JREEC
JOURNAL RENEWABLE ENERGY ELECTRONICS AND CONTROL
homepage URL : https://ejurnal.itats.ac.id/jreec

Desain dan Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid* pada CV. Sinar Gemilang

Mohammad Adli Setiawan[1], Riny Sulistyowati[2], dan Wildan Agung Pambudi[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal JREEC – Volume 2
Nomer 02, Oktober 2022

Halaman:
50 – 65
Tanggal Terbit :
30 Oktober 2022

DOI:
10.31284/j.JREEC.2022.v2i1.3777

EMAIL

riny.971073@itats.ac.id
wildanpambudi.wp@gmail.com

PENERBIT

Jurusan Teknik Elektro-ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

Jurnal JREEC by Department of Elecreical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRACT

Indonesia is a tropical area with abundant sunlight, but over time the population of Indonesia is increasing. Due to the increasing population of Indonesia, the consumption of electrical energy is also increasing. In this study to design a Solar Power Plant system connected to the electricity grid using HelioScope simulation at CV. Sinar Gemilang to analyze the feasibility in terms of cost. From the results of the analysis, it is found that the initial investment cost required for the Solar Power Generation system is Rp. 835.557.218,56 and operating and maintenance cost of Rp. 12.533.358,28. Meanwhile, the energy cost (COE) is Rp. 1.366,55/kWh for a Solar Power Plant is cheaper than using PLN which is Rp. 2.354,38/kWh.

Kata kunci: *Solar Panels, HelioScope, On-Grid*

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah tropis dengan sinar matahari yang melimpah, namun dengan seiringnya berjalannya waktu jumlah penduduk Indonesia semakin bertambah. Karena semakin bertambahnya jumlah penduduk Indonesia tersebut, maka konsumsi energi listrikpun maenjadi meningkat. Pada penelitian ini untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang terhubung dengan jaringan listrik menggunakan simulasi HelioScope pada CV Sinar Gemilang untuk menganalisa kelayakan dari sebi biaya. Dari hasil analisa, didapatkan biaya investasi awal yang dibutuhkan untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebesar Rp. 835.557.218,56 dan biaya operasi pemeliharaan sebesar Rp. 12.533.358,28. Sedangkan biaya energi (COE) sebesar Rp. 1.366,55/kWh untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya lebih murah dibandingkan menggunakan PLN yang sebesar Rp. 2.354,38/kWh.

Kata kunci: *Panel Surya, HelioScope, On-Grid*

PENDAHULUAN

Energi memegang peranan yang sangat penting dalam perekonomian, baik sebagai bahan bakar maupun sebagai komoditas ekspor. Konsumsi energi meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan energi, energi fosil dan energi terbarukan perlu dikembangkan. Saat ini, bahan bakar fosil, khususnya minyak bumi, jumlahnya terbatas dan sumber energi alternatif perlu dikembangkan. Selain itu, penerapan subsidi harga energi akan mengurangi efisiensi energi berbagai industry dalam jangka Panjang. Hal ini juga terlihat dari intensitas energi yang tinggi. Saat ini belum ada sumber energi yang efisien, sehingga penggunaan sumber energi alternatif menjadi tidak efisien [1].

Banyak orang telah membuat berbagai peneuman tentang tenaga listrik karena kemajuan teknologi pada waktu itu. Listrik saat ini merupakan salah satu aspek terpenting dalam kehidupan manusia. Rata-rata, sebagian besar sumber energi listrik dapat diperoleh dengan transformasi energi dari fosil, gas alam, dan minyak bumi. Namun, penggunaan sumber energi tersebut memiliki beberapa kelemahan, antara lain penipisan sumber daya alam yang digunakan untuk energi listrik [2].

Sumber energi yang tidak terbatas adalah matahari, yang juga dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Ini berarti ketersediaannya tinggi di bumi, terutama di daerah khatulistiwa seperti Indonesia. Salah satu cara pemanfaatan energi matahari untuk energi listrik adalah dengan memanfaatkan panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik (Photovoltaic) [2]. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dengan mengubah intensitas cahaya matahari, khususnya intensitas cahaya matahari, sel surya dapat menghasilkan listrik untuk konsumsi manusia. Alasan pemilihan sumber energi terbarukan ini adalah energi matahari yang diterima dari permukaan mencapai 3x1024 Joule per tahun [3].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari, yang diubah menjadi listrik melalui panel Photovoltaic. Hal ini menjadikan PLTS sebagai pembangkit energi terbarukan yang termasuk dalan green energy sehingga lebih efisien, efektif dan andal untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu daerah, dan Indonesia merupakan daerah tropis, sehingga PLTS dianggap cocok jika dikembangkan dan diterapkan secara serius di Industri [4-14]. Oleh karena itu, penyediaan energi matahari dari energi matahari dapat digunakan sebagai pengganti energi listrik tambahan di Industri.

CV. Sinar Gemilang adalah perusahaan yang bergerak di bidang General Suppliers dan Contractors yang melayani perusahaan menengah dan besar atau yang dikenal dengan istilah penyediaan jasa konstruksi, merupakan salah satu bidang usaha yang memberikan jasa pelaksanaan dalam bidang pembangunan. CV Sinar Gemilang saat ini focus pada General Contractors, Suppliers, Publication, Workshop, Acrylic dan Advertising. Tujuan daripada CV Sinar Gemilang adalah menjadi pilihan pertama bagi mitra bisnisnya dengan memberikan kontribusi kepada setiap kliennya, melampaui apa yang mereka berikan, melalui pelayanan khususnya secara professional dan penuh integritas.

