

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN PLTS TERAPUNG PADA DANAU
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUH. FARHAN SYAHRIR
D041 20 1038**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERENCANAAN PLTS TERAPUNG PADA DANAU UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Farhan Syahrir

D041201038

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 14 Oktober 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng
NIP. 196712311992021001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE
NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Farhan Syahrir
NIM : D041201038
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PERENCANAAN PLTS TERAPUNG PADA DANAU UNIVERSITAS HASANUDDIN

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 menjadi 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 isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Muh. Farhan Syahrir

ABSTRAK

MUH. FARHAN SYAHRIR *Studi Perencanaan PLTS Terapung Pada Danau Universitas Hasanuddin* (dibimbing oleh Ansar Suyuti)

Untuk menekan peningkatan emisi karbon, maka diperlukan transisi dari energi fosil beremisi tinggi ke sumber energi bersih dan terbarukan sesuai dengan PERPRES No.11 tahun 2023 serta bertujuan menekan biaya tagihan listrik pada Kampus Universitas Hasanuddin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan dari tiap skenario perancangan PLTS terapung di Danau Unhas. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis potensi radiasi matahari pada area Danau Unhas serta durasi penyinaran matahari pada lokasi penelitian, yang di mana potensi radiasi pada Danau Unhas sebesar 1915 kWh/m²/Tahun. Dengan potensi tersebut pada perencanaan PLTS terapung ini, mampu membangkitkan energi sebesar 990.194,58 kWh/tahun dengan penggunaan panel surya tipe Monokristalin berkapasitas 400 W menggunakan luas permukaan 4,35% dari 6,9 hektar pada Danau Unhas sesuai isi Permen PUPR No. 6 tahun 2020, pasal 105 ayat (6). Keluaran energi yang dihasilkan pada perancangan PLTS terapung akan terinterkoneksi dengan sistem 20 kV Unhas dengan menggunakan transformator 100 kVA sebanyak 4 unit. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan analisis kelayakan ekonomi menggunakan metode *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*, dan *Payback Period (PP)*. Untuk NPV pada rancangan menggunakan baterai diperoleh sebesar -Rp 14.991.229.633 dan Rp 13.944.470.610 untuk rancangan yang tidak menggunakan baterai. Untuk IRR pada rancangan menggunakan baterai tidak dapat ditentukan dikarenakan tidak memiliki nilai NPV positif pada diskonto berapapun dan 49,74% untuk rancangan yang tidak menggunakan baterai. Untuk BCR pada rancangan menggunakan baterai diperoleh sebesar 0,4758 dan 5,0293 untuk rancangan yang tidak menggunakan baterai. Untuk PP pada rancangan yang menggunakan baterai tidak memiliki *Payback Period* karena mengalami kerugian dan Tahun ke-8 untuk rancangan yang tidak menggunakan baterai. Dari hasil analisis kelayakan ekonomi pada tiap rancangan PLTS terapung dapat dipastikan untuk rancangan PLTS terapung yang tidak menggunakan baterai lebih layak dipertimbangkan untuk direalisasikan.

Kata Kunci: PLTS terapung, Analisis Ekonomi, Radiasi Matahari, Kelayakan

ABSTRACT

MUH. FARHAN SYAHRIR: *Floating PV Systems Planning Study on Hasanuddin University Lake (supervised by Ansar Suyuti)*

To reduce the increase in carbon emissions, it is necessary to transition from high-emission fossil energy to clean and renewable energy sources in accordance with PERPRES No.11 of 2023 and aims to reduce the cost of electricity bills on the Hasanuddin University Campus. The purpose of this study is to determine the feasibility of each scenario of designing a floating solar power plant at Lake Unhas. This research was conducted by analyzing the potential of solar radiation in the Lake Unhas area and the duration of solar irradiation at the research location, where the potential radiation on Lake Unhas is 1915 kWh/m²/year. With this potential in the planning of this floating solar power plant, it is able to generate energy of 990,194.58 kWh/year with the use of Monocrystalline type solar panels with a capacity of 400 W using a surface area of 4.35% of the 6.9 hectares of Lake Unhas according to the contents of PUPR Regulation No. 6 of 2020, article 105 paragraph (6). The energy output generated in the design of the floating PLTS will be interconnected with the 20 kV Unhas system using a 100 kVA transformer as many as 4 units. In addition, this research also analyzed economic feasibility using the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR), and Payback Period (PP) methods. The NPV for the design using batteries was obtained at -Rp 14,991,229,633 and Rp 13,944,470,610 for the design that does not use batteries. For IRR on the design using batteries cannot be determined because it does not have a positive NPV value at any discount and 49.74% for the design that does not use batteries. The BCR for the battery design is 0.4758 and 5.0293 for the non-battery design. For PP on designs that use batteries do not have a Payback Period because they experience losses and Year 8 for designs that do not use batteries. From the results of the economic feasibility analysis on each floating solar power plant design, it can be ascertained that the floating solar power plant design that does not use batteries is more feasible to consider for realization.

Keywords: Floating PV Sytems, Economic Analysis, Solar Radiation, Feasibility

KATA PENGANTAR

Segala puji atas kehadiran Allah subhanahu wa ta'ala atas berkat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun penelitian yang berjudul: **“STUDI PERENCANAAN PLTS TERAPUNG PADA DANAU UNIVERSITAS HASANUDDIN”** dengan mengambil studi kasus pada danau kampus Universitas Hasanuddin Kecamatan Tamalanrea.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagai syarat menyelesaikan studi bagi mahasiswa program S1 di program Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan banyak terima kasih bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua tercinta yaitu Ibunda saya Hj. Andi Fauziah Halim dan Ayahanda H. Ir. Syahrir Saleh yang selalu menjadi sumber motivasi dan semangat bagi penulis, serta keluarga besar yang tak henti-hentinya memberikan dukungan, semangat, dan do'a sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik
2. Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal A Samman, M.T.,IPU.,ASEAN.Eng. ACPE selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng selaku dosen pembimbing penulis yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberi petunjuk serta memberikan ide, dan evaluasi dalam penyelesaian tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Ikhlas Kitta, ST.MT dan Ibu Fitriyanti Mayasari, ST.MT selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis
5. Seluruh dosen pengajar dan pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan, dan bantuan yang telah

diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan di Universitas Hasanuddin yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir

6. Teman-teman riset Laboratorium Distribusi Sistem Tenaga dan Instalasi Listrik yang telah mendukung perjuangan penulis dari awal hingga akhir perkuliahan dan menjadi tempat kembali untuk berbagi duka maupun senang
7. Teman-teman Freeday yang saling berbagi ilmu yakni Jorgio Zafanya, Anderson Melkisedek Mallisa dan Ponno Sampe.
8. Teman-teman dari Dodge E-Sport yang selalu turut memberi dukungan
9. Seluruh rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Energi dan Keluarga besar PROCEZ20R yang telah membantu dan menemani penulis dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir ini

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi.....	5
2.1.1 Energi Tak Terbarukan.....	5
2.1.2 Energi Terbarukan	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	6
2.3 Efek Fotovoltaik	7
2.4 Jenis Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	8
2.4.1 <i>Off-grid</i> PLTS.....	8
2.4.2 <i>On-grid</i> PLTS	9
2.4.3 <i>Hybrid</i> PLTS	9
2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya Apung.....	10
2.5.1 Panel Surya	10
2.5.2 <i>Solar Charge Controller</i>	12
2.5.3 Baterai.....	13
2.5.4 Inverter.....	14
2.5.5 <i>Floater</i>	14
2.5.6 Jangkar dan Tali Jangkar	15
2.5.7 <i>Combiner box</i>	15

2.6 Perhitungan pada Sistem PLTS	15
2.7 Analisis Ekonomi	17
2.7.1 <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	17
2.7.2 <i>Cost of Energy</i> (COE).....	18
2.7.3 Net Present Value (NPV)	19
2.7.4 <i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	20
2.7.5 Payback Period	21
2.7.6 <i>Internal Rate of return</i> (IRR).....	21
2.8 <i>State of The Art</i>	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23
3.2 Jenis Penelitian	23
3.3 Alat dan Bahan	23
3.4 Data yang Diperlukan.....	24
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.6 Desain Optimal	26
3.7 Tahap Perancangan.....	26
3.7.1 Menghitung Luas Permukaan Danau Universitas Hasanuddin	26
3.7.2 Mengambil Data Rata Rata Radiasi Matahari pada Meteonorm.....	26
3.7.3 Menghitung Jumlah Panel Surya	27
3.7.4 Menghitung Daya yang Dihasilkan PLTS.....	27
3.7.5 Tahap Analisis Ekonomi	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian	32
4.1.1 Wilayah Studi	32
4.1.2 Data Radiasi Matahari dan Temperatur serta Pemakaian Energi	33
4.1.3 Analisa Bayangan dan Penempatan PLTS	34
4.2 Desain Sistem	35
4.3 Perancangan PLTS Terapung pada Danau Universitas Hasanuddin.....	38
4.3.1 Desain Sistem Melalui Simulasi PVSOL	38
4.3.2 Menentukan Jumlah Panel Surya	38
4.3.3 Menentukan Kapasitas Inverter	39

4.3.4 Menentukan Kapasitas Baterai	39
4.3.5 Menghitung Daya Total yang Dibangkitkan pada Sistem PLTS	40
4.4 Penentuan Rangkaian Panel Surya	41
4.5 Efek Pengurangan Emisi CO ₂ dari Perencanaan Sistem	43
4.6 Analisis Ekonomi Sistem PLTS Terapung	44
4.6.1 Biaya Investasi Awal PLTS Terapung	44
4.6.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan	44
4.6.3 <i>Life Cycle Cost</i> (LCC)	45
4.6.4 <i>Cost of Energy</i> (CoE)	46
4.6.5 <i>Net Present Value</i> (NPV)	48
4.6.6 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	56
4.6.7 <i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	60
4.6.8 <i>Payback Period</i> (PP)	61
BAB V PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi sel fotovoltaik	7
Gambar 2 Diagram sistem PLTS <i>off-Grid</i>	8
Gambar 3 Diagram sistem PLTS <i>on-Grid</i>	9
Gambar 4 Panel <i>monocrystalline</i>	11
Gambar 5 Panel <i>polycrystalline</i>	11
Gambar 6 Panel <i>thin film</i>	12
Gambar 7 Diagram alir penelitian	24
Gambar 8 Peta lokasi danau Universitas Hasanuddin	32
Gambar 9 Pepohonan yang berpotensi menyebabkan efek <i>shading</i> pada Danau Unhas	35
Gambar 10 Lokasi strategis penempatan rancangan PLTS terapung.....	35
Gambar 11 <i>Overview</i> rancangan pada PVSOL	38
Gambar 12 Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Danau Unhas	42
Gambar 13 Rancangan Panel Surya Menggunakan Baterai pada Danau Unhas	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>State of the art</i>	22
Tabel 2 Data radiasi matahari dan temperatur pada lokasi penelitian.....	33
Tabel 3 Data Pemakaian Energi Kampus Universitas Hasanuddin Tamalanrea.....	34
Tabel 4 Spesifikasi modul surya.....	36
Tabel 5 Spesifikasi inverter	36
Tabel 6 Spesifikasi Baterai	37
Tabel 7 Investasi Awal PLTS Menggunakan Baterai	44
Tabel 8 Investasi Awal PLTS Tanpa Baterai	44
Tabel 9 Harga penggantian komponen.....	46
Tabel 10 Harga Pembelian Tenaga Listrik dari PLTS Berdasarkan PERPRES.....	46
Tabel 11 Besaran Angka Faktor Lokasi (F)	47
Tabel 12 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 6,25\%$ dari Rancangan yang Menggunakan Baterai.....	48
Tabel 13 Lanjutan Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 6,25\%$ dari Rancangan yang Tidak Menggunakan Baterai.....	50
Tabel 14 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 6,25\%$ dari Rancangan yang Tidak Menggunakan Baterai	52
Tabel 15 Lanjutan Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 6,25\%$ dari Rancangan yang Tidak Menggunakan Baterai.....	54
Tabel 16 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 49\%$ dari Rancangan yang Tidak Menggunakan Baterai	56
Tabel 17 Perhitungan NCF, DF, dan PVNCF dengan $i = 50\%$ dari Rancangan yang Tidak Menggunakan Baterai	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi denyut nadi peradaban manusia modern. Mulai dari menerangi malam hingga menghidupkan roda industri, tak terbayangkan hidup tanpa listrik. Namun, ketergantungan kita pada energi fosil menimbulkan ancaman lingkungan dan keterbatasan sumber daya. Di sinilah energi baru terbarukan (EBT) tampil sebagai penyelamat. EBT bagaikan matahari harapan, bersinar tanpa henti dan bebas polusi, menjanjikan kehidupan yang lebih baik. Dengan potensi melimpah dan ramah lingkungan, energi baru terbarukan membawa masa depan menjadi lebih baik dan menjaga kelestarian bumi. Investasi pada EBT bukan hanya investasi energi, tapi investasi berkelanjutan, untuk generasi sekarang dan generasi mendatang. Salah satu sumber energi baru terbarukan yaitu energi matahari.

