabel dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$KHA = 125\% \times \text{Arus Max pada string} \quad (2.10)$$

J. Perangkat Lunak PVsyst

PVSyst sendiri adalah perangkat lunak yang dimanfaatkan dalam proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh University of Genewa yang dibagi dalam sistim On-Grid (*grid conected*), sistim Off-Grid (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga memiliki fitur basis data yang bersumber dari data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS. Beberapa sumber data meteorologi yang dapat digunakan PVSyst yaitu bersumber dari MeteoNorm V8.1 (interpolasi 1990-2021) NASA-SSE (1983-1990), PVGIS (untuk Uni-Eropa dan Africa), Satel-Light (untuk Uni-Eropa), TMY2/3 dan SolarAnyWhere (untuk Amerika Serikat), EPW (untuk Canada), RetScreen, Helioclim dan Solar GIS (Prabayar). (Kurniawan. 2021)

PVSyst merupakan perangkat lunak yang mampu merancang simulasi daya output dari panel surya berdasarkan data letak dengan perhitungan perkiraan tertentu diantaranya yaitu teknologi yang dipakai seperti jenis dan spesifikasi dari PV dan Inverter. Asumsi lainnya berupa letak lokasi dan lingkungan (data meteorologi, besar nilai iradiasi, nilai temperature dan rugi-rugi lainnya).

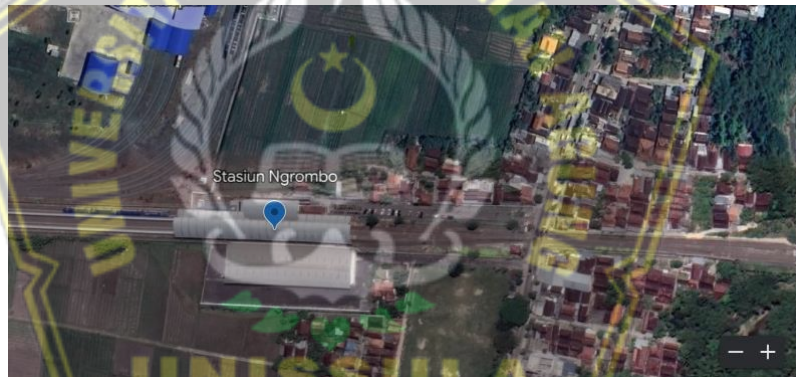
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada Stasiun Ngrombo Purwodadi Grobogan. Lokasi tersebut dipilih karena merujuk pada belum adanya PLTS pada lokasi tersebut. Pada tahun 2023 PT.KAI mengadakan pengaplikasian PLTS pada 40 Stasiun di pulau jawa dengan kapasitas total dari panel sebesar 1072,5 kWp dengan kontribusi rata-rata sebesar 49,63% dari kebutuhan listrik normal. (Hayat. 2023)

Lokasi Stasiun Ngrombo berada di alamat Jl. Solo-Purwodadi, Depok Timur, Kecamatan Toroh, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah 58171. Berikut merupakan lokasi Stasiun dapat dilihat menggunakan maps dari foto satelit.

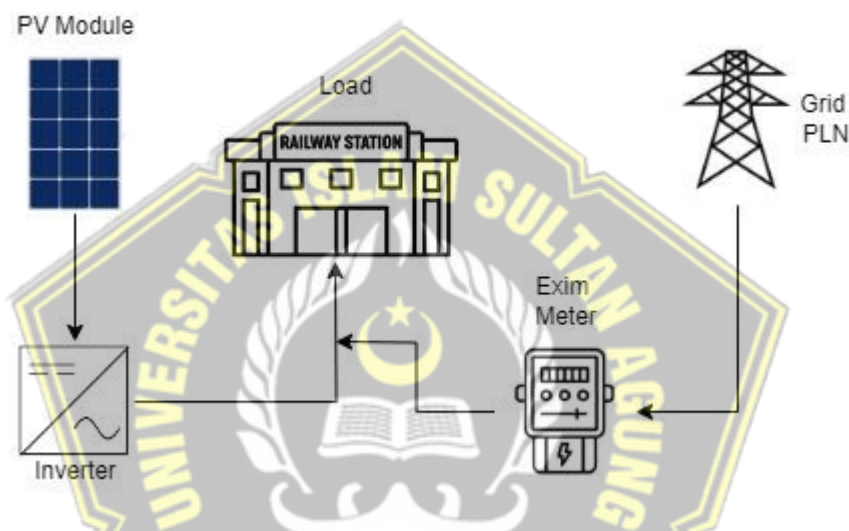


Gambar 3. 1 Stasiun Ngrombo Melalui Google Earth

Stasiun Ngrombo memiliki kebutuhan energi harian sebesar 64,22 kWh dengan total kebutuhan energi dalam satu bulan sebesar 1155,9 kWh per bulannya. Lahan yang akan dimanfaatkan untuk PLTS menggunakan sebagian lahan parkir seluas 70m² yang ada pada Stasiun Ngrombo

3.2 Model Penelitian

Pada penelitian ini rancangan PLTS On-Grid dirancang sedemikian rupa untuk mencapai manajemen energi. PLTS akan berperan penting dalam pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) di masa depan. Dengan kehadiran PLTS mampu memangkas biaya konsumsi energi dari PLN dan mengurangi polusi menuju Zero Net Emission di masa yang akan datang.



Gambar 3 . 1 Model Penelitian PLTS On-Grid

3.3 Alat Dan Bahan

Alat dan peralatan penelitian berfungsi untuk menunjang penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Ada beberapa alat dan peralatan yang digunakan :

1. PC

PC/ laptop digunakan sebagai media simulasi software PVsyst dan penyusunan laporan tugas akhir.

2. Software PVsyst

Software PVsyst adalah perangkat lunak yang dipakai dalam melakukan simulasi data yang akan di gunakan.

