

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) PADA PELABUHAN BANTAENG**

Disusun dan diajukan oleh:

LARASATY NANDA ZHAKILAH

D041 20 1026



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA PELABUHAN BANTAENG

Disusun dan diajukan oleh

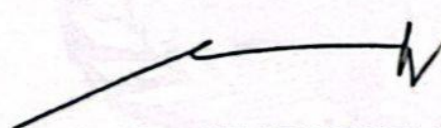
Larasaty Nanda Zhakilah

D041201026

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 4 Desember 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

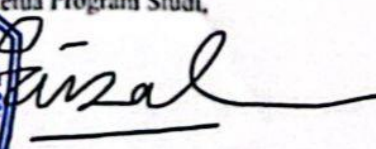
Menyetujui,

Pembimbing,


Yusri Syam Akil, S.T., M.T., MCE, IPM, Ph.D
NIP. 19770322 200501 1 001



Ketua Program Studi,


A. Samman, IPU, ACPE, APEC Eng.
NIP. 19750605 200212 1 004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Larasaty Nanda Zhakilah
NIM : D041201026
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA PELABUHAN BANTAENG

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjdai tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isis skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 4 Desember 2024

Yang Menyatakan



Larasaty Nanda Zhakilah

ABSTRAK

Larasaty Nanda Zhakilah. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Pelabuhan Bantaeng (dibimbing oleh Yusri Syam Akil)

Di Indonesia, pemanfaatan sumber energi terbarukan terus didorong dalam memenuhi berbagai kebutuhan energi listrik di suatu tempat misalnya untuk perkantoran, hotel, termasuk pelabuhan. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui besar potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan di lingkungan pelabuhan Bantaeng, menentukan rencana PLTS yang optimal di pelabuhan Bantaeng, dan mengetahui manfaat ekonomi dari penggunaan PLTS terkait. Objek penelitian yaitu pelabuhan Bantaeng dengan luas atap terminal pelabuhan berkisar 28,2 m x 21,85 m, dan intensitas matahari rata-rata mencapai 135,7 kWh/m² perbulan. Dengan menggunakan software untuk mensimulasikan perencanaan dan untuk mengetahui masa pakai dari PLTS yang direncanakan yaitu 30 tahun. PLTS terkait direncanakan sebagai backup apabila suplai utama dari PLN terputus. Dari data yang diperoleh, daya yang dapat dibangkitkan yaitu sebesar 19.158 Wp dan produksi energi harian sebesar 15,75 kWh/hari, rata-rata pemakaian listrik sebanyak 6,8 kWh/hari saat hari kerja, emisi gas CO₂ yang dihasilkan sebesar 456,8 ton CO₂. Analisis ekonomi yang dilakukan meliputi biaya investasi awal sebesar Rp. 393.346.820, biaya O&M sebesar Rp. 3.933.468/tahun, LCC sebesar Rp.728.044.183, COE sebesar Rp.2.859/kWh, PP selama 6 bulan, NPV sebesar Rp. 947,743,233, dan PI sebesar 2,41.

Kata Kunci: PLTS, pelabuhan Bantaeng, intensitas matahari, analisis ekonomi

ABSTRACT

Larasaty Nanda Zhakilah. *Planning Study of Solar Power Plant (PLTS) at Bantaeng Port (supervised by Yusri Syam Akil)*

In Indonesia, the utilization of renewable energy sources continues to be encouraged in meeting various electrical energy needs in a place for example for offices, hotels, including ports. This study aims to determine the amount of solar energy potential that can be utilized in the Bantaeng port environment, determine the optimal PLTS plan at Bantaeng port, and determine the economic benefits of using related PLTS. The research object is Bantaeng port with the roof area of the port terminal ranging from 28.2 m x 21.85 m, and the average solar intensity reaches 135.7 kWh/m² per month. By using software to simulate the planning and to determine the lifetime of the planned PLTS which is 30 years. The associated PLTS is planned as a backup if the main supply from PLN is cut off. From the data obtained, the power that can be generated is 19,158 Wp and the daily energy production is 15.75 kWh/day, the average electricity usage is 6.8 kWh/day on weekdays, the CO₂ gas emissions generated are 456.8 tons of CO₂. The economic analysis carried out includes initial investment costs of Rp. 393,346,820, O&M costs of Rp. 3,933,468/year, LCC of Rp. 728,044,183, COE of Rp. 2,859/kWh, PP for 6 months, NPV of Rp. 947,743,233, and PI of 2.41.

Keywords: PLTS, Bantaeng port, solar intensity, economic analysis.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Energi Baru dan Terbarukan	4
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	6
2.2.2 Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya	7
2.4 Jenis-jenis PLTS.....	14
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Energi Keluaran Panel Surya.....	14
2.6 Perhitungan PLTS	14
2.7 Analisis Ekonomi	17
2.8 <i>Software</i> PVSyst.....	18
2.9 Penelitian Terkait.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23

3.2 Alat dan Jenis Data.....	23
3.3 Teknik Pengumpulan Data	23
3.3.1 Pengumpulan Data Literatur.....	23
3.3.2 Observasi Lapangan.....	23
3.4 Data-data yang Dibutuhkan	24
3.4.1 Data Pemakaian Listrik Harian.....	24
3.4.2 Intensitas Matahari (Radiasi Matahari).....	24
3.4.3 Luas atap	24
3.5 Diagram Alir Penelitian	25
3.6 Data Penelitian	26
3.6.1. Bentuk Atap Bangunan	26
3.6.2. Model Bangunan dan Arah Bangunan	27
3.6.3. Intensitas Matahari pada Pelabuhan Bantaeng	27
3.6.4. Pemakaian Harian Pelabuhan Bantaeng	29
3.6.5. Beban Listrik Pelabuhan Bantaeng.....	30
3.6.6. Menghitung Biaya	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Titik Koordinat Lokasi Penelitian	37
4.2 Skenario Pertama (Beban Saat Ini)	37
4.2.1 Spesifikasi Komponen yang digunakan.....	37
4.2.2 Aspek Teknis	41
4.2.3. Analisis Ekonomi	44
4.2.4. Analisis Kelayakan Investasi PLTS	48
4.3 Skenario Kedua (Pertumbuhan Beban 10 Tahun Kedepan).....	51
4.3.1 Spesifikasi Komponen yang digunakan.....	52
4.3.2 Aspek Teknis.....	55
4.3.3. Analisis Ekonomi	57
4.3.4. Analisis Kelayakan Investasi PLTS	61
4.4 Simulasi pada <i>Software</i> PVSyst 7.2	65
4.4.1 Tampilan PVSyst 7.2	65
4.4.2 Penentuan Titik Lokasi pada PVSyst.....	65