Potensi besar energi matahari tersedia di banyak wilayah di dunia, termasuk perairan, yang menawarkan peluang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. PLTS terapung menjadi solusi menarik karena memungkinkan pemanfaatan luas perairan tanpa harus mengorbankan lahan yang berharga, yang merupakan masalah serius terutama di negara-negara dengan kepadatan penduduk tinggi. Selain itu, keterbatasan lahan untuk infrastruktur energi juga membuat PLTS terapung menjadi opsi yang menarik karena tidak memerlukan lahan yang luas. Selain itu, terdapat ketergantungan yang masih tinggi pada sumber energi konvensional, yang rentan terhadap fluktuasi harga dan ketersediaan, serta berdampak negatif pada lingkungan.

Dalam konteks ini, PLTS terapung dapat menjadi solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan tersebut dan meningkatkan keberlanjutan energi. Kemajuan teknologi terkait energi surya dan *platform* terapung juga menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem PLTS terapung yang lebih efisien dan ekonomis. Selain itu, faktor-faktor seperti dampak perubahan iklim yang semakin terasa dan kebutuhan akan pengembangan infrastruktur di wilayah yang sebelumnya belum terjangkau juga mendorong pentingnya penelitian ini dalam menciptakan solusi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan serta meningkatkan aksesibilitas energi bagi

masyarakat di daerah terpencil atau pulau-pulau kecil. Oleh karena itu, penelitian studi perencanaan PLTS terapung menjadi sangat penting untuk mengatasi tantangan energi global dan lokal serta mempromosikan pembangunan yang berkelanjutan.

Berdasarkan peraturan presiden nomor 11 tahun 2023 yang berisi tentang urusan pemerintahan konkuren tambahan di bidang energi dan sumber daya mineral pada sub bidang energi baru terbarukan. Pada peraturan presiden ini juga dibuat dengan tujuan untuk mendukung program strategis Pemerintah dalam meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan dalam bauran energi primer dan tercapainya kontribusi Indonesia dalam penurunan emisi global perlu mengoptimalkan kewenangan koordinasi dan sinergis antara pemerintah dan pemerintah daerah.

Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin (Unhas) merupakan salah satu kampus terbesar di Indonesia. Kampus ini terletak di Jalan Perintis Kemerdekaan Km 10,5, Makassar, Sulawesi Selatan. Kampus ini memiliki luas sekitar 220 hektar dan merupakan kampus utama Universitas Hasanuddin. Kampus ini juga menjadi tempat yang penting bagi masyarakat Makassar, dikarenakan kampus ini menjadi wadah pusat pendidikan dan penelitian, serta tempat berwisata. Pada kampus ini juga terdapat sebuah objek wisata yang ikonik yaitu Danau Unhas. Danau Universitas Hasanuddin atau Danau Unhas merupakan salah satu destinasi wisata alam yang populer di Makassar, Sulawesi Selatan. Danau ini terletak di dalam kawasan kampus Unhas, tepatnya di Jalan Perintis Kemerdekaan Km 10,5, Makassar.

Danau Unhas memiliki luas sekitar 5 hektar dan merupakan danau buatan yang dirancang pada tahun 1974 -1975. Kampus Unhas memiliki penggunaan daya yang cukup besar dikarenakan menjadi salah satu pusat pendidikan di Makassar. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alternatif energi untuk menyuplai yang sekiranya dapat menekan pembayaran tagihan listrik pada kampus Universitas Hasanuddin. Maka dari itu, diperlukannya perencanaan pembangunan suplai energi baru terbarukan. Dalam konteks kali ini yaitu perencanaan pembangunan PLTS terapung pada Danau Unhas yang berguna untuk menyokong beban khusus pada kampus Unhas.

Berdasarkan dari permasalahan di atas, maka penulis tertarik untuk membahas lebih lanjut serta melakukan penelitian dengan judul **“Studi Perencanaan PLTS Terapung pada Danau Universitas Hasanuddin”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa banyak daya yang mampu dihasilkan PLTS terapung?
2. Bagaimana menentukan kelayakan dari daya teknis dan ekonomi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan posisi terbaik PLTS terapung pada Danau Unhas.
2. Menentukan kapasitas daya PLTS terapung pada Danau Unhas.
3. Merancang sistem PLTS terapung dan interkoneksi sistem kelistrikan Unhas.
4. Menghitung kelayakan ekonomi sistem PLTS terapung yang telah dirancang.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan masukan bagi kampus Universitas Hasanuddin terkait potensi energi yang bisa didapatkan dengan membangun PLTS terapung pada Danau Unhas.
2. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi atau literatur bagi mahasiswa dan peneliti terkait perancangan PLTS terapung.