Ada banyak alat listrik yang membutuhkan konsumsi daya yang cukuup besar. Diantaranya adalah mesin bor / Drill Press yang membutuhkan daya 750 Watt dengan lama pemakaian 3 jam maka konsumsi energinya adalah 2.250 Wh. Hand Bor yang membutuhkan daya 500 W dengan jumlahnya sebanyak 2 buah dan lama pemakaiannya adalah 3 jam maka konsumsi energinya adalah 3.000 Wh. Gerinda yang membutuhkan daya 300 W dengan jumlahnya sebanyak 4 buah dan lama pemakaiannya 6 jam maka konsumsi energinya adalah 7.200 Wh. Mesin Poles Duduk yang membuthkan daya 550 W dengan lama pemakaiannya 2 jam maka konsumsi energinya adalah 1.100 Wh. Cutting Wheel yang membutuhkan daya 2.000 W dengan lama pemakaiannya 2 jam maka konsumsi energinya adalah 4.000 Wh. Kompresor Besar yang membutuhkan daya sebesar 2.000 W dengan jumlahnya sebanyak 2 buah dan lama pemakaiannya 2 jam maka konsumsi energinya adalah 8.000 Wh. Kompresor Kecil yang membuthkan daya 750 W dengan lama pemakaiannya 2 jam maka konsumsi energinya adalah 1.500 Wh. Mesin Las Besar yang membuthkan daya 1.800 W dengan jumlahnya sebanyak 2 buah dan lama pemakaiannya 2 jam maka konsumsi energinya adalah 7.200 Wh. Mesin Las Kecil yang membutuhkan daya 1.300 W dengan lama pemakaiannya 3 jam maka konsumsi energinya adalah 3.900 Wh. Mesin Poles yang membutuhkan daya 800 W dengan lama pemakaiannya 3 jam maka konsumsi energinya adalah 2.400 Wh. Vacuum Cleaner yang membuthkan daya sebesar 600 W dengan lama pemakaiannya 3 jam maka konsumsi energinya adalah 1.800 Wh. Mesin Laser yang membutuhkan daya sebesar 3.200 W dengan lama pemakaiannya 8 jam maka konsumsi energinya adalah 25.600 Wh. Jika ditambahkan semua maka total konsumsi daya yang digunakan pada CV. Sinar Gemilang adalah 67.950 Wh.

Dengan total konsumsi daya yang diguankan di CV. Sinar Gemilang yaitu sebesar 67.950 Wh ini akan mempengaruhi jumlah pembayaran tagihan listrik yang dialami oleh CV Sinar Gemilang. Misalnya pada bulan April jumlah pembayaran tagihan listrik yang harus dibayar adalah sebesar Rp. 210.540 kemudian pada bulan Mei meningkat menjadi Rp. 240.740 selanjutnya pada bulan Juni naik lagi mencapai 233.240. Tempat penelitian penulis memiliki sinar matahari yang

cukup untuk menerangi panel surya, dan karena panel surya tidak memerlukan bahan bakar fosil (minyak bumi) sebagai sumber energi dibandingkan dengan diesel (generator set), pilihan untuk menggunakan panel surya karena lebih ramah lingkungan.

Maka dari itu penulis bermaksud melakukan penelitian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di CV Sinar Gemilang yang diharapkan mampu mengganti sebagian energi yang ada di CV. Sinar Gemilang.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Pada bagian ini, dijelaskan mengenai pengumpulan semua data yang didapatkan selama observasi dan melakukan analisa dari data. Data yang dikumpulan adalah konsumsi daya yang dibutuhkan dan tagihan listrik per bulan.

Tabel 1. Data Beban Peralatan pada CV Sinar Gemilang

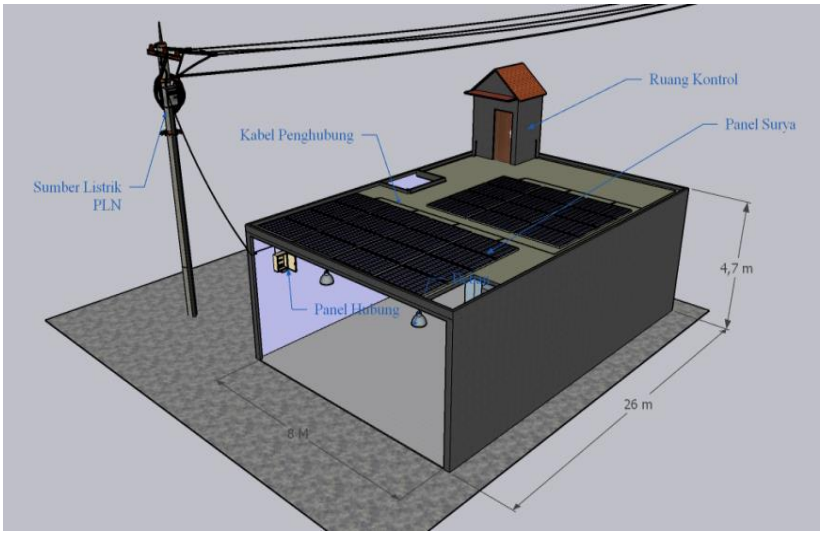
Nama Alat	Jumlah	Daya	Total Daya
Bor / Dril Pres	1	750 W	750 W
Hand Bor	2	500 W	1.000 W
Grinda	4	300 W	1.200 W
Mesin Poles Duduk	1	550 W	550 W
Cutting Wheel	1	2000 W	2.000 W
Kompresor Besar	2	2000 W	4.000 W
Kompresor Kecil	1	750 W	750 W
Mesin Las Besar	2	1800 W	3.600 W
Mesin Las Kecil	1	1300 W	1.300 W
Mesin Poles	1	800 W	800 W
Vacum Cleaner	1	600 W	600 W
Mesin Laser	1	3200 W	3.200 W
		Total Daya Keseluruhan	**19.750 W**

