

SKRIPSI

**PEMODELAN DAN ANALISIS PLTS ATAP BANGUNAN
BERBASIS PV*SOL UNTUK Mendukung PROGRAM
TRANSISI ENERGI NASIONAL (STUDI KASUS:
PERUMAHAN CITRALAND CELEBES GOWA)**

Disusun dan diajukan oleh :

MUH SABRI MASYKUR

D041181348



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PEMODELAN DAN ANALISIS PLTS ATAP BANGUNAN
BERBASIS PV*SOL UNTUK Mendukung PROGRAM
TRANSISI ENERGI NASIONAL (STUDI KASUS:
PERUMAHAN CITRALAND CELEBES GOWA)**

Disusun dan diajukan oleh:

Muh Sabri Masykur

D041181348

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

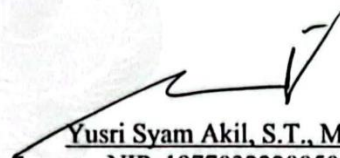
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU
NIP. 197405301999031003

Pembimbing Pendamping



Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197703222005011001

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : MUH SABRI MASYKUR

NIM : D041181348

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul **(PEMODELAN DAN ANALISIS PLTS ATAP BANGUNAN BERBASIS PV*SOL UNTUK Mendukung Program Transisi Energi Nasional Studi Kasus: Perumahan Citraland Celebes Gowa)** Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar- benar merupakan hasil karya saya sendiri. 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, 05 Agustus.....2023

Yang Menyatakan Tanda tangan



MUH SABRI MASYKUR

D041181348

KATA PENGANTAR

Segala puji atas kehadiran Allah subhanahu wa ta'ala atas berkat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyusun penelitian yang berjudul: “PEMODELAN DAN ANALISIS PLTS ATAP BANGUNAN BERBASIS PV*SOL UNTUK Mendukung PROGRAM TRANSISI ENERGI NASIONAL” dengan mengambil studi kasus pada perumahan Citraland Celebes Gowa.

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.

Terselesainya 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. Keluarga saya yang sangat saya banggakan dan sayangi terutama kedua orang tua saya yang selalu tulus mendukung dalam segala aspek baik moril dan materil dan selalu mendoakan saya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T, M.Eng., IPU. selaku pembimbing I sekaligus Ketua Laboratorium Energi Terbarukan dan Sistem Cerdas
3. Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, memberikan bimbingan, dorongan, masukan, arahan dan motivasi selama penulis menyusun tugas akhir ini.

4. Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, MT., IPM dan Ibu Dr. Fitriyanti Mayasari, ST.MT selaku penguji yang telah memberikan saran dan kritik guna perbaikan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan selama penulis menempuh masa studi.
9. Teman seperjuangan Laboratorium Energi Terbarukan dan Sistem Cerdas atas bantuan, saran dan motivasinya.
10. Teman-teman CAL18BRATOR yang senantiasa menemani dan memberikan semangat, motivasi, dan dukungan selama masa studi.
11. Teman-teman Muncha's House yang selalu saling mendukung selama menjalani hidup diperantauan.
12. Kanda-kanda senior Departemen Teknik Elektro yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan yang membantu selama masa studi.
13. Seluruh pihak yang telah terlibat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Makassar, 9 Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

MUH SABRI MASYKUR *Pemodelan Dan Analisis Plts Atap Bangunan Berbasis PV*SOL Untuk Mendukung Program Transisi Energi Nasional (Studi Kasus: Perumahan Citraland Celebes Gowa)* (dibimbing oleh Syafaruddin dan Yusri Syam Akil)

Untuk mencapai target diversifikasi energi pada 2025, perlu transisi dari energi fosil beremisi tinggi ke sumber energi bersih dan terbarukan. Salah satu solusi sederhana adalah pemanfaatan energi surya, terutama melalui pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap bangunan. PLTS atap memiliki keuntungan minim penghalang dan penghematan lahan. Meski demikian, tantangan utamanya adalah investasi awal yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang PLTS atap yang optimal, dengan melihat aspek teknis dan ekonomis melalui simulasi menggunakan PV*SOL, dengan mengambil studi kasus pada Citraland Celebes Gowa. Penelitian ini mengestimasi beban listrik di Citraland Celebes Gowa untuk menentukan ukuran panel surya optimal di atap rumah. Berbagai jenis sel surya, seperti *monocrystalline*, *polycrystalline*, *amorphous*, *CdTe*, *CIGS*, dibandingkan untuk menemukan jenis yang paling optimal. Selanjutnya, perbandingan dilakukan antara sisi timur dan barat atap untuk menemukan sisi mana yang lebih efisien dalam menangkap sinar matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel surya *monocrystalline* di sisi timur atap paling optimal dengan rasio performa 82,2%. Dengan menghasilkan 1.808 kWh energi per tahun sehingga dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 847 kg per tahun. Dari total konsumsi energi listrik rumah di Citraland Celebes Gowa sebesar 19.620 kWh per tahun, PLTS memberikan 7,87% atau 1.545 kWh, menghemat biaya energi listrik hingga Rp 315.061 per bulan. Investasi ini dapat kembali hanya dalam 6 tahun.

Kata Kunci: PLTS Atap, PV*SOL, PLTS *On-grid*, Analisis Tekno-Ekonomi

ABSTRACT

MUH SABRI MASYKUR *Modeling and Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Systems (BIPV) Based on PV*SOL to Support the National Energy Transition Program (Case Study: Citraland Celebes Gowa) (supervised by Syafaruddin and Yusri Syam Akil)*

*To achieve the energy diversification target by 2025, a transition from high-emission fossil fuels to clean and renewable energy sources is necessary. One straightforward solution is the utilization of solar energy, primarily through rooftop solar photovoltaic (PV) systems. Rooftop PV systems offer the advantage of minimal obstruction and land conservation. However, the main challenge lies in the high initial investment. Therefore, this research aims to design an optimal rooftop PV system, considering both technical and economic aspects, through simulation using PV*SOL, with a case study in Citraland Celebes Gowa. This study estimates the electricity demand in Citraland Celebes Gowa to determine the optimal size of solar panels on house rooftops. Various types of solar cells, such as monocrystalline, polycrystalline, amorphous, CdTe, CIGS, are compared to find the most suitable type. Furthermore, a comparison is made between the east and west sides of the roof to determine which side is more efficient in capturing sunlight. The research findings indicate that monocrystalline solar cells on the eastern side of the roof are the most optimal, with a performance ratio of 82.2%. This generates 1,808 kWh of energy per year, resulting in a reduction of 847 kg of CO₂ emissions annually. Out of the total annual electricity consumption of 19,620 kWh in homes within Citraland Celebes Gowa, the rooftop PV system contributes 7.87% or 1,545 kWh, leading to a monthly energy cost savings of 315,061 IDR. The investment can be recouped in just 6 years.*

