

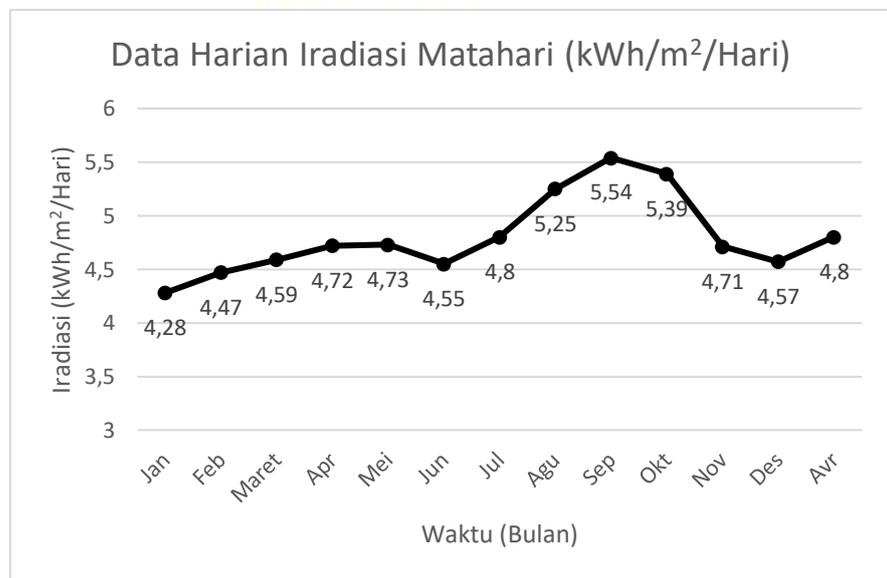
BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Data Lokasi Penelitian

1. Nilai Iradiasi Matahari dan Posisi Matahari

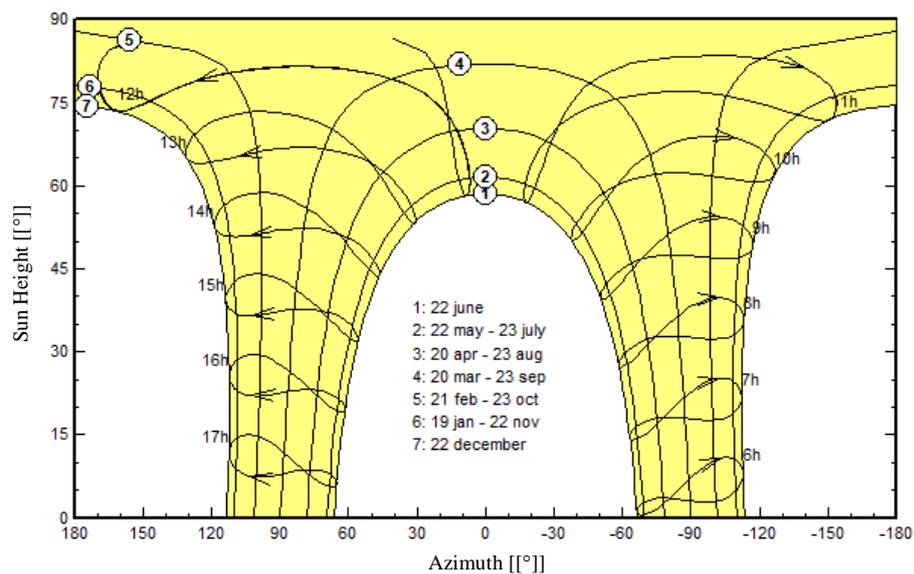
Nilai iradiasi matahari dan posisi matahari pada penelitian ini diperoleh dari database *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE) milik *National Aeronautic and Space Administration* (NASA). Untuk memperoleh data nilai iradiasi matahari dari SSE NASA tersebut diperlukan titik koordinat lokasi penelitian yang akan dipasang PLTS. Berikut adalah grafik nilai iradiasi matahari per harian satu bulan dalam setahun dan posisi matahari yang diperoleh dari *database* SSE NASA dengan titik koordinat lokasi yaitu *latitude* 7.89°N *longitude* 110.05°E dan *altitude* 17 meter:



Gambar 4.1 Grafik Data Iradiasi Matahari per Hari di Pantai Congot

(Sumber : NASA SSE)

Setelah mendapatkan nilai iradiasi pada lokasi yang akan dipasang PLTS maka selanjutnya yaitu mencari *sun path* dari lokasi penelitian guna mengetahui waktu yang optimal dalam menghasilkan nilai iradiasi dari matahari berdasarkan *sun height* dan *azimuth* dari lokasi yang telah ditentukan, yaitu Pantai Congot. Dibawah ini merupakan gambar *sun path* secara diagram kartesian dan secara 3 dimensi dari lokasi Pantai Congot.



Gambar 4.2 *Sun Path* di Daerah Pantai Congot

(Sumber : NASA SSE)

2. Jumlah Rumah dan Fasilitas Umum

Data dari jumlah rumah dan fasilitas umum yang terdapat di Pantai Congot, Desa Jangkar, Kecamatan Temon, Kulon Progo diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Kulon Progo dan laporan kependudukan Pemerintah Desa tahun 2018 yang diperoleh dari Kantor Kepala Desa Jangkar. Cakupan dari sistem pembangkit ini yakni jumlah bangunan rumah dan fasilitas umum yang berada di sekitar Pantai Congot. Jumlah rumah dan fasilitas

umum yang berada di sekitar daerah Pantai Congot dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jumlah Rumah dan Fasilitas Umum

No.	Jenis	Jumlah
1	Rumah Tangga	486
2	Fasilitas Umum (Pertokoan & Warung)	14

Sumber : BPS dan Pemerintah Desa Jangkar

Data diatas diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kulon Progo dan laporan kependudukan pemerintah desa Jangkar tahun 2018 dengan melakukan wawancara dengan pihak pemerintah setempat. Sistem ini akan direncanakan mencakup sejumlah 486 bangunan rumah serta 14 fasilitas umum seperti warung dan toko.

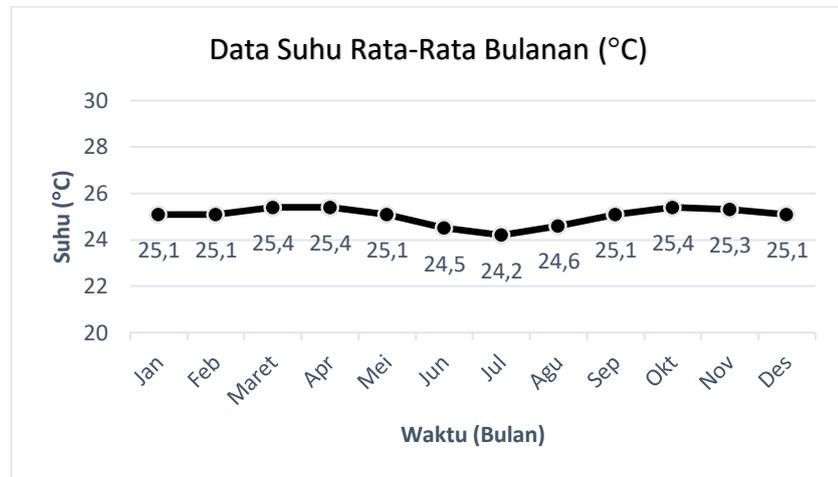
3. Suhu Lokasi

Data dari suhu lokasi berasal dari data database *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE) milik *National Aeronautic and Space Administration* (NASA). Data suhu ekstrim minimum, maksimum serta suhu rata-rata lokasi dari daerah Pantai Congot dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Suhu Ekstrim Sekitar Pantai Congot

No.	Jenis	Nilai
1	Suhu ekstrim minimum	20°
2	Suhu rata-rata	25°
3	Suhu ekstrim maksimum	33°

Sumber : NASA SSE



Gambar 4.3 Grafik Data Suhu Rata-Rata di Daerah Pantai Congot
(Sumber : NASA SSE)

Berdasarkan tabel 4.2 dan gambar 4.3 yang diperoleh dari NASA SSE diperoleh data nilai suhu ekstrim minimum sebesar 20°C, suhu rata-rata 25°C serta suhu ekstrim maksimum 35°C seperti yang terlihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.4. Pengambilan data suhu di daerah Pantai Congot sangat diperlukan karena suhu di daerah tersebut akan mempengaruhi nilai efisiensi dari panel surya nantinya. Apabila suhu dari daerah tersebut terlalu tinggi maka nilai efisiensi dari panel surya tersebut akan menurun.

4.1.2 Perhitungan Beban Energi Listrik

Pada penelitian ini, sistem pembangkit listrik tenaga surya yang digunakan untuk menyediakan daya listrik untuk daerah sekitar Pantai Congot, Desa Jangkar, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta yakni menggunakan sistem *off-grid*, maka perhitungan kuota energi listrik harus dilakukan secara tepat agar memperoleh nilai total kebutuhan beban yang sesuai. Dalam melakukan pemilihan kuota energi listrik dapat menggunakan standar SNI IEC 04-6394-2000 yang mengatur perihal *minimum daily energi services* yang dapat disuplai oleh sistem.

Untuk perhitungan beban energi listrik akan dibedakan menjadi 2 kelompok yang terdiri dari kelompok rumah tangga dan kelompok fasilitas umum pertokoan atau warung yang ada di daerah sekitar Pantai Congot. Data tersebut diperoleh dengan melakukan *survey* secara langsung pada lokasi dengan mengambil sampel 5 rumah dari keseluruhan yang ada di sekitar pantai dan mengambil 5 fasilitas umum pertokoan dan warung yang ada di sekitar pantai dari keseluruhan jumlah yang ada dengan menggunakan metode wawancara..