4.4.3 Menu <i>Project</i> dan <i>Variant</i>	67
4.4.4 Hasil Simulasi PVSyst	70
4.4.5 Pengurangan Emisi Gas CO ₂	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pengubahan energi matahari menjadi energi Listrik pada fotovoltaik.....	10
Gambar 2 Fotovoltaik Monokristal.....	11
Gambar 3 Sel Fotovoltaik Polikristal.....	12
Gambar 4 Atap bangunan pelabuhan Bantaeng	26
Gambar 5 Kantor pelabuhan Bantaeng	27
Gambar 6 Kurva beban minggu pertama	34
Gambar 7 Kurva beban minggu kedua.....	34
Gambar 8 Kurva beban minggu ketiga	35
Gambar 9 Kurva beban minggu keempat.....	35
Gambar 10 Tampilan lokasi pelabuhan Bantaeng pada Google Map	37
Gambar 11 Ilustrasi peletakan modul surya	38
Gambar 12 Tampilan Menu Utama.....	65
Gambar 13 Menu Geographical Coordinates.....	66
Gambar 14 Menu Monthly Meteo.....	66
Gambar 15 Menu Project	67
Gambar 16 Menu Orientation	68
Gambar 17 Menu System.....	69
Gambar 18 Menu Storage	70
Gambar 19 Array Losses.....	73
Gambar 20 Loss Diagram	74
Gambar 21 Emisi CO ₂ yang didapatkan.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Intensitas matahari di pelabuhan bantaeng.....	28
Tabel 2 Pemakaian harian pelabuhan Bantaeng 28 Juni 2024	29
Tabel 3 Data beban listrik perjam minggu pertama	30
Tabel 4 Data beban listrik perjam minggu kedua.....	31
Tabel 5 Data beban listrik perjam minggu ketiga	32
Tabel 6 Data beban listrik minggu keempat.....	33
Tabel 7 Spesifikasi panel surya	38
Tabel 8 Spesifikasi Inverter.....	39
Tabel 9 Spesifikasi baterai	40
Tabel 10 Spesifikasi SCC.....	40
Tabel 11 Spesifikasi kWh meter exim.....	41
Tabel 12 Jenis Kabel	43
Tabel 13 Biaya Investasi Awal	44
Tabel 14 Biaya penggantian komponen	46
Tabel 15 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i=6,44\%$	49
Tabel 16 Pertumbuhan beban	51
Tabel 7 Spesifikasi panel surya	52
Tabel 8 Spesifikasi Inverter.....	53
Tabel 9 Spesifikasi baterai	53
Tabel 10 Spesifikasi SCC.....	54
Tabel 11 Spesifikasi kWh meter exim.....	54
Tabel 12 Jenis Kabel	56
Tabel 19 Biaya Investasi Awal	57
Tabel 20 Biaya Penggantian Komponen	60
Tabel 21 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i=8,38\%$	63
Tabel 17 Hasil simulasi PVSyst 7.2	70
Tabel 18 Produksi Energi Tahunan	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Penelitian	82
Lampiran 2 Terminal Penumpang	83
Lampiran 3 Spesifikasi Modul Surya.....	84
Lampiran 4 Datasheet Modul Surya	85
Lampiran 5 Spesifikasi Inverter	86
Lampiran 6 Datasheet Inverter.....	87
Lampiran 7 Spesifikasi Baterai	88
Lampiran 8 Datasheet Baterai	89
Lampiran 9 SCC.....	90
Lampiran 10 Datasheet SCC.....	90
Lampiran 11 kWh Meter Exim	91
Lampiran 12 Spesifikasi kWh Meter Exim.....	92
Lampiran 13 Run Simulation PVSyst.....	93

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT., karena atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA PELABUHAN BANTAENG”**. Tidak lupa pula saya kirimkan shalawat serta salam kepada nabi junjungan kita yaitu Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari kegelapan menuju alam yang terang benderang seperti saat ini.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa selama penyusunan skripsi ini, penulis banyak dihadapi dengan berbagai hambatan, namun berkat adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah senantiasa memberikan kesempatan, berkat, akal budi, pengetahuan, dan segala yang tak terhitung jumlahnya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis, bapak cinta pertamaku Nasri, S.E., M.M. dan surgaku mammiku tersayang, A. Indrawaty Fattah, S.E. yang telah menjadi orangtua sekaligus sahabat penulis, yang selalu mendoakan tiap saat, memberikan segala bentuk kasih sayang, inspirasi dan motivasi untuk terus bertahan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Kakak dan adik penulis, kk Pipi, Gita, Yuni, dan Adly yang telah banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis selama tugas akhir ini berlangsung hingga selesai.

4. Bapak Yusri Syam Akil, S.T.,M.T.,MCE.,IPM.,Ph.D, selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan yang sangat berharga dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis.
5. Bapak Ir. Gassing, M.T. dan ibu Dr.Ir. Hasniaty A, ST., M.T. selaku dosen penguji penulis yang telah menyempatkan waktunya dan memberikan berbagai saran, koreksi, dan arahan yang sangat membangun dalam penyelesaian tugas akhir penulis.
6. Seluruh dosen pengajar dan staff Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama berkuliah di Universitas Hasanuddin.
7. Muhammad Fahrul yang senantiasa memberikan dukungan dari berbagai aspek dan masukan-masukan bermanfaat,selalu sabar menasihati, serta berperan sebagai kakak, sahabat, maupun saudara bagi penulis.
8. Dinda yang telah menjadi sahabat penulis, memberikan masukan untuk segala macam keluhan kesah penulis, dan mendampingi dalam kondisi *up and down* penulis.
9. Ica dan Viya selaku sahabat penulis dari awal perkuliahan, yang selalu menemani, membantu berbagai kesulitan, dan memberikan berbagai dukungan.
10. Pemilik NIM 112 yang merupakan sahabat penulis selalu menemani, memotivasi, memberikan masukan positif, membantu berbagai kesulitan, selalu sabar mengikuti a-z keinginan penulis, serta memberikan banyak perhatian untuk penulis.
11. Fadiza, Tiara, Indri, Riska, dan Tiwi selaku sahabat penulis sejak SMA yang turut memberikan banyak dukungan serta perhatian kepada penulis.
12. Teman-teman PROCEZ20R, yang telah kebersamai penulis sejak pertama kali masuk di Fakultas Teknik. Terima kasih atas segala proses baik suka maupun duka yang telah dilalui bersama.