Tabel 2. Biaya Pembayaran Listrik Tiap Bulan

Bulan	Tahun	Jumlah
November	2020	Rp 119.790
Desember	2020	Rp 121.000
Januari	2021	Rp 136.730
Februari	2021	Rp 98.010
Maret	2021	Rp 119.790
April	2021	Rp 210.540
Mei	2021	Rp 240.740
	Rata-Rata Per Bulan	**Rp. 159.980**

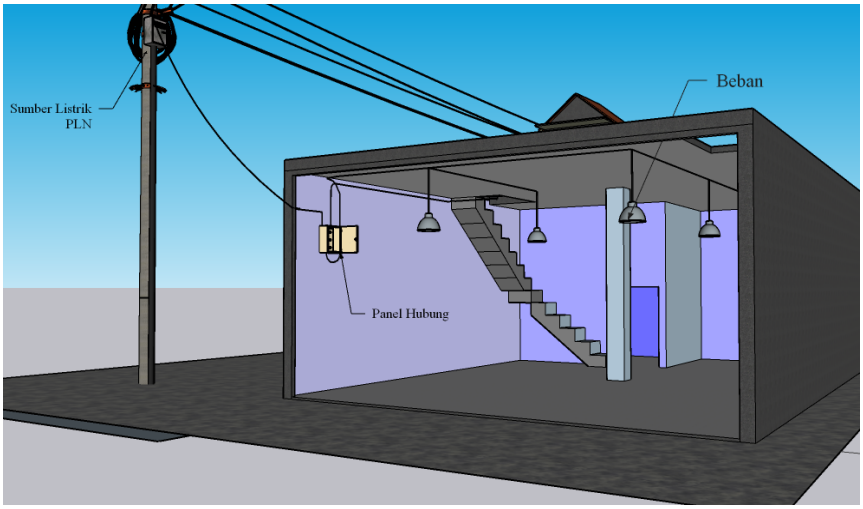
Perancangan Desain

Pembuatan desain pada penempatan panel surya pada tahapan ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui berapa banyak panel surya yang mampu diletakkan pada atap bengkel CV Sinar Gemilang.



Gambar 1. Desain Rooftop

Pada Gambar 1 dapat diketahui terdapat beberapa komponen. Yang pertama yaitu panel surya, disini panel surya merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk menyerap energi matahari yang selanjutnya akan diubah menjadi energi listrik, listrik yang dihasilkan dari panel surya berupa listrik DC. Yang kedua ada ruangan kontrol. Listrik yang dihasilkan dari panel surya kemudian akan disalurkan ke dalam ruangan kontrol menggunakan kabel penghubung. Di dalam ruangan kontrol tersebut terdapat alat-alat yang dapat digunakan untuk mengolah energi listrik yang dihasilkan dari panel surya. Termasuk baterai beserta solar charge controller dan juga inverter terdapat pada ruang kontrol tersebut. Selanjutnya yang ketiga ada panel hubung. Output keluaran dari ruang kontrol akan disalurkan ke panel hubung.



Gambar 2. Desain Dalam Ruangan

Pada Gambar 2, panel hubung berfungsi sebagai tempat penerima suplai daya dari dua sumber yaitu sumber dari panel surya dan sumber dari listrik PLN. Jadi pada panel hubung kita dapat mengontrol listrik mana yang akan kita gunakan. Yang terakhir ada beban. Beban yang dimaksud

adalah peralatan listrik yang memerlukan suplai daya dari energi listrik. Termasuk lampu, lampu merupakan peralatan listrik yang memerlukan suplai daya listrik untuk menghidupkan lampu tersebut.

Perhitungan PSH

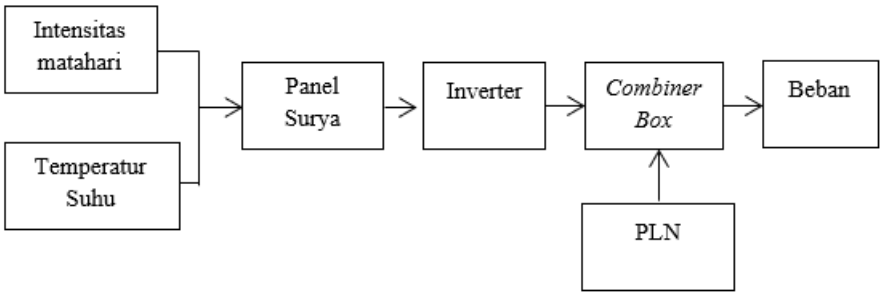
Dalam bagian ini dilakukan perhitungan Peak Sun Hour (PSH) dengan menggunakan persamaan berikut;

$$PSH = \frac{(Rata - Rata\ Radiasi)}{(Insulasi\ Standar)}$$

Dalam penentuan nilai Peak Sun Hour (PSH), dapat dilakukan perhitungan dimana nilai radiasi matahari rata-rata dibagi dengan nilai insulasi standar dimana nilai tersebut sebesar 1 kW/m^2.

Struktur Sistem

Struktur dari sistem akan dijelaskan secara rinci dalam diagram blok pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram Perancangan Sistem

Panel surya merupakan komponen utama dimana fungsi dari panel surya adalah untuk menyerap energi dari matahari yang akan diubah menjadi energi listrik. Pada penelitian ini penulis menggunakan sistem On-Grid, jadi baterai digunakan hanya sebagai Back-Up saja.