Peralatan listrik yang digunakan di rumah-rumah penduduk di daerah sekitar Pantai Congot pada umumnya relatif sederhana. Lampu penerangan, TV, pompa air, setrika, dan penanak nasi merupakan peralatan listrik yang sering dijumpai di rumah-rumah di daerah tersebut. Hasil *survey* rata-rata penggunaan peralatan listrik tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Beban Energi Listrik untuk Rumah Tangga

Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
Lampu 1	3	12	36	6	216
Lampu 2	1	10	10	12	120
TV	1	100	100	8	800
Setrika	1	300	300	1	300
Penanak Nasi	1	350	350	1	350
Pompa Air	1	250	250	3	750
Total			1.022		2.536

Beban energi listrik rumah tangga yang berada di sekitar daerah pantai Congot ini akan digunakan sebagai acuan untuk menghasilkan total daya dan kapasitas energi listrik setiap jamnya dalam satu hari yakni sebesar 1.022 W dan 2.286 Wh seperti yang terlihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.4 Beban Energi Listrik untuk Fasilitas Umum

Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
Lampu 1	2	10	20	8	160
Lampu 2	1	6	6	12	72
TV	1	100	100	8	800
Total			126		1.032

Sedangkan untuk energi listrik fasilitas umum yang berada di sekitar pantai Congot menghasilkan total daya dan energi listrik dalam satu hari yaitu sebesar 126 W dan 1.032 Wh seperti yang terlihat pada tabel 4.4.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Menentukan Nilai *Equal Sun Hours*

Menentukan nilai *equal sun hours* dilakukan untuk menentukan klasifikasi kelas iradiasi yang mengacu pada standar SNI IEC 04-6394-2000 agar dapat mengetahui lama waktu efektif matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem PLTS nantinya. Di bawah ini merupakan nilai rata-rata iradiasi di Pantai Congot yang diambil dari data NASA SSE.

Rata-rata = 4,8 kWh/m²/hari (kategori IIIa)

Range = nilai rata-rata – nilai terendah

$$4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} - 4,28 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} = 0,52 \text{ (kategori IIIa)}$$

Setelah melakukan perhitungan *range* ESH maka diperoleh hasil sebesar 0,52. Menurut kelas *range* ESH, maka nilai tersebut berada pada *range* < 1,5, sedangkan nilai rata-rata iradiasi di daerah Pantai Congot sebesar 4,8 kWh/m²/hari yang termasuk dalam kelas ESH

kategori IIIa (4,5 – 5,5). Dibawah ini merupakan tabel klasifikasi kelas ESH.

Tabel 4.5 Klasifikasi Kelas Iradiasi Berdasarkan SNI IEC 04-6394-2000

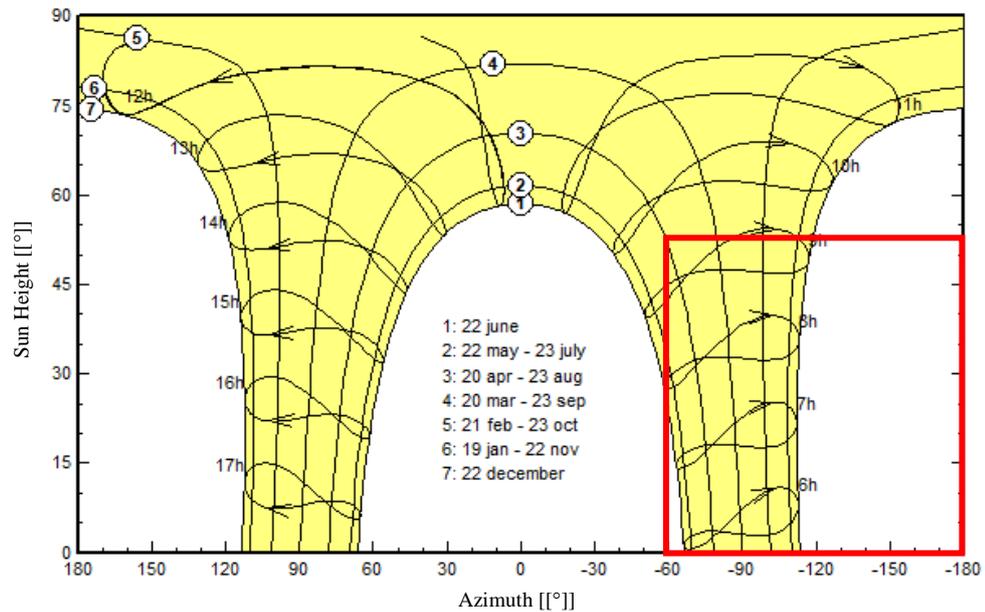
Kelas ESH	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IV
Rata-rata iradiasi	<4,5	<4,5	4,5-5,5	4,5-5,5	>5,5	>5,5
Range	>1,5	<1,5	>1,5	<1,5	>1,5	<1,5
Kelas iradiasi	3	4	4	5	5	6

Jadi kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem berdasarkan nilai yang didapatkan adalah kelas IIIa yaitu 5 jam seperti yang terlihat pada tabel 4.5.

4.2.2 Menentukan Sudut Posisi Matahari, Orientasi, serta Kemiringan

Dalam menentukan sudut posisi matahari, sudut kemiringan, serta orientasi panel dapat dilakukan dengan menggunakan *software* PVSYST dan *software* berbasis online yakni 3D Sun Path. Penentuan tersebut dilakukan agar dapat mengoptimalkan nilai iradiasi dari matahari yang akan berpengaruh dengan hasil output tegangan listrik yang akan dihasilkan dari panel surya tersebut.

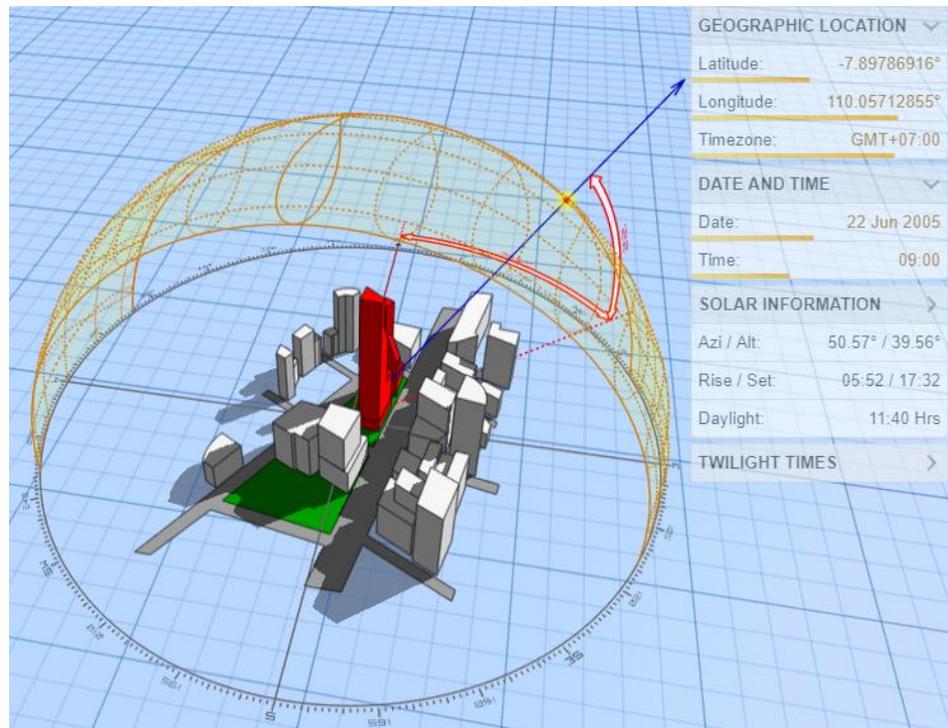
Menurut klasifikasi kelas ESH, maka daerah Pantai Congot termasuk dalam kategori IIIa yang memiliki waktu efektif matahari yakni selama 5 jam yang dimulai dari pukul 09.00 hingga pukul 14.00. Untuk menentukan sudut posisi matahari di daerah Pantai Congot dapat dilakukan dengan menggunakan gambar diagram kartesian dari Sun Path milik NASA SSE dan gambar 3D *Sun Path* milik Andrew Marsh. Berikut adalah gambar *Sun Path* milik NASA SSE untuk lokasi Pantai Congot, Desa Jangkar, Kecamatan Temon, Kulon Progo.



Gambar 4.4 Posisi Matahari pada Jam 9

(Sumber : NASA SSE)

Berdasarkan gambar 4.4 diatas, maka daerah yang bertanda garis merah merupakan posisi matahari pada saat pukul 09.00 di lokasi Pantai Congot. Sudut *azimuth* yaitu sudut kemiringan dari posisi matahari, sedangkan *sun height* yaitu ketinggian matahari pada saat pukul 09.00. penentuan posisi matahari dilakukan dengan mengambil data pada garis nomor 3 yang mempunyai rentang waktu 20 April – 23 Agustus. Dibawah ini merupakan tampilan waktu optimal dengan *software* berbasis online yaitu 3D Sun Path milik Andrew Marsh.



Gambar 4.5 Sun Path waktu mulai optimal dari pukul 09.00 WIB

(Sumber : <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>)

Berdasarkan pada gambar 4.4 diagram kartesian dan gambar 4.5 3D Sun Path pada pukul 09.00, maka diperoleh nilai *azimuth* yaitu $50,57^\circ$ dan nilai *altitude* yaitu $39,56^\circ$. Langkah selanjutnya yakni menentukan sudut kemiringan dari panel surya tersebut.

Dalam menentukan sudut kemiringan dari panel surya akan mengacu pada standar SNI IEC 04-6394-2000, sudut kemiringan dari panel surya yang ditetapkan sebesar 15° agar memudahkan pembersihan panel surya dari air hujan serta mendapatkan nilai iradiasi yang optimal. Lokasi yang terletak di belahan bumi selatan, panel surya yang akan terpasang menghadap ke utara. Sehingga orientasi dari panel surya yaitu mempunyai sudut kemiringan panel sebesar 15° dan menghadap ke utara.