*Keywords: Rooftop PV Systems, PV*SOL, On-grid PV Systems, Techno-Economic Analysis*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Terbarukan.....	5
2.2 Teknologi Fotovoltaik	8
2.3 Jenis Sel Surya.....	10

2.4	PLTS.....	14
2.5	Konfigurasi Sistem PLTS Atap.....	17
2.6	Software PV*SOL.....	18
2.7	Menentukan Kapasitas Sistem PLTS	21
2.8	Kondisi geografis ideal pemasangan PLTS.....	22
2.9	Mounting panel surya.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Lokasi Pelaksanaan	26
3.2	Diagram Alir.....	28
3.3	Metode Pengumpulan Data	30
3.4	Pemasangan PLTS atap	30
3.5	Metode Analisis Data	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Deskripsi Lokasi.....	34
4.2	Aturan Pemasangan PLTS <i>On-grid</i>	46
4.3	Desain Sistem	47
4.4	Menentukan Komponen Utama Sistem PLTS	48
4.5	Perbandingan Dari Hasil Simulasi Performa.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1.	Kesimpulan	67
5.2.	Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN-LAMPIRAN..... 72

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan karakteristik tiap jenis modul PV	13
Tabel 2 Map data lokasi penelitian melalui global solar atlas	22
Tabel 3 Data radiasi matahari dan temperatur pada wilayah penelitian	34
Tabel 4 Data pemakaian beban satu tahun penghuni perumahan	39
Tabel 5 Data pemakaian beban pada siang hari	41
Tabel 6 Spesifikasi kelistrikan panel surya	49
Tabel 7 Spesifikasi mekanikal panel surya	50
Tabel 8 Spesifikasi kelistrikan (DC) inverter	51
Tabel 9 Spesifikasi kelistrikan (AC) inverter	51
Tabel 10 Perbandingan secara teknis hasil simulasi berbagai jenis panel surya...	53
Tabel 11 Perbandingan secara ekonomis hasil simulasi berbagai jenis panel surya	55
Tabel 12 Perbandingan secara teknis hasil simulasi letak panel surya	56
Tabel 13 Perbandingan secara ekonomis hasil simulasi letak panel surya	58
Tabel 14 Konfigurasi pemasangan modul surya pada atap	59
Tabel 15 Konfigurasi inverter	60
Tabel 16 Hasil simulasi secara teknis panel surya yang paling optimal	61
Tabel 17 Rincian biaya investasi awal pemasangan PLTS	63
Tabel 18 Biaya yang dihemat saat menggunakan PLTS	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Panel surya <i>monocrystalline</i>	10
Gambar 2 Panel surya polikristalin	11
Gambar 3 Panel surya <i>thin film</i>	12
Gambar 4 Cara kerja sel surya	14
Gambar 5 Konfigurasi sistem plts atap	17
Gambar 6 Layout kompleks perumahan Citraland Celebes gowa.....	26
Gambar 7 Layout kompleks perumahan Citraland Celebes gowa ditinjau dari google maps	26
Gambar 8 Profil rumah yang dijadikan studi kasus	27
Gambar 9 Alur penelitian.....	28
Gambar 10 Perumahan yang dijadikan studi kasus ditinjau melalui <i>google earth</i> 36	
Gambar 11 Waktu penyinaran matahari paling optimal	37
Gambar 12 Kondisi lingkungan lokasi penelitian.....	38
Gambar 13 Spesifikasi rumah yang dijadikan lokasi penelitian	42
Gambar 14 Tampak atap perumahan yang dijadikan lokasi penelitian	43
Gambar 15 Pengukuran panjang atap melalui google maps	44
Gambar 16 Pengukuran lebar atap melalui google maps.....	44
Gambar 17 Luas atap pada desain 3D atap pada aplikasi fusion 360	44
Gambar 18 Panel surya dengan mounting	45

Gambar 19 Tampak panel surya dari sisi atas.....	60
Gambar 20 Tampak panel surya dari sisi samping	60
Gambar 21 Diagram skematik plts atap yang akan dipasang	61
Gambar 22 Grafik energi yang disalurkan oleh PLTS.....	64

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin menjadi kebutuhan pokok setiap manusia. Manusia memerlukan peningkatan jumlah energi listrik untuk industri, komersial, domestik, pertanian, bahkan saat ini sudah merambah ke ranah transportasi. Penggunaan sumber energi fosil semakin besar seiring meningkatnya jumlah kebutuhan energi listrik, karena kebutuhan energi listrik yang ada saat ini sebagian besar dikonversi dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam, hal ini membuat cadangan sumber energi fosil kian menipis. Tanpa penemuan cadangan yang baru, minyak bumi di Indonesia akan habis dalam sembilan tahun ke depan, gas bumi akan habis 22 tahun lagi, dan batubara akan habis 65 tahun mendatang. Untuk itu, peralihan penggunaan energi fosil menuju energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan sesuatu yang mutlak dilakukan (Dirjen EBTKE, 2020).

Selain hampir tak dapat diperbaharui, energi fosil juga menyumbang emisi yang tergolong tinggi yang mana hal tersebut dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Polutan yang dikeluarkan biasanya dikelompokkan menjadi hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon monoksida (CO). Polutan yang dihasilkan pada pembakaran fosil merupakan faktor terbesar terjadinya asap, hujan asam, pemanasan global dan perubahan iklim (Astra, 2010). Untuk itu inovasi tentang energi alternatif terutama dari sumber daya yang tak terbatas sangatlah diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di masa yang akan datang. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah teknologi sel surya. Sedangkan untuk Indonesia sendiri akan dapat berkontribusi lebih cepat bagi *net zero emission* dunia. Salah satu langkah konkrit untuk menurunkan emisi adalah dengan melakukan diversifikasi energi fosil dengan energi terbarukan sesuai dengan yang sudah direncanakan yakni 23% pada tahun 2025 mendatang (Dirjen EBTKE, 2021).

Sel surya adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip fotovoltaik. Sel surya merupakan teknologi energi yang bersifat langsung. Sistem tenaga fotovoltaik (PV) dipertimbangkan untuk menjadi sumber energi terbarukan yang penting karena sifatnya yang bebas polusi dan tidak habis-habisnya (Kashif dkk, 2011). Menurut pertimbangan Menteri ESDM dalam peraturan Menteri energi dan sumber daya mineral republik Indonesia nomor 49 tahun 2018 bahwa untuk percepatan peningkatan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan dalam bauran energi nasional serta peningkatan efisiensi energi sesuai dengan target kebijakan energi nasional, perlu mendorong pemanfaatan energi surya yang ramah lingkungan untuk pembangkitan tenaga listrik menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh konsumen PT perusahaan listrik negara (Persero) untuk kepentingan sendiri (PerMen ESDM, 2018).