1.5 Batasan Masalah

1. Menentukan kapasitas daya yang mampu dibangkitkan dari PLTS terapung.
2. Menentukan penempatan yang strategis serta memastikan pengaplikasian PLTS terapung layak dalam segi ekonomis pada kedua Danau Unhas.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan untuk penelitian ini yang masing-masing uraian secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini adalah pendahuluan dimana sebagian besar menyempurnakan usulan penelitian yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang teori-teori yang mendasari pembahasan secara detail yang memuat tentang penjelasan terkait PLTS.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memuat tentang pengembangan metodologi yang berisi rancangan penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, teknik pengumpulan data, dan langkah-langkah yang perlu dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang hasil penelitian yang memuat data yang diperoleh serta dengan pembahasand dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memuat kesimpulan menyeluruh dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran saran untuk penelitian ini ke depannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Pengertian dasar energi adalah kemampuan untuk melakukan tindakan atau pekerjaan. Istilah "energi" berasal dari bahasa Yunani "ergon," yang berarti kerja. Dalam setiap aktivitas yang kita lakukan, baik itu disadari atau tidak, energi selalu digunakan. Misalnya, saat kita berjalan, kita menggunakan energi. Namun, berbagai kegiatan membutuhkan energi dalam jumlah dan bentuk yang berbeda-beda. Meskipun tidak terlihat, energi memiliki pengaruh yang dapat dirasakan, dan energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Berdasarkan pengertian ini, energi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Baik sumber energi tak terbarukan maupun terbarukan dibutuhkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya (Prabowo, 2016).

2.1.1 Energi Tak Terbarukan

Sumber energi tak terbarukan dan terbarukan memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan manusia. Sumber energi tak terbarukan, seperti hasil fosil, memiliki ketersediaan yang terbatas. Setelah habis, energi ini tidak dapat diperbaharui dengan cepat, karena membutuhkan waktu ratusan hingga jutaan tahun.

Contoh sumber energi tak terbarukan meliputi batu bara dan minyak bumi yang berasal dari makhluk hidup yang mati dan terkubur di bawah tanah selama berjuta-juta tahun. Uranium, yang dapat menghasilkan energi nuklir, juga merupakan contoh sumber energi tak terbarukan yang membutuhkan proses alamiah yang sangat lama. Sumber energi tak terbarukan lainnya termasuk minyak mentah yang diperoleh melalui pengeboran dalam tanah, gas bumi yang harus diambil dengan pengeboran, dan bahan bakar nuklir yang diperoleh dari penambangan dan pemurnian bijih uranium (Prabowo, 2016).

2.1.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi alami yang dapat dimanfaatkan secara langsung dan bebas. Keunggulan energi terbarukan adalah ketersediaannya yang tak terbatas dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Contoh energi terbarukan meliputi angin, yang selalu tersedia selama bumi masih ada, dan sering dimanfaatkan melalui teknologi kincir angin untuk menghasilkan energi listrik di negara-negara dengan angin yang cukup intens. Matahari juga merupakan sumber energi penting yang digunakan untuk berbagai aktivitas manusia, seperti fotosintesis buatan, pembangkit listrik tenaga surya, dan pengeringan pakaian.

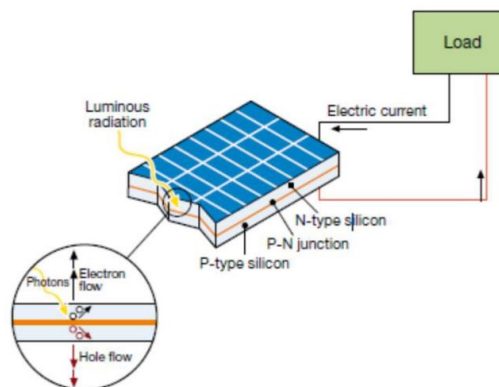
Air laut pasang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, sedangkan panas bumi, atau energi geotermal, dihasilkan dari panas dalam kerak bumi akibat peluruhan radioaktif dan pelepasan panas kontinu. Tumbuhan juga dapat dijadikan sumber energi terbarukan, baik sebagai bahan bakar atau bahan baku untuk produk lainnya. Biofuel, seperti biodiesel dari tanaman berminyak, juga merupakan sumber energi terbarukan yang penting. Penggunaan air sebagai pengganti bahan bakar fosil juga dapat menghemat sumber daya tak terbarukan. Biomassa, yang mencakup bahan biologis dari organisme hidup atau yang baru mati, juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, seperti pembangkit listrik tenaga biomassa di Indonesia. (Prabowo, 2016).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hybrid (Suhendar, 2022).

2.3 Efek Fotovoltaik

Mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektroda bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan berupa logam, yang konduktifitas elektriknya ditentukan oleh elektron valensinya. Material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara signifikan.



Gambar 1. Ilustrasi sel fotovoltaik
(Sumber : Oktarina, 2021)

Saat foton dari sumber cahaya menumbuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, akan mengakibatkan suatu energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas tersebut bermuatan negatif menjadi bebas bergerak di dalam bidang Kristal dan berada pada daerah pita konduksi dari material semi konduktor. Hilangnya elektron mengakibatkan terbentuknya suatu kekosongan pada struktur kristal yang disebut dengan “hole” dengan muatan positif. Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai donor elektron.