4.2.3 Menghitung Total Kebutuhan Beban

Pada penelitian ini nilai data yang digunakan dalam penentuan total kebutuhan harian di Pantai Congot, Desa Jangkar, Kecamatan Temon, Kulon Progo adalah beban energi listrik yang diberikan dan jumlah rumah, jumlah fasilitas umum, toleransi dan rugi-rugi sistem. Perhitungan total kebutuhan beban akan menggunakan nilai toleransi sebesar 30% (Triyanto Pangaribowo, 2016) diatas kapasitas total beban guna untuk memberikan kapasitas toleransi apabila terjadi kenaikan beban yang terpasang. Untuk perhitungan rugi-rugi yang terjadi pada sistem, mengacu pada standar IEEE 1562:2007 yang mengatur perhitungan rugi-rugi pada sistem sebesar 10-20%. Total kapasitas beban yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Total Kapasitas Beban Harian yang Dibutuhkan

No.	Jenis Beban	Jumlah Beban (Unit)	Kuota Energi (Wh)	Total Energi (Wh/hari)
1	Rumah Tangga	486	2.536	1.232.496
2	Fasilitas Umum	14	1.032	14.448
Sub Total 1				1.246.944
Toleransi			30%	374.083,2
Sub Total 2				1.621.027,2
Rugi-rugi			20%	324.205,44
Total Beban				1.945.232,64

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan kebutuhan energi untuk perencanaan PLTS Fotovoltaik Terpusat di Pantai Congot sebesar 1.945.232,64 Wh/hari atau 1,9 MWh/hari.

4.3 Spesifikasi Teknis Umum PLTS

4.3.1 Menentukan Kapasitas PLTS

Setelah melakukan perhitungan total kebutuhan beban, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan kapasitas dari PLTS yang akan

dirancang di lokasi Pantai Congot dengan nilai perhitungan yang telah diketahui sebagai berikut:

- Kebutuhan energi listrik sebesar 1.945,23264 kWh/hari.
- Nilai kelas iradiasi matahari lokasi Pantai Congot adalah 5 jam.
- Nilai koefisiensi PLTS yaitu 0,8. (Photovoltaic Systems Engineering Second Edition, 2003)
- Nilai efisiensi modul fotovoltaik 88,5%. (Bagus Ramadhani, 2018)

Sehingga perhitungan kapasitas PLTS dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$P_{Wp} = \frac{W}{t_{ins} \times k_{ef} \times \text{eff. modul}}$$

Keterangan:

P_{Wp}	= Kapasitas PLTS
W	= Kebutuhan Energi
t_{ins}	= Kelas Iradiasi
K_{ef}	= Koefisiensi PLTS
Eff. Modul	= Efisiensi modul fotovoltaik

Maka, perhitungan kapasitas PLTS yaitu sebagai berikut:

$$P_{Wp} = \frac{1.945,23264 \text{ kWh}}{5 \text{ jam} \times 0,8 \times 0,885} = 550 \text{ kWp}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai kapasitas PLTS yang dibutuhkan untuk lokasi sebesar 550 kWp.

4.3.2 Menentukan Kapasitas Baterai

Dalam perhitungan kapasitas baterai setiap sistem memiliki nilai efisiensi masing-masing yaitu efisiensi inverter, efisiensi baterai serta efisiensi penghantar. Untuk nilai dari efisiensi baterai dan efisiensi penghantar diatur dalam Instalasi Sistem PLTS (Bagus Ramadhani, 2018) yaitu 85% dan 98%. Untuk menentukan kapasitas baterai untuk PLTS Fotovoltaik menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$\text{Baterai (kWh)} = \frac{\text{Otonomi sistem} \times \text{Total daya per hari (kWh)}}{\text{Efisiensi}}$$

$$\text{Baterai (kWh)} = \frac{2 \times 1.945,23264}{(0,85 \times 0,98)} = 4.670 \text{ kWh}$$

Keterangan:

Otonomi sistem = Cadangan baterai 2 hari jika tidak ada cahaya matahari

Efisiensi = Efisiensi baterai x Efisiensi Penghantar

Eff. baterai = 0,85

Eff. penghantar = 0,98

Setelah diperoleh kapasitas baterai dalam satuan kWh, maka dikonversi ke dalam satuan Ah menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut.

$$\text{Baterai (Ah)} = \text{Baterai (kWh)} \times \frac{1000}{\text{Nominal tegangan}}$$

$$\begin{aligned} \text{Baterai (Ah)} &= 4.670 \text{ kWh} \times \frac{1000 \text{ V}}{48 \text{ V}} \\ &= 97.292 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Keterangan:

48 V = tegangan nominal setiap rangkaian battery bank

Berdasarkan Permen ESDM Nomor 36 tahun 2018 yang mengatur syarat dari *depth of discharge* (DOD) dari baterai dengan nilai 80%, maka perhitungan dari kapasitas baterai dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas baterai} &= \frac{\text{Baterai (Ah)}}{\text{DOD}} \\ &= \frac{97.292 \text{ Ah}}{0.8} = 121.615 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kapasitas baterai yang dibutuhkan sebesar 121.615 Ah.

4.3.3 Menentukan Solar Panel

Dalam menentukan komponen solar panel yang sesuai maka diperlukan berbagai macam pertimbangan, salah satunya yaitu dengan membuat tabel perbandingan yang terdiri atas beberapa panel surya sehingga memudahkan kita dalam menentukan komponen solar panel yang akan dibutuhkan sistem. Perbandingan spesifikasi dari 3 merek solar panel yang masing-masing memiliki perbedaan seperti yang terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perbandingan Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Solar Land 300Wp Monocrystalline	Sky Energi Indonesia 330Wp Monocrystalline	Wedosolar 300Wp Monocrystalline
Manufactures	Solarland Electric Power Technology Limited	PT. Sky Energi Indonesia	Wedosolar Indonesia
Panel Type	Monocrystalline	Monocrystalline	Monocrystalline
Rated Power (Pmax)	300 Wp	330 Wp	300 Wp
Max. Power Voltage (Vmpp)	36.7 V	37.8 V	36.6 V

Max. Power Current (Impp)	8.17 A	8.72 A	8.2 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.4 V	45.7 V	45.2 V
Short Circuit Current (Isc)	8.99 A	9.21 A	8.7 A
Max. System Voltage	1000 V	1000 V	1000 V
Cell Eff. (eff)	15.5 %	17.09 %	18 %
Dimensions (mm)	1956x992x45	1950x990x45	1956x922x40
Weight (kg)	24 Kg	25.8 Kg	25.8 Kg
Price (Rp)	Rp. 4.650.000	Rp. 4.603.000	Rp. 4.200.000
Price per Wp	Rp. 15.500	Rp. 13.948	Rp. 14.000

Setelah dibandingkan antara 3 merek yakni SolarLand, Sky Energi dan Wedosolar yang memiliki kapasitas yang hampir sama yakni 300 – 330 Wp, sehingga berdasarkan perbandingan diatas maka solar panel yang dipilih yakni merek Sky Energi kapasitas 330 Wp dikarenakan solar panel merek Sky Energi kapasitas 330 Wp memiliki efisiensi panel lebih tinggi jika dibandingkan dengan panel dari SolarLand meskipun lebih rendah dari panel Wedosolar serta harga yang mendekati antara kedua merek panel surya pembanding.

4.3.4 Menentukan Solar Battery

Dalam menentukan baterai yang akan digunakan harus mempertimbangkan kebutuhan dari sistem PLTS tersebut ataupun mengacu pada peraturan yang mengatur pemilihan baterai. Jenis baterai yang biasa digunakan yaitu jenis VRLA dan Lithium-Ion dengan konfigurasi tegangan nominal dari setiap baterai bank yakni 48 V. Perbandingan spesifikasi 2 jenis solar baterai dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Spesifikasi Solar Battery

Spesifikasi	Trojan Solar Deep-Cycle Battery	Rolls Deep Cycle Battery
Manufactures	Trojan Battery Company	Rolls Battery Engineering
Model	SIND 06 1225	6 CS 25P
Voltage	6 V	6 V
Capacity	1225 Ah @ 100 Hr	1156 Ah @ 100 Hr
Battery Type	Deep Cycle Flooded / Advanced Lead Acid Battery	Flooded Deep Cycle Battery
Dimensions (mm)	689x265x610	559x286x464
Weight (kg)	188	144
Warranty	5 Years	7 Years
Price (Rp)	Rp. 18.027.922	Rp. 14.316.291
Price per Ah (Rp)	Rp. 14.716	Rp. 12.384

Dalam menentukan baterai yang digunakan oleh sistem perlu mempertimbangkan nilai harga komponen serta garansi yang diberikan oleh produsen. Karena hal tersebut akan mempengaruhi perencanaan biaya yang akan dilakukan nantinya. Untuk baterai dari merek Trojan memiliki harga per Ah lebih tinggi dibandingkan baterai dari merek Rolls. Sedangkan untuk garansi produk yang diberikan dari merek Rolls lebih lama jika dibandingkan dengan merek Trojan. Sehingga pemilihan baterai akan menggunakan merek Rolls dengan kapasitas 6 V / 1156 Ah.

4.3.5 Menentukan Solar Charge Controller (SCC)

Dalam menentukan *solar charge controller* juga harus mempertimbangkan dari kebutuhan sistem PLTS tersebut. Jenis *solar charge controller* terdiri atas 2 jenis, yakni MPPT dan PWM. Adapun perbedaan dari MPPT dan PWM yakni untuk sistem yang digunakan tergolong kecil dan temperatur dari solar panel tergolong tinggi maka

dapat menggunakan PWM, namun untuk sistem yang digunakan dalam skala besar dapat menggunakan MPPT. Maka pada sistem ini akan menggunakan MPPT karena sistem PLTS tergolong dalam kategori skala yang besar. Dibawah merupakan perbandingan spesifikasi 3 jenis *solar charge controller* MPPT seperti yang terlihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Spesifikasi Solar Charge Controller

Spesifikasi	Schneider Conext MPPT 80 600	OutBack Power FLEXmax	Morningstar Tristar MPPT
Manufactures	Schneider Electric	OutBack Power	Morningstar Corp.
Type	Conext MPPT 80 600	FLEXmax 100 MPPT Charge Controller	TS-MPPT-60- 600-V-48
Battery Voltage	24V / 48V (Default 48V)	24V / 36V/ 48V	24V/ 36V / 48V / 60V
PV Array Operating Voltage	195 to 550 VDC	30 to 300 VDC	100 to 600 VDC
Battery Voltage Operating Range	16 to 67 VDC	24 to 48 VDC	16 to 72 VDC
Max. Charge Current	80 A	100 A	60 A
Power Eff.	94 % (24V), 96 % (48V)	96 % (24V) 98 % (48V)	97.9 %
Price (Rp)	Rp. 22.039.762	Rp. 13.643.662	Rp. 19.017.166

Setelah dibandingkan 3 merek MPPT diatas jika dilihat dari segi harga maka dapat menggunakan MPPT merek OutBack Power karena menawarkan harga yang lebih murah dibandingkan dari kedua merek lainnya. Namun, jika dilihat dari tegangan baterai ketiga merek menawarkan rating tegangan berkisar antara 24V – 48V. Akan tetapi untuk merek dari Morningstar menawarkan rating tegangan hingga 60V. Jika dilihat dari segi efisiensi maka MPPT dari OutBack memiliki efisiensi yang paling tinggi yaitu 98 %. Sehingga pada sistem PLTS ini

akan menggunakan MPPT merek OutBack dengan rating arus tertinggi yaitu 100 A serta dengan efisiensi tertinggi yaitu 98 % pada tegangan kerja 48 V.