Salah satu lokasi yang cocok untuk untuk peletakan PLTS adalah atap bangunan karena permukaannya tidak ditutupi oleh langit-langit atau bisa dikatakan minim penghalang. Yaitu pada atap gedung-gedung perkantoran, mall, hotel, apartemen, atau rumah susun, di kawasan atau kompleks perumahan dan lain sebagainya. Disamping itu, bentuk PLTS di atap bangunan tersebut memiliki keunggulan tersendiri apabila dibandingkan dengan PLTS skala besar, diantaranya lebih mudah untuk diintegrasikan dengan sistem kelistrikan yang sudah ada, dapat memanfaatkan lahan yang ada atau dengan kata lain dapat mengurangi biaya investasi lahan, serta dapat turut mengurangi beban jaringan sistem yang ada.

Masyarakat kota Makassar belum begitu banyak yang menyadari betapa pentingnya menggunakan PLTS atap ini sebagai penyuplai listrik rumah tangga padahal ROI dari penggunaan PLTS itu sangatlah menguntungkan dibanding dengan deposito, berdasarkan data yang diperoleh dari *Institute for Essential Services Reform (IESR)* Sulawesi selatan memiliki potensi energi terbarukan sebesar 16.847 MW namun kapasitas terpasang hanya sekitar 283 MW, jumlah kapasitas terpasang tersebut dominan berasal dari PLTB dan PLTA, hal tersebut tentu menandakan kurangnya kesadaran masyarakat untuk memasifkan

penggunaan PLTS atap (Praditya, 2019). Dalam pemasangannya kendala yang dialami oleh PLTS atap ini salah satunya adalah biaya investasi awal yang cukup tinggi, karena biaya investasi awal yang tinggi pada modul PV tersebut, pemanfaatan yang optimal dari energi surya yang tersedia harus dipastikan memerlukan simulasi performa yang tepat dan andal dari sistem PV yang dirancang sebelum pemasangan, dalam melakukan perancangan sistem PV yang akan digunakan ada beberapa *software* yang sudah berstandar industri yang dapat membantu dalam simulasi perancangan, salah satunya adalah PV*SOL yang memiliki fitur paling lengkap yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu membandingkan beberapa jenis sel surya, PV*SOL merupakan software keluaran *Valentin Software* sebagai alat simulasi yang kuat untuk sistem energi terbarukan, terutama pada instalasi PV baik *on-grid* maupun *off-grid*. Dengan kemampuan memprediksi produksi energi selama satu tahun, mengidentifikasi penyebab dan jumlah kerugian daya, serta menghitung pengembalian finansial, PVSOL menjadi solusi lengkap untuk perencanaan sistem PV. Dengan fitur seperti simulasi shading 3D, analisis finansial, dan pembuatan laporan, PV*SOL sangat mendukung berbagai jenis konfigurasi PV.

Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis tertarik untuk membahas serta melakukan penelitian dengan judul “PEMODELAN DAN ANALISIS PLTS ATAP BANGUNAN BERBASIS PV*SOL UNTUK Mendukung PROGRAM TRANSISI ENERGI NASIONAL” dengan mengambil studi kasus pada perumahan Citraland Celebes Gowa.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang PLTS atap yang optimal berbasis PV*SOL pada perumahan citraland dalam mendukung transisi energi?
2. Seberapa besar dampak ekonomi penggunaan energi listrik dari PLTS atap yang dirancang?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang PLTS atap yang optimal berbasis PV*SOL pada perumahan citraland dalam mendukung transisi energi.
2. Menentukan dampak ekonomi penggunaan energi listrik dari PLTS atap yang dirancang.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan dengan adanya penelitian ini menjadi studi literatur terkait energi terbarukan.
2. Menjadi pendorong meningkatnya minat orang-orang untuk beralih ke energi baru terbarukan terutama tenaga surya sehingga target diversifikasi energi fosil 23 % pada 2025 ke energi terbarukan dapat tercapai.
3. Dapat digunakan sebagai acuan simulasi performa yang tepat dan andal dari sistem PV yang akan dirancang menggunakan PV*SOL sebelum pemasangan pada atap rumah.

1.5 Batasan Masalah

1. Wilayah yang dijadikan acuan simulasi performa PV atap adalah areal klaster *Maroon vogue* pada perumahan Citraland Celebes Gowa.
2. *Software* yang digunakan untuk simulasi performa PV atap adalah PV*SOL.
3. Penentuan pemasangan PLTS atap yang paling optimal ditinjau berdasarkan segi teknis dan ekonomis pada PLTS.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi merupakan sumber daya yang dapat diolah menjadi berbagai proses kegiatan termasuk bahan bakar, listrik, energi mekanik dan panas. Energi sendiri berasal dari sumber yang dapat menghasilkan energi atau disebut sumber energi, baik itu dilakukan secara konversi atau transformasi. Sumber energi merupakan sebagian dari sumber daya alam yang meliputi minyak dan gas bumi, batubara, air, panas bumi, gambut, biomassa, dan sebagainya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat dimanfaatkan sebagai energi.

Sedangkan pengertian energi di dalam undang-undang terdapat pada undang-undang nomor 30 tahun 2007 tentang energi, yang tercantum pada bab I ketentuan umum Pasal 1 angka (1) yakni energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika. Sumber energi tersebut merupakan salah satu sumber daya alam yang mana sumber daya alam tersebut haruslah dimanfaatkan sebaik dan semaksimal mungkin bagi kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan (Azhar, 2018). Jadi sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat diolah oleh manusia sehingga dapat digunakan bagi pemenuhan kebutuhan energi.

Pengertian sumber energi baru yang tercatat dalam undang-undang nomor 30 tahun 2007 telah mengklasifikasikan macam macam jenis energi baru, yakni: nuklir, hidrogen, gas metana batubara (*coal bed methane*), batubara tercairkan (*liquified coal*), dan batubara tergasakan (*gasified coal*). Sedangkan untuk energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat digunakan tanpa adanya batas waktu dan tidak dapat habis dikarenakan energi tersebut dapat pulih dalam waktu singkat. Menurut undang-undang nomor 30 tahun tentang energi, pengertian energi terbarukan tercantum pada Pasal 1 Ayat (6), yakni sumber energi yang dihasilkan

dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi energi baru terbarukan yang sangat melimpah hal tersebut bisa terjadi dikarenakan pengaruh besar dari letak astronomis dan geografis negara Indonesia. Potensi sumber energi terbarukan yang terkandung di Indonesia seperti energi panas bumi, surya, air, laut, bioenergi. Indonesia terletak di garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis, mayoritas daerah-daerah di Indonesia senantiasa disinari terik matahari. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut turut sebagai berikut, untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di kawasan barat Indonesia sekitar 4,5 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan kawasan timur Indonesia sekitar 5,1 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, dengan demikian potensi penyinaran matahari di Indonesia rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan sekitar 9% hal tersebut menandakan bahwa energi surya di Indonesia tersebar secara merata.