Dalam Combiner Box terdapat dua tegangan yang masuk, yang pertama yaitu tegangan dari inverter yang sumber tegangannya berasal dari panel surya. Yang kedua yaitu tegangan yang berasal dari sumber listrik PLN. Combiner Box akan berfungsi untuk mengatur tegangan yang diperlukan dalam hal ini yang dimaksud adalah, ketika pada saat siang hari dimana keadaan panel surya masih tersinari oleh matahari panel akan dihubungkan ke panel surya. Dikarenakan pada waktu siang hari panel surya dapat dijadikan sumber energi listrik dimana energi listrik yang dibangkitkan oleh panel surya dapat dijadikan sebagai energi listrik pengganti suplai listrik dari PLN. Kemudian pada saat malam hari, panel akan menghubungkan ke suplai energi yang berasal dari sumber PLN. Pada saat malam hari panel surya sudah tidak dapat bekerja, dikarenakan pada saat malam hari panel surya tidak mendapat pancaran sinar matahari, yang menyebabkan panel surya tidak dapat menghasilkan energi listrik.

Perencanaan Biaya

Pada saat menentukan rancangan biaya dilakukan dengan beberapa cara, berikut ini merupakan langkah-langka menentukan biaya PLTS yang akan digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Menghitung luas area yang akan digunakan sebagai tempat PV
2. Menghitung kebutuhan daya yang akan dikonsumsi
3. Menentukan jumlah PV yang akan digunakan
4. Menghitung daya yang akan dibangkitkan oleh PV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Pemakaian Beban

Setelah mendapatkan data yang diinginkan seperti spesifikasi peralatan dan penggunaan beban, maka dapat dihitung kebutuhan beban seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data Pemakaian Beban pada CV Sinar Gemilang

Beban	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Lama Pemakaian (H)	Konsumsi Energi (Wh)
Bor / Dril Pres	750	1	750	3	2.250
Hand Bor	500	2	1.000	3	3.000
Grinda	300	4	1.200	6	7.200
Mesin Poles Duduk	550	1	550	2	1.100
Cutting Wheel	2.000	1	2.000	2	4.000
Kompresor Besar	2.000	2	4.000	2	8.000
Kompresor Kecil	750	1	750	2	1.500
Mesin Las Besar	1.800	2	3.600	2	7.200
Mesin Las Kecil	1.300	1	1.300	3	3.900
Mesin Poles	800	1	800	3	2.400
Vacum Cleaner	600	1	600	3	1.800
Mesin Laser	3200	1	3.200	8	25.600
		Total	19.750	67.950 Wh = 67,95 kWh	

Biaya Energi PLN

Dalam penentuan uji kelayakan sebagai pembanding terdapat juga data biaya yang dikeluarkan oleh CV Sinar Gemilang per bulannya pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Biaya Tagihan Listrik Per Bulan CV Sinar Gemilang

Bulan	Tahun	Jumlah
November	2020	Rp 119.790
Desember	2020	Rp 121.000
Januari	2021	Rp 136.730
Februari	2021	Rp 98.010
Maret	2021	Rp 119.790
April	2021	Rp 210.540
Mei	2021	Rp 240.740
	Rata-Rata Per Bulan	**Rp. 159.980**

Dengan total beban perbulan 67,95 kWh maka dapat dihitung biaya per kWh dengan menggunakan persamaan berikut

$$Harga\ Per\ kWH\ (PLN) = \frac{159{,}980}{67{,}95} = Rp.2.345{,}38\ per\ kWh$$

Radiasi Matahari dan Temperatur

Dalam pencarian data radiasi dan temperature dapat diperoleh melalui penyimpanan data yang didukung online update yaitu menggunakan Surface Meterology and Solar Energy atau disingkat SMSE dari NASA. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut

Tabel 5. Radiasi Matahari

Bulan	Intensitas Matahari (kWh/m^2)
Januari	1,56
Februari	3,20
Maret	5,55
April	5,85
Mei	6,55
Juni	5,21
Juli	7,10
Agustus	6,25
September	4,84
Oktober	3,25
November	1,18
Desember	1,73
Rata-Rata	4,36

Berdasarkan Tabel 5 diatas diketahui bahwa rata-rata potensi radiasi matahari sebesar 4,26 kWh/m2 per hari, dimana untuk potensi radiasi matahari tertinggi berada pada bulan Juli yaitu sebesar 7,10 kWh/m2 sedangkan radiasi matahari terendah berada dibulan November yaitu sebesar 1,18 kWh/m2.

Tabel 6. Radiasi Matahari dan Temperatur

Bulan	Intensitas Matahari (kWh/m^2)	Temperatur (^{O}C)
Januari	1,56	25,3
Februari	3,20	26,3
Maret	5,55	30,2
April	5,85	31,0
Mei	6,55	31,3
Juni	5,21	30,0

Juli	7,10	31,4
Agustus	6,25	31,1
September	4,84	28,3
Oktober	3,25	26,5
November	1,18	24,7
Desember	1,73	25,8
Rata-rata	**4,36**	**29,83**

Pada data diatas terdapat suhu tertinggi pada suhu 31,4 derajat Celsui pada bulan Juli dan terendah 24,7 pada bulan November. Jika panel surya tersebut bekerja diatas suhu 25 derajat Celsius maka akan berkurang 0,5% setiap perubahan suhunya. Maka nilai kenaikan suhu sebesar 6,4 menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat suhu di sekitar panel mengalami kenaikan derajat Celsius dari suhu standar menggunakan persamaan berikut.

$$P\ saat\ t\ naik\ °C = 0{,}5\%\ per\ °C \times PMPP \times \Delta t$$

Dimana

$P\ saat\ t\ naik\ °C$: Daya pada saat suhu naik derajat Celsius dari suhu standar
$PMPP$: Daya keluaran maksimal modul surya
Δt : Kenaikan suhu

$$P\ saat\ t\ naik\ 6{,}4°C = 0{,}5\%\ per\ °C \times 600\ Watt \times 600\ Watt \times 6{,}4\ °C = 19{,}2\ Watt$$