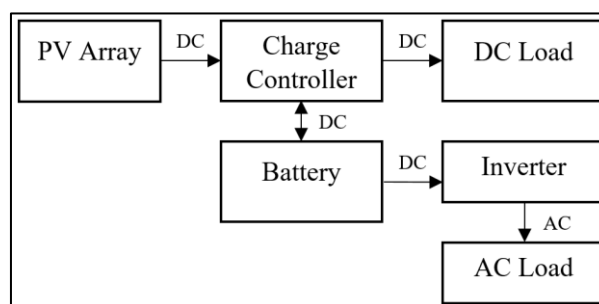
Daerah ini disebut tipe negatif (*n-type*). Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole*, bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Daerah ini disebut dengan tipe positif (*p-type*). Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan hole untuk bergerak kearah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi sisi negatif, sedangkan hole bergerak menjauhi sisi positif. Ketika *p-n junction* ini dihubungkan dengan sebuah beban (lampu) maka akan tercipta sebuah arus listrik.

Silikon adalah suatu material semikonduktor bervalensi empat. Keunggulan dari silikon adalah memiliki resistifitas yang sangat tinggi hingga $300.000 \Omega \text{ cm}$ dan ketersediaan yang banyak di alam. Namun kekurangannya adalah biaya produksi silikonwafer yang sangat tinggi. Dikarenakan untuk mendapatkan performa sel surya yang baik dibutuhkan silikon dengan kemurnian sangat tinggi yaitu di atas 99,9%. Untuk mengurangi biaya produksi, maka pengembangan dilakukan dengan meminimalisir material yang digunakan (Oktarina, 2021).

2.4 Jenis Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.4.1 Off-grid PLTS

Sistem PLTS yang berdiri sendiri (*Stand-Alone*) dirancang beroperasi mandiri untuk memasok beban DC atau AC. Jenis sistem ini dapat diaktifkan oleh array fotovoltaik saja, atau dapat menggunakan sumber tambahan energi lain, seperti: air, angin dan mesin diesel. Baterai digunakan pada kebanyakan sistem PLTS yang berdiri sendiri untuk penyimpanan energi. Gambar 2 menunjukkan diagram dari PLTS yang berdiri sendiri.

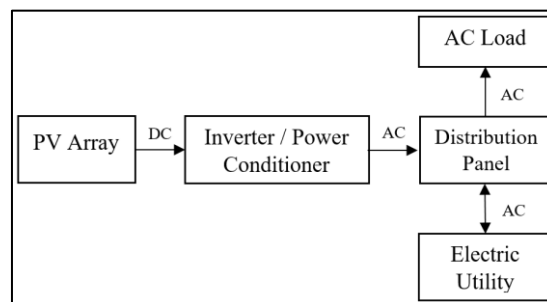


Gambar 2. Diagram sistem PLTS *off-grid*
(Sumber : Oktarina, 2021)

Pada Gambar 2 dapat dilihat daya DC yang dihasilkan oleh PV array PLTS dikirim ke *charger controller* untuk melakukan *charging* ke baterai dan melayani beban DC, *charger controller* juga mengatur *over charging* atau kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh. Untuk memenuhi kebutuhan beban AC digunakan baterai yang telah diisi oleh PV array, dan arus searah DC yang berasal dari baterai telah dikonversi oleh inverter menjadi arus listrik bolak balik sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban AC (Suhendar, 2022).

2.4.2 On-grid PLTS

Sistem PLTS *On-grid connected* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik PLN. Komponen utama dalam sistem ini adalah inverter, atau *Power Conditioning Unit (PCU)*. Inverter inilah yang berfungsi untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*) (Suhendar, 2022).



Gambar 3. Diagram sistem PLTS *on-grid*
(Sumber : Oktarina, 2021)

2.4.3 Hybrid PLTS

Pada sistem *hybrid*, energi listrik berasal dari PLTS dan dari PLN. Sistem hybrid dibagi menjadi dua yaitu *hybrid off-grid* dan *hybrid on-grid*. Perbedaannya terletak pada ketersediaan kWh meter exim. Pada *hybrid off-grid* tidak diperlukan kWh meter exim sedangkan pada *hybrid on-grid* diperlukan. Prioritas penggunaan energi listrik yang diperoleh dari PLTS digunakan untuk beban. Jika ada sisa energi, maka akan digunakan untuk mengisi baterai. Pada *hybrid off-grid* apabila energi listrik yang diperoleh dari panel mencukupi untuk beban dan kondisi baterai telah penuh, maka akan ada sebagian energi yang tidak terpakai.

Sedangkan pada *hybrid on-grid*, sisa energi yang diperoleh dari PLTS akan dimasukkan ke jala-jala PLN. Pada dasarnya komponen baterai di sistem hybrid adalah wajib, namun ada beberapa inverter *hybrid* yang dapat bekerja walupun tidak tersambung dengan baterai. Namun apabila dilihat di dalamnya, terminal yang tersambung dengan baterai tersambung juga dengan kapasitor bank yang berfungsi sebagai pengganti baterai (Setiawan, 2022).

2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya Apung

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

2.5.1 Panel Surya

Panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Fotovoltaik adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek fotovoltaik.

Unjuk kerja sel surya dalam mengkonversikan energi foton dari sinar matahari menjadi energi listrik tidak terlepas dari teknologi yang digunakan oleh sel surya itu sendiri. Teknologi yang dimaksudkan seperti jenis material yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan sel surya, maupun proses pembuatannya. Bahan semikonduktor jenis silikon merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam pembuatan sel surya, meskipun saat ini digunakan juga jenis bahan seperti cadmium telluride dan copper indium (gallium) di-selenide. Setiap bahan memiliki karakteristik yang unik dan memiliki pengaruh kuat terhadap performa sel surya, metode pabrikasi, dan dari segi biaya.

Sel surya salah satunya terbuat dari teknologi irisan silikon (silikon wafers), pembuatannya dengan cara memotong/mengiris tipis silikon dari balok batang silikon. Sel surya juga bisa terbuat dari teknologi film tipis biasa disebut *thin-film technologies*, dimana lapisan tipis dari bahan semikonduktor diendapkan *padal low-cost substrates*. Sel surya selanjutnya digolongkan sesuai dengan batasan struktur dari bahan semikonduktornya seperti, *mono-crystalline*, *multi crystalline (polycrystalline)* atau *amorphous material* (Oktarina, 2021).