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar dan beragam, seperti sinar matahari, angin, panas bumi, dan pembangkit listrik tenaga air sehingga Pemerintah mengajak masyarakat untuk melakukan transisi ke energi terbarukan melalui program, insentif, dan kampanye yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, dan meningkatkan kemandirian energi dan mengharapkan bauran energi telah mencapai 23% di tahun 2025. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini mencoba untuk mengkaji bagaimana upaya yang bisa dilakukan untuk mendukung target bauran energi terbarukan di tahun 2025.

Beberapa penelitian terdahulu yang telah membahas terkait penggunaan energi terbarukan yang relevan dengan penelitian ini sebagai berikut:

Tiga perangkat lunak populer yaitu PV*SOL, PVsyst, dan SAM digunakan untuk tujuan simulasi dalam penelitian Al Mehadi (2020), parameter yang diambil untuk simulasi ditabulasikan. Dengan memanfaatkan parameter ini, ketelitian simulasi dilakukan dan profil bulanan diperoleh dari masing-masing perangkat lunak. Namun, masing-masing perangkat lunak menunjukkan hasil yang cukup menjanjikan dalam hal produksi energi yang ditabulasikan. Hal ini diamati bahwa hasil maksimum diperoleh selama bulan Maret karena radiasi horizontal global yang tinggi. Namun, hasil terendah adalah pada bulan Juni ketika radiasi rendah karena langit mendung dan hujan, yang menunjukkan bahwa PV*SOL sebagai *software* analisis data untuk PLTS dengan data yang akurat dan mudah digunakan.

Dalam penelitian perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) rooftop *grid-connected* pada gedung pemerintah yang dilakukan oleh Rahmad (2016) yang mana penelitian ini menghasilkan perancangan dan analisis teknis serta ekonomi PLTS atap (*rooftop*) yang terhubung *on-grid*, dengan kapasitas pembangkit 288,4 Wp, listrik yang dapat dikirim pada jaringan PLN sebesar 405,4 MWh per tahunnya. Dengan spesifikasi pembangkit yakni *losses* sebesar 20% rasio performa 80% faktor kapasitas sebesar 16,4% , sistem pembangkit ini memiliki luas atap sebesar 2840 m².

Berdasarkan penelitian terdahulu perancangan PLTS dilakukan berdasarkan kapasitas dan luas atap saja yang dimanfaatkan pada bangunan Pemerintahan dan skala rumah tangga, dan penelitian yang paling mendekati dengan penelitian ini adalah penelitian yang berjudul perancangan PLTS rooftop *grid-connected* pada bangunan Pemerintahan dengan menggunakan *software* retscreen oleh Rahmad (2016). Namun yang membedakan pada penelitian kali ini peneliti melakukan analisis teknis dan ekonomis pada atap perumahan, kemudian dibuat perancangan dilakukan menggunakan *software* PV*SOL.

2.2 Teknologi Fotovoltaik

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batubara, dan minyak bumi.

Cahaya matahari terdiri atas foton atau partikel energi surya, dimana foton inilah yang dikonversi menjadi energi listrik. Foton-foton mengandung energi yang bervariasi menurut panjang gelombangnya. Energi foton yang diserap oleh sel surya diserahkan sebagian atau seluruhnya kepada elektron di dalam sel surya. Dengan adanya energi baru ini maka elektron mampu lepas dari posisi normalnya terhadap atom sehingga menjadi arus dalam suatu sirkuit listrik.

Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batubara.

Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar. Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa aplikasi energi surya adalah:

1. Pencahayaan bertenaga surya;
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan;
3. Desalinisasi dan desinfektifikasi;
4. Untuk memasak, dengan menggunakan kompor tenaga surya.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh Pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar. Fotovoltaik atau model surya merupakan kumpulan sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel dengan tujuan tegangan dan arus yang dihasilkan meningkat sehingga dapat digunakan sebagai sistem catu daya beban (Gultom, 2015). Kumpulan fotovoltaik disebut dengan modul fotovoltaik, dan untuk dapat membuat modul fotovoltaik dapat menggunakan teknologi kristal atau thin film.

Sel surya fotovoltaik pada dasarnya merupakan dioda semikonduktor yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik dalam proses tidak seimbang. Saat sel surya berada dalam proses tidak seimbang, tegangan yang dihasilkan sebesar 0,5 Volt dan besar tegangan tersebut bergantung pada intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Tingkat daya guna konversi energi radiasi ke energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik hanya mencapai 25% sedangkan besar intensitas energi sinar matahari yang sampai ke Bumi hanya sekitar 1000 Watt, sehingga besar konversi energi radiasi ke energi listrik yang dihasilkan sel surya hanya dapat mencapai 25% dari 100 Watt yaitu 250 Watt (Bachtiar, 2006).

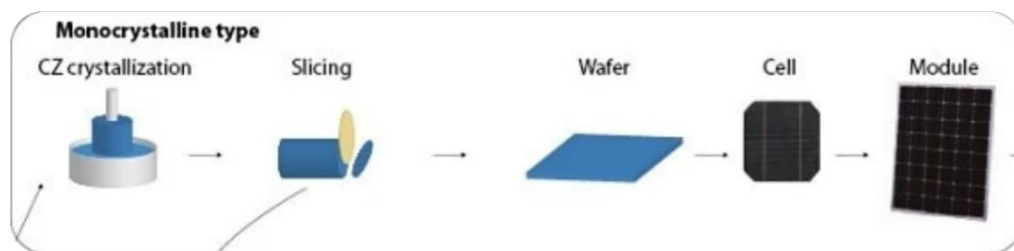
Sistem energi surya fotovoltaik (SESF) merupakan salah satu sumber penyediaan energi alternatif yang dapat digunakan secara massal meskipun jika dibandingkan dengan energi listrik konvensional, SESF ini membutuhkan biaya yang lebih mahal, lebih rumit, dan susah dioperasikan. Namun pada prakteknya, penggunaan sistem energi surya fotovoltaik terbilang mudah dan tidak memakan biaya yang cukup mahal. Suatu sistem energi surya fotovoltaik (SESF) memiliki komponen-komponen yang terdiri dari sel fotovoltaik, *balance of system* seperti *controller* dan inverter, unit penyimpanan energi, dan peralatan yang menunjang lainnya (Yandri, 2012). Besar arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya ketika modul surya membentuk sudut hasilnya lebih besar daripada arus yang dihasilkan oleh modul surya saat modul surya dalam posisi tegak lurus. Hal tersebut terjadi karena radiasi yang ditangkap modul surya dalam posisi membentuk sudut lebih besar daripada saat dalam posisi tegak lurus dan hubungan besar radiasi dengan

arus listrik adalah berbanding lurus. Begitu juga dengan daya keluaran, daya keluaran yang dihasilkan modul surya dalam posisi membentuk sudut lebih besar daripada daya keluaran modul surya dalam posisi tegak lurus (Ramadhan, 2016).