4.3.6 Menentukan Inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter yang sesuai untuk sistem maka harus sesai dengan total kapasitas yang dibutuhkan oleh sistem sehingga inverter yang digunakan tidak terlampaui tinggi kapasitasnya dari sistem. Untuk sistem dengan kapasitas tinggi dapat menggunakan inverter tipe central inverter. Perbandingan antara inverter yang digunakan untuk sistem dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Spesifikasi Inverter

Spesifikasi	Sunny Central 630 CP-XT	ABB PVS 800 Central Inverter 630 kW
Manufactures	SMA Solar Technology AG	ABB
Type	Sunny Central 630 CP-XT	Central Inverter PVS 800
Max. Input Power	713 kWp	700 kWp
DC Voltage Range	529 to 850 V	525 to 825 V
Max. DC Voltage	1000 V	1100 V
Max. DC Current	1350 A	1230 A
Nominal Power AC	630 kW	630 kW
Max. Output Power	700 kW	700 kW
Nominal AC Current	1350 A	1040 A
Nominal AC Output Voltage	315 V	350 V
Efficiency Max.	98.7 %	98.6 %
Own Consumption in Operation	1900 W	490 W
Dimensions (mm)	2562x2272x956	2630x2130x708
Price (Rp)	Rp. 1.646.736.840	Rp. 1.964.410.000

Perbandingan antara kedua inverter dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa kapasitas dari sistem yaitu 550 kWp, maka inverter yang digunakan setidaknya melebihi dari kapasitas sistem yang digunakan. Setelah dilakukan perbandingan spesifikasi inverter antara merek SMA dengan merek ABB diperoleh hasil perbandingan yaitu untuk tegangan kerja untuk arus DC dari SMA lebih luas hingga 850 V. Untuk nilai efisiensi kedua inverter memiliki nilai yang tinggi yaitu diatas 98 %. Namun harga dari inverter ABB lebih mahal dibandingkan dengan inverter dari SMA. Sehingga sistem PLTS akan menggunakan inverter dari SMA dengan seri Sunny Central 630 CP-XT. Untuk inverter yang digunakan yaitu dengan kapasitas 630 kW karena nilai tersebut mendekati dari kapasitas yang dibutuhkan.

4.3.7 Menghitung Jumlah Solar Panel

Dalam menghitung jumlah solar panel yang akan digunakan maka dilakukan berdasarkan komponen yang sudah terpilih. Komponen panel surya yang digunakan menggunakan spesifikasi Monocrystalline dengan kapasitas masing-masing panel sebesar 330Wp. Untuk mengetahui jumlah solar panel yang digunakan maka akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS}}{\text{Kapasitas Panel Surya}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{550.000 \text{ Wp}}{330 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = 1.667 \text{ Panel}$$

Keterangan:

Wp = Watt Peak (daya yang dihasilkan dalam satu jam)

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh jumlah total panel surya yang dibutuhkan oleh sistem yaitu sebanyak 1.667 panel surya dengan kapasitas masing-masing panel sebesar 330 Wp.

4.3.8 Menentukan Total Solar Charge Controller

Solar charge controller (SCC) diperlukan untuk pengontrol pengisian pada baterai yang akan digunakan pada sistem, untuk menghitung kebutuhan *solar charge controller* dari sistem dengan menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$SCC = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS}}{\text{Output Inverter (kW)}}$$

$$SCC = \frac{550 \text{ kWp}}{6 \text{ kW}}$$

$$SCC = 92 \text{ buah}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan *solar charge controller* diperoleh nilai total SCC yang dibutuhkan sistem sebanyak 92 buah. Setelah itu, akan dilakukan penentuan kapasitas inverter untuk kebutuhan sistem PLTS.

4.3.9 Menentukan Kapasitas Inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter dapat mengacu pada Permen Nomor 36 Tahun 2018 yang membahas tentang spesifikasi dari sistem PLTS Fotovoltaik. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan sebelumnya maka diperoleh kebutuhan kapasitas total dari sistem yakni sebesar 550 kWp. Penentuan kapasitas inverter yang digunakan oleh sistem setidaknya mendekati dari kapasitas kebutuhan sistem. Sehingga jika kapasitas sistem sebesar 550 kWp maka kebutuhan inverter yang terdapat di pasaran yakni inverter berkapasitas 630 kW dengan spesifikasi lengkap terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.11 Spesifikasi Inverter SMA 630kW

Inverter	Spesifikasi Teknis
Spesifikasi Input DC	
Maximum Power Input ($P_{pv,max}$)	713 kWp
DC Range Voltage, MPP ($U_{DC,mpp}$)	529 to 850 V
Maximum Voltage ($U_{max(DC)}$)	1000 V
Maximum Current ($I_{max(DC)}$)	1350 A
Spesifikasi Output AC	
Power Nominal ($P_{N(AC)}$)	630 kW
Maximum Output Power	700 kW
Nominal AC Current ($I_{N(AC)}$)	1350 A
Nominal Output Voltage ($U_{N(AC)}$)	315 V
Output frequency	50/60 Hz
Efficiency	
Maximum	98.7 %
Efficiency at Euro eta	98.5%
Spesifikasi power consumption	
Consumption in Operation	1900 W
Standby Consumption	<100W
External Auxiliary Voltage	230 V/400 V
Weight and Dimensions	
Width /Height /Depth (W/H/D)	2562mm/2272mm/956mm
Weight in kg	1900

Pada sistem PLTS ini akan menggunakan inverter dari merek SMA dengan seri Sunny Central yang berkapasitas 630 kW. Range tegangan DC antara 529 hingga 850 serta tegangan maksimum sebesar 1000 V. Maksimum input dari PV dapat mencapai 713 kW sedangkan output nominal AC sebesar 630 dan output AC maksimal sebesar 700 kW. Maksimum arus input dari inverter yaitu 1350 A dan maksimal output AC dari inverter yaitu 1350 A pula. Nilai output maksimal dari inverter sebesar 315 V dengan efisiensi 98,7%.

4.3.10 Desain Panel Array

Penentuan desain panel *array* dari PLTS dilakukan untuk mengetahui nilai algoritma dari *maximum power point tracking* pada *solar charge controller* maupun pada *inverter* agar dapat bekerja secara optimal serta kapasitas daya serta tegangan dari panel *array* tidak melampaui batas yang diperbolehkan oleh sistem. Di bawah ini merupakan tabel spesifikasi lengkap dari panel surya dan *solar charge controller* yang digunakan oleh sistem PLTS Fotovoltaik ini.

Tabel 4.12 Spesifikasi Lengkap Panel Surya yang Digunakan

Panel Surya	
Electrical Performance (STC : AM 1.5, 1000W/m ² , 25°C)	
Manufaktur	PT. Sky Energi Indonesia
Modul type	Monocrystalline
Maximum power (Pmax/W)	330 Wp
Power Tolerance	+3%
Maximum power voltage (Vm/V)	37.8
Maximum power current (Im/A)	8.72
Open circuit voltage (Voc/V)	45.7
Max. System Voltage (V)	1000
Short circuit current (Isc/A)	9.21
Module efficiency (%)	17.09
Other Information	
Dimensions (LxWxH / mm)	1950 x 990 x 45
Weight (Kgs)	25.8

Tabel 4.13 Spesifikasi Lengkap Solar Charge Controller yang Digunakan

Solar Charge Controller	
Manufaktur	OutBack Power
Type	FLEXmax 100
Nominal Battery System Voltage	24V / 36V / 48V
Operating Input Voltage Range	30 VDC to 290 VDC
Max. PV System Voltage	300 VDC
Charging Range (Output)	20 to 68 VDC

Maximum Input Current	64 A
Maximum Continuous Output Current	100 A
Maximum Array	3000 W / 4500 W / 6000 W
Charge Regulation	Three stage
Max. power efficiency	96 % (24 V) , 97 % (48 V)
Minimum Battery Bank Size	100 Ah
Product dimensions (HxWxD)	55.9 cm x 22.4 cm x 15.2 cm
Product weight	8.3 kg

Dalam menentukan desain panel array akan menggunakan spesifikasi dari komponen panel surya dan *solar charge controller*. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung desain rangkaian panel array.