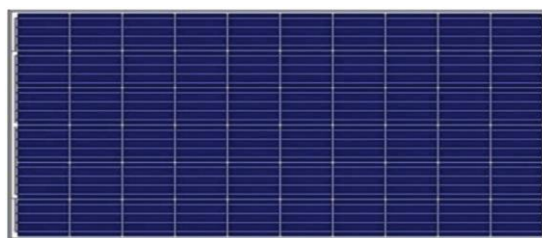
- a. Sel *monocrystalline* biasanya terbuat dari batang silikon tunggal berbentuk silinder, yang kemudian diiris tipis menjadi bentuk wafers dengan ketebalan sekitar 200–250 μm , dan pada permukaan atasnya dibuat alur-alur mikro (microgrooves) yang

bertujuan untuk meminimalkan rugi-rugi refleksi atau pantulan. Keunggulan utama dari jenis ini yaitu efisiensinya yang lebih baik (14-17%), serta lebih tahan lama (efektif hingga 30 Tahun lebih penggunaan). Cara pembuatan dengan sel surya atau sel fotovoltaik dengan metode Czochralski. Proses pembuatan produksi sel ini sangat mahal dan panjang dalam menciptakan silikon (Oktarina, 2021).



Gambar 4. Panel *monocrystalline*
(Sumber : Ridwan, 2021)

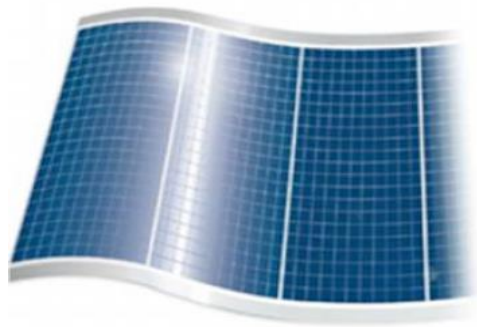
- b. *Polycrystalline* terbuat dari batang silikon yang dihasilkan dengan cara dilelehkan dan dicetak oleh pipa paralel, didinginkan untuk membentuk Ingot. Ingot tersebut kemudian dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan ukuran 40 x 40 cm², kemudian diiris menjadi wafer tipis. Wafers sel surya ini biasanya berbentuk persegi dengan ketebalan 180 – 300 μm . Sel surya *polycrystalline* mempunyai efisiensi (12–14%). *Polycrystalline* dibuat dengan tujuan untuk menurunkan harga produksi, sehingga memperoleh sel surya dengan harga yang lebih murah. (Oktarina, 2021).



Gambar 5. Panel *polycrystalline*
(Sumber : Ridwan, 2021)

- c. Lapisan tipis (*Thin Film*). Teknologi pembuatan sel surya dengan lapisan tipis ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pembuatan solar sel mengingat teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer. Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan *plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PEVCD) dari gas silane dan hidrogen (Oktarina, 2021).

Modul tipe *thin-film* atau amorph berbeda dengan jenis monokristal atau polikristal, thin-film bukan jenis kristal namun lapisan tipis silikon yang diletakkan di bahan dasar seperti logam atau kaca untuk menghasilkan sel surya. *Thin film* merupakan modul dengan harga yang paling murah daripada jenis yang lainnya, namun efisiensi yang dimilikinya juga paling rendah. Untuk mendapatkan nilai energi listrik yang sama dengan monokristal atau polikristal, diperlukan luasan lahan yang cukup besar untuk memasangnya. Dengan sifatnya yang lebih fleksibel dan mudah dibentuk (Yonata, 2017).



Gambar 6. Panel *thin film*
(Sumber : Pematun, 2016)

2.5.2 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah komponen di dalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*current regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/digunakan. Berfungsi untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*over charge*), dan mengatur tegangan serta arus dari panel surya ke baterai. Fungsi dan fitur *solar charge controller* (Oktarina, 2021) :

- a. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk kedalam baterai untuk mencegah *over charge*, dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban atau peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan.
- b. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan

mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses *charging*. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh *controller*, maka peralatan listrik atau beban tidak dapat beroperasi. Keadaan ini disebut *over discharge* akibat beban yang dipikul cukup besar.

- c. Pada *controller* tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem PLTS dapat terdeteksi dengan baik.

2.5.3 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 (Oktarina, 2021).

Pada umumnya baterai penyimpanan energi listrik dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- a. *Primary batteries* yaitu dapat menyimpan dan mengirim energilistrik ke beban tetapi tidak dapat diisi kembali (*recharge*). Jenis baterai ini tidak digunakan pada PLTS.

- b. *Secondary batteries* yaitu dapat menyimpan dan mengirim energi listrik ke beban, dan dapat juga diisi kembali (*recharge*). Jenis baterai ini digunakan pada sistem PLTS.

2.5.4 Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu:

- a. Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS yang bebannya kecil.
- b. Inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN.

Berdasarkan karakteristik dari performa yang dibutuhkan, inverter untuk sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*) dan PLTS *grid-connected* memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu:

- a. Pada PLTS *stand-alone*, inverter harus mampu mensuplai tegangan AC yang konstan pada variasi produksi dari modul surya dan tuntutan beban (*load demand*) yang dipikul.
- b. Pada PLTS *grid-connected*, inverter dapat menghasilkan kembali tegangan yang sama persis dengan tegangan jaringan pada waktu yang sama, untuk mengoptimalkan dan memaksimalkan keluaran energi yang dihasilkan oleh modul surya (Oktarina, 2021).

2.5.5 Floater

Floater merupakan tempat pemasangan modul fotovoltaik diatas permukaan air. Floater membuat jalan akses tersedia pada permukaan air. *Floater* umumnya terbuat dari bahan yang mempunyai karakteristik yang kuat, mudah dirawat, tahan terhadap UV dan korosi (Kusdiana, 2021).