13. Teman-teman RG Pembangkitan Terdistribusi Energi dan Lingkungan yang telah menjadi teman bertukar cerita dan tawa serta turut memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
14. Teruntuk Larasaty Nanda Zhakilah yang telah berjuang dan bertahan hingga akhir dan tak pernah menyerah hingga menyelesaikan tugas akhir walaupun sempat beberapa kali ingin menyerah dan down karena beberapa hal, terima kasih telah bertahan sejauh ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kesalahan dan kekurangan serta masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran dari para pembaca yang membangun untuk perkembangan penelitian ini dan perkembangan penulis. Akhir kata, melalui tugas akhir ini penulis berharap dapat turut serta dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta tugas akhir ini bermanfaat bagi banyak orang nantinya.

Gowa, 11 November 2024

Larasaty Nanda Zhakilah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia salah satunya kebutuhan industri. Di Indonesia, sumber energi listrik kebanyakan masih memanfaatkan energi tak terbarukan seperti yang berasal dari bahan bakar fosil misalnya minyak bumi dan batu bara. Hal tersebut tentunya berdampak buruk pada sektor ketersediaan fosil dan lingkungan. Karena itu pemanfaatan sumber energi terbarukan terus didorong dalam memenuhi berbagai kebutuhan energi listrik di suatu tempat misalnya untuk perkantoran, hotel, termasuk pelabuhan.

Pelabuhan Bantaeng, yang terletak di Sulawesi Selatan, merupakan salah satu pelabuhan strategis yang memiliki peran vital dalam mendukung aktivitas ekonomi dan perdagangan di wilayah tersebut. Seiring dengan perkembangan zaman dan kesadaran akan pentingnya penggunaan energi terbarukan, pembangunan infrastruktur energi yang ramah lingkungan menjadi suatu keharusan. Dalam konteks ini, pemanfaatan energi surya melalui pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi pilihan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi pelabuhan secara berkelanjutan.

Studi perencanaan PLTS di pelabuhan Bantaeng tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan energi pelabuhan, tetapi juga sebagai langkah strategis dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan potensi sinar matahari yang cukup tinggi di daerah tersebut, PLTS diharapkan dapat menjadi sumber energi utama yang bersih dan efisien. Selain itu, implementasi PLTS juga diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan sekitar dan mendorong pertumbuhan ekonomi lokal.

Melalui studi ini, akan dilakukan identifikasi potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan secara optimal, perencanaan sistem PLTS yang sesuai dengan kebutuhan

energi pelabuhan, serta analisis ekonomi dan lingkungan dari penggunaan PLTS. Dengan demikian, diharapkan bahwa pembangunan PLTS di pelabuhan Bantaeng akan memberikan kontribusi positif dalam upaya mendorong peningkatan penggunaan energi bersih dan meningkatkan efisiensi secara ekonomis.

Berdasarkan dari penjelasan di atas, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul **“STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) PADA PELABUHAN BANTAENG”**

1.2 Rumusan Masalah

1. Menentukan besar potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan di lingkungan pelabuhan Bantaeng?
2. Bagaimana perencanaan PLTS yang optimal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di pelabuhan Bantaeng?
3. Bagaimana manfaat ekonomi terkait kebutuhan penggunaan listrik dari PLTS terkait?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui besar potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan di lingkungan pelabuhan Bantaeng.
2. Menentukan rencana PLTS yang optimal di pelabuhan Bantaeng.
3. Mengetahui manfaat ekonomi dari penggunaan PLTS terkait.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini akan menambah pengetahuan tentang potensi energi surya di pelabuhan Bantaeng.
2. Menambah pengetahuan tentang rencana PLTS seperti apa yang optimal di pelabuhan Bantaeng.
3. Memberikan pengetahuan tentang manfaat ekonomi dari penggunaan PLTS terkait.

1.5 Ruang Lingkup

Objek penelitian adalah pelabuhan Bantaeng dan dengan menggunakan *software* PVSyst untuk mensimulasikan perencanaan PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di pelabuhan Bantaeng. Pada penelitian ini diberikan batasan masalah bahwa perhitungan produksi listrik diasumsikan terkena sinar matahari sepanjang hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Baru dan Terbarukan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, pengertian sumber energi baru yaitu sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi yang tak terbarukan. Adapun pengertian dari sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya, energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Indonesia memiliki permasalahan di bidang energi yaitu berkurangnya cadangan bahan bakar fosil serta keterbatasan masyarakat dalam mengakses energi, terutama pada daerah yang dianggap tertinggal, terpencil dan berada pada perbatasan. Dari sisi cadangan, penurunan produksi minyak dan peningkatan permintaan bahan bakar minyak (BBM) akan menyebabkan impor minyak mentah serta BBM terus meningkat. Dari sisi akses, perlu dikembangkan energi untuk daerah tertinggal, terpencil dan perbatasan. Dengan demikian, penggunaan energi terbarukan yang sumbernya tersedia dan dapat terus digunakan secara berkelanjutan merupakan solusi dari permasalahan tersebut (BPPT, 2016).