2.3 Jenis Sel Surya

Penelitian dilakukan dengan membandingkan beberapa jenis sel surya yang bertujuan untuk mengetahui jenis sel surya mana yang dapat bekerja paling optimal untuk dipasang pada atap perumahan, jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi dan bahan pembuatannya, berikut beberapa jenis sel surya:

2.3.1. *Monocrystalline*



Gambar 1 Panel surya *monocrystalline*

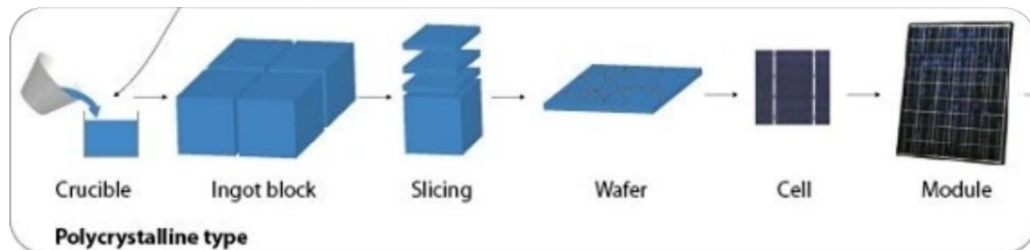
Sumber: <https://www.nature.com/articles/am201082/figures/2>

Panel surya jenis sel *monocrystalline* ini dibuat dari kristal silikon yang melalui proses *crystal-growth* dengan tingkat kesulitan tinggi yang kemudian diiris tipis sehingga menghasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain yang mempunyai ketebalan sekitar 0,2 - 0,4 mm dengan tingkat kemurnian 99,99%, modul surya jenis ini merupakan yang tertinggi dari segi efisiensi dengan kisaran 15% - 20% karena alasan inilah jenis sel surya ini digunakan dalam penelitian ini, panel surya ini dapat dikenali dengan ciri setiap selnya yang berbentuk segi enam atau bulat tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya. Kekurangan dari jenis panel surya yang satu ini adalah harganya yang cukup mahal dibanding jenis modul surya yang lain karena menggunakan kristal silikon murni yang diproses

dengan teknologi tingkat tinggi dan tidak dapat menangkap sinar matahari yang baik saat cuaca mendung atau kurangnya sinar matahari.

2.3.2. *Polycrystalline*

Panel surya jenis *Polycrystalline* atau bisa disebut multikristalin merupakan panel surya yang terdiri dari sel yang tidak sepenuhnya berbahan kristal silikon murni karena pada proses pembuatannya baik itu pada proses kimiawi ataupun metalurgi akan dicampurkan dengan senyawa lain. Karena tidak menggunakan silikon murni maka efisiensi pada modul surya *polycrystalline* ini lebih rendah daripada modul surya *monocrystalline* yaitu sekitar 13% - 15% akan tetapi dari segi harga maka modul surya *polycrystalline* ini lebih ekonomis dibandingkan dengan modul surya *monocrystalline* karena proses fabrikasi yang lebih mudah dan saat ini jenis modul surya ini yang paling banyak digunakan karena alasan inilah jenis sel surya ini digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2 Panel surya polikristalin

Sumber : <https://www.nature.com/articles/am201082/figures/2>

2.3.3. *Thin film*

Sesuai dengan namanya jenis modul surya yang satu ini merupakan modul surya yang terbuat dari kristal silikon yang dipotong tipis hingga 10 μm karena ukurannya yang tipis membuat *thin film photovoltaic* ini menjadi sangat ringan dan fleksibel serta jenis sel surya ini dapat bekerja dengan baik dalam kondisi yang minim penyinaran matahari sehingga jenis sel surya ini juga digunakan pada penelitian ini mengingat pada daerah lokasi penelitian yaitu Gowa memiliki curah

hujan yang cukup tinggi , modul surya yang satu ini umumnya dibuat dari 3 jenis material yang berbeda satu sama lain yaitu:

1. *Amorphous silicon (a-si) solar cells*



Gambar 3 Panel surya *thin film*

Sumber : <http://www.box-panellistrik.com>

Teknologi *Amorphous Silicon* ini merupakan yang tertua dari semua teknologi film yang ada, dengan menggunakan teknik pembuatan yang disebut *stacking* (susun lapis) yang mana lembaran potongan *Amorphous Silicon* ini akan disusun beberapa lapis sehingga membentuk sel surya yang diharapkan akan memberikan efisiensi yang baik, pada thin film berbahan *Amorphous Silicon* ini pernah tercatat memiliki efisiensi hingga 13,6% namun rata ratanya hanya 5% - 8%. Jenis thin film ini sering digunakan pada kalkulator dan jam tangan.

2. *Cadmium telluride (CdTe) solar cells*

Kadmium tellurida (CdTe) adalah teknologi surya film tipis yang paling umum digunakan. Jenis sel surya ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Amorphous Silicon* yaitu sekitar 9% - 11% saja.

3. *Copper indium gallium selenide (CIGS) solar cells*

Dibandingkan kedua jenis sel surya *thin film* di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe.

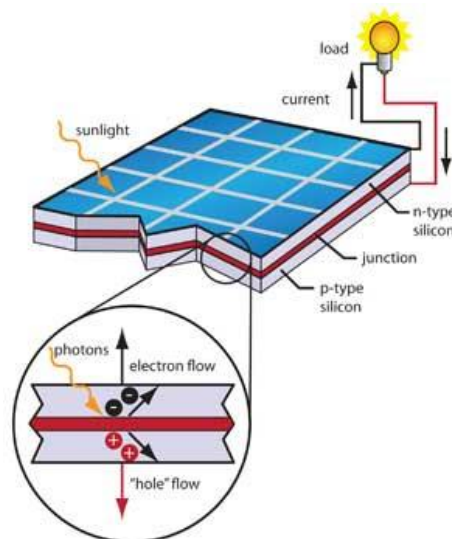
Tabel 1 Perbandingan karakteristik tiap jenis modul PV