3.4 Photovoltaic (PV) dan Inverter

Modul surya yang akan dipakai pada simulasi nantinya adalah modul surya merk Jinkosolar JKM 330PP-72-V, yang antara lain merupakan modul surya bejenis Polycrystalin dengan berkapasitas sebesar 330 Wp. Untuk spesifikasi dari panel ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Module Type	JKM320PP-72		JKM325PP-72		JKM330PP-72	
	JKM320PP-72-V	JKM320PP-72-V	JKM325PP-72-V	JKM325PP-72-V	JKM330PP-72-V	JKM330PP-72-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	320Wp	237Wp	325Wp	241Wp	330Wp	245Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V
Maximum Power Current (Imp)	8.56A	6.83A	8.66A	6.89A	8.74A	6.94A
Open-circuit Voltage (Voc)	45.4V	43.8V	46.7V	43.3V	46.9V	43.6V
Short-circuit Current (Isc)	9.05A	7.35A	9.10A	7.40A	9.14A	7.45A
Module Efficiency STC (%)	16.49%		16.75%		17.01%	
Operating Temperature(°C)						-40°C~+85°C
Maximum system voltage						1000/1500VDC (IEC)
Maximum series fuse rating						20A
Power tolerance						0~+3%
Temperature coefficients of Pmax						-0.38%/°C
Temperature coefficients of Voc						-0.31%/°C
Temperature coefficients of Isc						0.06%/°C
Nominal operating cell temperature (NOCT)						45±2°C

Gambar 3. 2 Datasheet Jinko JKM 330PP-72-V

Untuk inverter sendiri menggunakan inverter dari Growatt MOD 4000TL3-X dengan kapasitas 4 kW ditentukan berdasarkan perhitungan pada Sub Bab 4. 3.

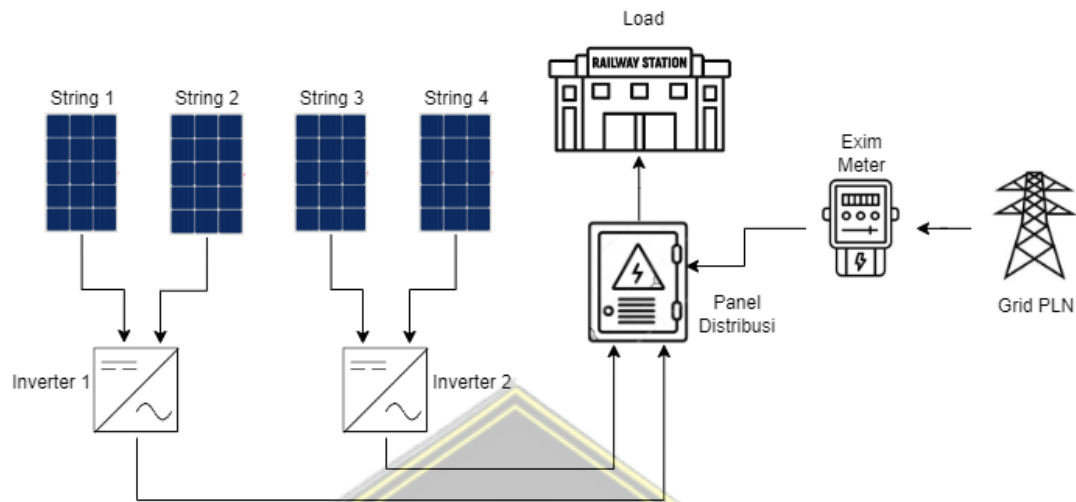
3.5 Data Penelitian

Data intensitas radiasi matahari diambil dari aplikasi PVSyst yang berpedoman pada data dari satelit Meteonorm.

Tabel 3. 1 Data Radiasi dan Temperature Dari Aplikasi PVSyst

Bulan	Global Horizontal Irradiation (kWh/m ² /hari)	Diffuse Horizontal Irradiation(kWh/m ² /hari)	Temperature (°C)
Januari	4,41	2,84	27,3
Februari	5	2,84	27,2
Maret	4,97	3,01	27,7
April	5,42	2,69	27,8
Mei	5,51	2,25	28,6
Juni	5,27	2,04	27,9
Juli	5,33	2,1	27,8
Agustus	5,69	2,38	28
September	5,96	2,65	28,3
Oktober	6,22	3,09	29
November	5,63	2,97	28,1
Desember	5,26	3	27,6

Data lainnya merupakan data single line diagram dari rangkaian PLTS yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dimana dalam 1 String akan disusun sebanyak 8 buah modul surya dengan kapasitas masing-masing sebesar 330 Wp yang di rangkai secara seri. Dimana untuk tiap 2 string akan dihubungkan dengan 1 buah grid inverter dengan MPPT ganda. Kemudian hasil konversi arus dari DC ke AC akan didistribusikan lewat panel distribusi menuju beban yang ada pada stasiun. Jika panel surya menghasilkan energi listrik lebih sedikit dari perencanaan akibat dari cuaca mendung maupun hujan yang mungkin bisa terjadi, ataupun saat malam hari, maka kekurangan energi tersebut akan disuplai oleh PLN lewat meteran khusus atau EximMeter.