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target penggunaan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia pada tahun 2025 minimal 23%. EBT yang dapat digunakan untuk memenuhi target bauran energi pada tahun 2025 terdiri dari energi panas bumi, energi angin, bioenergi, energi surya, energi aliran dan terjunan air, energi gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, teknologi baru sumber energi tidak terbarukan seperti nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquified coal*), dan batu bara tergaskan (*gasified coal*). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan hingga 417,8 GW. Namun demikian, sampai dengan tahun 2020

pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia baru mencapai 2,5% atau sekitar 10,4 GW (Suhendar, 2022).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Tenaga surya merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan model paling sederhana dibangun dengan melekatkan panel fotovoltaik pada atap rumah dan bangunan, yang menangkap paparan sinar matahari sepanjang hari dan menggunakannya untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah atau bangunan yang bersangkutan, menjadikan PLTS sebagai sumber energi yang efisien dan ramah lingkungan. Potensi penggunaan tenaga surya sebagai sumber pembangkit listrik di Indonesia sangatlah besar mengingat letak geografis kepulauan di garis khatulistiwa yang menjamin sinar matahari sepanjang tahun (Kristiawan dkk., 2019).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merujuk pada suatu teknologi pembangkit yang mentransformasikan energi foton dari matahari menjadi energi listrik. Proses konversi ini terjadi di modul PV yang terdiri dari sel surya. Sel surya tersebut terdiri dari lapisan tipis silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Saat bahan tersebut menerima energi foton, elektron dalam ikatan atomnya terstimulasi, berpindah ke keadaan yang bebas bergerak, dan pada akhirnya menghasilkan tegangan listrik dengan arus searah (Afrida, 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. PLTS sering juga disebut *solar cell*, atau *solar photovoltaic*, atau solar energi. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik dengan arus searah atau DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak-balik AC (*alternating current*) sehingga dapat digunakan oleh berbagai macam peralatan yang menggunakan energi Listrik. Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang dikenal saat ini memiliki tiga jenis sistem kelistrikan yang dapat digunakan

sesuai dengan kebutuhan. Ketiga sistem tersebut, yaitu *On Grid System*, *Off Grid System*, dan *Hybrid System* (Agus, dkk. 2021).

PLTS merupakan pembangkit listrik dengan sumber energi matahari melalui konversi sel fotovoltaik. Prinsip kerja PLTS yaitu mengubah radiasi matahari menjadi listrik, jika iradiasi semakin tinggi yang terkena sel fotovoltaik maka daya listrik yang dihasilkan semakin tinggi (Bimas, 2022).

Cahaya matahari yang terpancar akan diserap dan diterima oleh panel surya. Salah satu komponen penting dalam PLTS adalah BCU (*Battery Control Unit*) yang berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan proses pengisian baterai dari panel surya. Melalui BCU, dapat diatur persentase muatan maksimum dan minimum dari baterai, sehingga umur baterai dapat dipertahankan. Energi yang tersimpan dalam baterai kemudian dialirkan ke beban, baik beban berupa arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC) (Sitohang, 2019).

2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Prinsip kerja sel surya silikon berdasar pada konsep p-n junction dalam semikonduktor. Sel surya yang terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p membentuk p-n junction, lapisan antirefleksi, dan substrat logam untuk mengalirkan arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (hole).

Semikonduktor tipe-n terbentuk dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V, yang menghasilkan kelebihan elektron valensi dibandingkan dengan atom sekitarnya. Di sisi lain, semikonduktor tipe-p terbentuk dengan doping oleh unsur dari golongan III, yang menyebabkan kekurangan satu elektron valensi dibandingkan dengan atom sekitarnya. Ketika dua tipe material ini berkontak, kelebihan elektron dari tipe-n akan difusi ke tipe-p. Akibatnya, area doping-n akan memiliki muatan positif, sementara area doping-p akan memiliki muatan negatif. Medan elektrik yang terbentuk di antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole kembali ke daerah-p. Proses ini menghasilkan p-n junction.

Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n, sebuah dioda terbentuk. Dalam konteks sel surya, dioda ini berfungsi untuk mengarahkan arus listrik yang dihasilkan oleh foton yang mengenai sel surya. Ketika cahaya matahari jatuh pada sel surya, energi fotonnya merangsang elektron dalam lapisan tipe-n untuk melompat ke lapisan tipe-p, menciptakan arus listrik searah (Suhendar,2022).

Ketika junction disinari, photon yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron 15 dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hold ini dapat bergerak dalam material sehingga manghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya dapat dilihat dari gambar (Hasan, 2012).

2.2.2 Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1. Modul Surya

Modul surya adalah komponen utama dalam sistem *Photovoltaic* (PV) yang mengubah sinar matahari menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah DC. Kapasitas daya modul surya diukur dalam satuan Watt- peak (Wp) yang merupakan spesifikasi modul surya yang menyatakan besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh modul surya pada saat insolasi surya atau radiasi surya yang datang dan diterima sebesar 1000 W/m² dengan kondisi suhu lingkungan 250 C. Daya dan arus listrik yang dihasilkan modul surya berubah-ubah bergantung pada besar intensitas radiasi surya yang diterima. Daya keluaran modul surya juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, bayangan, sudut kemiringan instalasi, dan kebersihan permukaan panel surya (Octopianus, dkk. 2021).

2. Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, inverter satu *phase* biasanya digunakan untuk

sistem dengan beban yang kecil sedangkan untuk inverter tiga *phase* digunakan untuk sistem dengan beban yang besar maupun sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*grid-connected*). Agar gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal, teknik yang digunakan adalah *pulse width modulation* (PWM). Teknik PWM ini memungkinkan suatu pengaturan untuk menghasilkan frekuensi yang baik sesuai dengan nilai rms dari bentuk gelombang keluaran (Octopianus, dkk. 2021).

3. Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya digunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang dihasilkan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang artinya arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Proses pengosongan baterai (*discharge*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimum, sebab hal ini mempengaruhi usia pakai (*life time*) dari baterai tersebut. Batas pengosongan dari baterai disebut dengan *depth of discharge* (DoD) yang dinyatakan dalam satuan persen. Suatu baterai memiliki DoD 80%, ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Semakin dalam DoD yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus dari baterai tersebut (Yoon, 2014).

4. Sel Fotovoltaik

Salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang adalah sel fotovoltaik (PV), karena tidak terdapat polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, serta sumber energi yang banyak tersedia dalam kehidupan sehari-hari adalah sinar matahari. Seperti Indonesia yang beriklim tropis yang menerima matahari sepanjang tahun (Napitupulu, dkk, 2017).