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu naik menjadi t derajat Celsius dari suhu standar dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$PMPP\ saat\ naik\ menjadi\ 6{,}4\ °C = PMPP - P\ saat\ t\ naik\ °C$$
$$PMPP\ saat\ naik\ menjadi\ 6{,}4\ °C = 600\ Watt - 19{,}2\ Watt$$
$$PMPP\ saat\ naik\ menjadi\ 6{,}4\ °C = 580{,}8\ Watt$$

PMPP saat t naik menjadi t derajat Celsius adalah dyaa keluaran maksimum panel surya pada saat suhu di sekitar panel naik menjadi t derajat Celsius dari suhu standar. Faktor koreksi temperature (Temperature Correction Factor) dihitungn dengan menggunakna rumusan berikut:

$$TCF = PMPP\ saat\ naik\ menjadi\ t\ °C : PMPP$$
$$TCF = 580{,}8 : 600 = 0{,}97$$

Dalam penentuan nilai Peak Sun Hour (PSH), dapat dilakukan perhitungan dimana nilai radiasi matahari rata-rata dibagi dengan nilai insulasi standard dimana nilai tersebut sebesar 1 kW/m2, sehingga didapat nilai menggunakan persamaan berikut

$$PSH = \frac{Rata - Rata\ Insulasi}{Insulasi\ Standard}$$
$$PSH = \frac{4{,}26\ kWh/m^2}{1\ kW/m^2}$$
$$PSH = 4{,}36\ Hours$$

Perhitungan terhadap Peak Sun Hour (PSH) ini untuk mengetahui lamanya penyinaran matahari maksimum (dalam jam) per hari terhadap standar intensitas radiasi matahari. Dimana PSH sangat penting sebagai pedoman untuk melakukan PLTS kapan akan mendapatkan Earn Back the Original Investment Point (BEP) dari investasi PLTS. Maka lamanya waktu radiasi matahari efektif digunakan dalam sehari pada penelitian ini adalah 4,36 jam.

Perhitungan Kapasitas PLTS

Dalam mempermudah analisa kebutuhan dan kelayakan modul solar yang dibutuhkan perlunya penentuan komponen utama dalam sistem PLTS. Spesifikasi Panel Surya ditunjukkan pada Tabel 7 berikut

Tabel 7. Spesifikasi Panel Surya Trina Solar, TSM-DE20-600W

ELECTRICAL DATA	
Open Circuit Voltage (Voc/V)	41,5 V
Short Circuit Current (Isc/A)	18,52 A
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	34,4 V
Current at Maximum Power (Imp/A)	7,44 A
Modul Efficiency (%)	21,2%
MECHANICAL DATA	
Dimensions (L x W x D / mm)	2172 x 1303 x 35 mm
Area (m^2)	2,26 m^2
Weight (kg)	30,9 kg

Perhitungan Seri dan Paralel Modul Surya

Untuk mengetahui tegangan dan arus input DC dari modul surya yang ditransfer ke inverter maka harus menentukan konfigurasi seri-paralel modul surya dalam perencanaan PLTS. Adapun jumlah modul yang dibutuhkan untuk CV Sinar Gemilang berjumlah 20 modul dengan perhitungan kapasitas PLTS sebagai berikut

$$Kapasitas\ PLTS = Kapasitas\ Panel\ Surya \times Jumlah\ Modul\ Surya$$
$$Kapasitas\ PLTS = 600\ Watt \times 20\ Modul = 12.000\ Wp$$

Panel Surya diatur Seri dan Paralel seperti berikut

a. Rangkaian Seri Minimal diperoleh dengan persamaan berikut

$$Minimal\ Modul\ Seri\ Per-String = \frac{V_{mins}\ Inverter}{V_{oc}\ Modul} = \frac{200}{41{,}5} = 4{,}82 \approx 5$$

b. Rangkaian Seri Maksimal diperoleh dengan persamaan berikut

$$Maksimal\ Modul\ Per-String = \frac{V_{maks}\ Inverter}{V_{oc}\ Modul} = \frac{1100}{34{,}4} = 31{,}98 \approx 32$$

c. Rangkaian Paralel diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut

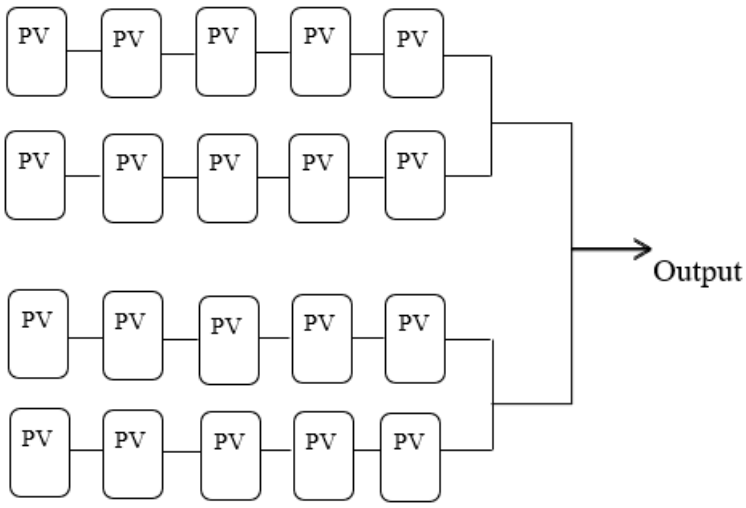
$$Modul\ Paralel\ Per-String = \frac{V_{maks}\ Power\ Current\ Input}{V_{maks}\ Power\ Current} = \frac{22}{7{,}44} = 2{,}96 \approx 3$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dengan jumlah modul surya 20 modul terdiri dari 2 array yang dapat disusun dengan 5 modul seri dengan 2 modul parallel tiap Array. Maka diperoleh perhitungan arus dan tegangan totalnya pada keluaran modul surya sebagai berikut

$$Besar\ Arus = Maximum\ Power\ Current \times Jumlah\ Parallel\ Panel$$
$$Besar\ Arus = 7{,}44\ A \times 2\ Unit = 14{,}88\ A$$

$$Besar\ Tegangan = Maximum\ Power\ Voltage \times Jumlah\ Seri\ Panel\ Surya$$
$$Besar\ Tegangan = 34{,}4\ V \times 5\ Unit = 172\ V$$