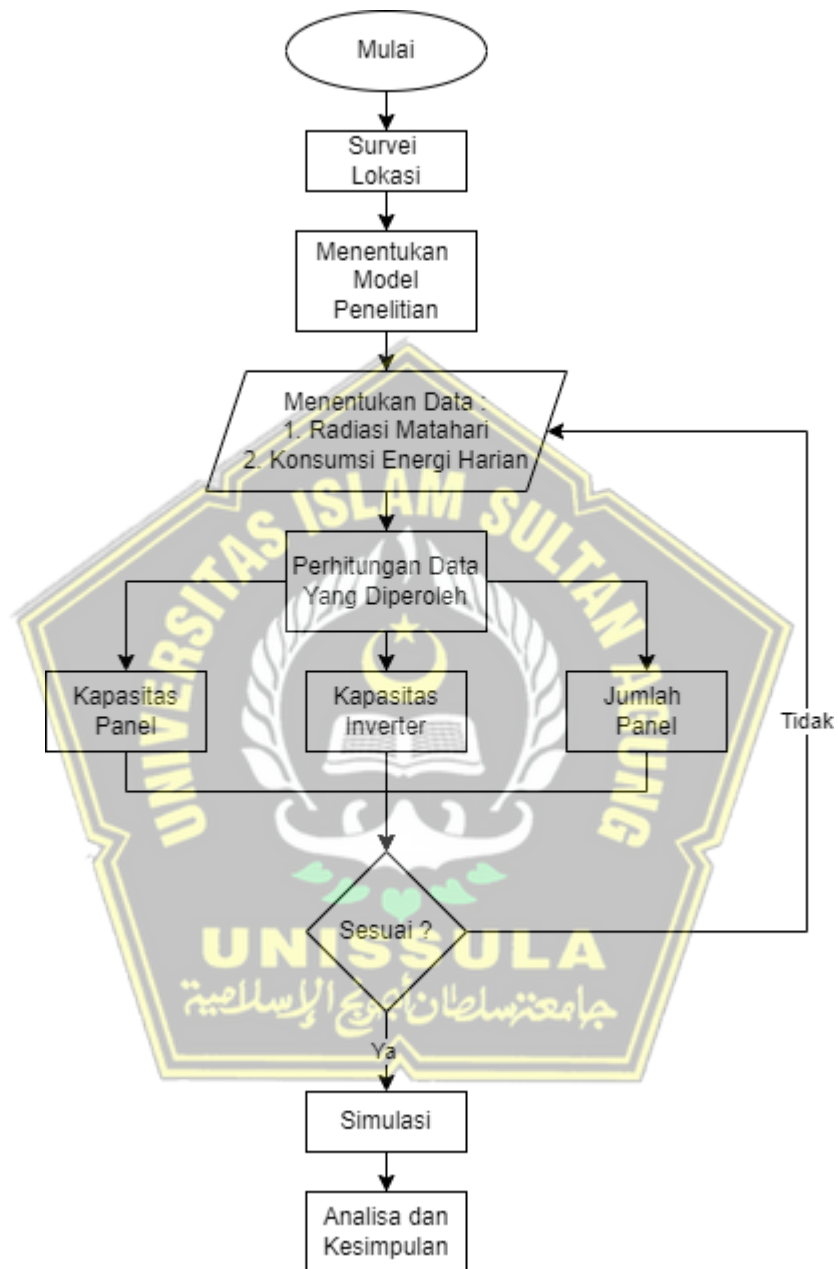
Gambar 3. 3 Single Line Diagram Dari Rancangan Rangkaian PLTS Stasiun Ngrombo

3.6 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan dari penelitian yang akan dilaksanakan antara lain :

1. Melakukan observasi lapangan dalam objek penelitian dan mengumpulkan data pengamatan seperti konsumsi energi harian dari stasiun dan luas lahan yang akan dimanfaatkan nantinya.
2. Menentukan model dari penelitian.
3. Melakukan pengambilan data radiasi matahari pada daerah setempat.
4. Menentukan jenis modul PV dan Inverter.
5. Melakukan simulasi menggunakan aplikasi PVSyst. Data yang digunakan berupa data radiasi matahari dalam per satu bulan dalam kurun waktu satu tahun.
6. Simulasi dilakukan dengan variasi sudut kemiringan panel yaitu sudut 5,15,30,45 dan 60 kemudian -5,-15,-30,-45 dan -60.
7. Melakukan analisa daya keluaran hasil simulasi. Bagaimana potensi PLTS pada objek penelitian, Berapa besar sudut yang menghasilkan energi paling optimal bila dipakai pada objek penelitian.

3.7 Flowchart



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lapangan

Data lapangan dibawah merupakan data iradiasi matahari yang diambil dari software PVSyst berdasarkan data dari satelit Meteonorm ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4. 1 Intensitas Radiasi Matahari Pada Daerah Stasiun Ngrombo Berdasarkan Meteonorm

Bulan	Radiasi Matahari (KWh/m ² /hari)
Januari	4,41
Februari	5,00
Maret	4,97
April	5,42
Mei	5,15
Juni	5,27
Juli	5,33
Agustus	5,69
September	5,96
Oktober	6,22
November	5,63
Desember	5,26

Tabel 4.1 menunjukkan data intensitas radiasi matahari dari daerah Stasiun Ngrombo dalam satu bulan dengan radiasi tertinggi pada bulan Oktober dengan jumlah 6,22 kWh/m² dan radiasi paling rendah terdapat pada bulan Januari sebesar 4,41 kWh/m². Data tersebut diambil dari data Meteonorm 8.1 (2016-2021)

Konsumsi listrik harian pada stasiun ngrombo diambil dari pengukuran pada kWh meter sebesar 64,22 kWh. Data tersebut didapat melalui pengukuran selisih dari nilai kWh Meter. Data konsumsi energi listrik harian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data Konsumsi Energi Harian Pada Stasiun Ngrombo

No	Tanggal	kWh Meter (kWh)	Konsumsi Daya (kWh)
1	31 Januari	248901,21	
2	1 Februari	248964,04	62,83
3	2 Februari	249030,75	66,71
4	3 Februari	249094,76	64,1
5	4 Februari	249158,13	63,37
6	5 Februari	249222,22	64,09
		Rata -Rata	64,22

4.2 Perhitungan Jumlah Panel

Stasiun Ngrombo memiliki kebutuhan energi harian sebesar 64,22 kWh dengan total kebutuhan energi dalam satu bulan sebesar 1155,9 kWh per bulannya. Jumlah energi direncanakan menggunakan rasio 60 : 40 yaitu sebesar 60% akan disuplai oleh panel surya dan 40% akan dipasok dari PLN, sehingga energi yang akan dipasok oleh panel surya sebesar :

$$EL = 60\% \times \text{Pemakaian Daya Listrik Harian}$$

$$= 0,6 \times 64,22 \text{ kWh}$$

$$= 38,53 \text{ kWh}$$

Selanjutnya menentukan faktor koreksi temperatur (FKT), hal ini sangat berpengaruh pada daya maksimum dari modul surya tiap ada peningkatan temperature daerah sekitar. Tiap terjadi peningkatan temperatur yang berkisar 1 °C dari 25 °C maka akan terjadi penurunan daya maksimum dari modul sebesar 0,5 %.Dilihat dari Tabel 3.1 temperatur tertinggi pada Stasiun terjadi pada bulan Oktober dengan suhu 29 °C. maka penurunan daya maksimum modul dihitung menggunakan persamaan (2.1)

$$\begin{aligned}
 P_{\Delta t} &= 0,5\% \times P_{Mpp} \times \text{Kenaikan Suhu} \\
 &= 0,5\% \times 330 \text{ Wp} \times 4^{\circ}\text{C} \\
 &= 6,6 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan (2.1) penurunan daya maksimum terhadap kenaikan suhu adalah sebesar 6,6 Watt, Maka daya maksimum dari modul dengan ukuran 330 adalah sebagai berikut :

$$P_{Max} \ t = 330 \text{ Wp} - 6,6 \text{ Wp} = 323,4 \text{ WattPeak}$$

Maka dari itu faktor koreksi temperature (FKT) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) :

$$\begin{aligned}
 FKT &= \frac{P_{max} \ t}{P_{max} \ Modul} \\
 &= \frac{323,4 \text{ Wp}}{303 \text{ Wp}} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

Perhitungan (2.2) digunakan untuk menentukan luas array dari modul yang akan digunakan dalam penelitian, parameter lainnya yaitu efisiensi dari modul yaitu sebesar 17.01%, efisiensi dari inverter sebesar 97% juga jumlah total energi yang akan dibangkitkan menggunakan persamaan (2.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Array} &= \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{pv} \times \eta_{out} \times FKT} \\
 &= \frac{38,53 \text{ kWh}}{5,36 \text{ kWh/m}^2 \times 17,01\% \times 97\% \times 0,98} \\
 &= \frac{38,53 \text{ kWh}}{0.866} \\
 &= 44,49 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan rata-rata solar irradiation pada daerah setempat adalah 1000 W/m^2 maka dapat dihitung daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul adalah sebagai berikut (2.4):

$$\begin{aligned} P_{\text{wattpeak}} &= \text{Luas array} \times \text{Average Solar Irradiation} \times \text{Efisiensi modul} \\ &= 44,49 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 17,01 \% \\ &= 7567,74 \text{ W} \end{aligned}$$

Namun terdapat rugi rugi daya yang terjadi pada saat pembangkitan daya, baik saat transmisi ataupun konversi pada inverter. Rugi daya kurang lebih bisa mencapai hingga 30%. oleh karena itu P_{wattpeak} ditingkatkan sebesar 30%. (Ramadhani, 2018)

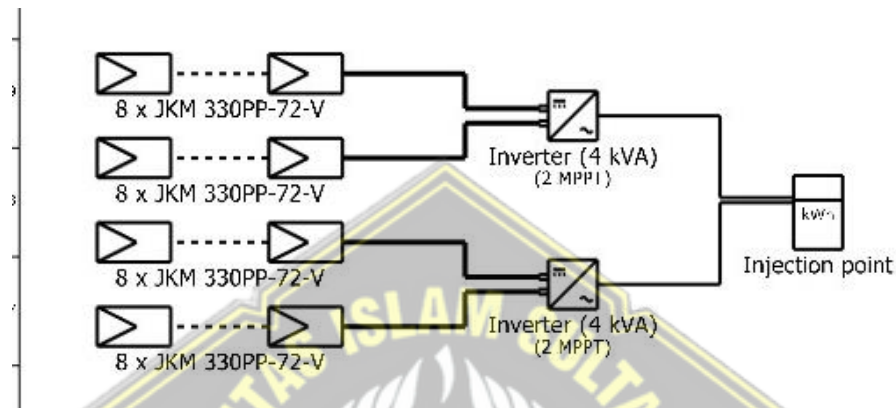
$$\begin{aligned} P_{\text{wattpeak}} &= \frac{P_{\text{wattpeak}}}{(100-30)\%} \\ &= \frac{7567,74 \text{ W}}{0,7} \\ &= 10.811 \text{ W} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas panel yang akan digunakan sebesar 330 Wp. Maka dapat ditentukan jumlah panel yang akan dipakai dalam simulasi didapat melalui persamaan sebagai berikut (2.5)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel} &= \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}} \text{ Module}} \\ &= \frac{10,811}{330} \\ &= 32,7 \text{ atau } 32 \text{ buah panel} \end{aligned}$$

4.3 Penyusunan Array

Array akan dirangkai dalam 4 string dimana setiap 1 string terdiri atas 8 panel surya. String tersebut nantinya akan dihubungkan pada 2 inverter dengan tiap inverter memiliki 2 MPPT. Maka setiap 2 string akan dihubungkan dengan 1 inverter.



Gambar 4. 1 Single Line Diagram Dari Rangkaian Array Simulasi PVSyst

Dimana tiap string mampu memberikan tegangan maksimum (V_{mpp}) dan Arus maksimum (I_{mpp}) sebagai berikut :

Maksimum tegangan pada tiap stringnya adalah sebagai berikut (2.7):

$$\begin{aligned} V_{mpp} &= V_{mp} \times \text{Jumlah Seri} \\ &= 46,9 \text{ V} \times 8 \\ &= 375,2 \text{ V} \end{aligned}$$

Arus maksimum yang dialirkan oleh tiap string adalah 9,14 Ampere.

Daya Maksimum yang dibangkitkan panel surya pada setiap string (2.9)

$$\begin{aligned} P_{mpp} &= V_{mpp} \times I_{mpp} \\ &= 375,2 \text{ V} \times 9,14 \text{ A} \\ &= 3429,3 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan satu array terpasang sebanyak 4 string dimana setiap string memiliki tegangan maksimum 375,2 V dan arus maksimum 9,14 A sehingga daya yang dapat dibangkitkan pada satu string adalah 3429,3 Wp. Sehingga total daya yang mampu dibangkitkan dalam satu array adalah $3429,3 \times 4 = 13.717,3$ Watt atau 13,71 kW.

4.4 Menentukan Ukuran Kabel

Dalam menentukan ukuran luas penampang kabel yang tepat sesuai dengan kuat hantar dari kabel, dapat menggunakan acuan dari buku PUIL 2011. Kabel yang dipasang pada instalasi PLTS umumnya merupakan kabel fleksibel, apapun jenis dari selungkup maupun isolatornya (Permana, 2022). Penelitian ini paling cocok menggunakan kabel NYM karena memiliki solasi PVC kokoh, tahan kering dan lembab serta tidak mudah cacat. Maka dihitung kemampuan hantar arus dari kabel menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} \text{KHA} &= 125\% \times \text{Arus Max pada string} \\ &= 1,25 \times 9,14 \\ &= 11,4 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan (2.10) diketahui nilai KHA sebesar 11,4 A untuk 1 stringnya, maka dari itu luas penampang dari kabel dapat ditentukan dari Tabel 4.3 yaitu sebesar $1,5 \text{ mm}^2$.