Jenis modul PV	Karakteristik			
	Efisiensi	Performa pada suhu optimal	Suhu optimal	Harga
Monocrystalline	15-20%	10-15% drop	Berkinerja baik pada cuaca dingin, tetapi buruk pada kondisi panas ekstrem	Jenis crystalline silicon yang paling mahal
Polycrystalline	13-15%	20% drop	Berkinerja baik pada cuaca dingin, tetapi buruk pada kondisi panas ekstrem	Jenis crystalline silicon yang paling murah
CdTe	9-11%	0% drop	Berkinerja baik pada cuaca panas, bahkan pada kondisi panas yang ekstrim	Lebih murah dari crystalline silicon. Jenis thin film yang memiliki biaya paling efektif.
CIGS	10-12%	0% drop	Berkinerja baik pada cuaca panas, bahkan pada kondisi panas yang ekstrim	Lebih murah dari jenis crystalline silicon
Amorphous	5-8%	0% drop	Berkinerja baik pada cuaca panas, bahkan pada kondisi panas yang ekstrim	Lebih murah dari jenis crystalline silicon

Sumber: (Hussin dkk., 2018)

2.4 PLTS

PLTS merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi matahari dengan mengadopsi teknologi fotovoltaik. Secara jelas berdasarkan SNI 8395:2017, PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya (USAID, 2020). Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya (Setiawan, 2014). Gambar berikut menjelaskan bagaimana cara kerja sel surya.



Gambar 4 Cara kerja sel surya

Sumber : <https://climatekids.nasa.gov/sun-people/>

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. Dengan kondisi penyinaran matahari di Indonesia yang terletak di daerah tropis dan berada di garis khatulistiwa, PLTS menjadi salah satu teknologi penyediaan tenaga listrik yang potensial untuk diaplikasikan. PLTS merupakan teknologi yang ramah lingkungan dan mengolah sumber energi terbarukan yaitu Matahari, dan lebih diminati karena dapat digunakan untuk keperluan apa saja dan di mana saja baik itu bangunan besar,

pabrik, perumahan, daerah terpencil dan lainnya. Selain persediaannya tanpa batas, tenaga surya nyaris tanpa dampak buruk terhadap lingkungan dibandingkan bahan bakar lainnya. Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang luas dan perkembangan tiap daerah serta sumber daya alam yang tidak merata, sehingga PLTS merupakan salah satu alternatif yang diminati.

2.4.1 Jenis sistem PLTS

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi beberapa bagian yaitu:

1. Stand alone photovoltaic

Sistem tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*). *Stand alone* PV sistem atau sistem pembangkit listrik tenaga surya terpusat (PLTS-Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS sistem terpusat disebut juga *Stand alone* PV sistem yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan.

2. Grid connected photovoltaic sistem

Sistem PLTS terhubung jaringan (*on-grid-connected PV plant*) merupakan solusi energi hijau bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (*Photovoltaic Module*) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya, *Grid Connected-PV*, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Pada siang hari, modul

surya yang terpasang pada atap akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut *grid-inverter* merubah listrik arus searah (DC) dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga seperti lampu, TV, kulkas, mesin cuci, dll. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN (tergantung kebijakan). Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disuplai oleh jaringan PLN.

3. *Grid connected photovoltaic sistem with battery backup*

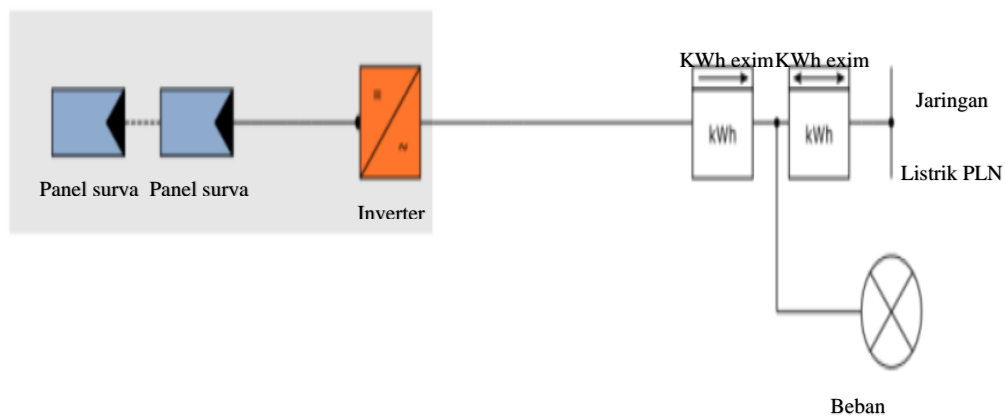
Grid-connected PV with battery backup adalah solusi energi hijau untuk penduduk perkotaan baik perumahan, perkantoran, atau fasilitas publik. Sistem ini menggunakan modul surya (*Photovoltaic Module*) sebagai penghasil listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik PLN dan sekaligus turut andil dalam penyelamatan lingkungan dengan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik. Sistem ini juga berfungsi sebagai *backup* energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.

4. *Hybrid photovoltaic sistem*

Pengertian *hybrid* ini adalah penggabungan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *captive genset*, sehingga diperoleh energi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis (keandalan sistem suplai). Tujuan utama dari sistem hibrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit)

sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan suplai dan efisiensi ekonomis pada tipe load (*load profile*) tertentu. Tipe load (*load profile*) adalah *keyword* penting dalam sistem hibrid. Untuk setiap load profile yang berbeda, akan diperlukan sistem hibrid dengan komposisi tertentu, agar dapat dicapai sistem yang optimum. Oleh karenanya, sistem desain dan sistem *sizing* memegang peranan penting untuk mencapai target dibuatnya sistem hibrid. Sistem hibrid dapat melibatkan dua atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hibrid adalah genset, PLTS, mikrohidro, tenaga angin. Sehingga sistem hibrid bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS- tenaga angin dst. Indonesia telah menerapkan sistem hybrid, baik PLTS-Genset, PLTS- Mikrohidro, maupun PLTS-Tenaga Angin-Mikro Hidro.

2.5 Konfigurasi Sistem PLTS Atap



Gambar 5 Konfigurasi sistem plts atap

Sumber : PV*SOL

Penjelasan mekanisme sistem PLTS atap adalah sebagai berikut:

1. Panel surya mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus listrik DC.
2. Arus DC diubah oleh inverter menjadi listrik AC.
3. Arus AC masuk ke jaringan listrik di dalam rumah melalui AC breaker panel.

4. Pemakaian energi listrik untuk penerangan atau peralatan elektronik rumah tangga.
5. Penggunaan kWh meter ekspor impor (exim) dengan menggunakan sistem net metering.
6. Meter exim akan membaca ekspor listrik dari pelanggan PLTS ke jaringan PLN, dan membaca impor listrik dari jaringan PLN ke pelanggan PLTS.