Jadi dapat disimpulkan untuk besaran arus dalam 2 string 14,88 A dan nilai tegangan dalam satu string yang terdapat pada 5 modul surya adalah 172 Volt dengan spesifikasi Inverter Maksimum Input Voltage 1100 Volt dan nilai Maximum Input Current sebesar 22 A.



Gambar 4. Rangkaian Modul Surya 2 Array 5 Seri 2 Paralel

Energi Yang Dihasilkan

Radiasi yang dihasilkan oleh sinar matahari tidak sepenuhnya diterima oleh modul surya. Hal ini dipengaruhi oleh losses yang ada pada panel surya, losses pada inverter dan komponen pendukung PLTS lainnya.

Tabel 8. Losses Panel Surya

Daya Modul Surya	**600 Wp**	
Jenis Losses	***Besar Nilai Losses***	***Daya***
Losses Kotoran (debu, kotoran hewan dsb)	4%	24 Wp
Losses temperatur modul (monocrystalline)	2%	12 Wp
Losses level radiasi matahari	2%	12 Wp
Losses kabel penghatar	3%	9 Wp
Total Losses	57 Wp	
Total Daya Output Modul Surya	600 – 57 = 543 Wp	

Berdasarkan table perhitungan losses di atas, maka energi yang dihasilkan modul surya pada saat PSH (Peak Sun Hour) 4,36 jam menggunakan persamaan berikut

$$P\left(Besar\ Energi\ yang\ Dihasilkan\right) = P\ modul \times Jumlah\ Modul \times PSH$$
$$P\left(Besar\ Energi\ yang\ Dihasilkan\right) = 543\ Wp \times 20 \times 4{,}36\ Hours$$
$$P\left(Besar\ Energi\ yang\ Dihasilkan\right) = 47.349{,}6\ Wh = 47{,}35\ kWh$$

Besar energi yang dihasilkan oleh modul surya sebesar 47,35 kWh. Energi tersebut kemudian menuju inverter dimana inverter memiliki konsumsi energi dengan efisiensi Inverter 98,7% dan Loses kabel penghantar diasumsikan 3% (0,97). Total energi keluarannya dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_{out}\ PLTS = P_{Modul\ Surya} \times Efisiensi \times Loses\ Kabel$$
$$P_{out}\ PLTS = 47{,}35\ kWh \times 0{,}987 \times 0{,}97 = 45{,}33\ kWh$$

Pada Tabel 3 tertera bahwa rata-rata konsumsi perhari adalah 67,95 kWh. Maka persentasi suplai sistem PLTS ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\%Supply\ PLTS = \frac{Energi\ Output\ PLTS}{Rata - Rata\ Pemakaian\ Energi\ Harian} \times 100\%$$
$$\%Supply\ PLtS = \frac{45{,}33\ kWh}{67{,}95\ kWh} \times 100\% = 66{,}71\%$$

Maka didapat Energy Yields per tahun dengan menggunakan persamaan berikut

$$Energy\ Yields = P_{out}\ PLTS \times 365\ Hari \times PSH$$
$$Energy\ Yields = 45{,}33\ kWh \times 365 \times 4{,}36 = 72.138{,}162\ kWh$$

Perhitungan kebutuhan baterai yang akan digunakan dengan asumsi pertimbangan dapat melayani kebutuhan 3 hari tanpa sinar matahari. Kebutuhan baterai minimum (Baterai hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik), dengan demikian kebutuhan daya dikalikan dua (2) kali. Diketahui output beban yang dihasilkan 45,33 kWh, maka dengan persamaan berikut dihitung kebutuhan baterai

$$45{,}33 \times 3\ hari \times 2\ kali = 271{,}98\ kWh = 271.980\ Wh$$

$$Kebutuhan\ Baterai = \frac{271.980}{12\ V} = 22{,}665\ Baterai \approx 23\ Baterai$$

Tabel 9. Besaran Energi Output Panel Surya yang Dihasilkan

Modul Surya	Daya Modul	Total Loses	Energi yang dihasilkan	Efisiensi	Energi Output
Trina Solar, TSM-DE 20	600 W	57 W	47,35 kWh	2,02 kWh	45,33 kWh

Biaya Investasi Awal PLTS

Untuk membangun sistem pada PLTS pada Rooftop CV Sinar Gemilang diperlukan biaya-biaya yang meliputi biaya komponen, biaya pengiriman serta biaya pemasangan. Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12 berikut menunjukkan besarnya biaya investasi, sedangkan Tabel 13 adalah Total Keseluruhan Biaya Investasi beserta biaya lain-lain.