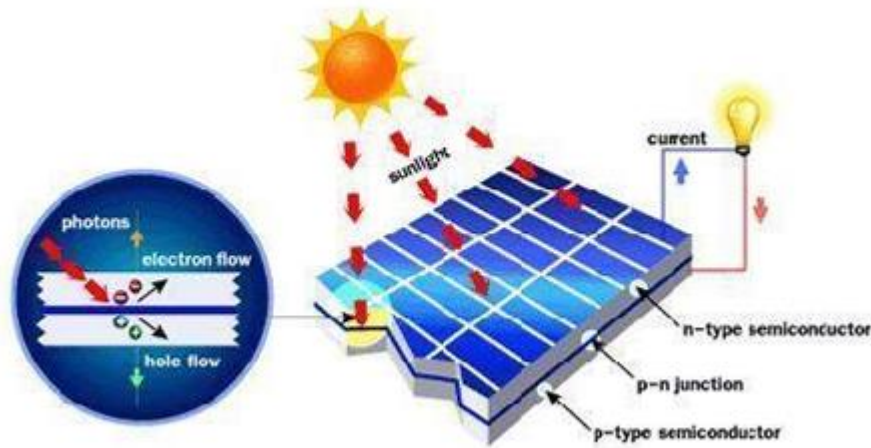
Sel Fotovoltaik adalah perangkat semi-konduktor yang mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sel fotovoltaik merupakan teknologi konversi yang bersih, portabel dan tidak menghasilkan kebisingan. Sel fotovoltaik juga dapat digunakan dalam aplikasi perumahan dan industri. Masalah utama yang menjadi perhatian sel fotovoltaik adalah kinerja dari waktu ke waktu. Perangkat lain dalam energi matahari adalah kolektor termal yang memanfaatkan panas radiasi matahari. PV/T biasanya merupakan kolektor termal yang dipasang di bagian belakang sel fotovoltaik. Saat suhu sel fotovoltaik naik, perpindahan panas ke kolektor termal akan naik juga. Oleh karena itu, memberikan pendinginan untuk sel fotovoltaik sekaligus memaksimalkan perpindahan panas untuk menghasilkan efisiensi termal yang tinggi (Hussein, 2019).

Sel fotovoltaik juga merupakan salah satu contoh alat yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik sehingga tidak lagi memanfaatkan bahan bakar minyak yang lambat laun akan habis. Dengan kemajuan ilmu dan teknologi, terutama dibidang pengembangan sumber energi alternatif yang dikombinasikan dengan rangkaian elektronika pendukung lainnya, diharapkan dapat menciptakan suatu informasi baru dalam bidang energi alternatif, khususnya terkait dengan sel fotovoltaik (Junaedy, 2015).

Asal-usul potensi sel fotovoltaik adalah perbedaan dalam potensi kimia, yang disebut tingkat Fermi, dari elektron dalam dua bahan terisolasi. Ketika mereka bergabung, persimpangan pendekatan keseimbangan termodinamika baru. Kesetimbangan tersebut dapat dicapai hanya ketika tingkat Fermi sama dalam dua bahan. Hal ini terjadi dengan aliran elektron dari satu bahan ke yang lain, sampai perbedaan tegangan ditetapkan antara dua bahan yang memiliki potensi sama dengan perbedaan awal tingkat Fermi. Potensi ini mendorong *photocurrent*.

Secara sederhana aliran arus listrik pada sel fotovoltaik adalah aliran elektron yang terjadi jika persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) terkena sinar matahari. Saat sambungan p-n terkena sinar matahari maka elektron-elektron memantul melalui celah foton menuju ke pita konduksi. Meninggalkan proton di dalamnya. Karena dipengaruhi oleh potensial intrinsik dan

sambungan, sehingga elektron dan proton bergerak berlawanan dan membangkitkan tegangan dan menghasilkan energi listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam Gambar 1



Gambar 1 Pengubahan energi matahari menjadi energi Listrik pada fotovoltaiik
(Panduan Lengkap PLTS,2023)

Jenis-jenis sel fotovoltaiik:

-Monokristal (*Monocrystalline*)

Monocrystalline adalah salah satu jenis sel fotovoltaiik dari bahan silikon yang banyak dipakai dan tingkat efisiensinya tinggi yaitu mencapai 17%-18% (Setiawan 2019). Untuk tipe *monocrystalline*, mempunyai ciri khas berwarna hitam (berasal dari silikon murni) berbentuk bundar atau segi delapan (tepatnya segi empat yang dipotong di keempat sisinya). Bentuk *monocrystalline* silikon bersumber dari silikon ingot yang dipotong. Dan juga merupakan sel fotovoltaiik yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi.



Gambar 2 Fotovoltaik Monokristal (Panduan Lengkap PLTS,2023)

Monocrystalline dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Kelemahan dari sel fotovoltaik jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

Material *monocrystalline* biasanya dapat menurunkan biaya produksi sambil mempertahankan efisiensi konversi energi yang relatif tinggi sebagai sel fotovoltaik. Dominasi silikon *Crystalline* dapat dikaitkan dengan kematangan teknologi, dan menurunkan biaya produksi langsung, dengan potensi penurunan biaya lebih lanjut dibandingkan dengan teknologi sel fotovoltaik lainnya (Moehlecke,2012).

Silikon *monocrystalline* terdiri dari satu kristal yang sangat besar,multikristal terbuat dari banyak butiran kolumnar yang tumbuh tegak lurus ke bagian bawah wadah. Sel-sel yang dihasilkan dari silikon monocrystalline memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada sel-sel berbasis wafer multikristal (untuk struktur yang serupa). Ini dijelaskan oleh beberapa fitur silikon *monocrystalline*. Pertama-tama, orientasi kristalografi dapat dipilih sehingga etsa anisotropik yang menghasilkan piramida acak pada permukaan wafer dapat digunakan, akibatnya mengurangi refleksi optik sel. Kedua, batas butir dan dislokasi adalah situs rekombinasi primer lubang-elektron yang hanya ada dalam sel multikristal.