Tabel 4. 3 Kuat Hantar Arus Kabel NYM Sesuai PUIL 2011

Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
		A	A	A	A	A	A
1	2	3	4	5	6	7	8
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NY Y	10	122	79	92	66	75	60
NY B Y	16	160	105	121	89	98	80
NY F G b Y							
NY R G b Y	25	206	140	153	118	128	106
NY C Y	35	249	174	187	145	157	131
NY C W Y	50	296	212	222	176	185	159
NY S Y							
NY C E Y	70	365	269	272	224	228	202
NY S E Y	95	438	331	328	271	275	244
NY H S Y	120	499	386	375	314	313	282
NY K Y							
NY K B Y	150	561	442	419	361	353	324
NY K F G B Y	185	637	511	475	412	399	371
NY K R G b Y	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

4.5 Menentukan Kapasitas Inverter

Jika daya yang dihasilkan oleh sistem sebesar 3429,3 Watt untuk setiap arraynya, maka setiap array membutuhkan inverter yang dapat berubah sesuai dengan tegangan PLN. Kapasitas inverter dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) :

$$\text{Kapasitas Inverter} = P_{\text{mpp}} \times \text{Safety Factor}$$

$$= 3429,3 \text{ W} \times 1,25$$

$$= 4,2 \text{ kW}$$

Oleh karena itu dipilih inverter Growatt MOD 4000TL3-X dengan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 4. 2

Datasheet	MOD 3000TL3-X	MOD 4000TL3-X	MOD 5000TL3-X	MOD 6000TL3-X	MOD
Input data (DC)					
Max. recommended PV power (for module STC)	4500W	6000W	7500W	9000W	
Max. DC voltage				1100V	
Start voltage				200V	
Nominal voltage				580V	
MPPT voltage range				140V-1000V	
No. of MPPT trackers				2	
No. of PV strings per MPPT tracker				1	
Max. input current per MPPT tracker				13A	
Max. short-circuit current per MPPT tracker				16A	
Output data (AC)					
AC nominal power	3000W	4000W	5000W	6000W	
Max. AC apparent power	3300VA	4400VA	5500VA	6600VA	
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	5.0A	6.7A	8.3A	10.0A	
Adjustable power factor				0.8leading...0.8lagging	
THDI				<3%	
AC grid connection type				3W+N+PE	
Efficiency					
MAX. efficiency	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	
European efficiency	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%	
MPPT efficiency				99.9%	

Gambar 4. 2 Datasheet Inverter Growatt MOD 4000TL3-X

4.6 Simulasi Menggunakan PVSyst

Simulasi menggunakan aplikasi PVSyst bertujuan untuk mengetahui sudut efektif serta pengaruh besar sudut terhadap daya keluaran dari panel surya. Hasil simulasi nantinya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan sudut dari panel.

1. Konfigurasi Database

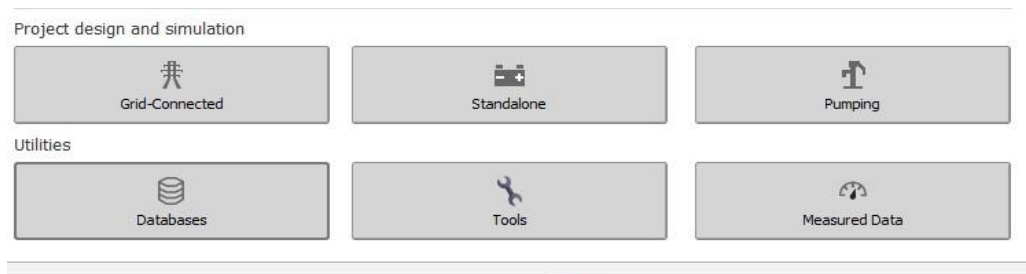
Pada Aplikasi ini yang pertama dilakukan adalah menentukan data radiasi matahari pada objek penelitian. Dimana database tersebut dapat dikonfigurasi pada menu database geographical site dimana user akan diminta untuk

menentukan titik koordinat dari objek penelitian serta menentukan sumber dari satelit mana data tersebut akan di ambil. Maka akan tampil posisi geografis objek penelitian seperti pada Gambar 4. 3 dan data radiasi seperti pada Gambar 3. 4.

Gambar 4. 3 Tampilan menu geographical site

2. Menu Utama

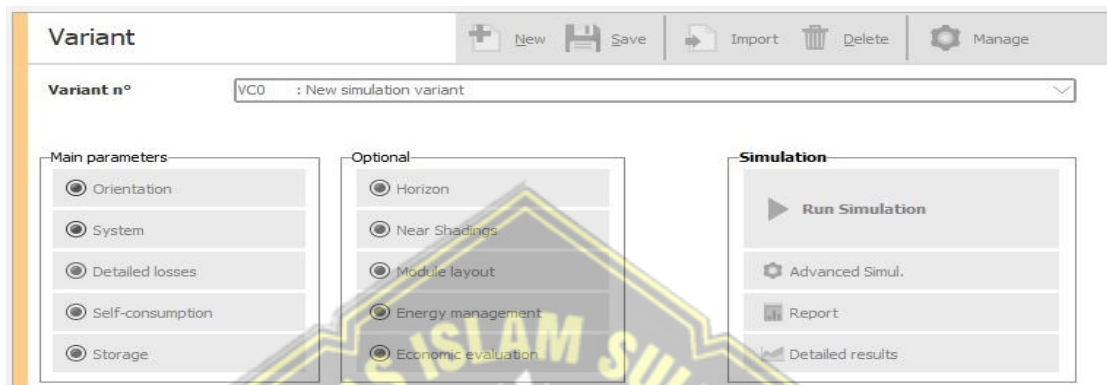
Pada menu ini pengguna dapat menentukan jenis dari PLTS yang ingin disimulasikan antara lain Grid Connected (On-Grid), Standalone (Off-grid) dan Pumping.



Gambar 4. 4 Menu Utama PVSyst

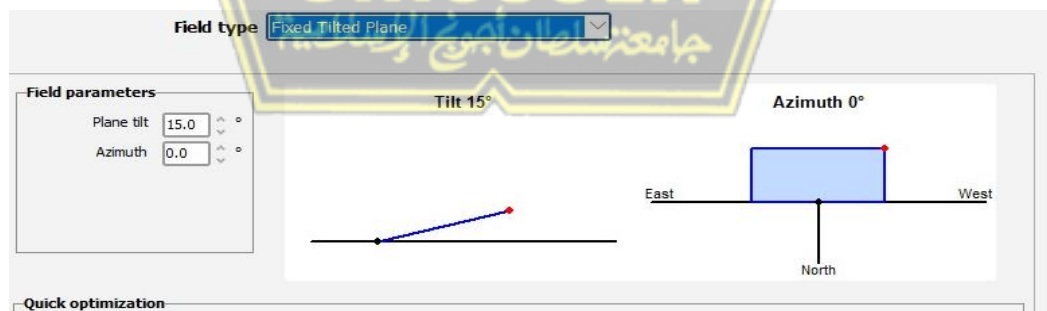
3. Project Design

Pada menu ini pengguna diminta untuk memasukkan data-data parameter yang akan digunakan dalam simulasi nantinya.



Gambar 4. 5 Project PVsyst

Pada bagian menu Variant dapat dimasukkan parameter yang dibutuhkan untuk simulasi nantinya antara lain Orientation untuk memasukkan data sudut kemiringan dan azimuth. Pada menu ini, dilakukan variasi sudut antara lain sebesar 5,15,30,45 dan 60 kemudian -5,-15,-30,-45 dan -60.



Gambar 4. 6 Menu Orientation PVSyst

Kemudian menu System guna memasukkan data jenis panel surya, Inverter, luas array dan besar daya yang ingin dibangkitkan. Data yang telah didapat

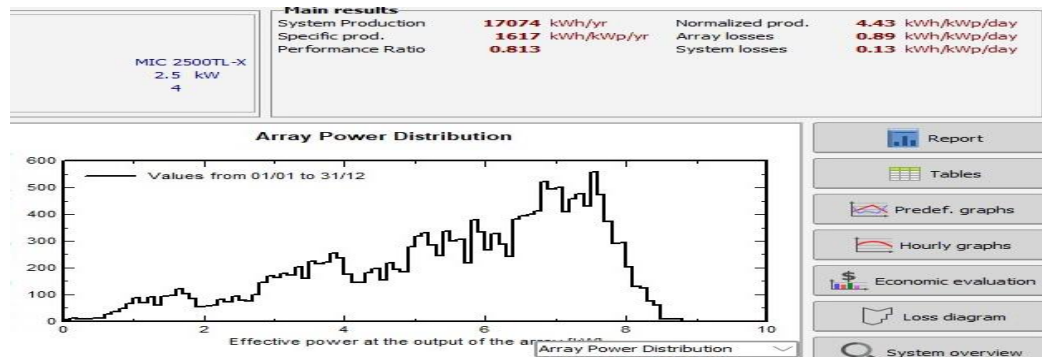
dari perhitungan sebelumnya dimasukkan pada menu ini. Kemudian akan ditampilkan menu seperti pada Gambar 4. 7.

The screenshot displays the 'System Menu' in PVSyst, divided into three main sections:

- Sub-array name and Orientation:** Name is 'PV Array Mono', Orientation is 'Fixed Tilted Plane', Tilt is 15°, and Azimuth is 0°.
- Pre-sizing Help:** 'No sizing' is selected. 'Enter planned power' is set to 11.0 kWp. '... or available area(modules)' is set to 64 m². A 'Resize' button is visible.
- Select the PV module:** Filter is 'All PV modules'. The selected module is 'Jinkosolar' with specifications: 330 Wp 32V Si-poly, JKM 330PP-72-V, Since 2016, Manufacturer 2017. 'Use optimizer' is unchecked. Sizing voltages are Vmpp (60°C) 32.7 V and Voc (-10°C) 52.3 V. 'Approx. needed modules' is 33.
- Select the inverter:** Output voltage is 400 V Tri 50Hz. The selected inverter is 'Growatt New Energy' with specifications: 4,0 kW, 140 - 1000 V TL, 50/60 Hz, MOD 4000TL3-X, Since 2021. 'Nb of MPPT inputs' is 4. 'Use multi-MPPT feature' is checked. Operating voltage is 140-1000 V, Input maximum voltage is 1100 V, and Inverter power Used is 8.0 kWac. A note states 'No power sharing between MPPTs'.

Gambar 4. 7 System Menu PVSyst

Pada Gambar 4.7 data yang dimasukkan antara lain yaitu data daya yang ingin dibangkitkan yaitu 10,8 kWp sesuai dari perhitungan sebelumnya. Kemudian panel yang digunakan adalah JinkoSolar dengan kapasitas 330 Wp sejumlah 32 modul dan kemudian inverter Growatt 4000 sejumlah 4 inverter yang akan disusun 8 modul seri dan 1 inverter untuk setiap arraynya. Setelah mengisi data-data parameter diatas maka dapat dilakukan simulasi pada menu project. Setelah simulasi dijalankan maka akan tampil menu seperti Gambar 4. 8.



Gambar 4. 8 Hasil Run Simulation PVSyst

Pada menu report dapat meminta laporan detail mengenai hasil dari simulasi. Pada Gambar 4.8 akan tampil data – data parameter hasil simulasi yang nantinya akan dimasukkan pada Tabel 4.4 untuk dilakukan perbandingan unjuk kerja dari masing masing variasi sudut yang nantinya akan di tarik kesimpulan.

Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Variasi Sudut Terhadap Energi Yang Dihasilkan Dalam 1 Bulan Menggunakan Aplikasi PVSyst

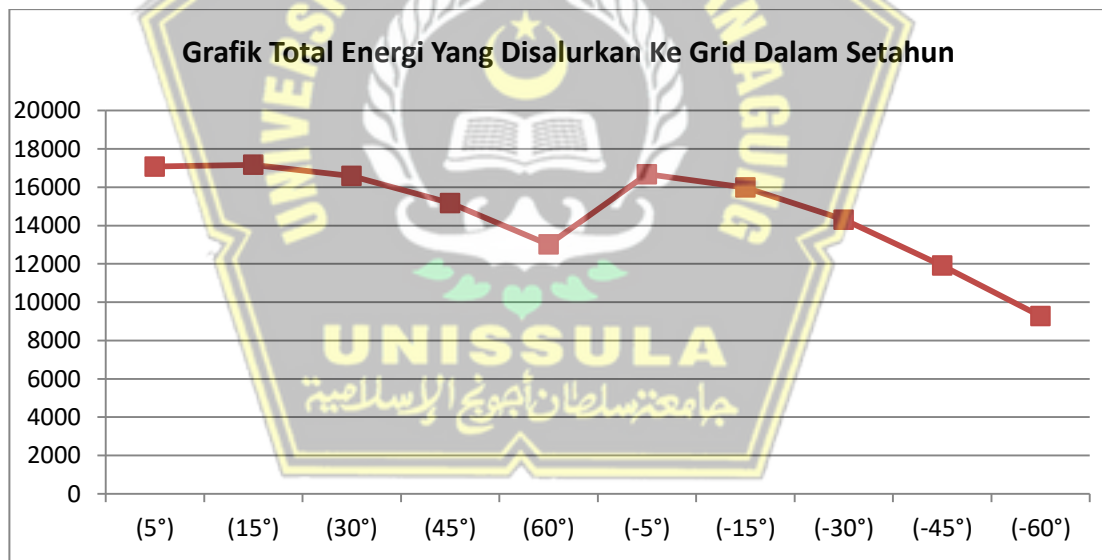
Bulan	Energi Yang Dihubungkan Ke Grid Perbulan (kWh)									
	(5°)	(15°)	(30°)	(45°)	(60°)	(-5°)	(-15°)	(-30°)	(-45°)	(-60°)
Jan	1168	1106	971	794	594	1207	1225	1211	1144	1020
Feb	1199	1159	1052	892	687	1219	1220	1176	1073	913
Mar	1342	1332	1264	1135	947	1331	1298	1196	1034	817
Apr	1473	1473	1468	1392	1242	1375	1289	1102	856	570
Mei	1433	1517	1577	1558	1458	1323	1183	929	631	384
Jun	1422	1554	1650	1660	1581	1302	1136	844	519	326
Jul	1496	1602	1686	1684	1592	1362	1202	911	582	346
Agu	1565	1630	1659	1602	1459	1472	1352	1109	805	479
Sep	1547	1557	1509	1382	1177	1512	1451	1295	1065	768
Okt	1639	1597	1468	1259	980	1655	1644	1560	1394	1148
Nov	1426	1351	1180	951	680	1477	1503	1484	1392	1226
Des	1381	1291	1102	870	612	1445	1484	1486	1418	1278
Tahun	17075	17169	16584	15179	13010	16678	15987	14304	11912	9275

Stasiun Ngrombo sendiri memiliki kebutuhan energi harian sebesar 1155,9 kWh tiap bulannya berdasarkan pada Sub Bab 4.2. Untuk perbandingan di sini diambil data

hasil simulasi dari Tabel 4.4 pada bulan Januari pada sudut (5°) yaitu sebesar 1168 kWh dimana pada bulan ini memiliki intensitas radiasi paling rendah dan dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Energi Dalam 1 Bulan Yang Dihasilkan PLTS}}{\text{Kebutuhan Energi Stasiun Dalam 1 Bulan}} \\
 &= \frac{1168}{1155} \\
 &= 1,01 \text{ atau } 101 \%
 \end{aligned}$$

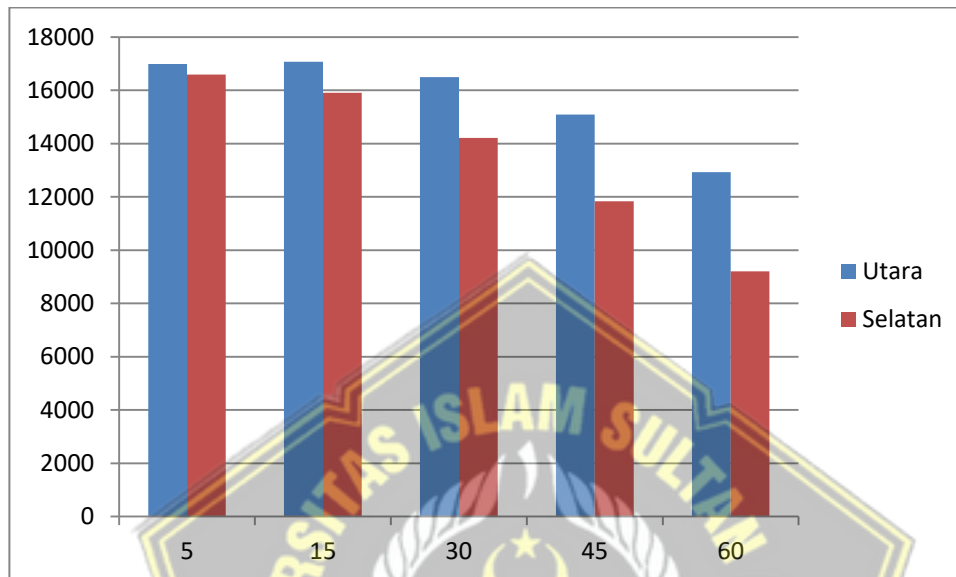
Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa perencanaan PLTS pada Stasiun Ngrombo mampu memenuhi harapan yaitu sebesar 101% dari total perencanaan energi yang telah diperhitungkan sebelumnya.



Grafik 4. 1 Perbandingan Total Energi Yang Disalurkan Ke Grid Dalam Setahun Berdasarkan Sudut Kemiringan Panel

Grafik 4.1 ditampilkan variasi kemiringan sudut pada panel surya sangat mempengaruhi output energi yang dihasilkan oleh PLTS, bahwa semakin besar sudut kemiringan panel maka semakin kecil total energi yang dapat dihasilkan per tahunnya.

Grafik 4.1 terlihat bahwa keluaran energi dalam satu tahun menunjukkan hasil yang optimal berada diantara sudut (5°) hingga (30°) dan (-5°) hingga (-15°).



Grafik 4. 2 Perbandingan Hasil Output Dari Variasi Arah Sudut Azimut

Dari Grafik 4. 2 diatas dapat dilihat bahwa variasi sudut azimuth juga mempengaruhi terhadap keluaran energi dari PLTS dimana panel surya yang dipasang menghadap ke arah utara saat simulasi mampu memberikan hasil jumlah energi yang lebih optimal bila di bandingkan dengan panel surya yang dipasang menghadap ke arah selatan saat simulasi. Hal ini dikarenakan dalam mencapai efisiensi maksimum dari modul PV terhadap sinar datang maka modul harus terpapar sinar dengan sudut sebesar 90° tegak lurus terhadap sudut kemiringan modul PV. Sehingga cahaya akan terserap optimal oleh modul. Ketika arah cahaya datang tidak membentuk sudut 90° maka sebagian dari cahaya akan dipantulkan dari modul sehingga penyerapan tidak optimal.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Stasiun Ngrombo memiliki kebutuhan energi harian sebesar 64,22 kWh dengan total kebutuhan energi dalam satu bulan sebesar 1155,9 kWh per bulannya. Direncanakan menggunakan rasio 60 % untuk energi yang ingin dibangkitkan yaitu sebesar 38,53 kWh dan 40% disuplai oleh PLN. Hasil dari perhitungan menunjukkan total energi yang akan dibangkitkan sebesar 10,81 kWp dengan total panel sebanyak 32 buah panel surya, dengan masing-masing panel berkapasitas 330 Wp, dengan satu array terdiri atas 4 string dimana masing-masing string terdiri atas 8 buah panel yang dihubungkan pada MPPT inverter dengan total 2 inverter. Untuk inverternya sendiri menggunakan kapasitas 4000 Watt dari Growatt.
2. Berdasarkan hasil simulasi dengan memanfaatkan software PVSyst yang dilakukan, didapatkan kemiringan sudut panel surya yang paling optimum untuk pemasangan PLTS pada stasiun Ngrombo berada pada sudut (15°) dengan total energi yang dibangkitkan rata-rata perbulannya sebesar 1.422,8 kWh sedangkan untuk sudut azimuth dapat disimpulkan berdasarkan grafik didapatkan bahwa arah utara dapat memberikan hasil output yang lebih baik dibandingkan bila dipasang menghadap arah selatan.
3. Berdasarkan contoh hasil simulasi sudut (5°) pada bulan Januari dimana memiliki nilai intensitas radiasi paling rendah menghasilkan energi sebesar 1168 kWh perbulannya. Diketahui bahwa perencanaan memiliki ekspektasi output energi sebesar 1155 kWh perbulannya, maka bila dihitung rasio dari performanya maka akan mendapatkan hasil sebesar 1,01 atau 101%. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa sudut (5°) mampu memenuhi kebutuhan energi dari Stasiun Ngrombo sehingga layak untuk direalisasikan.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan perangkat lunak ataupun simulasi berbasis web yang dapat menampilkan keluaran harian.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan perangkat lunak serupa yang dapat mengatur rangkaian secara manual agar desain rangkaian lebih fleksibel.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nugroho, Agung. (2019) "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSYST 6.43". Universitas Diponegoro.
- [2]. Permana, Imam (2022) "Memasang Instalasi Kelistrikan PLTS Tipe Terpusat (Komunal) On-Grid". Kementerian PPN/Bappenas
- [3]. Ali, Muhamad Faisal. (2017) "Optimasi Orientasi Dan Sudut Kemiringan Panel Surya Di Gedung CDAST Universitas Jember". Universitas Jember.
- [4]. Syukri, Mahdi. (2010) "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh". Universitas Syiah Kuala.
- [5]. Sumbung, F., Letsoin, Y. and Hardiantono, D. (2016) "Penentuan Kapasitas Dan Karakteristik Modul PV Pada Perencanaan Pembangunan PLTS Komunal Di Distrik Okaba", *MUSTEK ANIM HA*, 5(2), pp. 181-195.
- [6]. Santiari, Dewa Ayu Sri. (2011). "Studi Pemanfaatan PLTS Sebagai catu Daya Tambahan pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali". Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [7]. Elektro UMY. (2021). Apa dan Bagaimana Sistem Kerja Panel Surya?. <https://elektro.umy.ac.id/apa-dan-bagaimana-sistem-kerja-panel-surya/>
- [8]. Jembo Energindo. Kapan dan Bagaimana Photovoltaic Ditemukan?. <https://www.jembo-energindo.com/kapan-dan-bagaimana-photovoltaic-ditemukan/>
- [9]. Alkholis, M Chisanudin. (2023) Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Dengan Sistem On-Grid Di Cv. Qirana Meubel Jepara. https://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik%20Elektro_30601800028_fullpdf.pdf

- [10]. Hajar, Ismu. (2015). "Studi Perencanaan Penambahan Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pulau Salemo". Teknik Elektro STT-PLN.
- [11]. Ali, S. dan T. M. Azis Pandria. (2019). "Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh.". vol 5, no. 1, 2019
- [12]. B. Ramadhani. (2018) "*Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*".
- [13]. Sukmajati, Sigit dan M. Hafidz. (2015) "Perencanaan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 MW On Grid Di Yogyakarta." Teknologi, pp.56-57.
- [14]. Kurniawan, Eriko Alvin. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. <https://media.neliti.com/media/publications/349175-analisis-perangkat-lunak-pvsyst-pvsol-da-3b71451c.pdf>
- [15]. W.Nugroho, A. Nugroho, dan B. Winardi. (2020) "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43," Universitas Diponegoro.
- [16]. Hayat, Wiji Nur. (2023). KAI Tiba-Tiba Pasang PLTS di 40 Stasiun, untuk Apa?. CNBC. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231228113702-4-500875/kai-tiba-tiba-pasang-plts-di-40-stasiun-untuk-apa>
- [17]. E. Setyani, B. Winardi, dan Karnoto. (2019) "Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan PLTS On Grid System di GOR Jatidiri Semarang Menggunakan Software PVSyst 6.43," Universitas Diponegoro.
- [18]. Syamsudin, Zamaludin. (2017) Perencanaan Penggunaan Plts Di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat.
- [19]. Imaduddin Marie Gindo, Heri Suyanto. (2019) "Studi Perencanaan On Grid Dengan Kapasitas 30 kWp Di Taman Wisata Angke Kapuk", STTPLN.