Tabel 10. Tabel Biaya Investasi Komponen Utama

Komponen	Tipe	Jumlah	Unit	Harga/pcs (Rp)	Total (Rp)
Panel Solar Trina Solar 600W	TSM-DE20-600W	20	Pcs	Rp 2.173.822,50	Rp 43.476.450,00
Inventer Huawei 50Kw	SUN2000-50KTL-M0	1	Pcs	Rp79.706.825,00	Rp 79.706.825,00

Tabel 11. Tabel Biaya Investasi Komponen Pendukung

Komponen	Jumlah	Unit	Harga/pcs (Rp)	Total (Rp)
Alumunium Rail Mounting System	20	Set	Rp 530.000,00	Rp 10.600.000,00
Baterrai 12DCV 1000AH	23	Pcs	Rp 7.700.000,00	Rp 177.100.000,00
Combiner Box PV String	1	Pcs	Rp 3.945.008,03	Rp 3.945.008,03
MCCB Schneider 3P 100A	2	Pcs	Rp 2.900.000,00	Rp 5.800.000,00
MCB DC 3P 32A	8	Pcs	Rp 280.000,00	Rp 2.240.000,00
Surge Arrester Schneider 3P	1	Pcs	Rp 1.930.400,00	Rp 1.930.400,00
CT 500/5A	3	Pcs	Rp 95.000,00	Rp 285.000,00
kWH Meter Huawei DTSU666-H	1	Pcs	Rp 2.790.000,00	Rp 2.790.000,00

Tabel 12. Tabel Biaya Investasi Kabel dan Sambungan

Komponen	Jumlah	Unit	Harga/pcs (Rp)	Total (Rp)
Supreme NYY 4x6 sqmm (Inventer to AC Combox)	150	Meter	Rp 75.000,00	Rp 11.250.000,00
Supreme NYY 4x25 sqmm (AC Combox to Distribution Panel)	100	Meter	Rp 175.000,00	Rp 17.500.000,00
MC4-Connector	20	Pair	Rp 25.000,00	Rp 500.000,00
Equipment Grounding	1	Set	Rp 6.000.000,00	Rp 6.000.000,00
Installation Accessories	1	Set	Rp 32.500.000,00	Rp 32.500.000,00

Tabel 13. Tabel Biaya Keseluruhan Investasi dan Biaya Lain-Lain

Biaya Pengiriman,Pajak dan Lain-lain	Rp 363.973.788,39
Total	Rp 759.597.471,42
Contingency Plan PPN (+10%)	Rp 75.959.747,14
Total Keseluruhan	Rp 835.557.218,56

Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan umumnya dilakukan setahun sekali dengan besaran antara 1% sampai dengan 2% dari total biaya investasi awal. Dari penelitian ini mengambil besaran biaya operasional dan pemeliharaan sebesar 1,5% maka dengan menggunakan persamaan berikut dihitung biayanya.

$$A\left(Biaya\ Pemeliharaan\right) = 1{,}5\% \times Total\ Biaya\ Investasi\ Awal$$
$$A\left(Biaya\ Pemeliharaan\right) = 1{,}5\% \times Rp.835.557.218{,}56 = Rp.12.533.358{,}28$$

Aspek Biaya

1. ***Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)***

   Biaya siklus hidup PLTS dalam rencanan ini ditentukan oleh nilai sekarang dari total biaya sistem PLTS. Ini termasuk biaya investasi awal, biaya operasi dan pemeliharaan. PlTS yang dirancang dalam penelitian ini diharapkan dapat berfungsi selama 25 tahun. Keputusan tentang umur proyek didasarkan pada garansi dari produsen modul surya. Suku bunga yang digunakan untuk menghitung Present Value dalam survey ini adalah 9,16%. (Bank umum bulan Februari 2022 menggunakan jenis pinjaman modal). Dengan menggunakan persamaan berikut maka diperoleh hasil dari perhitungan.

$$MPW = A\left[\frac{\left(1-i\right)^{n}-1}{i\left(1+i\right)^{n}}\right]$$

Dengan
A = Rp. 12.533.358,28
i = 9,16%=0,0916
n =25 Tahun

Maka

$$MPW = 12.533.358,28 \times \left[\frac{(1+0,0916)^{25}-1}{0,0916(1+0,0916)^{25}}\right] = Rp.121.530.846,55$$

Berikut adalah perhitungan biaya siklus hidup (Life Cycle Cost) dengan menggunakan persamaan berikut untuk sistemPLTS selama 25 tahun.

$$LCC = C + MPW$$
$$LCC = 835.557.218,56 + 121.530.846,55 = 957.088.065,11$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui biaya siklus hidup (Life Cycle Cost) sistem PLTS ini selama 25 tahun sebesar Rp. 957.088.065,11

2. ***Cost of Energy***

Untuk perhitungan biaya energi (COE) ditentukan dengan biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) serta kWh produksi pertahun. Sebelumnya perlu menghitung faktor pemulihan modal (CRF), berikut perhitungannya.

$$CRF = \left[\frac{i(1+i)^{n}}{(1+i)^{n}-1}\right]$$

Dengan
i = 9,16%=0,0916
n =25

Maka

$$CRF = \left[\frac{0,0916(1+0,0916)^{25}}{(1+0,0916)^{25}-1}\right] = 0,103$$

Diketahui Yields per tahun adalah 72.138,162 kWh, dalam menggunakan sistem PLTS dengan perhitungan berikut

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A\ kWh}$$
$$COE = \frac{Rp.957.088.065,11 \times 0,103}{72.138,162} = Rp.1.366,55\ kWh$$

Sedangkan untuk menggunakan PLN :

$$COE = \frac{Rata - Rata\ Pembayaran\ Per - Bulan}{Beban\ kWh}$$
$$COD = \frac{Rp.159.980}{67,95} = Rp.2.354,38\ per\ kWh$$

Maka dapat disimpulkan untuk penggunaan PLTS lebih murah dibandingkan penggunaan PLN dilihat dari selisih harga per kWh dimana PLN lebih mahal 987,83 per kWh.