Keuntungannya adalah untuk lahan yang sempit dengan intensitas matahari yang tinggi menjadikan sel fotovoltaik *monocrystalline* sangat baik dibandingkan yang jenis *polycrystalline*, tipe mono juga dibentuk merapat susunan modulnya, tapi kerugian dalam proses produksinya akan terjadi. Dan kemampuan menyerap panas dan besarnya daya output dengan dimensi yang kecil saja mampu menghasilkan daya yang cukup besar. Kelemahan dari sel fotovoltaik jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan serta modulnya tidak rapat yang menjadi kerugian menyerap panas (Mustofa, 2015).

- Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Polycrystalline merupakan jenis sel fotovoltaik yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Sel fotovoltaik jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah.



Gambar 3 Sel Fotovoltaik Polikristal (Panduan Lengkap PLTS,2023)

Sel fotovoltaik ini memiliki level silikon yang lebih rendah dari sel fotovoltaik *monocrystalline*. Maka Sel fotovoltaik ini sedikit lebih murah dan sedikit lebih rendah efisiensinya dari sel fotovoltaik *monocrystalline*. Yang membedakan tipe

polycrystalline dengan *monocrystalline* yaitu *polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, dan juga *polycrystalline* dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Dan fotovoltaiik *polycrystalline* ini tidak memerlukan proses czochralski (proses untuk pemurnian suatu bahan dengan cara pengkristalan) (Richard, dkk., 2017).

Polycrystalline umumnya terdiri dari sejumlah *monocrystalline* yang berbeda dan digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Sel fotovoltaiik *polycrystalline* saat ini adalah sel fotovoltaiik yang paling populer. Sel Fotovoltaiik ini merupakan sel fotovoltaiik yang paling banyak digunakan hingga 48% dari produksi sel fotovoltaiik di seluruh dunia selama 2008. Meskipun *polycrystalline* sedikit lebih murah untuk dibuat dibandingkan dengan sel fotovoltaiik silikon *monocrystalline*, namun kurang efisien kira-kira sekitar 12% - 14% (Setiawan, 2019).

Sel fotovoltaiik *polycrystalline* ini dihasilkan dari proses metalurgi grade silicon dengan pemurnian kimia. Dimana *silicon* baku di cairkan dan dituang kedalam cetakan persegi kemudian di dinginkan dan dipotong sesuai bentuk yang diinginkan. Adapun ciri-ciri fisik dari sel fotovoltaiik *polycrystalline* ini dibandingkan dengan sel fotovoltaiik *monocrystalline* yaitu memiliki warna kebiruan, bentuknya biasanya kotak atau persegi panjang dengan pola-pola guratan kebiruan dan bila di susun sel fotovoltaiik *polycrystalline* ini terlihat lebih rapat (Setiawan, 2019).

5. Controller Panel Surya

Controller adalah alat elektronik yang mengatur proses pengisian aki. Tegangan DC yang dihasilkan oleh panel sel surya umumnya bervariasi 12 volt ke atas. Kontoler ini berfungsi sebagai alat pengatur tegangan agar tidak melampaui batas toleransi dayanya. Di samping itu, alat alat pengontrol ini juga mencegah pengaliran arus dari aki mengalir balik ke panel sel surya ketika proses pengisian sedang tidak berlangsung (misalnya pada malam hari) sehingga aki yang sudah dicas tidak terkuras tenaganya. Apabila aki sudah penuh terisi, maka aliran DC dari panel surya akan diputuskan agar

aki tidak lagi menjalani pengisian sehingga pengrusakan terhadap baterai bisa dicegah dan usia aki bisa diperpanjang (Indra, dkk. 2023).

2.4 Jenis-jenis PLTS

Ada 3 tipe PLTS yang kerap ditemui, ialah PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*, dan PLTS *hybrid* dengan teknologi yang lain yang dibedakan bersumber pada karakteristik penyimpanan dayanya. Tidak hanya itu, PLTS pula dibedakan bersumber pada terdapat ataupun tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan energi listriknya yang meliputi PLTS terpusat dan PLTS terdistribusi (Ditjen EBTKE, 2018).

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Energi Keluaran Panel Surya

Faktor yang dapat mempengaruhi energi keluaran yang dihasilkan dari panel surya antara lain (Kristiawan, 2019):

- a. Bayangan
- b. Efisiensi
- c. Sudut penyinaran
- d. Orientasi panel surya
- e. Suhu
- f. Cuaca (cerah, mendung, gerimis)
- g. Intensitas radiasi matahari

2.6 Perhitungan PLTS

Perhitungan ini dilakukan secara manual dengan menggunakan rumus terkait jumlah komponen berdasarkan dengan jumlah beban harian (Panduan Lengkap PLTS, 2023).

1. Penentuan Kapasitas Sistem PLTS

$$P_{\text{Watt peak}} = \text{area array} \times \text{PSI} \times \text{efisiensi panel surya} \quad (2.1)$$

Nilai P_{peak} perlu ditambahkan 15-25% karena sistem PLTS mengalami rugi-rugi.

2. Perhitungan Daya

Agar tidak terjadi masalah pada saat terjadi penambahan beban , maka total kebutuhan energi dikalikan 2 (Panduan Lengkap PLTS,2023):

$$W = \text{Factor safety spare} \times \text{total kebutuhan energi} \quad (2.2)$$

Selanjutnya, perhitungan total daya:

$$P = \frac{W}{PSH} \quad (2.3)$$

dimana:

W : Daya (kWh)

P : Kapasitas PLTS (kWp)

PSH : Lama penyinaran optimum (*hour*)

3. Jumlah Panel Surya

4. Dapat dihitung dengan rumus berdasarkan datasheet komponen yang digunakan, yaitu (Teknologi Tenaga Surya, 2015):

$$\text{Total panel surya} = \frac{P \text{ watt peak}}{P \text{ maksimum modul surya}} \quad (2.4)$$

$$\text{Luas Array} = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT} \quad (2.5)$$

$$P \text{ Watt peak} = \text{Luas Array} \times PSI \times H_{pv} \quad (2.6)$$

5. Pemilihan Spesifikasi Panel Surya

Pemilihan panel surya sangat penting dalam perancangan sistem PLTS yang akan dibuat. Pemilihan panel surya ini dapat ditentukan berdasarkan efisiensi panel surya, area modul dan biaya perancangan. Untuk mengetahui berapa jumlah panel surya yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Teknologi Tenaga Surya, 2015):