1. Perhitungan tegangan

a. Perhitungan Open-Circuit Voltage pada suhu minimum lokasi

$$\begin{aligned}
 V_{OC(20^{\circ}C)} &= ((1 - (T_{VOC} - 25 \times (TC_{OC} / 100))) \times V_{OC}) \\
 &= ((1 - (20 - 25 \times (-0,356 / 100))) \times 45,7) \\
 &= ((1 - (-5 \times (-0,00356))) \times 45,7) \\
 &= 44,89 \text{ V}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal panel surya pada tiap string

$$\begin{aligned}
 \text{Max. String} &= \text{Tegangan SCC} \div \text{Tegangan } V_{OC} \\
 &= 300 \text{ V} \div 44,89 \text{ V} \\
 &= 6,68 \text{ (dibulatkan kebawah)} = 6
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan nilai V_{mpp} maksimal pada suhu maksimal lokasi

$$\begin{aligned}
 V_{MPP(33^{\circ}C)} &= ((1 + (T_{OC} + T_a - 25 \times (TC_{OC} / 100))) \times V_{MPP}) \\
 &= ((1 + (33 + 32 - 25 \times (-0,356 / 100))) \times 37,8) \\
 &= ((1 + (40 \times (-0,00356))) \times 37,8) \\
 &= ((1 + (-0,1424)) \times 37,8) \\
 &= 32,42 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan jumlah minimal panel surya pada tiap string

$$\begin{aligned}\text{Jumlah input} &= \text{Tegangan minimal MPPT} \div V_{\text{MPP}} \\ &= 30 \text{ V} \div 32,42 \text{ V} \\ &= 0,93 \text{ (dibulatkan)} = 1\end{aligned}$$

2. Perhitungan arus

a. Perhitungan arus maksimal pada suhu maksimal lokasi

$$\begin{aligned}I_{\text{SC}} (33^\circ\text{C}) &= ((1 + (T_{\text{OC}} + T_{\text{a}} - 25 \times (TC_{\text{SC}} \div 100)))) \times I_{\text{SC}} \\ &= ((1 + (33 + 32 - 25 \times (0,056 \div 100)))) \times 9,21 \\ &= ((1 + (40 \times 0,00056))) \times 9,21 \\ &= ((1 + 0,0224)) \times 9,21 \\ &= 9,42 \text{ A (dibulatkan)} = 9 \text{ A}\end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal string

$$\begin{aligned}\text{Jumlah input} &= \text{Arus SCC} \div I_{\text{SC}} \\ &= 64 \text{ A} \div 9 \text{ A} \\ &= 7,1 \text{ String (dibulatkan ke bawah)} = 7\end{aligned}$$

Keterangan:

T_{OC} = Temperature Open Circuit

V_{OC} = Voltage Open Circuit

TC_{OC} = Temperature Coefficient Open Circuit

V_{mpp} = Tegangan Maksimum Power

TC_{SC} = Temperature Coefficient I_{SC}

I_{SC} = Arus Short Circuit

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh skema konfigurasi rangkaian dari panel *array* yang dapat dilakukan untuk memperoleh tegangan yang sesuai yakni minimal 1 panel dan maksimal 6 panel yang

dirangkai secara seri. Sedangkan untuk konfigurasi yang dilakukan untuk memperoleh nilai arus yang dibutuhkan yaitu maksimal 7 panel yang dihubungkan secara paralel.

Sehingga jumlah panel surya yang dibutuhkan dengan kapasitas *solar charge controller* yang digunakan sebesar 6000 W yaitu 42 panel surya yang memiliki kapasitas masing-masing sebesar 330 Wp. Dengan kapasitas tersebut maka kombinasi yang dapat digunakan yaitu terdiri dari 6 string yang dirangkai seri antar string dan tiap string mempunyai 7 panel surya yang dirangkai paralel.

4.3.11 Perhitungan Jarak Antar Panel Array

Perhitungan jarak antar panel *array* berguna untuk menghindari bayangan yang dapat menghambat sinar matahari menuju panel yang tidak disengaja dari masing-masing baris pada panel *array* serta untuk mengoptimalkan penggunaan lahan yang akan digunakan. Data yang digunakan dalam perhitungan sebagai berikut.

- Panjang panel array 2×195 cm
- Sudut kemiringan panel array 15°
- Solar altitude angle (α) 40°
- Solar azimuth angle (ψ) $50,57^\circ$

Sedangkan untuk rumus perhitungan dari jarak yang digunakan antar panel *array* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2), (2.3), dan (2.4). Maka perhitungan dari jarak antar panel array sebagai berikut:

1. Perhitungan Ketinggian Array

$$\begin{aligned}h &= 390 \times \sin(15) \\h &= 390 \times 0,258 \\&= 101 \text{ cm}\end{aligned}$$

2. Jarak Bayangan Maksimal Array

$$D' = \frac{101}{\tan(40)}$$

$$D' = \frac{101}{0,839}$$

$$= 120,38 \text{ cm (dibulatkan)} = 120 \text{ cm}$$

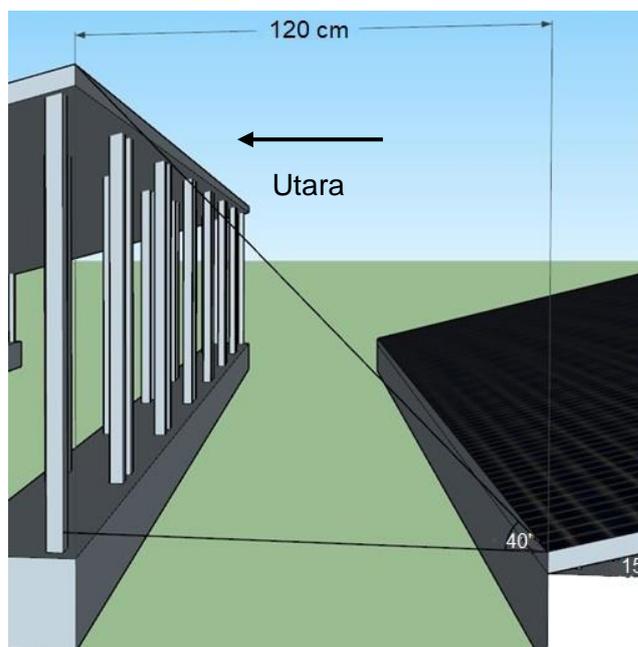
3. Jarak Antar Baris Panel Array

$$D = 120 \times \cos(50,57)$$

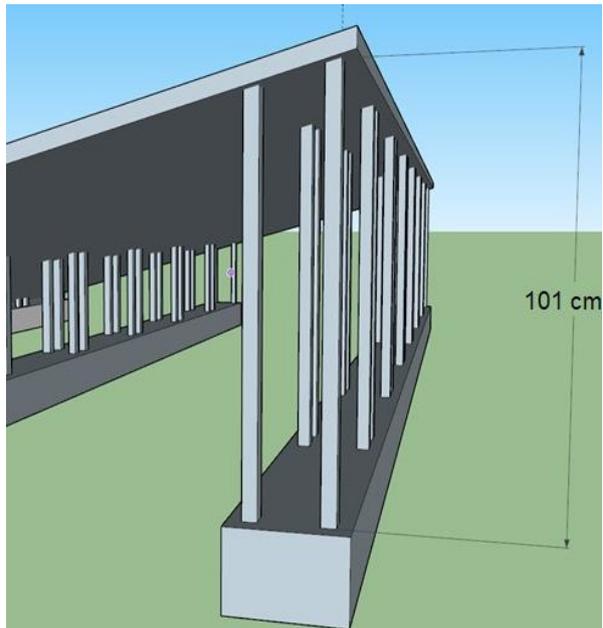
$$D = 120 \times 0,635$$

$$= 76,2 \text{ cm (dibulatkan)} = 76 \text{ cm}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh nilai jarak antar baris panel *array* minimal yaitu 76 cm pada setiap barisnya dengan jarak bayangan maksimal yang diperoleh yaitu 120 cm serta ketinggian array yaitu 101 cm. Berikut adalah contoh gambar dari jarak bayangan maksimal dari array dan gambar sudut posisi dari panel surya yang mengarah ke utara.



Gambar 4.6 Jarak maksimal antar panel dan sudut arah posisi panel surya



Gambar 4.7 Ketinggian panel array

4.3.12 Sistem Proteksi Combiner Box

Untuk perhitungan sistem proteksi *combiner box* dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa solar panel *array* yang dihubungkan menuju ke *solar charge controller*. Dalam menentukan spesifikasi *combiner box* dapat mengacu pada Permen ESDM Nomor 36 tahun 2018. Komponen sistem proteksi *combiner box* harus dilengkapi dengan proteksi arus hubung singkat, *surge protection*, dan switch pemutus. Perhitungan sistem proteksi pada *combiner box* menggunakan nilai-nilai yang digunakan dibawah ini:

- V_{OC} = 45,7 V
- I_{SC} = 9,21 A
- Jumlah Panel Surya Seri = 6
- Jumlah Panel Surya Paralel = 7

1. Fuse yang digunakan per string

$$\begin{aligned}
 \text{Rating tegangan} &= 1,2 \times (V_{OC} \times \text{Jumlah Panel Surya Seri}) \\
 &= 1,2 \times (45,7 \text{ V} \times 6) \\
 &= 329,04 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rating arus} &= 1,4 \times I_{SC} \\
 &= 1,4 \times 9,21 \text{ A} \\
 &= 12,894 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh nilai rating tegangan per string yaitu 329,04 V dengan rating arusnya 12,894 A. Sedangkan untuk fuse yang tersedia di pasaran yaitu dengan kapasitas 15 A dengan rating tegangan 1000 VDC, maka fuse yang digunakan yaitu dengan rating 15 A / 1000 VDC.

2. Fuse yang digunakan per array

$$\begin{aligned}
 \text{Rating arus} &= 1,4 \times (I_{SC} \times \text{Jumlah Panel Surya Paralel}) \\
 &= 1,4 \times (9,21 \times 7) \\
 &= 90,258 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan diperoleh nilai rating arus 90,258 A untuk per panel *array*. Sedangkan yang tersedia dipasaran yaitu dengan rating 100A dan tegangan 1000VDC, maka untuk fuse per panel *array* yang digunakan yaitu dengan rating 100A / 1000VDC.

4.3.13 Kapasitas Kabel

Untuk perhitungan kapasitas kabel yang digunakan pada sambungan combiner box menuju SCC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{KHA} &= I_N \times 1,25 \\
 &= 90,258 \times 1,25 \\
 &= 112,8225 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas Penampang} = 25 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh arus KHA kabel dari combiner box menuju ke SCC sebesar 112,8225 A. Dengan arus

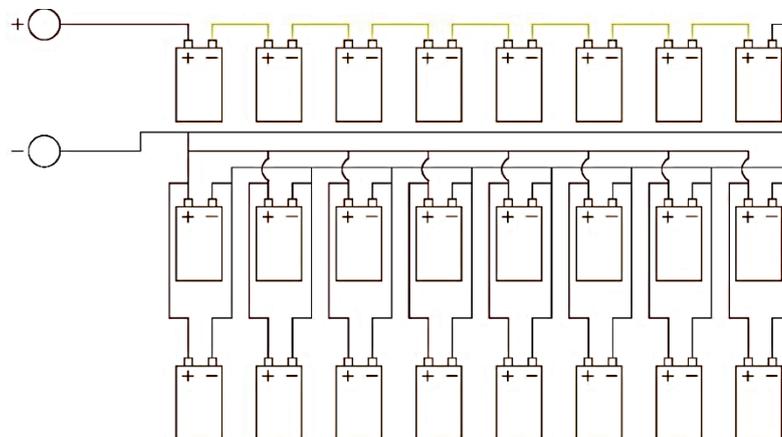
sebesar itu, berdasarkan datasheet dapat menggunakan kabel NYFGbY dengan luas penampang $2 \times 25 \text{ mm}^2$.

4.3.14 Battery Bank

Perhitungan battery bank dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari data-data dibawah ini:

- Total kebutuhan baterai 121.616 Ah
- Kapasitas masing-masing baterai 6V / 1156 Ah
- Tegangan sistem 48 VDC

Untuk desain *battery bank* dengan kapasitas yang sangat besar maka dibutuhkan konfigurasi seri-paralel pada baterai. Oleh karena itu, dengan kapasitas kebutuhan baterai sebesar 121.616 Ah maka rangkaian *battery bank* yang sesuai yakni 7 *battery bank* dengan spesifikasi 6V / 1156 Ah dengan konfigurasi yang digunakan yakni 8 buah baterai dirangkai seri untuk memenuhi konfigurasi dari sistem PLTS yaitu 48V dan dan 16 buah baterai dirangkai paralel dengan kapasitas masing-masing *battery bank* yaitu 18.496 Ah. Sehingga total kebutuhan baterai yang dibutuhkan untuk sistem yaitu sejumlah 168 baterai. Berikut adalah contoh gambar konfigurasi untuk rangkaian dalam satu battery bank.



Gambar 4.8 Konfigurasi Satu Battery Bank

4.3.15 Sistem Proteksi Panel Distribusi DC

Pada perhitungan sistem proteksi panel distribusi DC dapat dilakukan dengan menggunakan nilai arus output maksimal dari SCC dan menggunakan arus input maksimal dari inverter. Panel distribusi DC merupakan panel yang menggabungkan input serta output yang berasal dari beberapa baterai bank, SCC serta baterai *inverter*. Untuk data yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat dibawah ini:

- Arus output maksimal SCC 100 A
- Arus input maksimal dari inverter 1350 A

Maka perhitungan yang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Fuse dari SCC ke baterai

Rating fuse

$$\begin{aligned} I_{\text{fuse}} &= I_n \times 100 \% \\ &= 100 \text{ A} \times 100 \% \\ &= 100 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka fuse yang dapat digunakan pada masing-masing sambungan SCC menuju ke baterai maksimal 100 A.

Rating MCB

$$\begin{aligned} I_{\text{MCB}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 100 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 125 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka untuk rating MCB yang digunakan pada masing-masing sambungan SCC menuju ke baterai maksimal 125 A.

Luas Penampang Penghantar Kabel (Kabel NYAF)

$$\begin{aligned} I_{\text{KHA}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 100 \times 1,25 \\ &= 125 \text{ A} \end{aligned}$$

Luas penampang = 25 mm² (berdasarkan datasheet kabel)

Maka kabel yang digunakan pada sambungan SCC menuju ke busbar yaitu jenis kabel NYAF 25 mm².

2. Fuse dari Inverter ke Baterai

Rating fuse

$$\begin{aligned} I_{\text{fuse}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1350 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 1687,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka untuk rating fuse yang digunakan pada setiap sambungan inverter menuju baterai adalah 1687,5 A, atau dapat menggunakan yang tersedia dipasaran 1800 A

Luas Penampang Penghantar Kabel

$$\begin{aligned} I_{\text{KHA}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1687,5 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 2.109,375 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka kabel yang digunakan pada sambungan input inverter menuju ke busbar panel DC adalah 4 x 1 x NYAF 300 mm².

4.3.16 Sistem Proteksi Panel Distribusi AC

Pada perhitungan sistem proteksi panel distribusi AC dapat dilakukan menggunakan data dari output maksimal dari *inverter* yang digunakan. Panel distribusi sendiri berfungsi untuk mendistribusikan listrik menuju konsumen melalui kabel serta berfungsi untuk menggabungkan *inverter* yang tersambung secara paralel. Nilai data yang digunakan yaitu:

- Nilai arus output maksimal dari inverter yang digunakan 1350 A.

1. Perhitungan rating proteksi setiap output dari inverter

Rating Circuit Breaker

$$I_{\text{CB}} = I_n \times 1,25$$

$$= 1350 \text{ A} \times 1,25$$

$$= 1.687,5 \text{ A}$$

Maka untuk rating pada circuit breaker yang digunakan pada masing-masing output dari inverter adalah 1800 A.

Perhitungan luas penampang dari kabel penghantar

$$I_{KHA} = I_n \times 1,25$$

$$= 1350 \text{ A} \times 1,25$$

$$= 1.687,5 \text{ A}$$

Luas penampang kabel = $4 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$ (kabel NYY)

Maka berdasarkan perhitungan yang dilakukan kabel yang digunakan pada sambungan output dari inverter menuju ke busbar pada panel distribusi AC yaitu jenis kabel NYY dengan spesifikasi $4 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$.

2. Perhitungan proteksi dari AC disconnect

Rating Circuit Breaker

$$I_{CB} = 3 \times I_n \times 1,25$$

$$= 3 \times 1350 \times 1,25$$

$$= 5.062,5 \text{ A}$$

Maka berdasarkan perhitungan diperoleh hasil rating pada circuit breaker yang digunakan pada output 3 phase adalah 5.062,5 A.

Perhitungan luas penampang kabel penghantar

$$I_{KHA} = 3 \times I_n \times 1,25$$

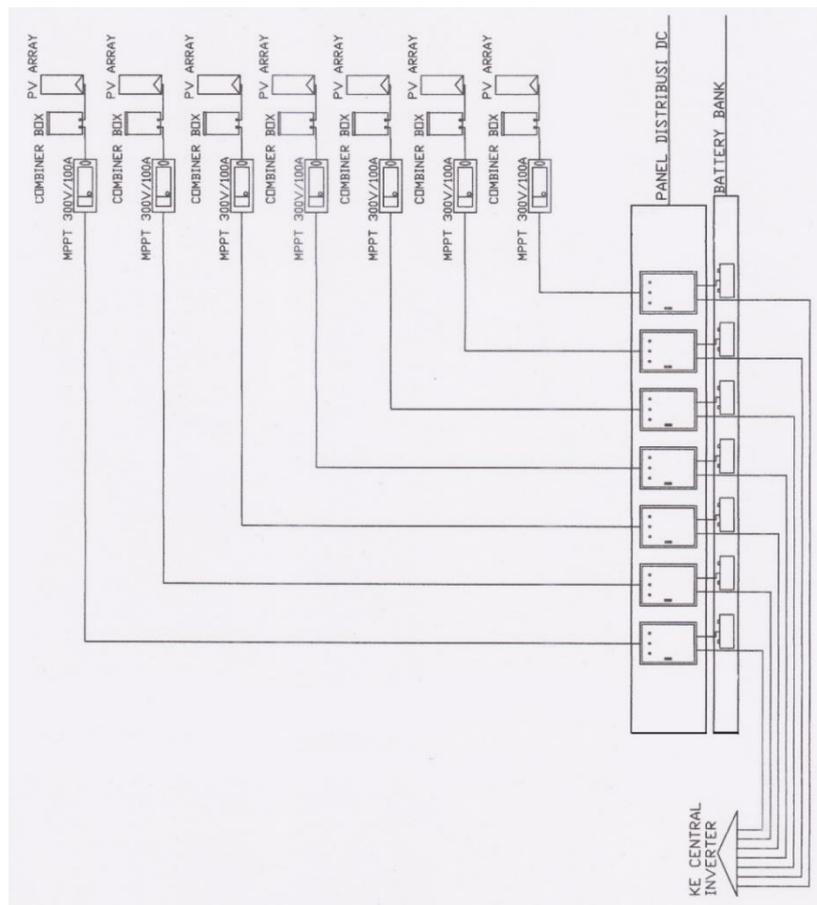
$$= 3 \times 1350 \times 1,25$$

$$= 5.062,5 \text{ A}$$

Luas penampang kabel = $8 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$

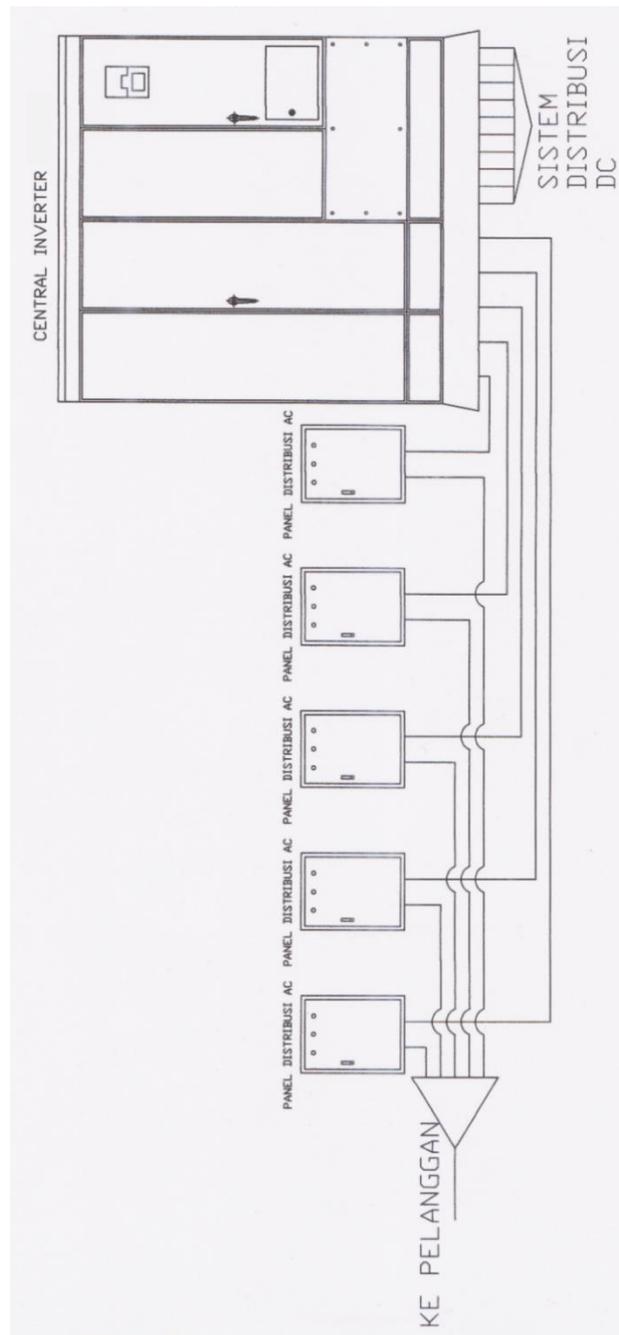
Maka untuk jenis kabel yang digunakan yaitu menggunakan jenis NYY dengan spesifikasi $8 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$.

Berikut merupakan gambar konfigurasi single line diagram dari sambungan PV array menuju ke combiner box, lalu dari combiner box menuju ke panel distribusi DC, kemudian dari panel distribusi DC akan dialirkan menuju ke central inverter untuk diubah dari listrik arus DC menjadi listrik arus AC. Setelah itu akan dialirkan menuju ke panel distribusi AC.



Gambar 4.9 Sistem Distribusi DC

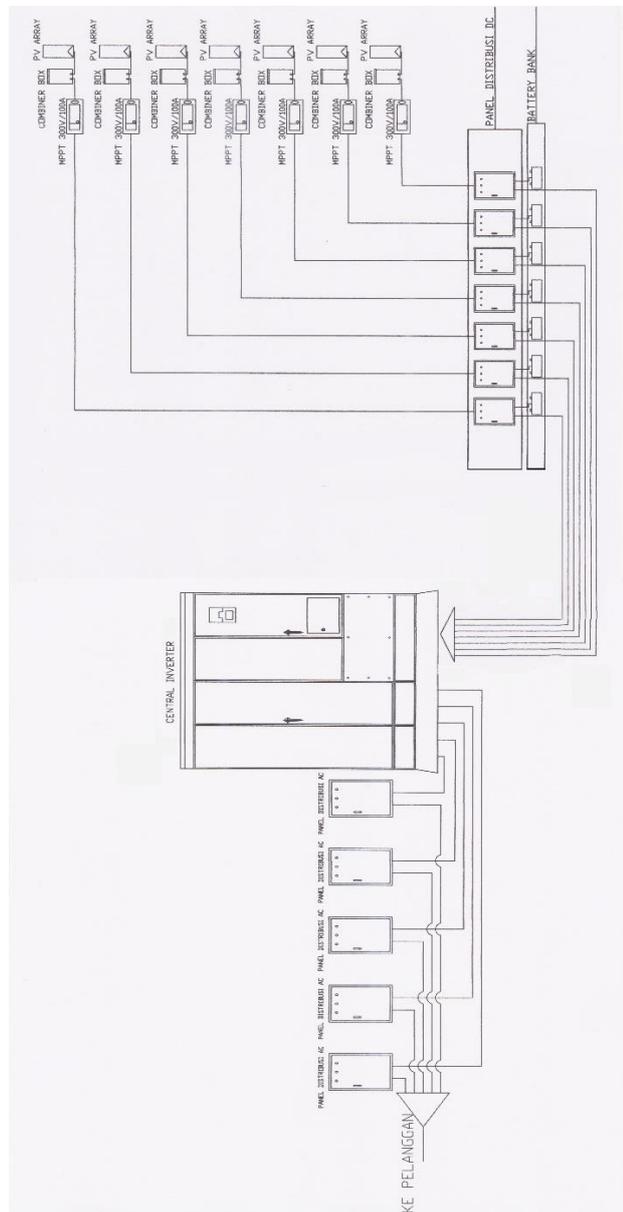
Pada gambar sistem distribusi DC diatas listrik arus DC yang diperoleh dari PV array akan dialirkan menuju ke combiner box. Didalam combiner box tidak hanya terdiri dari satu PV array tetapi terdiri dari 6 PV array. Setelah dari combiner box selanjutnya akan dialirkan menuju ke panel distribusi DC. Kemudian dari panel distribusi DC maka listrik arus DC akan dialirkan menuju ke central inverter untuk diubah menjadi arus listrik AC.



Gambar 4.10 Sistem Distribusi AC

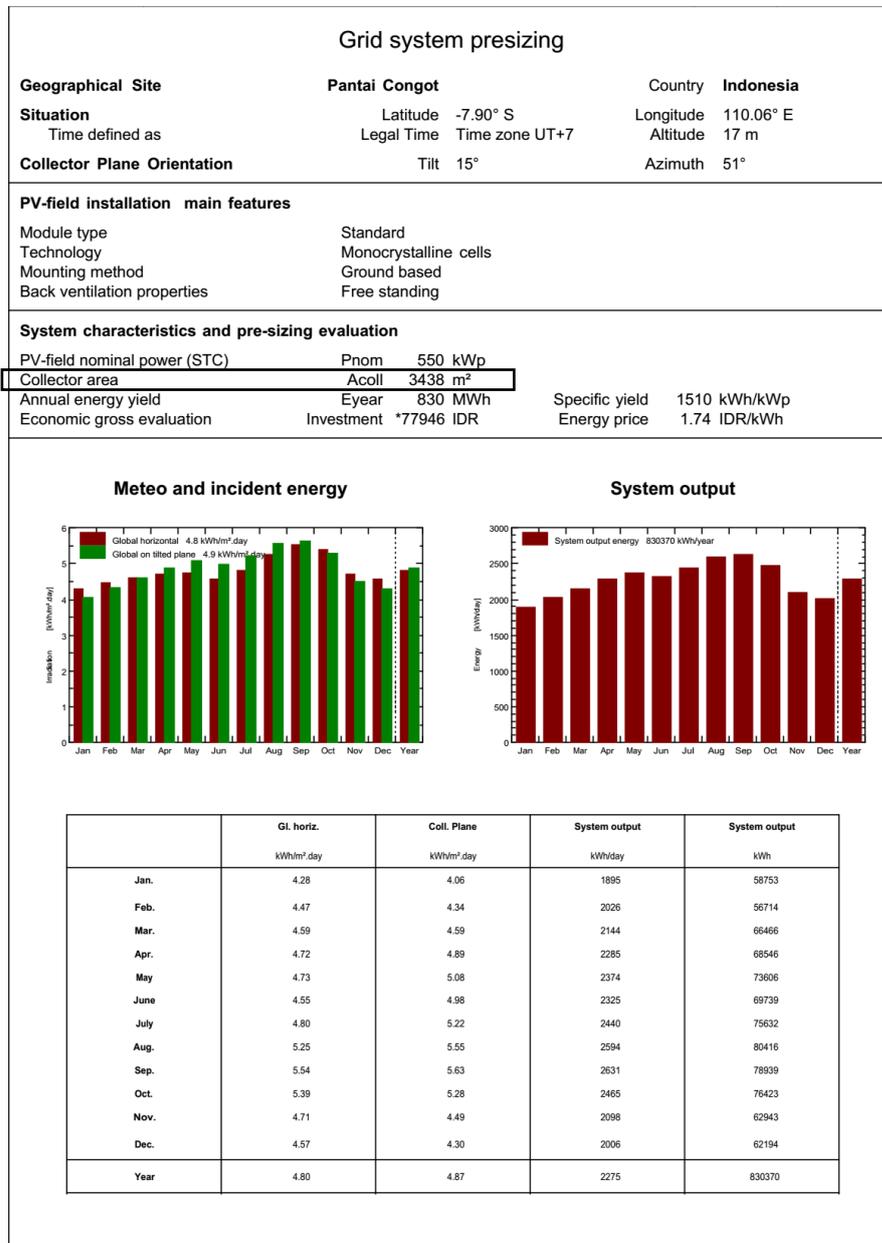
Keluaran dari central inverter merupakan listrik AC yang dapat digunakan oleh pengguna. Namun agar lebih mudah dalam penyalurannya, maka output dari central inverter dibagi dan dialirkan menuju ke 5 buah panel distribusi AC yang selanjutnya terhubung ke pelanggan.

Berikut merupakan gambar konfigurasi umum single line diagram pada sistem PLTS yang akan digunakan di Pantai Congot, seperti yang terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.11 Gambaran Umum Sistem PLTS

Seperti yang terlihat pada gambar 4.10, listrik arus DC yang dihasilkan oleh PV array akan dialirkan ke combiner box dan menuju ke panel distribusi DC. Selanjutnya akan dialirkan ke central inverter untuk diubah ke listrik arus AC dan kemudian akan di salurkan ke pelanggan.



Gambar 4.12 Luas Wilayah PLTS Fotovoltaik

Berdasarkan perhitungan pada simulator PVSYST diperoleh luas wilayah yang akan digunakan oleh PLTS Fotovoltaik dengan kapasitas 550 kWp yakni sebesar 3438 m² artinya dalam satu kWp membutuhkan 6,25 m². Jika dibandingkan dengan *rule of thumb* untuk wilayah di Indonesia dengan 7-8 m² per kWp (GIZ, 2018). Sehingga wilayah Pantai Congot memiliki luas per kWp yang baik dengan nilai 6,25 m² per kWp.

4.4 Perincian Biaya

Perincian biaya untuk perencanaan PLTS Fotovoltaik di Pantai Congot Kabupaten Kulon Progo sangat penting dilakukan agar dapat melihat total biaya investasi yang dibutuhkan serta jumlah komponen yang dibutuhkan. Data harga masing-masing komponen diperoleh dari distributor komponen PLTS ataupun dari e-commerce luar negeri yang menjual komponen dari PLTS yang tidak ada di pasaran Indonesia. Harga dari komponen juga akan memperhitungkan biaya pengiriman menuju ke kabupaten Kulon Progo. Untuk tabel rincian biaya yang digunakan pada perencanaan PLTS dengan kapasitas 550 kWp dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.14 Perincian Biaya Sistem PLTS

Komponen Utama	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Solar Panel 330 Wp	1667	Unit	Rp. 4.603.000	Rp. 7.673.201.000
SMA Sunny Central CP-TX 630 kW	1	Unit	Rp. 1.440.894.735	Rp. 1.440.894.735
OutBack FLEXmax 100	92	Unit	Rp. 13.643.662	Rp. 1.255.216.904
Rolls Battery @1156 Ah	168	Unit	Rp. 14.316.291	Rp. 2.405.136.888
Jumlah				Rp. 12.774.449.527
Komponen Tambahan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
NYFGbY 2x25mm ²	3000	Meter	Rp. 125.000	Rp. 375.000.000
NY Y 4x(4x1x300mm ²)	800	Meter	Rp. 539.000	Rp. 431.200.000
NYAF 2x(1x25mm ²)	850	Meter	Rp. 48.000	Rp. 40.800.000
NYAF 2x(4x1x300mm ²)	1200	Meter	Rp. 450.000	Rp. 540.000.000
NY Y 35mm ² (Gnd)	200	Meter	Rp. 65.000	Rp. 13.000.000
Mounting Support 10kW	55	Pcs	Rp. 41.888.000	Rp. 2.303.840.000
Battery Rack	7	Pcs	Rp. 4.675.000	Rp. 32.725.000
OutBack Mate 3s	7	Pcs	Rp. 6.131.765	Rp. 42.922.355
OutBack HUB 4	7	Pcs	Rp. 2.132.788	Rp. 14.929.516
OutBack FLEXnet DC	7	Pcs	Rp. 3.900.757	Rp. 27.305.299
OutBack AXS Port	7	Pcs	Rp. 3.962.917	Rp. 27.740.419
OutBack FLEXware PV	40	Pcs	Rp. 3.564.001	Rp. 142.560.040
Panel Distribusi AC	5	Set	Rp. 55.825.000	Rp. 279.125.000
Panel Distribusi DC	7	Set	Rp. 7.392.000	Rp. 51.744.000

Biaya Pengerjaan	550	kWp	Rp. 2.500.000	Rp. 1.375.000.000
Jumlah				Rp. 5.697.891.629
Jumlah Keseluruhan				Rp. 18.472.341.156

Setelah dilakukan perhitungan keseluruhan dari proyek PLTS pada pantai Congot sesuai dari perancangan sistem yang telah dilakukan diperoleh total investasi awal sebesar Rp. 18.472.341.156

4.4.1 Perincian Biaya Operasional

Perhitungan biaya operasional dilakukan untuk memperhitungkan biaya dari sistem jika perencanaan sistem dapat dilakukan dan beroperasi sehingga menghasilkan energi listrik. Pada perhitungan biaya operasional sebesar 1% dari total biaya investasi (Vember Restu Kossi, 2017) yang mencakup perhitungan biaya untuk teknisi pada lokasi PLTS serta perawatan yang dilakukan secara rutin dalam satu tahun. Dibawah ini merupakan tabel perhitungan biaya operasional dari sistem:

Tabel 4.15 Perhitungan Biaya Operasional

No.	Deskripsi	Satuan	Harga	Total Harga
1	Gaji 4 Teknisi	12 Bulan	Rp. 3.600.000	Rp. 172.800.000
2	Perawatan Rutin	1 Tahun	Rp. 40.000.000	Rp. 40.000.000
Total Harga				Rp. 212.800.000
Pengeluaran Tak Terduga 10 %				Rp. 21.280.000
Total Keseluruhan				Rp. 234.080.000

Berdasarkan perhitungan biaya operasional yang dilakukan pada tabel 4.15 diperoleh total perhitungan biaya operasional dari PLTS Fotovoltaik di Pantai Congot Kabupaten Kulon Progo sebesar Rp. 234.080.000 dalam satu tahun.

4.4.2 Cashflow

Untuk perhitungan *cashflow* pada perencanaan PLTS Fotovoltaik dapat mengacu pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang pembelian tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik oleh PT. PLN (Persero). Pada Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 mengatur tentang pembelian listrik yang tertulis pada pasal 5 ayat (3) yang menjelaskan bahwa harga pembelian listrik dari PLTS Fotovoltaik sebesar 85% dari BPP untuk lokasi DIY sebesar US\$ 14.5 sen/kWh yang tertera pada lampiran peraturan tersebut. Maka untuk harga jual listrik per kWh yakni sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1 \text{ US\$} &= \text{Rp. } 14.050 \\ 0,0766 \text{ US\$} &= \text{Rp. } 1.076,23 \text{ (BPP Nasional)} \\ 85\% \times \text{Rp. } 1.076,23 &= \text{Rp. } 914,7955 \end{aligned}$$

Maka untuk harga listrik yang harus dibayarkan oleh warga dari PLTS Fotovoltaik yaitu sebesar Rp. 914,7955 per kWh.

4.4.3 Inflow

Untuk perhitungan *inflow* pada perencanaan PLTS Fotovoltaik dilakukan berdasarkan total kebutuhan beban dari jumlah pelanggan dalam satu bulan. Berikut adalah tabel perhitungan *inflow* pada PLTS Fotovoltaik:

4.17 Tabel Inflow dari PLTS

Total Pelanggan	Total Beban Satu Bulan	Penghasilan per Bulan (Rp. 914,7955/kWh)	Penghasilan per Tahun
486	78,616 kWh	Rp. 34.951.935,632	Rp. 419.423.227,584
14	31,992 kWh	Rp. 409.725,927	Rp. 4.916.711,124
Total Penghasilan Satu Tahun			Rp. 424.339.938,708

Maka untuk total penghasilan dalam satu tahun dari penjualan listrik ke pelanggan yang menjadi penerimaan kas PLTS dalam satu tahun diperoleh sebesar Rp. 424.339.939

4.4.4 Outflow

Untuk perhitungan *outflow* dalam perhitungan finansial dari PLTS terdiri atas biaya investasi awal serta biaya operasional dalam kurun waktu 25 tahun yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Total Investasi} &= \text{Investasi Awal} + \text{Biaya Operasional selama 25 Tahun} \\ &= \text{Rp. 18.472.341.156} + \text{Rp. 5.852.000.000} \\ &= \text{Rp. 24.323.341.156}\end{aligned}$$

Dengan adanya perbaikan dalam kurun waktu 10 tahun yakni pergantian baterai pada tahun ke-9 (berdasarkan perkiraan dari umur baterai). Maka akan diperoleh biaya tambahan pada investasi pada tahun ke-9 serta pada tahun ke-18.

$$\begin{aligned}\text{Outflow} &= \text{Total Investasi} + \text{Biaya Pergantian Baterai} \\ &= \text{Rp. 24.323.341.156} + \text{Rp. 4.810.273.776} \\ &= \text{Rp. 29.133.614.932}\end{aligned}$$

Sehingga total *outflow* pada perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini yaitu sebesar Rp. 29.133.614.932.

4.4.5 Kelayakan Secara Finansial pada Pengoperasian Sistem PLTS

Analisis kelayakan secara finansial dilakukan untuk menilai apakah pada perencanaan sistem PLTS dinilai layak atau tidak berdasarkan dari variabel *Return of Investment (ROI)*, *Payback Period (PP)*, *Net Present Value (NPV)*, serta *Internal Return Rate (IRR)*. Pada perhitungan yang dilakukan menggunakan suku bunga acuan dari Bank Indonesia pada bulan Januari 2019 sebesar 6 %.

- Return of Investment (ROI)

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Pendapatan} - \text{Biaya Investasi})}{\text{Biaya Investasi}} \times 100 \%$$

$$\text{ROI} = \frac{(424.339.939 - 29.133.614.932)}{29.133.614.932} \times 100 \% = -98,5 \%$$

- Payback Period (PP)

Untuk perhitungan *payback period* pada perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini memiliki nilai *inflow* yang sama setiap tahunnya. Sehingga untuk melakukan perhitungan *payback period* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{PP} = \frac{\text{Jumlah Investasi}}{\text{Inflow}}$$

$$\text{PP} = \frac{29.133.614.932}{424.339.939} = 66,47 \text{ tahun} = 68 \text{ tahun } 7 \text{ bulan}$$

Setelah dilakukannya perhitungan maka *payback period* pada perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini selama 68 tahun 7 bulan.

- *Net Present Value* (NPV)

Perhitungan net present value dilakukan untuk melihat proyeksi perhitungan dari pendapatan serta biaya yang dikeluarkan selama 25 tahun berdasarkan dari penggunaan suku bunga acuan sebesar 6% dalam setiap tahun adalah sebagai berikut.

4.18 Tabel Net Present Value (NPV)

Tahun	Kas Masuk (Rp)	Kas Keluar (Rp)	DF (6%)	Net Present Value
0		Rp. 18.472.341.156	1,0000	-Rp. 18.472.341.156
1	Rp. 424.339.939	Rp. 234.080.000	0,9434	Rp. 179.490.508
2	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,8900	Rp. 169.330.668
3	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,8396	Rp. 159.745.913
4	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,7921	Rp. 150.703.692

5	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,7473	Rp. 142.173.294
6	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,7050	Rp. 134.125.749
7	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,6651	Rp. 126.533.726
8	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,6274	Rp. 119.371.439
9	Rp. 424.339.939	Rp. 2.405.136.888	0,5919	-Rp. 1.172.430.671
10	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,5584	Rp. 106.240.156
11	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,5268	Rp. 100.226.562
12	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,4970	Rp. 94.553.361
13	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,4688	Rp. 89.201.284
14	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,4423	Rp. 84.152.154
15	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,4173	Rp. 79.388.825
16	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,3936	Rp. 74.895.118
17	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,3714	Rp. 70.655.772
18	Rp. 424.339.939	Rp. 2.405.136.888	0,3503	-Rp. 693.959.913
19	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,3305	Rp. 62.883.285
20	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,3118	Rp. 59.323.948
21	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,2942	Rp. 55.965.989
22	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,2775	Rp. 52.798.103
23	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,2618	Rp. 49.809.531
24	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,2470	Rp. 46.990.123
25	Rp. 424.339.939	Rp. 187.616.233	0,2330	Rp. 44.330.305
Total NPV				-Rp. 18.085.842.134

- *Internal Return Rate (IRR)*

Untuk perhitungan nilai IRR pada perencanaan PLTS Fotovoltaik tidak dapat dilakukan dikarenakan nilai NPV tidak mencapai nilai positif atau nilai *infinity* (∞) sehingga mengakibatkan tidak adanya nilai *interest rate*.

Berdasarkan perhitungan analisis kelayakan secara finansial maka perencanaan PLTS Fotovoltaik ini ditolak atau tidak dapat diterima disebabkan nilai ROI dan NPV yang negatif serta PP yang terlalu lama. Hal tersebut disebabkan tingginya biaya penggantian baterai tahun ke-9 dan ke-18. Proyek dapat diterima jika nilai dari ROI dan NPV memiliki nilai yang positif.