Perhitungan PV secara Manual

Terdapat total beban yang dibutuhakn yaitu 67.950 Watt namun perlu diingan bahwa energi PLtS tidak 100% dapat digunakan. Karena selama masa transmisi dari panel surya hingga pada akhir ke beban terdapat hingga 3% energi listrik yang hilang. Dengan perhitungan berikut didapat total daya

$$Total\ Daya = \frac{Total\ Beban}{97\%}$$

$$Total\ Daya = \frac{67.950}{97\%} = 70.051{,}55\ Watt$$

Di Indonesia proses Photovoltaic optimalnya hanya berlangsung 5 jam saja, sehingga untuk menghitung banyaknya panel surya yang digunakan dapat dengan menggunakan perhitungan berikut.

$$Panel\ Surya = \frac{Total\ Daya}{Waktu\ Optimal}$$

$$Panel\ Surya = \frac{70.051{,}55}{5\ jam} = 14.010{,}31\ Watt\ Peak$$

Jadi, untuk mendapatkan daya yang diinginkan, perlu menggunakan panel surya 14.010,31 Watt Peak dengan Loses panel surya 14% maka didapat kebutuhan yang sesunggunya yaitu

$$Daya\ yang\ dibutuhkan = 14.010{,}31 - \left(14\% \times 14.010{,}31\right) = 12.048{,}87\ Watt\ Peak$$

Namun, Panel Surya yang digunakan yaitu 600 WP. Sehingga didapat panel surya yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$Total\ Panel\ yang\ dibutuhkan = Daya\ Panel : Kapasitas\ Panel$$
$$Total\ Panel\ yang\ dibutuhkan = 12.048{,}87\ WP : 600\ WP = 20{,}08 \approx 20\ Panel$$

Tabel 14. Perbandingan Perhitungan Manual dan HelioScope

Kebutuhan Panel Surya	HelioScope	Manual
	20 Panel	20 Panel

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan PLTS pada Rooftop CV Sinar Gemilang menggunakan simulasi HelioScope, maka didapatkan kesimpulan. Perancangan sistem PLTS On-Grid pada Rooftop CV Sinar Gemilang dibantu menggunakan aplikasi HelioScope menghasilkan simulasi total panel sebanyak 20 panel surya jenis monocrystalline dengan memanfaatkan luas lahan yang tersedia dan menyesuaikan beban CV Sinar Gemilang. Modul surya terdiri dari 2 Array yang dapat disusun dengan 5 modul seri dengan 2 modul parallel tiap array, menghasilkan 45,33 kWh yang memenuhi 66,71% kebutuhan daya pada CV Sinar Gemilang. Harga per kWh menggunakan PLTS lebih murah yaitu Rp. 1.366,55 per kWh dibandingkan menggunakan PLN yaitu Rp. 2354,38 per kWh.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Rakhmadanu, G. Setyono, and A. A. Arifin, “Pengaruh Variasi Pendinginan Terhadap Peforma Photovoltaik Kapasitas 100 WP Ddngan Variasi Sudut Kemiringan 0°, 5° dan 10°,” p. 6, 2019.
[2] A. R. Mulyawan, “Analisa Potensi Energi Matahari Sebagai Sumber Penerangan Jalan Umum di Wonoayu,” p. 9, 2021.

[3] A. G. Hutajulu, M. R. Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Di Ecopark Ancol," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333.
[4] R. Sulistyowati and A. Fadholi, "Optimalisasi Panel Surya Untuk Skala Rumah Tangga," p. 10.
[5] A. Rachman, "Optimalisasi Teknologi Energi Surya Berbasis Penyesuaian Posisi Panel Bulanan Di Sulawesi Tenggara," *JurTek: Jurnal Teknologi FT UMJ*, vol.8, no.1, p.1, Jan.2016, doi: 10.24853/jurtek.8.1.1-8.
[6] S. Darma, "Analisa Perkiraan Kemampuan Daya Yang Dibutuhkan Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *Jurnal Ampere*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2017, doi: 10.31851/ampere.v2i1.1210.
[7] M. Naim and S. Wardoyo, "Rancangan Sistem Kelistrikan Plts On Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu Kecamatan Towuti," *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2017, doi: 10.33772/djitm.v8i2.2379.
[8] A. G. Hutajulu, M. R. Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid di Ecopark Ancol," *Tesla*, vol. 22, no. 1, p. 317714, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333. [9] M. Naim and S. Wardoyo, "Rancangan Sistem Kelistrikan Plts On Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu Kecamatan Towuti," *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2017, doi: 10.33772/djitm.v8i2.2379.
[9] "Simulasi Produksi Energi Listrik_proceeding SEMNAS 1 SNtekpan_Elieser Tarigan.pdf."
[10] H. Sujono, R. Sulistyowati, A. Safi'i, and C. Prianandа, "Photovoltaic farm with maximum power point tracker using hill Climbing algorithm," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, pp. 4167–4172, Jul. 2018.
[11] "Perencanaan dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Gedung D Fakultas Teknik Umsu," Thesis, 2019. Accessed: Mar. 15, 2021. [Online].Available:http://repositori.umsu.ac.id/xmlui/handle/123456789/7928
[12] "Perancangan Tenaga Surya Lampu Celup Bawah Air (LACUBA) Pada BaganApung-ITSRepository."https://123dok.com/document/zgl3j07q-perancangan-tenaga-surya-lampu-celup-bawah-lacuba-repository.html (accessed Mar. 15, 2021).
[13] Z. U. Bayrak, G. Bayrak, M. T. Ozdemir, M. T. Gencoglu, and M. Cebeci, "A low-cost power management system design for residential hydrogen & solar energy based power plants," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 29, pp. 12569–12581, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.01.093.
[14] Ciptian Wirried , Riny Sulistyowati, 2015 " Analisis dan Simulasi Metode Hill Climbing utuk Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Photovoltaic",SINTEKPAN.