2.5.6 Jangkar dan Tali Jangkar

Jangkar (*Anchor*) dan Tali Jangkar (*Mooring*) berguna untuk menahan pergerakan PLTS Terapung agar tidak berpindah. Jangkar umumnya terbuat dari beton sedangkan tali jangkar terbuat dari besi (Kusdiana, 2021).

2.5.7 Combiner box

Combiner Box merupakan panel DC yang berfungsi menggabungkan output dari beberapa String PV menjadi satu. Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus/ tegangan lebih dan petir (Kusdiana, 2021).

2.6 Perhitungan pada Sistem PLTS

Sebelum dilakukannya simulasi pada *software* PVSOL, akan dilakukan perhitungan secara manual terkait jumlah komponen berdasarkan dengan jumlah beban harian. Adapun perhitungannya adalah:

1. Perhitungan pada Panel Surya

Untuk menghitung daya yang mampu dibangkitkan pada sebuah rancangan sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{\text{Watt peak}} = \text{Luas array} \times \text{PSI} \times \eta \text{ PV} \quad (2.1)$$

Untuk menghitung berapa banyak panel yang dibutuhkan pada suatu sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{\text{Daya Puncak Modul Surya (Wp)}}{\text{Daya panel (Wp)}} \quad (2.2)$$

Untuk mengetahui perkiraan daya *output* PV modul perharinya dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{\text{produksi harian}} = \text{Luas satuan PV} \times \text{Jumlah PV} \times \text{radiasi rata rata} \times \eta \text{ PV} \quad (2.3)$$

Dimana:

PSI : Peak Solar Insulation (1000 W/m²)

η PV : Efisiensi Panel

Untuk mengetahui susunan seri paralel pada suatu sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

- a. Untuk menghitung kapasitas maksimal dari rangkaian seri

$$N_{pvm} = \frac{V_{\max inverter}}{V_{mp Modul}} \quad (2.4)$$

- b. Untuk menghitung kapasitas minimal dari rangkaian seri

$$N_{pvm} = \frac{V_{\min inverter}}{V_{oc Modul}} \quad (2.5)$$

- c. Untuk menghitung kapasitas maksimal dari rangkaian paralel

$$N_{string} = \frac{I_{\max Input Inverter}}{I_{mp Modul}} \quad (2.6)$$

2. Perhitungan pada Inverter

Untuk mengetahui besar kapasitas inverter yang dibutuhkan pada suatu sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Inverter} = \frac{\text{Kapasitas PV (W)}}{\frac{DC}{AC} \text{ rasio (1,2)}} \quad (2.7)$$

3. Perhitungan pada Baterai

Untuk mengetahui besar kapasitas baterai yang dibutuhkan pada suatu sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{Rough} = P \text{ Total PV} \times DoA \quad (2.8)$$

$$E_{Safe} = \frac{E_{Rough}}{MDoD} \quad (2.9)$$

Dimana:

E_{Rough} : Kapasitas maksimal dari baterai

E_{Safe} : Kapasitas yang aman digunakan pada baterai

DoD : Kedalaman pengosongan pada baterai

4. Perhitungan penyinaran matahari secara efektif

$$PSH = \frac{\text{Rata – rata radiasi matahari per hari (Wh/m}^2\text{)}}{\text{Insulasi standar (1000 W/m}^2\text{)}} \quad (2.10)$$

Dimana:

PSH : *Peak Sun Hour* / waktu penyinaran efektif matahari

2.7 Analisis Ekonomi

Dalam melakukan analisis ekonomi terhadap sistem PLTS terdapat beberapa indikator yang sering digunakan, yaitu *Life Cycle Cost* (LCC), *Cost of Energy* (CoE), *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Payback Period* (PP), dan *Internal Rate of Return* (IRR).

2.7.1 *Life Cycle Cost* (LCC)

Pada analisis *Life-Cycle Cost*, semua biaya sekarang dan di masa depan berhubungan dengan sistem PLTS yang dibangun. Biaya tersebut dijumlahkan selama sistem PLTS bekerja, namun biaya tersebut tidak hanya energi yang dihasilkan, pemasangan, operasi dan perawatan, perbaikan, biaya pekerja, inflasi, dan laju diskon selama investasi. Perbandingan antara *Life Cycle Cost* dengan alternatif menentukan sebuah sistem memiliki biaya yang efektif atau tidak. Rumus yang digunakan untuk menentukan *Life Cycle Cost* adalah sebagai berikut (Yonata, 2017).

$$\text{Life Cycle Cost} = S + O\&M \quad (2.11)$$

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal (Suhendar, 2022).

Biaya O&M yang dikeluarkan selama periode hidup proyek, akan berbeda dari tahun ke tahun. Untuk menghitung biaya O&M yang sesuai dengan laju bunga Bank Indonesia, digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$O\&M_{pw} = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.12)$$

Dimana:

$O\&M_p$: Biaya *Present Value* O&M

O&M : Biaya O&M per tahun

n : Lama *life time* proyek

i : Tingkat bunga bank

Perbandingan yang valid antara penerimaan di masa mendatang dengan pengeluaran dana sekarang adalah hal yang sulit untuk dilakukan karena adanya perbedaan nilai waktu uang. Oleh sebab itu digunakan metode perhitungan dengan menggunakan *Discount Factor* (DF), yaitu dengan melakukan diskonto terhadap penerimaan di masa mendatang ke nilai di masa sekarang. Perhitungan *Discount Factor* adalah sebagai berikut.

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.13)$$

Dimana:

DF : *Discount Factor*

I : Tingkat bunga bank

n : Lama *life time* proyek

2.7.2 *Cost of Energy* (COE)

Cost of Energy (COE) adalah perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Perhitungan COE dari sistem PLTS ditentukan oleh *Life Cycle Cost* (LCC), *Cost Recovery Factor* (CRF), dan jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu PLTS.

CRF merupakan faktor yang digunakan untuk mengkonversikan semua *cash flow* dari *Life Cycle Cost* (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Perhitungan CRF adalah sebagai berikut (Yonata, 2017).