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{\text{PLTS yang dirancang}}}{P_{\text{Panel surya yang digunakan}}} \quad (2.7)$$

6. Kapasitas Inverter

Untuk menghitung kapasitas inverter yang akan digunakan, total kebutuhan maksimum ditambah 25% dari total daya. 25% ini adalah daya cadangan untuk memenuhi kebutuhan starting listrik. Adapaun rumusnya adalah (Teknologi Tenaga Surya, 2015):

(2.8)

$$\text{Kapasitas Inverter} = \text{Total daya} \times (25\% \times \text{total daya})$$

7. Pemilihan Spesifikasi Inverter

Pemilihan inverter ini bergantung pada kapasitas sistem PLTS yang dirancang. Untuk penentuan spesifikasi inverter sebuah sistem PLTS dapat menggunakan persamaan berikut (Teknologi Tenaga Surya, 2015):

(2.9)

$$\text{Kapasitas inverter} = \text{jumlah panel} \times \text{kapasitas panel}$$

8. Jumlah SCC

Dapat dihitung dengan rumus berdasarkan inputan *datasheet* komponen yang diperlukan (Panduan Lengkap PLTS, 2023):

$$\text{Jumlah SCC} = \frac{\text{Kapasitas PLTS}}{P_{\max DC SCC}} \quad (2.10)$$

SCC menggunakan sistem *string*, agar mencapai arus maksimum modul surya akan disusun secara paralel, untuk itu perlu dilakukan perhitungan dengan batas jumlah modul yang dipasang secara seri dan paralel. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Maksimum modul seri} = \frac{V_{\max} \text{ MPP SCC}}{V_{\text{mpp}} \text{ Modul}} \quad (2.11)$$

$$\text{Maksimum modul paralel} = \frac{I_{\max} \text{ SCC}}{I_{\text{mpp}} \text{ Modul}} \quad (2.12)$$

dimana:

$V_{\max}$: Tegangan maksimal (V)

$I_{\max}$: Arus maksimal (A)

MPP : *Maximum Power Point* (V)

9. Kapasitas Baterai

Baterai berfungsi untuk penyimpanan energi listrik dari panel surya ketika dihasilkan pada siang hari dan digunakan ketika malam hari atau saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Baterai akan mengisi daya (*charge*) atau mengosongkan (*discharge*) tergantung terik matahari yang dihasilkan oleh modul surya.

Kapasitas baterai merupakan kemampuan dari seberapa lama baterai untuk memberikan aliran listrik ke beban yang dinyatakan dalam satuan Wh (*Watt hour*). Baterai yang digunakan 48 V 50 MAh berarti baterai ini memberikan arus sebesar 50 A dalam satu jam artinya memberikan daya sebesar 2400 Wh (Panduan Lengkap PLTS,2023):

$$C_b = \frac{E_T}{DOD} \quad (2.13)$$

dimana:

C_b : Kapasitas baterai (Wh)

E_T : Energi total (Wh)

DOD : *Deep of discharge*

$$\text{Jumlah baterai yang digunakan} = \frac{\text{Total kapasitas baterai}}{\text{Baterai yang digunakan}} \quad (2.14)$$

2.7 Analisis Ekonomi

1. *Net Present Value* (NPV)

NPV digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sebuah sistem PLTS yang dirancang. Hasil NPV dipengaruhi oleh aliran kas bersih dan nilai investasi awal. Aliran kas bersih merupakan uang yang dihasilkan oleh sistem PLTS setelah dipotong oleh aliran kas keluar (Hanna,2012).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1 + 1)^t} \quad (2.15)$$

Dengan keterangan:

- a. Investasi dikatakan layak, jika NPV bernilai positif (>0)
- b. Investasi dikatakan tidak layak, jika NPV bernilai negatif (<0)

2. *Payback Period*

Payback Period adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan suatu nilai investasi. Satuan yang digunakan adalah tahun, bulan dan hari.

$$PP = \frac{\text{nilai investasi}}{\text{total kas bersih}} \times 1 \text{ tahun} \quad (2.16)$$

Sebagai salah satu penentu kelayakan, jika nilai *Payback Period* yang dihasilkan lebih lama dari waktu yang ditentukan pada rencana awal maka perencanaan pembangunan sistem PLTS tersebut dapat ditolak. Namun, jika waktunya singkat maka perencanaan pembangunan sistem PLTS tersebut dapat diterima.

3. *Profitability Index (PI)*

Adapun rumus perhitungan PI adalah sebagai berikut:

$$PI = \frac{\text{Present value cash flow}}{\text{Initial cost}} \quad (2.17)$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- a. Investasi dikatakan layak, jika *Profitability Index* (PI) bernilai lebih besar dari satu (>1).
- b. Investasi dikatakan tidak layak, jika *Profitability Index* (PI) bernilai lebih kecil dari satu (<1)

2.8 *Software PVSyst*

PVSyst merupakan paket perangkat lunak/*software* yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*),

sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVSyst juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS (Nugroho, dkk. 2021).

PVSyst merupakan salah satu platform *software* yang digunakan untuk melakukan desain dan evaluasi terkait sistem PLTS, *software* PVSyst telah digunakan dan diterima secara internasional untuk melakukan studi terhadap perencanaan dan kinerja dari sistem *Photovoltaic*. PVsyst adalah perangkat lunak fotovoltaik yang digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem tenaga surya. *Software* ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis iradiasi, desain, dan kinerja sistem tenaga surya, serta membantu dalam proses pemilihan lokasi yang sesuai untuk pembangunan sistem tenaga surya. PVsyst memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan desain sistem tenaga surya dan mengurangi biaya operasional, serta membantu dalam proses pemilihan lokasi yang sesuai untuk pembangunan sistem tenaga surya (Mansur, 2021). Dalam penelitian ini digunakan PVSyst 7.2.

2.9 Penelitian Terkait

Adapun penelitian ini didapat dari studi literatur yang bersumber dari penelitian sebelumnya tentang pemanfaatan energi surya sebagai sumber listrik yang telah dilakukan oleh beberapa pihak.

Anggiat Situmorang, dkk. (2022) dengan penelitian yang berjudul Perancangan PLTS Atap Gedung Perpustakaan Universitas Udayana. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan PLTS Atap pada perpustakaan Universitas Udayana. Hal ini dilakukan sebagai upaya dalam mendukung pembangunan PLTS agar mencapai target pada tahun 2025. Berdasarkan hasil simulasi pada penelitian ini menggunakan Helioscope, pada sudut riil $20,6^\circ$ dan $20,3^\circ$ modul surya yang dapat dipasang sebanyak 84 buah dengan kapasitas daya 28,1 kWp sementara pada sudut optimum $14,66^\circ$, modul surya yang dapat dipasang sebanyak 66 buah dengan kapasitas daya sebesar 22,1 kWp. Berdasarkan hasil simulasi Homer, konfigurasi antara PLTS sudut pemasangan riil

dengan grid mampu memproduksi energi sebesar 83.253 kWh/tahun dengan penurunan emisi sebesar 41,764 % sedangkan konfigurasi PLTS sudut pemasangan optimum dengan *grid* mampu memproduksi energi sebesar 79.775 kWh/tahun dengan penurunan emisi sebesar 34,527 %. Dari hasil simulasi Homer tersebut dilakukan analisis ekonomi dengan harga jual energi sebesar Rp.900/kWh. Kedua desain PLTS atap tersebut layak untuk diinvestasikan dimana pada desain PLTS Atap dengan sudut pemasangan riil 20,6° dan 20,3° mampu mengembalikan biaya investasi awal pada tahun ke-17 sementara pada desain PLTS Atap dengan sudut pemasangan optimum 14,66° mampu mengembalikan biaya investasi pada tahun ke-20

Angel Manik, dkk. (2023) dengan penelitian yang berjudul Rancangan PLTS Atap Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia. Penelitian ini membahas perencanaan PLTS Atap Gedung Gereja Methodist Indonesia Manna Helvetia. Desain pada PLTS ini disimulasikan menggunakan simulator Helioscope. PLTS didesain dengan sudut kemiringan sebesar 400. 35 modul surya dengan 1 inverter dengan daya 20 kW dan potensi energi 15,8 kWp dipasang. PLTS *rooftop* ini mampu menghasilkan 20,32 MWh per tahun. Pada penelitian ini berdasarkan hasil perancangan atap PLTS dan hasil perhitungan pembangkitan listrik, Pada penelitian ini dianalisa bahwa pembangunan PLTS atap secara ekonomi dianggap layak dikarenakan memenuhi kriteria *Net Present Value* (NPV) lebih besar dari nol yaitu Rp 44.638.904 dan *Benefit-Cost Ratio* (B-CR) lebih besar dari satu yaitu 1,19 dan *Discounted Payback Period* (DPP) yang tercapai pada umur PLTS.

Sartika, dkk. (2023) dengan penelitian yang berjudul Perancangan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi. Penelitian ini merancang sebuah sistem PLTS *on-grid* pada atap Masjid Jami' Al-Muhajirin menggunakan perangkat lunak PVSyst untuk mengetahui potensi dan kelayakan dari segi ketenagalistrikan dan kelayakan dari aspek ekonomi. Sistem PLTS dengan kapasitas sebesar 8,2 kWp di atap Masjid Jami' Al-Muhajirin menggunakan 4 variasi rancangan sistem PLTS. Variasi 1 menggunakan panel polikristalin 150 Wp. Variasi 2 menggunakan panel polikristalin 250 Wp. Variasi 3 menggunakan panel surya

monokristalin 150 Wp. Variasi 4 menggunakan panel surya monokristalin 250 Wp. Berdasarkan hasil rancangan dan simulasi pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak PVSyst, yang paling layak diimplementasikan adalah sistem PLTS variasi 2 dengan produksi energi sebesar 12.31 MWh/tahun dan performance ratio sebesar 81.93%. Hasil analisis kelayakan investasi berdasarkan sudut pandang ekonomi dari keempat variasi menunjukkan bahwa investasi yang paling layak untuk diimplementasikan yaitu sistem PLTS variasi 1 karena memiliki nilai NPV yang paling besar dan waktu pengembalian dana investasi awal yang paling cepat.

Yusuf Firmansyah, dkk. (2023) dengan penelitian yang berjudul Perancangan PLTS Atap di Gedung Kantor Bupati Jembrana. Penelitian ini merancang PLTS atap di Gedung Kantor Bupati Jembrana yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Helioscope. Hasil desain menunjukkan bahwa untuk skenario yang melibatkan seluruh sisi atap gedung, PLTS atap mampu menghasilkan 174,15 MWh dalam setahun, yang setara dengan 42,51% dari total kebutuhan listrik. Sementara itu, pada skenario dengan hanya memanfaatkan sisi utara atap gedung, PLTS atap mampu menghasilkan 96,55 MWh dalam setahun, yang berarti mampu memasok 23,57% dari total kebutuhan listrik.

Ardiansyah, dkk. (2022) dengan penelitian yang berjudul Perancangan PLTS Atap *On Grid System* pada Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian dan Pengembangan Kota Probolinggo. Pada penelitian ini menjadikan kantor BAPPEDA Litbang Kota Probolinggo digunakan sebagai lokasi penelitian. Perancangan PLTS Skenario 1 menggunakan kapasitas sesuai dengan kebutuhan energi kantor yaitu sebesar 21,6 kWp, dan kapasitas PLTS Skenario 2 lebih besar dari kebutuhan energi kantor sebesar 32,4 kWp. Pada penelitian ini, berdasarkan analisis kelayakan investasi menggunakan metode NPV, PI, dan DPP menunjukkan perancangan PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 layak untuk dijalankan. Investasi PLTS Skenario 1 dan Skenario 2 masing-masing sebesar Rp.267.000.000 dan Rp.395.850.000. Keuntungan dari penghematan tagihan selama 30 Tahun PLTS beroperasi, pada Skenario 1 sebesar Rp. 406.863.069 atau sebesar 152% dari total

investasi, sedangkan Skenario 2 sebesar Rp. 595.619.904 atau sebesar 150% dari total investasi.