2.6 Software PV*SOL

PV*SOL merupakan perangkat lunak keluaran *Valentin Software*, yang merupakan *software* simulasi dalam bidang energi terbarukan yang dimanfaatkan untuk simulasi sebuah sistem pada PV baik itu *off-grid* maupun *on-grid*. Dalam *software* ini disajikan informasi mengenai perkiraan tentang PV yang akan dibangun seperti memprediksikan daya yang mampu diproduksi oleh suatu sistem PV selama satu tahun, penyebab dan jumlah kerugian daya pada sistem PV bahkan bisa memperkirakan pengembalian finansial atau ROI dari sistem PV yang sudah di bangun. PV*SOL memiliki berbagai fitur dalam berbagai jenis skema rangkaian PV. PV*SOL menawarkan fitur simulasi *shading* 3D, analisis finansial, dan dokumen laporan.

Sebelum mendapatkan hasil data dari simulasi, maka terlebih dahulu harus memenuhi parameter-parameter yang disediakan oleh PV*SOL, Berikut adalah parameter-parameter yang harus diisi pada proyek penelitian kali ini.

A. Data input

Secara garis besar pada bagian ini ada 4 jenis data yang harus diinput yaitu: nama proyek, nomor kuotasi, kontak personal dan tanggal mulai. Pada bagian data sistem lokasi, data yang dimasukkan adalah data lokasi rencana pemasangan PLTS. Data proyek pelanggan merupakan data yang dimasukan tentang pelanggan yang meminta dibuatkan proyeknya. Selain itu juga dapat memasukan data deskripsi proyek dan proyek foto.

B. *Climate, grid* dan tipe sistem

Pada bagian data iklim, *grid* and tipe sistem, *software* mengharuskan pengguna untuk mengisi data lokasi dimana proyek akan dibangun, pengisian lokasi juga dilengkapi dengan data latitude dan longitude. Selain data klimasi pengguna juga diharuskan untuk memilih salah satu sistem *grid* yang akan digunakan pada simulasi.

Pada simulasi yang akan dilakukan *software* memberikan beberapa pilihan sistem *grid* yang bisa disimulasikan untuk mendapatkan hasil gambaran sistem yang diinginkan. Adapun sistem yang bisa dipilih untuk disimulasikan yaitu *Grid connected full-feed in*, *grid connected electrical appliances*, dan *grid connected with electrical appliances* and baterai sistem. Dari beberapa sistem *grid* tersebut pengguna bisa memilih salah satu untuk simulasi atau memilih ketiganya dengan cara mensimulasikan satu per satu untuk mendapatkan gambaran sistem secara menyeluruh.

C. Konsumsi

Pada bagian ini data *consumption* ada 3 pilihan dalam memasukkan data untuk melengkapi simulasi diantaranya:

Port load profiles

Pada pilihan yang pertama, untuk melengkapi simulasi dapat memasukan data dengan memasukkan data yang sudah ada. Data yang dimasukkan adalah data yang disediakan oleh PV*SOL untuk mempermudah peneliti dalam melakukan simulasi, data tersebut adalah data yang relevan dan umum dalam penggunaan sistem PV.

Define load profiles

Pada pilihan yang kedua, memasukkan data beban berdasarkan persentase pemakaian beban per jam dari total beban yang digunakan. Berdasarkan persentase

tersebut *software* akan mengkalkulasikan penggunaan beban setelah memasukan data yang dibutuhkan dalam satu tahun.

Define load Appliances

Pada pilihan ini data konsumsi beban yang dimasukan adalah beban berdasarkan kebutuhan per komponen, karena pada bagian ini *software* tidak menyediakan data untuk meng-input beban selama perjam, dengan kata lain beban yang digunakan hidup selama 24 jam.

D. Kabel

Ukuran dan jenis kabel dianggap berpengaruh dalam program PV*SOL karena, kabel memiliki resistansi. Pada bagian ini peneliti bisa memilih 2 pilihan dalam menentukan kabel yang digunakan, yang pertama memasukan jenis kabel yang digunakan secara detail.

E. Desain

Bagian 3 design adalah untuk mendesain atau merencanakan pemasangan array sesuai dengan rencana pemasangan PLTS atau tata letak array yang akan dibangun. Visualisasi 3D dapat menghitung hingga 5.000 modul PV dalam sebuah proyek. Modul surya bisa ditempatkan secara otomatis pada atap ataupun melakukan pemasangan secara manual. Benda yang menyebabkan *shading* seperti atap (bangunan/bagian dari bangunan), pohon atau gedung-gedung di sekitarnya, perhitungan *shading* juga dapat memperhitungkan *shading* antar modul. Hal ini memungkinkan keputusan awal untuk mencapai daerah atap atau lokasi yang tepat untuk dibahas. Melalui visualisasi dalam mode 3D, pengguna disediakan dengan informasi tentang jalur yang sebenarnya dari bayang-bayang selama sehari dalam satu tahun. Dalam simulasi 3D ini, *software* menyediakan komponen-komponen PLTS seperti modul surya dan inverter (dari berbagai perusahaan penyedia modul peralatan sistem PV) dan juga objek-objek pendukung untuk melakukan simulasi yang lain seperti bangunan (rumah dan dinding) dan pohon.

F. Diagram

Pada bagian ini PV*SOL menampilkan diagram sistem PLTS yang dipilih secara keseluruhan. Hal ini berguna untuk memberikan informasi pada pengguna mengenai sistem yang akan digunakan dan disimulasikan pada proyek yang sedang dikerjakan. Diagram yang ditampilkan adalah urutan sistem komponen PLTS yang digunakan pada simulasi.

G. Analisis keuangan

Analisis keuangan terdiri dari beberapa halaman yaitu parameter umum, pendapatan dan belanja, pembiayaan dan pajak. Keempat parameter tersebut tidak mempengaruhi perhitungan hasil produksi pada PLTS, pengisian parameter pada finansial analisis bertujuan untuk mendapatkan gambaran *cash flow* dari pembangunan suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan memperkirakan kapan terjadi pengembalian modal tentunya berdasarkan parameter-parameter yang dimasukkan dan berdasarkan simulasi *software*. Akan tetapi, yang perlu diperhatikan dalam memasukkan parameter-parameter pada finansial analisis adalah semua jumlah harus dimasukkan sebagai jumlah bersih. Namun, jika memasukkan jumlah kotor, maka harus memastikan bahwa semuanya jumlah kotor.

2.7 Menentukan Kapasitas Sistem PLTS

Kebutuhan kapasitas (kWp) panel surya ditentukan oleh besar energi (kWh) yang dibutuhkan beban dalam satu periode dan tingkat radiasi matahari di lokasi. Beberapa faktor dapat mempengaruhi efisiensi panel seperti temperatur, koneksi kabel, inverter dan lain-lain, sehingga secara praktek hasil perhitungan yang diperoleh dikoreksi dengan faktor derating yang umumnya sekitar 0,67%. Sedangkan Sesuai dengan Pasal 5 Ayat 1, Peraturan Menteri ESDM No.49/2018, disebutkan bahwa “Kapasitas sistem inverter PLTS atap dibatasi paling tinggi 100% (seratus persen) dari daya tersambung pelanggan PT.PLN (Persero)”.

Daya yang digunakan pada perumahan adalah 5000 VA dengan adanya peraturan Menteri ESDM yang membatasi pemasangan sebanyak 100% daya terpasang dan untuk inverter yang ada saat ini yang paling kompatibel dengan daya rumah yang terpasang serta peraturan Menteri ESDM maka inverter yang digunakan.

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya perlunya mengetahui luasan rencana akan di bangunnya pembangkit listrik. Sebelum menentukan komponen lainnya, hal utama adalah menentukan luas supaya mendapatkan penyusunan array yang tepat dan tidak memakan tempat yang berlebihan, maka dengan persamaan luas array modul surya dapat ditentukan (Noor, 2021).

2.8 Kondisi geografis ideal pemasangan PLTS

Atap dan Kondisi geografis yang baik untuk pemasangan PLTS atap adalah dengan memperhatikan beberapa faktor, yang mana data data tersebut telah diperoleh melalui *global solar atlas* yang merupakan penyedia informasi tentang sumber daya surya dan potensi tenaga fotovoltaik secara global. Ini menampilkan alat peta interaktif secara daring, kalkulator daya fotovoltaik yang disederhanakan.

Tabel 2 Map data lokasi penelitian melalui global solar atlas

Map data	Jumlah	Satuan
Direct normal irradiation	1459.2	kWh/m ²
Global horizontal irradiation	1854.3	kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	804.8	kWh/m ²
Air temperature	27.4	°C

Sumber: Global solar atlas (2023)

Beberapa faktor geografis yang perlu diperhatikan saat memasang PLTS atap di daerah tropis agar mendapatkan hasil yang optimal antara lain:

1. Intensitas radiasi matahari: Wilayah tropis memiliki intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun. Namun, menurut jurnal ini, pada periode tertentu seperti musim hujan atau ketika cuaca mendung, efisiensi PLTS dapat menurun. Oleh karena itu, penting untuk memilih panel surya yang dirancang untuk menangani kondisi cuaca yang buruk.
2. *Global horizontal irradiation (GHI)*: Meliput total radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi dalam satu waktu tertentu, termasuk radiasi langsung dan radiasi difus. GHI mencakup semua radiasi yang diterima oleh permukaan Bumi, termasuk yang berasal dari arah datang Matahari maupun yang dipantulkan oleh awan dan partikel lain di atmosfer sedangkan untuk GHI yang optimal berkisar antara 1700 hingga 2000 kWh/m², dan pada data yang ditampilkan oleh *global solar atlas* menunjukkan 1854,3 kWh/m² per tahun.
3. *Direct normal irradiation*: Merupakan jumlah radiasi matahari yang langsung menerima panel surya, dan dalam hal ini, memiliki nilai 1.459,2 kWh/m² per tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut memiliki cukup radiasi matahari untuk memastikan produksi energi yang optimal.
4. *Diffuse horizontal irradiation*: Merupakan radiasi matahari yang diserap oleh permukaan Bumi secara difus, yaitu radiasi yang berasal dari Matahari yang telah dipantulkan atau diserap oleh awan, partikel atmosfer, dan refleksi permukaan tanah. DHI merupakan komponen radiasi matahari yang diterima oleh permukaan Bumi secara tidak langsung, dan besar dari DHI ini pada lokasi penelitian adalah 804,8 kWh/m² per tahun menurut data dari *global solar atlas*, semakin rendah radiasi difus pada suatu wilayah maka panel surya akan bekerja lebih optimal, karena radiasi difus dapat menurunkan produktivitas dan efisiensi panel surya.
5. Pengelolaan panas: Wilayah tropis cenderung memiliki suhu yang tinggi. Dan pada lokasi penelitian dapat terlihat dari data yang diperoleh melalui situs NASA

maupun *global solar atlas* yang menunjukkan bahwa temperatur pada lokasi penelitian rata-rata pertahun adalah 27,35 °C - 27,40 °C. Menurut jurnal ini, pengelolaan panas pada panel surya menjadi faktor penting untuk mempertahankan efisiensi PLTS. Salah satu solusi yang disarankan adalah memasang panel surya dengan celah udara di bawahnya untuk mengurangi panas, maka dari itu panel surya akan menggunakan mounting agar udara dapat mengalir dibawahnya sehingga panas yang diterima panel akan berkurang sehingga kinerja panel akan maksimal.

6. Kemiringan dan orientasi atap: Kemiringan dan orientasi atap harus dipertimbangkan secara tepat karena keduanya berpengaruh pada efisiensi PLTS. Menurut jurnal ini, untuk daerah tropis yang terletak di bawah garis khatulistiwa, kemiringan atap sekitar 10° - 15° ke arah utara atau selatan dan orientasi sekitar 5° ke arah barat merupakan kombinasi yang optimal, akan tetapi pada atap yang digunakan untuk pemasangan panel surya memiliki kemiringan 45° serta sisi atap yang memungkinkan untuk dipasang panel surya memiliki orientasi arah 99° arah timur dan 279° arah barat.

2.9 Mounting panel surya

Pemasangan panel surya pada atap rumah yang miring membutuhkan mounting (rak penyangga) karena beberapa alasan berikut:

1. Memastikan keamanan panel surya: Dalam kondisi angin kencang atau badai, panel surya yang tidak terpasang dengan baik pada atap rumah yang miring dapat menjadi berbahaya bagi keselamatan orang dan benda-benda di sekitarnya. Dengan mounting, panel surya dapat dipasang dengan kuat dan stabil pada atap rumah, sehingga dapat menahan beban angin dan hujan.
2. Adanya sirkulasi udara: Suhu panas yang berlebih dapat mengurangi efisiensi kinerja dari panel surya, sehingga dengan adanya mounting pada panel surya akan memunculkan celah di antara panel dan atap rumah untuk dapat dilalui oleh

udara sehingga panel surya dapat didinginkan oleh udara yang melewati celah tersebut.

3. Mencegah kerusakan atap: Pemasangan panel surya langsung pada atap dapat merusak lapisan atap dan membuatnya bocor. Dengan mounting, panel surya dapat dipasang dengan aman dan tidak akan merusak atap.
4. Memudahkan perawatan: Dengan mounting, panel surya dapat dipasang pada sudut yang memudahkan akses untuk membersihkan dan merawat panel surya secara berkala. Oleh karena itu, mounting sangat diperlukan saat pemasangan panel surya pada atap rumah yang miring untuk memastikan keamanan, meningkatkan efisiensi, mencegah kerusakan atap, dan memudahkan perawatan panel surya.