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.14)$$

Dimana:

CRF : *Cost Recovery Factor*

i : Tingkat bunga bank (%)

n : *Life time* proyek (tahun)

Dengan menggunakan nilai *Cost Recovery Factor*, perhitungan COE dapat dilakukan dengan menggunakan cara sebagai berikut

$$COE = \frac{LCC}{A \text{ kWh}} \quad (2.15)$$

$$A \text{ kWh} = \text{kWh produksi harian} \times 365 \quad (2.16)$$

Dimana:

COE : *Cost of Energy* (Rp/kWh)

CRF : *Cost Recovery Factor*

Annual kWh : Energi yang dihasilkan per tahun (kWh/tahun)

2.7.3 Net Present Value (NPV)

Net Present Value atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari investasi atau proyek, formula yang digunakan sensitif terhadap perubahan nilai mata uang atau barang. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai uang pada masa mendatang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. NPV didasarkan pada teknik *discounted cash flow* (DCF) dengan tiga langkah dasar, yaitu menemukan *present value* dari setiap arus uang, termasuk didalamnya adalah pemasukan, pengeluaran, dan diskon harga proyek.

NPV adalah perbandingan antara nilai investasi pasar dan biaya itu sendiri. Jika nilai NPV adalah negatif, maka proyek tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan, jika nilainya positif, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Nilai NPV bernilai nol berarti tidak ada perbedaan apabila proyek tetap dilaksanakan atau ditolak. Rumus untuk menentukan NPV adalah sebagai berikut (Yonata, 2017).

$$NPV = -S + \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (2.17)$$

Dimana:

i : Tingkat bunga bank (%)

n : *Life time* proyek (tahun)

t : Tahun yang akan dihitung (tahun)

S : Investasi awal

NCF : Pendapatan bersih hingga tahun ke-n

2.7.4 *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah nilai persen uang dari sistem pembangkit yang dibandingkan dengan biaya awal investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, dengan referensi nilai *payback period* yang diinginkan. Nilai BCR akan memiliki pengertian sebagai berikut. (Yonata, 2017).

- Nilai BCR bernilai 1, maka biaya investasi akan diperoleh kembali secara penuh.
- Nilai BCR bernilai lebih dari 1, maka penghematan akan lebih besar daripada investasi.
- Nilai BCR bernilai kurang dari 1, maka biaya investasi akan lebih besar daripada penghematan sistem.

Sehingga apabila nilai BCR suatu sistem adalah 0,2 akan mengindikasikan bahwa dalam *payback period* yang diinginkan, hanya 20% biaya investasi yang bisa diperoleh kembali. Namun apabila nilai BCR sebesar 1,4 berarti penghematan melebihi biaya investasi sebesar 40%. Rumus BCR adalah sebagai berikut.

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{S} \quad (2.18)$$

Dimana:

BCR : *Benefit Cost Ratio* (BCR)

NCF_t : *Net Cash Flow* pada tahun ke-t

t : Tahun

S : Biaya investasi awal

n : Total tahun

i : Tingkat Bunga Bank (%)

2.7.5 Payback Period

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama satu tahun. Penggunaan *payback period* dalam menghitung efektivitas investasi tetap memiliki batasan. *Payback period* tidak menghitung keuntungan yang didapatkan setelah *payback period* serta memiliki keterbatasan dalam membandingkan dua proyek. (Yonata, 2017).

Untuk menghitung nilai *Payback Period*, maka diperlukan perbandingan antara investasi awal dengan nilai kas bersih pertahun yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$PP = \frac{\text{Investasi awal}}{\text{Kas bersih per tahun}} \quad (2.19)$$

2.7.6 Internal Rate of return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) adalah metode perhitungan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang dari penerimaan yang diterima dengan nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi. Rumus untuk menghitung IRR adalah sebagai berikut. (Yonata, 2017).

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (2.20)$$

Dimana:

NPV_1 : NPV ketika bunga rendah

NPV_2 : NPV ketika bunga tinggi

i_1 : Tingkat bunga rendah

i_2 : Tingkat bunga tinggi

2.8 State of The Art

Tabel 1 State of the art

No	Nama Peneliti	Judul	Persamaan	Perbedaan
1	Marupa, dkk	PLTS Terapung: <i>Review</i> Pembangunan dan Simulasi Numerik untuk Rekomendasi Penempatan Panel Surya di Waduk Cirata	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada Waduk Cirata, Jawa Barat
2	Khairusdzikri, dkk	Rancang Bangun Model <i>Floating</i> Photovoltaic Pada Kolam Renang Politeknik Negeri Jakarta dengan Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Arduino Uno	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada kolam renang Politeknik Negeri Jakarta. Serta berbasis arduino
3	Nugraha, A	Analisis Perencanaan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Di Waduk Brigif Jakarta Selatan	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada di Waduk Brigif Jakarta Selatan. Serta berfokus pada investasi
4	Simamora, P & Krisnaldi	Perancangan Awal Sistem Mooring Untuk PLTS Terapung Berkapasitas 1 MWp Di Waduk Jatigede, Jawa Barat	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada di Waduk Jatigede, Jawa Barat. Serta berfokus pada sistem mooring
5	Bagaskara, A	Rancang Bangun PLTS Terapung Sebagai Suplai Penerangan Di Pantai Tiga Warna Kabupaten Malang	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada di Pantai Tiga Warna. Serta berfokus pada PLTS sebagai suplai penerangan.
6	Islamy, A & Aryawan, W	Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Apung untuk Wilayah Kepulauan Selayar, Sulawesi Selatan	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada di Wilayah Kepulauan Selayar, Sulawesi Selatan.
7	Muhaimin, A	Studi Perancangan Photovoltaic Model Rooftop Untuk Suplai Energi Listrik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin	Penelitian berfokus pada perencanaan PLTS	Lokasi penelitian yang berbeda yaitu berfokus pada area Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin