

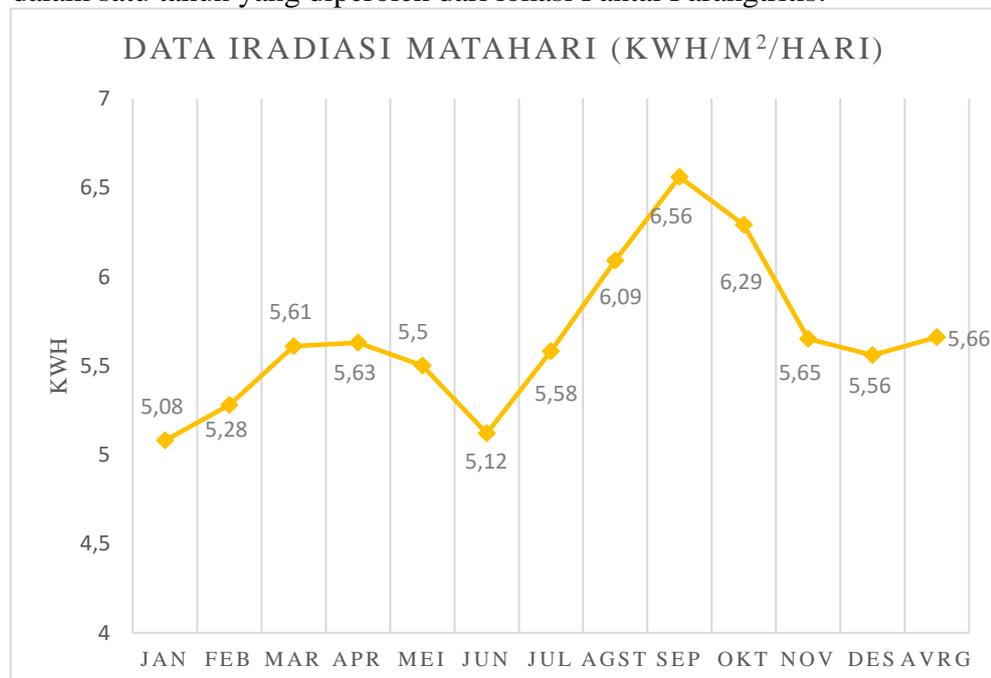
BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Data

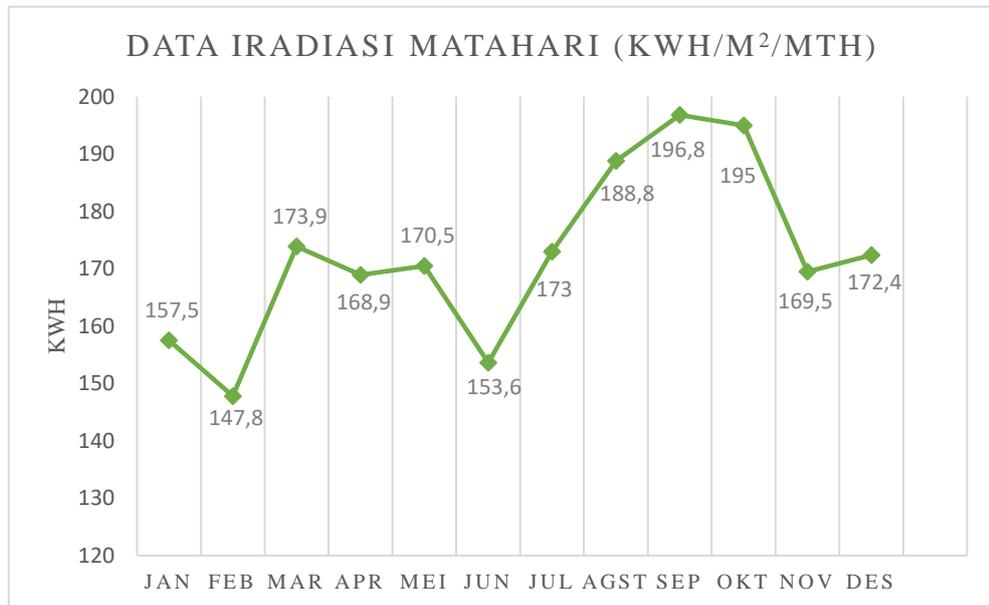
4.1.1. Data Lokasi

A. Nilai Iradiasi Matahari dan Posisi Matahari

Nilai iradiasi matahari yang digunakan menggunakan sumber milik *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*, yaitu *database Surface meteorology and Solar Energy (SSE)*. Dalam data nilai iradiasi dari SSE NASA diperoleh nilai rata-rata iradiasi bulanan dan nilai rata-rata iradiasi satu hari pada setiap bulannya. Untuk memperoleh nilai iradiasi dari database SSE NASA dibutuhkan titik koordinat lokasi yang akan diambil nilai iradiasinya. Lokasi Pantai Parangtritis yang akan dipasang PLTS terletak pada titik koordinat *latitude* 8.01° S dan *longitude* 110.19° E dengan *altitude* 11 meter. Grafik pada gambar 4.1. merupakan hasil nilai iradiasi harian dalam satu bulan, serta pada gambar 4.2. merupakan grafik nilai iradiasi bulanan dalam satu tahun yang diperoleh dari lokasi Pantai Parangtritis:

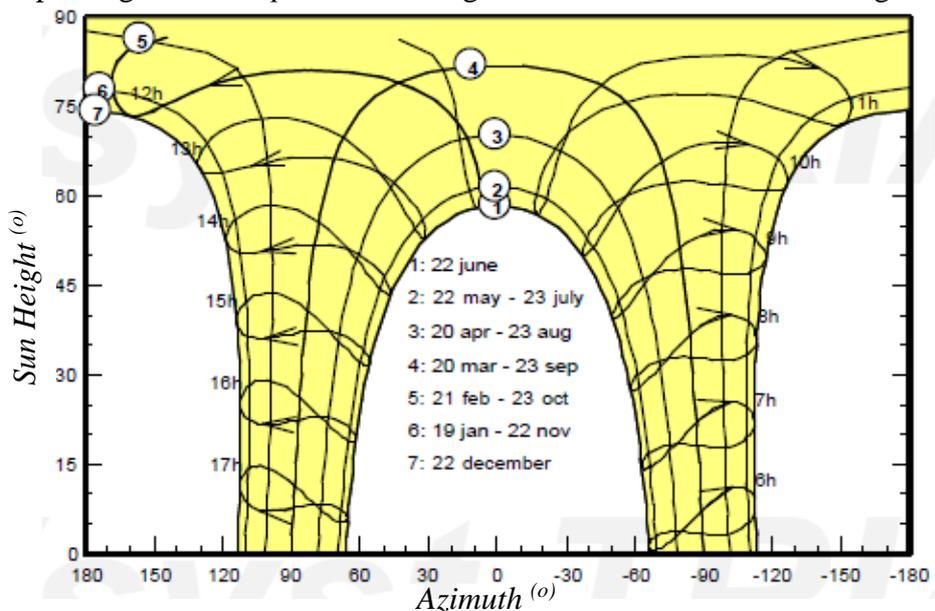


Gambar 4.1. Grafik data harian iradiasi matahari Pantai Parangtritis (Sumber: Nasa SSE)



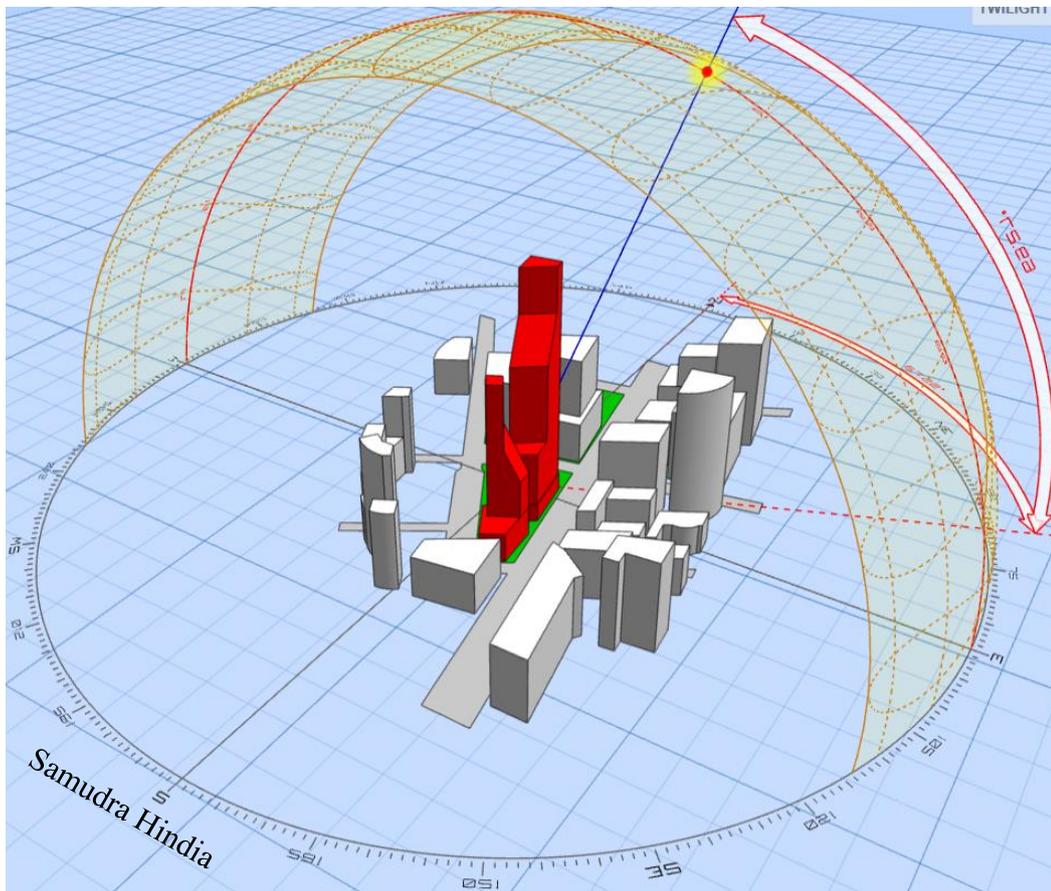
Gambar 4.2. Grafik data bulanan iradiasi matahari Pantai Parangtritis (Sumber: Nasa SSE)

Setelah memperoleh nilai iradiasi diatas maka selanjutnya mencari *sun path* dari lokasi Pantai Parangtritis guna mengetahui waktu optimal dalam menghasilkan nilai iradiasi dari matahari berdasarkan *sun height* dan *azimuth* dari lokasi yang telah ditentukan, yaitu Pantai Parangtritis. Pada gambar 4.3. merupakan gambar *sun path* secara diagram kartesian dari Pantai Parangtritis.



Gambar 4.3. Diagram Kartesian *Sun Path* di Pantai Parangtritis (Sumber: Nasa SSE)

Lalu untuk gambar letak posisi matahari pada lokasi Pantai Parangtritis secara 3 dimensi dapat dilihat menggunakan *software* berbasis *online* yang bersumber dari web andrewmarsh.com. Tata letak dari matahari yang dapat dilihat secara 3 dimensi dilakukan berguna untuk mengetahui sudut posisi secara tepat, dikarenakan apabila sudut hanya dibaca melalui diagram katesian nilai ketelitian yang terbaca kurang. Maka dengan menggunakan *software* untuk mengetahui letak posisi matahari secara 3 dimensi, nilai sudut dari posisi matahari baik sudut ketinggian serta sudut kemiringan dapat terlihat secara lebih detail. Gambar posisi matahari untuk lokasi Pantai Parangtritis secara 3 dimensi dapat dilihat pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4. Tampilan 3 dimensi *Sun Path* di Pantai Parangtritis
(Sumber: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>)

B. Jumlah rumah dan fasilitas umum pertokoan

Data dari jumlah rumah dan fasilitas umum yang ada di Pantai Parangtritis diperoleh dari laporan kependudukan Pemerintah Desa

Parangtritis tahun 2018 yang diperoleh dari Kantor Kepala Desa Parangtritis. Sedangkan yang menjadi cakupan dari sistem pembangkit ini yaitu jumlah bangunan rumah yang terdapat pada sekitar Pantai Parangtritis. Untuk data dari jumlah rumah dan fasilitas umum pertokoan, dapat dilihat pada tabel 4.1. dimana data keseluruhan yang mencakup tabel jumlah rumah dan fasilitas umum yang ada pada daerah disekitar dari Pantai Parangtritis.

Tabel 4.1. Data jumlah rumah dan fasilitas umum pertokoan

No	Jenis Bangunan	Jumlah
1	Rumah Tangga	631
2	Fasilitas Umum Pertokoan & Warung	71

(Sumber : Laporan Kependudukan Pemerintah Desa Parangtritis Tahun 2018)

Data pada tabel 4.1. diperoleh berdasarkan data laporan kependudukan pemerintah Desa Parangtritis pada tahun 2018 yang mencakup jumlah rumah tangga total serta wawancara yang dilakukan dengan pihak pemerintah setempat. Untuk cakupan dari sistem yang direncanakan yaitu rumah tangga yang terletak disekitar pantai sejumlah 631 bangunan serta fasilitas umum pertokoan dan warung yang berjumlah 71 bangunan.

C. Data suhu lokasi

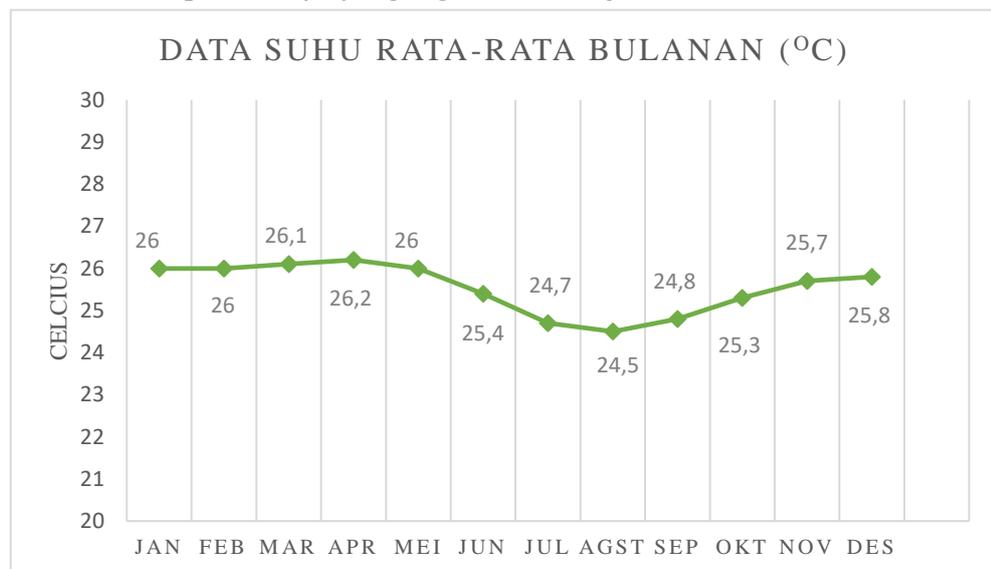
Data dari suhu lokasi diperoleh berdasarkan sumber data yang bersumber dari Nasa SSE dengan memasukkan titik koordinat dari lokasi agar nilai dari derajat suhu dapat tertampil. Pada tabel 4.2. merupakan tabel data suhu ekstrim minimum, maksimum serta suhu rata-rata lokasi dari Kabupaten Bantul.

Tabel 4.2. Suhu Ekstrim Minimum dan Maksimum Kabupaten Bantul

No	Jenis Data	Nilai
1	Suhu Ekstrim Minimum	22° C
2	Suhu Rata-Rata	25° C
3	Suhu Ekstrim Maksimum	30° C

(Sumber : Nasa SSE (*Surface meteorology and Solar Energy*))

Berdasarkan tabel 4.2. yang bersumber dari Nasa SSE menunjukkan bahwa nilai derajat suhu ekstrim minimum dari lokasi yaitu sebesar (22°C), suhu rata-rata dari lokasi sebesar (25°C), dan untuk suhu ekstrim maksimum dari lokasi sebesar (30°C). Untuk data tabel suhu penting diketahui karena apabila suhu dari lokasi terlampau tinggi maka dapat menyebabkan nilai efisiensi dari panel surya yang digunakan menjadi menurun.



Gambar 4.5. Grafik data suhu rata-rata bulanan Kabupaten Bantul (Sumber : Nasa SSE)

Sedangkan untuk tabel suhu rata-rata bulanan diatas diperoleh nilai rata-rata bulanan sebesar 25°C . Untuk mencari nilai rata-rata suhu dapat dilakukan dengan melakukan penjumlahan nilai keseluruhan dari nilai suhu bulanan dalam satu tahun dan selanjutnya hasil penjumlahan dibagi dengan jumlah bulan dalam satu tahun yaitu 12 bulan.

4.1.2. Perhitungan Beban Energi Listrik

Dikarenakan kapasitas pembangkit listrik fotovoltaik menggunakan sistem *off grid*, maka pemilihan kuota energi listrik harus dilakukan secara tepat guna memperoleh nilai total kebutuhan beban yang sesuai. Hal tersebut dilakukan karena nilai kapasitas pembangkit listrik sistem *off grid* memiliki kapasitas yang terbatas guna melayani jumlah total kapasitas beban yang lebih optimal. Dalam melakukan pemilihan kuota energi listrik dapat menggunakan

standar SNI 04-6394-2000, yang mengatur perihal *minimum daily energy services* yang dapat disuplai oleh sistem.

Untuk pemilihan kuota energi listrik terdiri dari 2 kelompok yang terbagi antara lain kelompok rumah tangga dan kelompok fasilitas umum pertokoan dan warung yang ada disekitar Pantai Parangtritis. Data diperoleh dengan melakukan survey secara langsung menggunakan metode wawancara. Pada tabel 4.3. merupakan tabel pemilihan kuota energi listrik untuk rumah tangga harian dan fasilitas umum pertokoan berdasarkan lokasi disekitar Pantai Parangtritis.

Tabel 4.3. Beban energi listrik rumah tangga harian

No	Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1	Lampu 1	5	12	60	6	360
2	Lampu 2	1	10	10	12	120
3	Penanak Nasi	1	350	350	1	350
4	Televisi	1	100	100	8	800
5	Pompa Air	1	250	250	3	750
6	Setrika	1	300	300	1	300
Jumlah				1070		2680

Untuk memperoleh nilai beban energi listrik rumah tangga yang terletak disekitar pantai Parangtritis dilakukan pengambilan data dengan memilih 5 sampel di lokasi dalam satu hari. Lalu diperoleh hasil dari pengambilan data rumah tangga dalam satu hari menghabiskan energi listrik sejumlah 2680 Wh.

Tabel 4.4. Beban energi listrik fasilitas umum pertokoan harian

No	Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
1	Lampu 1	2	10	20	8	160
2	Lampu 2	2	12	24	3	72
3	Televisi	1	100	100	8	800
4	Kulkas	1	180	180	7	1260
Jumlah				324		2292

Sedangkan untuk perhitungan beban energi listrik yang digunakan pada fasilitas umum warung dan pertokoan dilakukan dengan mengambil sampel sejumlah 5 fasilitas umum pertokoan dan warung yang terletak di lokasi sekitar pantai Parangtritis. Setelah dilakukan pengambilan data, maka dalam satu hari untuk fasilitas umum warung dan pertokoan menghabiskan energi listrik sejumlah 2292 Wh.

4.2. Pengolahan Data

Pengolahan data digunakan untuk memperoleh nilai perhitungan total kebutuhan beban dari pembangkit serta menentukan penggolongan kategori nilai iradiasi untuk mengetahui lama waktu efektif matahari dalam satu hari.

4.2.1. Menentukan Kelas Nilai *Equal Sun Hours*

Menentukan nilai *equal sun hours* dilakukan untuk menentukan klasifikasi kategori kelas iradiasi guna mengetahui lama waktu efektif matahari dalam satu hari, sehingga dapat mendukung dalam perancangan sistem pembangkit. Klasifikasi kelas iradiasi menggunakan standar SNI 04-6394-2000

Berdasarkan data dari NASA SSE diperoleh data nilai iradiasi rata-rata dari Pantai Parangtritis dibawah ini:

$$\text{Rata-rata} = 5,66 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$$

$$\text{Range } \textit{Equal Sun Hours} \text{ (ESH)} = (\text{nilai rata-rata}) - (\text{nilai terendah})$$

$$\text{Range ESH} = 5,66 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} - 5,12 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} = 0,58$$

Setelah melakukan perhitungan range esh maka diperoleh nilai 0,58. Berdasarkan kelas range esh, nilai tersebut berada pada range < 1,5, sedangkan berdasarkan rata-rata iradiasi daerah Pantai Parangtritis termasuk dalam kelas esh kategori 4 (lebih dari 5,5 kWh/m²/hari) dengan nilai rata-rata 5,66 kWh/m²/hari. Pada tabel 4.5. merupakan tabel klasifikasi kelas iradiasi matahari.

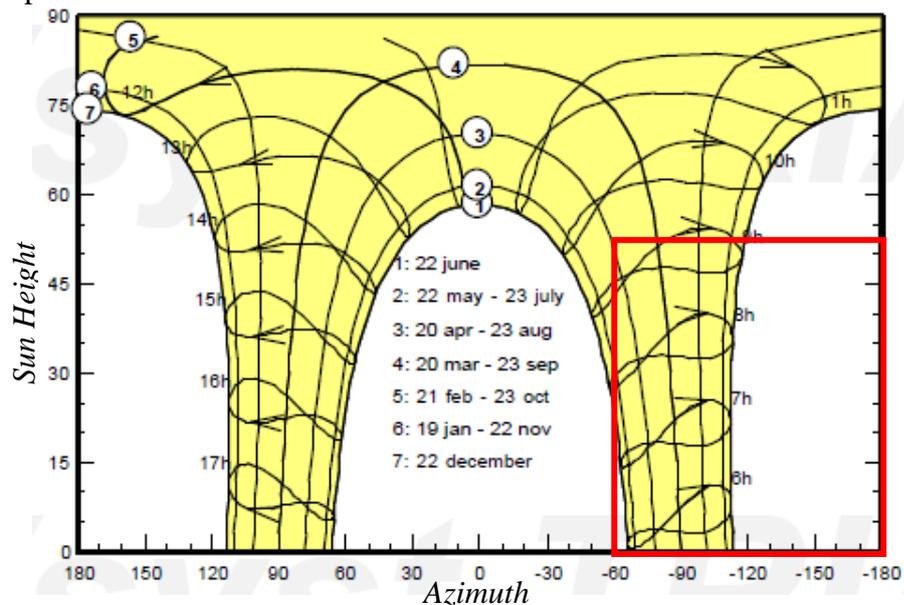
Tabel 4.5. Klasifikasi kelas iradiasi berdasarkan standar SNI 04-6394-2000

Kelas ESH	I	Ila	Ilb	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

4.2.2. Menentukan Sudut Posisi Matahari, Sudut Kemiringan dan Orientasi Panel

Penentuan sudut posisi matahari, sudut kemiringan dan orientasi panel dilakukan menggunakan software PVSYST dan *software* berbasis *online* yaitu 3d sun path. Penentuan sudut-sudut diatas dilakukan guna mengoptimalkan nilai iradiasi dari matahari.

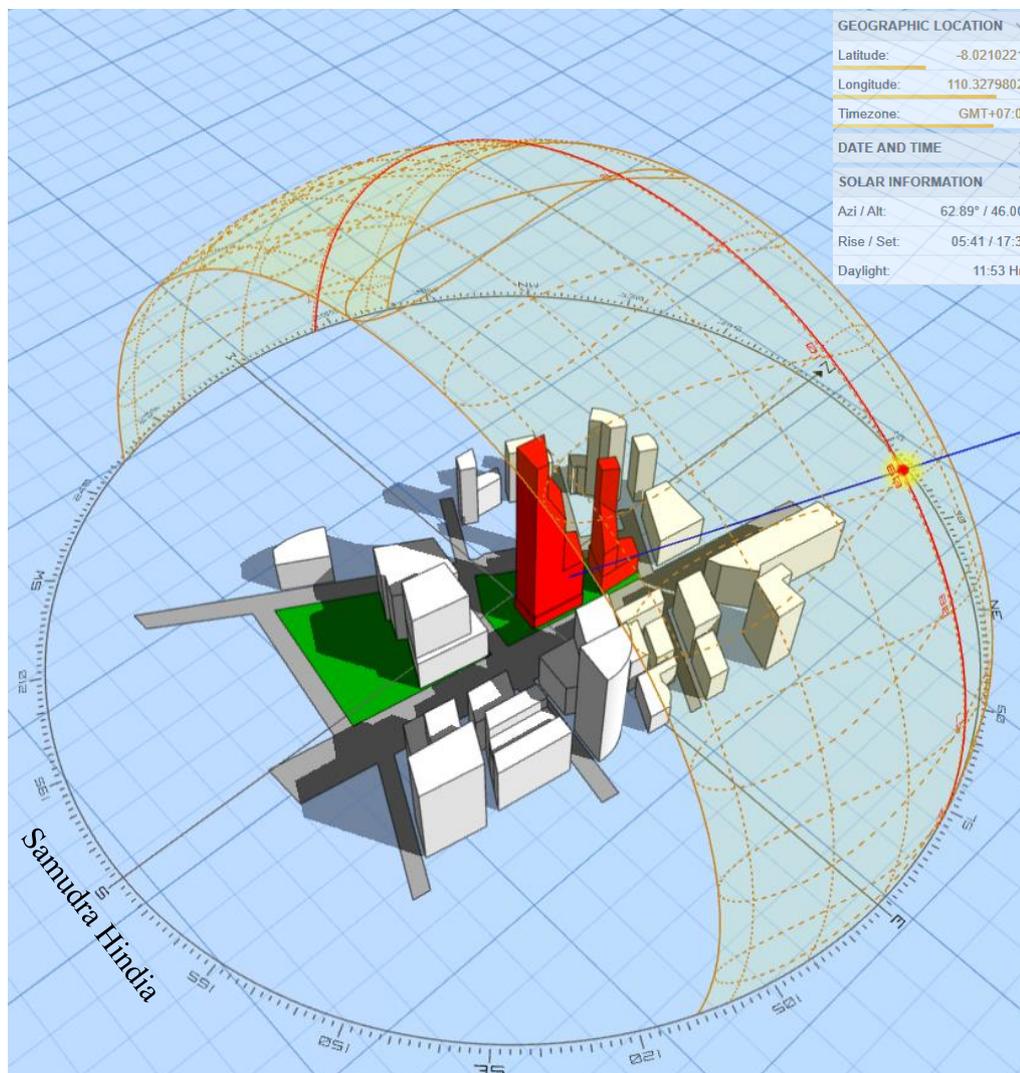
Berdasarkan klasifikasi setelah penentuan nilai ESH, maka daerah Pantai Parangtritis tergolong kedalam kategori IV dengan waktu efektif matahari dari daerah Pantai Parangtritis yaitu selama 6 jam yang dimulai dari pukul 09.00 sampai pukul 15.00. Penentuan sudut posisi matahari pada Pantai Parangtritis dilakukan menggunakan gambar diagram kartesian dari *sun path* Nasa SSE serta gambar 3d *sun path* dari Andrew Marsh. Pada gambar 4.6 merupakan gambar *sun path* yang diperoleh dari database Nasa SSE untuk lokasi Pantai Parangtritis Kabupaten Bantul.



Gambar 4.6. *Sun Path* waktu mulai optimal dari pukul 09.00 WIB (Sumber : Nasa SSE)

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6. yaitu tentang *sun path* , daerah yang bertanda kotak merah merupakan letak posisi matahari pada saat pukul 09.00 untuk lokasi pantai Parangtritis. Sudut *azimuth* merupakan sudut kemiringan dari posisi matahari, sedangkan *sun height* merupakan ketinggian matahari pada saat pukul 09.00. Penentuan posisi matahari dilakukan dengan mengambil data pada garis dengan nomor 3 yang memiliki rentang waktu 20 April – 23 Agustus.

Untuk tampilan waktu optimal 3d *sun path* dari Andrew Marsh dapat dilihat pada gambar 4.7:



Gambar 4.7. 3d *Sun Path* waktu mulai optimal dari pukul 09.00 WIB
(Sumber : <http://andrewmarsh.com>)

Berdasarkan dari gambar *sun path* diagram kartesian dan gambar 3d *sun path* pada pukul 09.00 pagi diperoleh nilai (*azimuth*) sebesar 62.89° dengan nilai ketinggian matahari (*altitude*) sebesar 46.00° . Setelah diperoleh nilai *azimuth* dan *altitude* maka langkah selanjutnya dilakukan penentuan sudut kemiringan panel surya yang akan diterapkan.

Untuk menentukan sudut kemiringan dari panel surya maka menggunakan standar SNI 04-6394-2000, sudut kemiringan dari panel surya yang terpasang sebesar 15° untuk memudahkan dalam melakukan pembersihan dari air hujan dan untuk memperoleh nilai iradiasi sinar matahari yang optimal. Karena lokasi terletak pada belahan bumi selatan, panel surya yang akan terpasang mengarah ke utara. Oleh karena itu orientasi dari panel surya memiliki sudut kemiringan panel sebesar 15° dengan mengarah ke utara.

4.2.3. Perhitungan Total Kebutuhan Beban

Perhitungan total kebutuhan beban dilakukan setelah diperoleh jumlah total kebutuhan energi listrik rumah tangga dan fasilitas umum pertokoan yang bertujuan untuk menentukan jumlah total kapasitas pembangkit listrik yang akan terpasang. Pada perhitungan total kebutuhan beban juga menggunakan nilai toleransi cadangan energi sebesar 30% (Triyanto Pangaribowo, 2016) diatas kapasitas total beban yang berguna untuk memberikan kapasitas toleransi apabila terjadi kenaikan beban yang terpasang. Sedangkan untuk perhitungan rugi-rugi yang terjadi, mengacu pada standar IEEE 1562:2007 yang mengatur perhitungan rugi-rugi dari sistem sebesar 10-20%.

Tabel 4.6. Perhitungan Total Kebutuhan Beban

No	Jenis	Total Beban	Jumlah Unit	Total (Wh)
1	Rumah Tangga	2680 Wh	631	1.691.080
2	Pertokoan & Warung	2292 Wh	71	162.732
Jumlah Total				1.853.812
Toleransi Cadangan Energi 30%				556.143
Rugi-rugi 20%				481.991
Jumlah total kebutuhan beban				2.891.946

$$\begin{aligned} \text{Sub total 1} &= \text{Jumlah total beban} + (\text{Jumlah total beban} * 30\%) \\ &= 1.853.812 + (1.853.812 * 30\%) \\ &= 2.409.955 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah total kebutuhan beban} &= \text{Sub total 1} + (\text{Sub total 1} * 20\%) \\ &= 2.409.955 + (2.409.955 * 20\%) \\ &= 2.891.946 \text{ Wh} \\ &= 2.892 \text{ kWh} \\ &= 2,892 \text{ MWh} \\ &= 2,9 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Pada perhitungan jumlah total kebutuhan dari beban diperoleh hasil sejumlah 2,9 MWh. Nilai total kebutuhan beban diperoleh berdasarkan nilai dengan ditambahkan dengan nilai toleransi sebesar 30% dari kebutuhan total. Setelah nilai penjumlahan kebutuhan beban ditambahkan dengan nilai toleransi 30%, maka hasil penjumlahan ditambahkan dengan nilai rugi-rugi sebesar 20% agar diperoleh nilai kebutuhan total dari beban dengan nilai 2,9 MWh.

4.3. Pemilihan Desain Teknis

4.3.1. Penentuan Kapasitas PLTS Fotovoltaik

Setelah diketahui total kebutuhan beban maka selanjutnya menentukan kapasitas PLTS yang akan dirancang pada lokasi pantai Parangtritis dengan nilai perhitungan yang telah diperoleh yaitu sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi listrik pada lokasi sebesar 2,9 MWh dalam satu hari.
2. Nilai kelas ESH lokasi pantai Parangtritis yaitu 6 jam.
3. Nilai koefisien dari PLTS sebesar 0,8. (Photovoltaics Systems Engineering Second Edition, 2003)
4. Nilai efisiensi dari modul fotovoltaik 88,5% (Bagus F. Ramadani, 2018)

Setelah diperoleh data-data seperti diatas, maka dilakukanlah perhitungan kapasitas PLTS menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t \times kef \times \text{eff. modul}}$$

Keterangan ,

P = Kapasitas dari PLTS fotovoltaik (kWp)

W = Total kebutuhan beban (MWh)

Eff. Modul = Nilai efisiensi modul *photovoltaic*

t = Kelas iradiasi lama waktu efektif (h)

kef = Nilai koefisien dari PLTS

Maka perhitungan dari kapastias PLTS Fotovoltaik yaitu,

$$P = \frac{2,9 \text{ MWh}}{6 \text{ jam} \times 0,8 \times 0,885} = 0,681 \text{ MWp} = 681 \text{ kWp}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan mempertimbangkan nilai-nilai efisiensi modul dan nilai koefisien dari PLTS maka diperoleh nilai kapasitas PLTS yang dibutuhkan oleh lokasi sebesar 681 kWp. Jika dihitung dalam satu hari dengan waktu efektif 6 jam, maka akan menghasilkan 4,086MWh dan jika dikalkulasikan dalam satu tahun (365 hari) maka akan menghasilkan 1.491,39 GWh.

4.3.2. Perhitungan Kapasitas Baterai

Pada perhitungan kapasitas baterai, pada setiap sistem memiliki nilai efisisensi masing-masing yaitu efisiensi inverter, efisiensi baterai dan efisiensi dari penghantar. Untuk nilai dari efisiensi baterai berdasarkan, sedangkan untuk efisiensi dari penghantar sebesar 98% atau 0,98 (Photovoltaics Systems Engineering Second Edition, 2003). Perhitungan dari kapasitas baterai yang dibutuhkan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$\text{Baterai} = \frac{\text{Otonomi sistem} \times \text{Total kebutuhan (MWh)}}{\text{Efisiensi}}$$

$$\text{Baterai} = \frac{2 \times 2,9 \text{ MWh}}{(0,85 \times 0,98)}$$

$$\text{Baterai} = 6,962 \text{ MWh}$$

Keterangan,

Otonomi = Cadangan baterai 2 hari jika tidak ada sinar matahari

Efisiensi = Efisiensi baterai x Efisiensi Penghantar

Efisiensi baterai = 0,85 (Bagus F.Ramadani, 2018)

Efisiensi penghantar = 0,98 (Photovoltaics Systems Engineering Second Edition, 2003)

Setelah diperoleh kapasitas baterai dalam satuan MWh, maka dikonversi kedalam satuan Ah menggunakan rumus sebagai berikut,

$$\text{Baterai (Ah)} = \text{Baterai (MWh)} \frac{1000}{\text{Nominal tegangan baterai}}$$

$$\text{Baterai (Ah)} = 6,962 \times \frac{1000}{48 \text{ V}} = 145.000 \text{ Ah}$$

Keterangan,

48 V = tegangan nominal setiap rangkaian baterai bank

Berdasarkan Permen ESDM No.36 tahun 2018 yang mengatur syarat dari *depth of discharge* (DOD) dari baterai dengan nilai 80%, maka perhitungan dari kapasitas baterai yaitu,

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{\text{Baterai (Ah)}}{\text{DOD}}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{145.000}{0,8} = 181.250 \text{ Ah}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas maka kapasitas baterai dengan mempertimbangkan DOD sebesar 80% diperoleh nilai yang dibutuhkan pada sistem yaitu sebesar 181.250 Ah.

4.3.3. Menentukan Solar Panel

Dalam menentukan komponen *solar panel* tentu dibutuhkan beberapa pertimbangan yang dilakukan. Salah satu cara untuk menentukan komponen *solar panel* yang sesuai yaitu dengan membuat tabel perbandingan yang dapat terdiri dari beberapa panel surya agar lebih mudah dalam melakukan pemilihan komponen. Pada tabel 4.7. merupakan tabel perbandingan spesifikasi dari 3 merk panel surya yang berbeda untuk dilakukan pemilihan komponen.

Tabel 4.7. Perbandingan spesifikasi panel surya untuk sistem

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
Tipe Panel	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 Efficiency (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. 4.180.020
Price per Wp	Rp. 15.500	Rp. 13.948	Rp. 13.933,4

Pada penentuan panel surya diperlukan perbandingan antara beberapa panel guna mengetahui panel dari merk mana yang sesuai dan dibutuhkan oleh sistem selanjutnya. Setelah membandingkan antara 3 merk yaitu Solar Land, Sky Energi dan Wedosolar dengan ketiga kapasitas yang hampir sama yaitu 300 Wp – 330Wp, maka berdasarkan spesifikasi maka ditentukan untuk panel yang dipilih yaitu dari merk Sky Energi dengan kapasitas 330 Wp. Alasan dipilihnya panel dari Sky Energi kapasitas 330 Wp yaitu dengan kapasitas yang sama memiliki efisiensi panel lebih besar jika dibandingkan dengan panel dari Solar Land meskipun lebih kecil dari panel Wedosolar. Lalu dengan harga yang mendekati antara kedua merk panel surya pembanding, merk dari Sky Energi memiliki kapasitas panel yang lebih besar yaitu 330 Wp. Hal tersebut berdampak pada penggunaan panel yang lebih sedikit pada sistem dibandingkan jika menggunakan panel dengan kapasitas 300 Wp.

4.3.4. Menentukan *Solar Battery*

Langkah penentuan jenis baterai yang akan digunakan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan dari kebutuhan dari sistem PLTS. Dapat juga dengan mempertimbangkan berdasarkan peraturan yang mengatur dalam pemilihan baterai. Untuk jenis baterai yang biasa digunakan yaitu jenis VRLA, dan Lithium-Ion. Untuk konfigurasi tegangan nominal dari setiap battery bank yaitu 48 V, maka dapat menggunakan baterai 2 Volt – 12 Volt. Namun apabila menggunakan baterai 2 Volt maka akan membutuhkan baterai dengan konfigurasi seri 24 buah untuk memenuhi rangkaian pada setiap baterai bank. Oleh karena itu konfigurasi dengan menggunakan baterai 6 Volt dirasa tepat untuk memenuhi sistem yang digunakan karena hanya akan membutuhkan 8 buah baterai yang dihubungkan secara seri untuk mencapai tegangan nominal dari setiap baterai bank yaitu 48 Volt.

Tabel 4.8. Perbandingan spesifikasi solar baterai

Spesifikasi	Trojan Solar Deep-Cycle Battery	Rolls Deep Cycle Battery
Manufactures	Trojan Battery Company	Roolls Battery Engineering
Model	SIND 06 1225	6 CS 25P
Voltage	6 Volt	6 Volt
Capacity	1225 Ah @ 100 Hr	1156 Ah @ 100 Hr
Battery Type	Deep Cycle Flooded / Advanced Lead Acid Battery	Flooded Deep Cycle / Advanced Lead Acid Battery
Dimensions (mm)	689 x 265 x 610	559 x 286 x 464
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

Setelah dilakukan perbandingan, untuk melakukan pemilihan hal yang perlu dipertimbangkan yaitu nilai harga komponen serta garansi yang diberikan oleh produsen. Karena hal tersebut akan berpengaruh dalam perencanaan biaya yang akan dilakukan nantinya. Untuk baterai dari merk trojan kapasitas yang dimiliki lebih tinggi dibandingkan dengan merk rolls, namun untuk harga per Ah dari baterai lebih tinggi dibandingkan dengan baterai dari merk rolls. Sedangkan untuk garansi produk yang diberikan dari merk rolls juga lebih lama jika dibandingkan dengan merk trojan. Jika dibandingkan dari segi kualitas, kedua merk memiliki kualitas yang sepadan, karena kedua merk baterai merupakan merk yang memiliki kualitas yang mendunia. Maka untuk pemilihan baterai menggunakan merk rolls dengan kapasitas 6 Volt / 1156 Ah.

4.3.5. Menentukan *Solar Charge Controller (SCC)*

Dalam memilih *solar charge controller* tentu harus mempertimbangkan dari kebutuhan sistem yang akan digunakan. Untuk *solar charge controller*

sendiri digolongkan menjadi 2 jenis, MPPT dan PWM. Perbandingan antara MPPT dan PWM yaitu jika sistem yang digunakan tergolong dalam sistem yang kecil dan temperature dari solar panel tergolong dalam temperature yang tinggi maka dapat menggunakan PWM, dan jika sistem yang digunakan dalam skala besar dapat menggunakan MPPT. Maka untuk sistem ini akan menggunakan MPPT karena sistem PLTS ini tergolong dalam kategori sistem yang besar. Tabel perbandingan untuk menentukan *solar charge controller* yang sesuai dapat dilihat pada tabel perbandingan spesifikasi pada tabel 4.9 :

Tabel 4.9. Perbandingan spesifikasi *solar charge controller*

Spesifikasi	Schneider Conext MPPT 80 600	Out Back 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	24 and 48 V (Default 48 V)	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	80A	100A	60A
Power efficiency	94 % (24V), 96 % (48V)	96 % (24V) 98 % (48V)	97.9 %
Price (Rp)	Rp. 22.039.762	Rp. 13.643.662	Rp. 19.017.166

Berdasarkan tabel diatas diperoleh 3 spesifikasi yang dapat digunakan sebagai perbandingan dalam memilih MPPT yang sesuai dan dapat digunakan untuk sistem. Apabila dibandingkan dari segi harga maka dapat menggunakan MPPT dari OutBack Power, karena merk tersebut menawarkan harga yang lebih murah dibandingkan dari kedua merk yang lain. Jika dilihat dari tegangan

baterai, dari ketiga merk menawarkan rating tegangan dari baterai berkisar antara 24-48 V. Namun untuk merk dari Morningstar menawarkan hingga tegangan 60 V. Sedangkan untuk arus charging merk dari OutBack menawarkan arus charging tertinggi dengan rating 100 A, Schneider rating arusnya 80 A, dan Morningstar rating arusnya 60A. Lalu untuk tegangan operasi dari PV array merk Schneider dan Morningstar menawarkan tegangan yang lebih tinggi yaitu 600 V dan OutBack menawarkan tegangan 300 V. Jika dilihat dari segi efisiensi maka MPPT dari OutBack nilai efisiensinya paling tinggi yaitu 98%. Oleh karena itu untuk penggunaan MPPT yang digunakan yaitu MPPT dari merk 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 harus menentukan total kapasitas yang dibutuhkan oleh sistem, sehingga nantinya inverter yang digunakan tidak terlampaui tinggi kapasitasnya dari sistem. Untuk sistem dengan kapasitas tinggi dapat menggunakan inverter tipe central inverter. Pada tabel 4.10. merupakan tabel perbandingan antara inverter yang akan digunakan untuk sistem.

Tabel 4.10. Tabel perbandingan spesifikasi Inverter

Spesifikasi	Sunny Central 720 CP - US	ABB PVS 800 Central Inverter 875 kW
Manufactures	SMA Solar Technology AG	ABB
Type	Sunny Central 720 CP-US	Central Inverters PVS 800
Maximum Input Power	808 kWp	1050 kWp
Maximum DC Voltage	1000 V	1100 V
Maximum DC Current	1400 A	1710 A
Nominal Power AC	720 kW	875 kW
Maximum Output Power	792 kW	1050 kW
Nominal AC Current	1411 A	1445 A

Nominal AC Output Voltage	324 V	350 V
Efficiency Maximum	98.6 %	98.7 %
Own Consumption in operation	1950 W	650 W
Dimensions (mm)	2562 x 2272 x 956	3630 x 2130 x 708
Price (Rp)	Rp. 1.646.736.840	Rp. 1.964.410.000

Perbandingan antara kedua inverter dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa kapasitas dari sistem yaitu 681 kWp, maka untuk inverter yang digunakan setidaknya melebihi dari kapasitas beban yang digunakan namun dengan kapasitas yang tidak terlampaui jauh dari kebutuhan beban. Setelah dilakukan perbandingan spesifikasi inverter antara merk SMA dengan merk ABB diperoleh hasil perbandingan yaitu untuk tegangan kerja maksimum DC dari ABB lebih tinggi hingga 1100 V dibandingkan dengan inverter merk SMA yaitu 1000V. Sedangkan jika dibandingkan dari arus DC maksimum, untuk inverter dari merk ABB lebih tinggi dengan 1710 A dan inverter dari SMA arus DC maksimumnya yaitu 1400 A. Dari segi efisiensi kedua inverter memiliki nilai efisiensi yang tinggi yaitu diatas 98%. Namun untuk konsumsi daya dari inverter ABB lebih rendah jika dibandingkan dari inverter SMA, namun harga yang dari inverter ABB lebih mahal dikarenakan kapasitas yang dimiliki jauh lebih besar dibandingkan dengan inverter dari SMA. Maka untuk inverter yang digunakan oleh sistem yaitu menggunakan inverter dari SMA dengan seri Sunny Central 720 CP-US. Untuk inverter yang digunakan yaitu dengan kapasitas 720 kW karena nilai tersebut mendekati dari total kebutuhan beban yang dibutuhkan. Apabila menggunakan inverter dari ABB dengan kapasitas 875 kW maka kapasitas dari inverter terlampaui tinggi jika dibandingkan dengan kebutuhan sistem yang akan berpengaruh pada penggunaan biaya yang lebih tinggi.

4.3.7. Menghitung Jumlah Solar Panel

Melakukan perhitungan jumlah solar panel yang akan digunakan dilakukan berdasarkan komponen yang sudah terpilih. Untuk komponen panel surya yang digunakan menggunakan spesifikasi Monocrystalline dengan kapasitas masing-masing panel sebesar 330Wp. Untuk mengetahui jumlah solar panel yang akan digunakan menggunakan rumus perhitungan seperti dibawah ini,

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{Kapasitas total PLTS}}{\text{Kapasitas panel surya}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{681\text{kWp}}{330\text{Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{681.000\text{Wp}}{330\text{Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = 2.064\text{Panel}$$

Keterangan,

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

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh jumlah total panel surya yang dibutuhkan oleh sistem yaitu sebanyak 2.064 panel surya dengan kapasitas masing-masing panel sebesar 330 Wp.

4.3.8. Menghitung Kapasitas Total Solar Charge Controller

Solar charge controller (SCC) diperlukan sebagai pengontrol pengisian pada baterai yang digunakan pada sistem, untuk menghitung kebutuhan *solar charge controller* dari sistem menggunakan rumus dibawah ini,

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

$$\text{SCC} = \frac{681 \text{ kWp}}{6 \text{ kW}}$$

$$\text{SCC} = 114 \text{ buah}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan *solar charge controller* diperoleh nilai total SCC yang dibutuhkan sistem sebanyak 114 buah. Setelah kapasitas

SCC diperoleh, maka dilakukan penentuan kapasitas inverter untuk kebutuhan sistem PLTS yang akan digunakan.

4.3.9. Menentukan Kapasitas Inverter

Penentuan kapasitas inverter dilakukan berdasarkan Permen ESDM No.36 tahun 2018 yang mengatur tentang spesifikasi dari sistem PLTS Fotovoltaik. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh kebutuhan kapasitas total dari sistem yaitu sebesar 681 kWp, maka untuk kapasitas yang digunakan oleh sistem paling tidak mendekati dari kapasitas kebutuhan dari beban yang digunakan oleh sistem. Apabila kebutuhan sistem 681 kWp maka kebutuhan dari inverter yang dibutuhkan setidaknya mendekati dari kapasitas kebutuhan sistem. Oleh karena itu untuk inverter yang digunakan yang tersedia di pasaran yaitu dengan kapasitas 720 kW dengan spesifikasi lengkap seperti pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Spesifikasi Inverter SMA 720kW

Inverter	Spesifikasi Teknis
Spesifikasi input DC	
Maximum power input ($P_{pv,max}$)	808 KWp
Maximum voltage ($U_{max(DC)}$)	1000 V
Maximum current ($I_{max(DC)}$)	1400 A
Spesifikasi output AC	
Power Nominal ($P_{N(AC)}$)	720kW
Maximum output power	792kW
Nominal AC current ($I_{N(AC)}$)	1411 A
Nominal output voltage ($U_{N(AC)}$)	324 V
Output frequency	50/60 Hz
Efficiency	
Maximum	98.6 %
Efficiency at euro eta	98.4%
Spesifikasi power consumption	
Consumption in operation	950W
Standby consumption	<100W

External auxiliary voltage	230 V/400 V
Weight and Dimensions	
Width /Height /Depth (W/H/D)	2562mm/2272mm/908mm
Weight appr.	1800

Inverter yang akan digunakan merupakan produksi dari brand SMA dengan seri Sunny Central yang memiliki kapasitas 720 kW. Range tegangan DC antara 577 sampai 850 V, dan tegangan maximum adalah 1000 V. Maximum input dari PV dapat mencapai 808 kWp sedangkan output nominal AC sebesar 720 kW dan output AC maksimal yaitu 792 kW. Maximum arus input dari *inverter* ini yaitu 1400 A dan maksimal output AC dari *inverter* yaitu 1411 A. Nilai output maksimal dari *inverter* yaitu 324 V dengan nilai efisiensi yaitu 98.6%. Dengan kapasitas input mencapai 808 kWp maka dapat digunakan pada sistem yang digunakan karena output dari sistem menghasilkan 681 kWp.

4.3.10. Menentukan Desain Panel Array

Penentuan desain rangkaian untuk panel *array* dari PLTS diperlukan 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 melebihi dari batas yang diperbolehkan oleh sistem. Setelah dilakukan pemilihan komponen utama dari PLTS yaitu *solar panel*, maka pada tabel 4.12 merupakan tabel spesifikasi lengkap dari *solar panel* serta spesifikasi lengkap dari *solar charge controller* yang digunakan oleh sistem dalam perancangan sistem PLTS ini,

Tabel 4.12. Spesifikasi lengkap panel surya

Panel Surya	
Electrical Performance (STC : AM 1,5, 1000W/m ² , 25°C)	
Manufaktur	
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

Untuk panel surya yang digunakan yaitu merupakan produk dari PT. Sky Energi Indonesia yang bertipe *monocrystalline* dengan *maximum power* yaitu 330 Wp. Untuk tegangan maximum yaitu 37.8 V dengan arus maximum yaitu 8.72 A dan tegangan open circuit yaitu 45.7 V. Tegangan maksimal dari sistem yaitu 1000 V dan arus short circuit 9.21 A dan efisiensi dari modul yaitu 17.09%. Bobot dari setiap panel surya dari Sky Energi Indonesia ini yaitu 25.8 Kg untuk masing-masing panelnya.

Tabel 4.13. Spesifikasi lengkap *solar charge controller*

<i>Solar Charge Controller</i>	
Manufaktur	OutBack Power
Tipe	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

Spesifikasi lengkap dari *solar charge controller* yang digunakan yaitu berasal dari merk OutBack Power dengan tipe FLEXmax 100 dengan tegangan maksimal PV sistem yaitu 300 VDC dan tegangan nominal baterai yaitu 24V / 36V / 48V. Tegangan *charging* dari *solar charge controller* yaitu 20 sampai 68 VDC. Untuk arus input dari *solar charge controller* yaitu 64 A dan maximum arus output yaitu 100 A. Kapasitas *minimum battery bank* yang dapat digunakan yaitu 100 Ah dengan efisiensi 97 % pada 48 V. Penentuan desain panel array yang dilakukan menggunakan spesifikasi dari panel surya, dan *solar charge controller*. Pada perhitungan ini merupakan rumus perhitungan untuk menentukan desain rangkaian panel *array*,

1. Perhitungan tegangan

a. Perhitungan *Open-Circuit Voltage* pada suhu minimum lokasi

$$\begin{aligned} V_{oc} (22^{\circ}\text{C}) &= ((1 - (T_{VOC} - 25 \times (TCoc / 100))) \times V_{oc}) \\ &= ((1 - ((22 - 25) \times (-0,35 / 100))) \times 45,7) \\ &= ((1 - (-3 \times (-0,0035))) \times 45,7) \\ &= 45,2 \text{ V} \end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal panel surya pada setiap string

$$\begin{aligned} \text{Max. String} &= \text{Tegangan SCC} \div \text{Tegangan } V_{oc} \\ &= 300 \text{ V} \div 45,2 \text{ V} \\ &= 6,63 \text{ (dibulatkan)} = 6 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_{mpp} (30^{\circ}\text{C}) &= ((1 + (T_{oc} + T_a - 25 \times (TCoc/100))) \times V_{mpp}) \\ &= ((1 + ((30 + 32 - 25) \times (-0,356 / 100))) \times 37,8) \\ &= ((1 + (37 \times (-0,00356))) \times 37,8) \\ &= ((1 + (-0,13172)) \times 37,8) \\ &= 32,8 \text{ V} \end{aligned}$$

d. Perhitungan jumlah minimal dari panel surya pada setiap string

$$\begin{aligned} \text{Jumlah input} &= \text{Tegangan minimal MPPT} \div V_{mpp} \\ &= 30 \text{ V} \div 32,8 \text{ V} \\ &= 0,91 \text{ (dibulatkan)} = 1 \end{aligned}$$

2. Perhitungan arus

a. Perhitungan nilai arus maksimal pada suhu maksimal lokasi

$$\begin{aligned} I_{SC(30^{\circ}C)} &= ((1 + (T_{oc} + T_a - 25 \times (TC_{sc} \div 100)))) \times I_{sc} \\ &= ((1 + (37 \times (0,056 \div 100)))) \times 9,21 \\ &= ((1 + (37 \times (0,00056)))) \times 9,21 \\ &= ((1 + 0,02072) \times 9,21) \\ &= 9,40 \text{ A (dibulatkan)} = 9 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal dari string

$$\begin{aligned} \text{String} &= \text{Arus SCC} \div I_{sc} \\ &= 64 \text{ A} \div 9 \text{ A} \\ &= 7.1 \text{ string (dibulatkan)} = 7 \end{aligned}$$

Keterangan,

T_{oc} = Temperatur open circuit

V_{oc} = Voltage open circuit

TC_{oc} = Temperature coefficient open circuit

V_{mpp} = Tegangan maksimum power

TC_{sc} = Temperature coeficient 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 yaitu minimal 1 panel dan jumlah maksimal panel yaitu 6 panel yang dirangkai dengan hubungan seri. Sedangkan untuk konfigurasi yang dilakukan untuk memperoleh nilai arus yang dibutuhkan yaitu maksimal sejumlah 7 panel yang dihubungkan secara paralel.

Lalu untuk jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk kapasitas *solar charge controller* yang digunakan yaitu 6000 W yaitu sejumlah 42 panel surya dengan kapasitas masing-masing panel yaitu 330Wp. Dengan kapasitas panel surya yang digunakan, maka kombinasi yang dapat digunakan yaitu terdiri dari 6 string dimana dalam satu string terdiri dari 7 buah panel surya yang dirangkai secara paralel serta memiliki kapasitas masing-masing 330Wp. Maka untuk

konfigurasi dari rangkaian panel *array* yaitu menggunakan kombinasi 6 string yang dirangkai seri antar string dimana setiap string memiliki 7 buah panel surya yang dirangkai secara parallel.

4.3.11. Perhitungan Jarak Antar Panel *Array*

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

- Panjang solar panel *array* 2 x 195 cm
- Sudut kemiringan panel *array* 15°
- Sudut *solar altitude* (α) 46°
- Sudut *solar azimuth* (Ψ) 62,89°

Sedangkan untuk rumus perhitungan dari jarak yang digunakan antar panel *array* dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan seperti dibawah ini,

$$h = X \times \sin(\Theta)$$

$$D' = \frac{h}{\tan(\alpha)}$$

$$D = D' \times \cos(\Psi)$$

Maka perhitungan dari jarak antar panel *array* sebagai berikut,

1. Perhitungan ketinggian *array*

$$h = 390 \times \sin(15)$$

$$h = 390 \times 0,258$$

$$= 101 \text{ cm}$$

2. Jarak bayangan maksimal *array*

$$D' = \frac{101}{\tan(46)}$$

$$D' = \frac{101}{1,036} = 97,4 \text{ cm (dibulatkan)} = 97 \text{ cm}$$

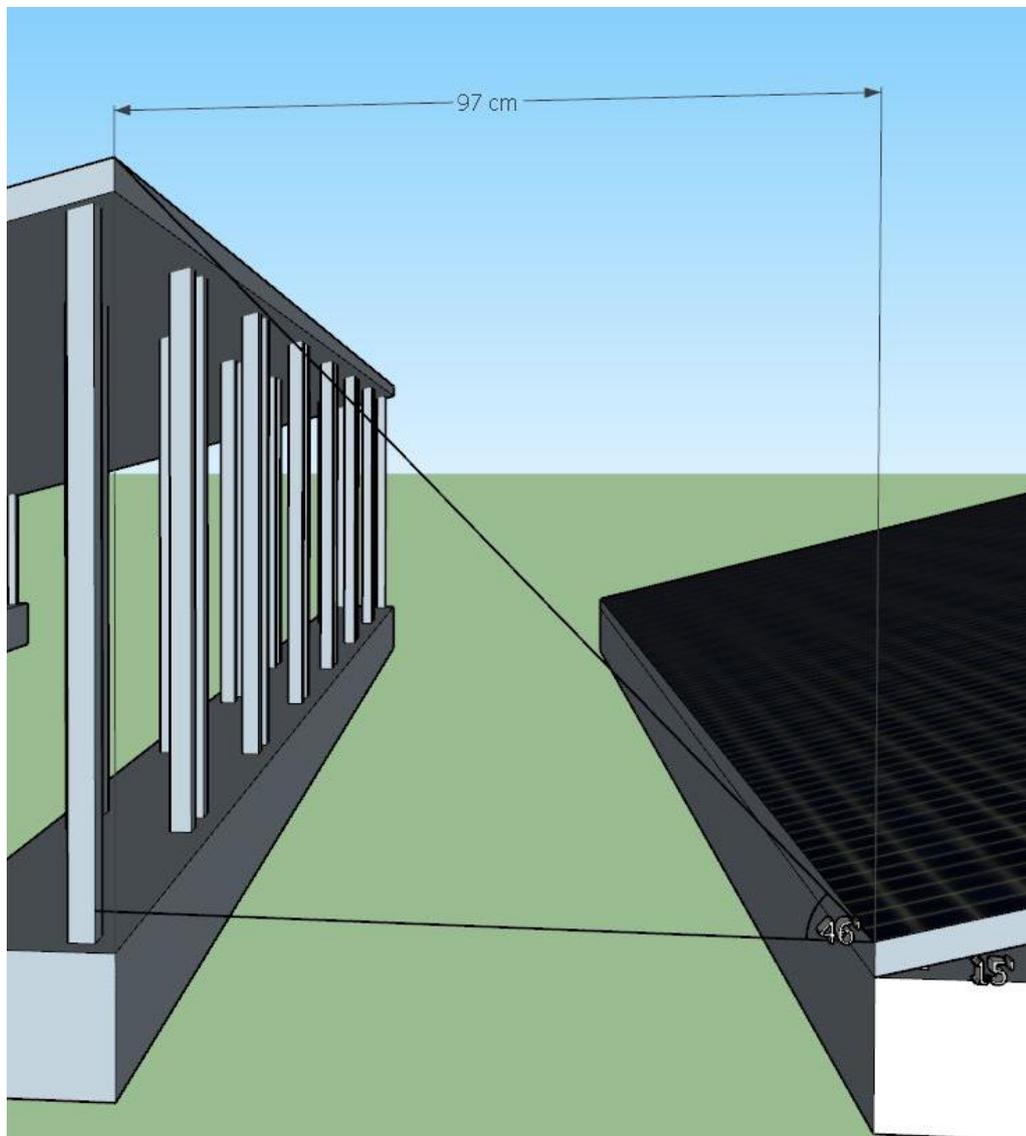
3. Jarak antar baris panel *array*

$$D = 97 \times \cos(62,89)$$

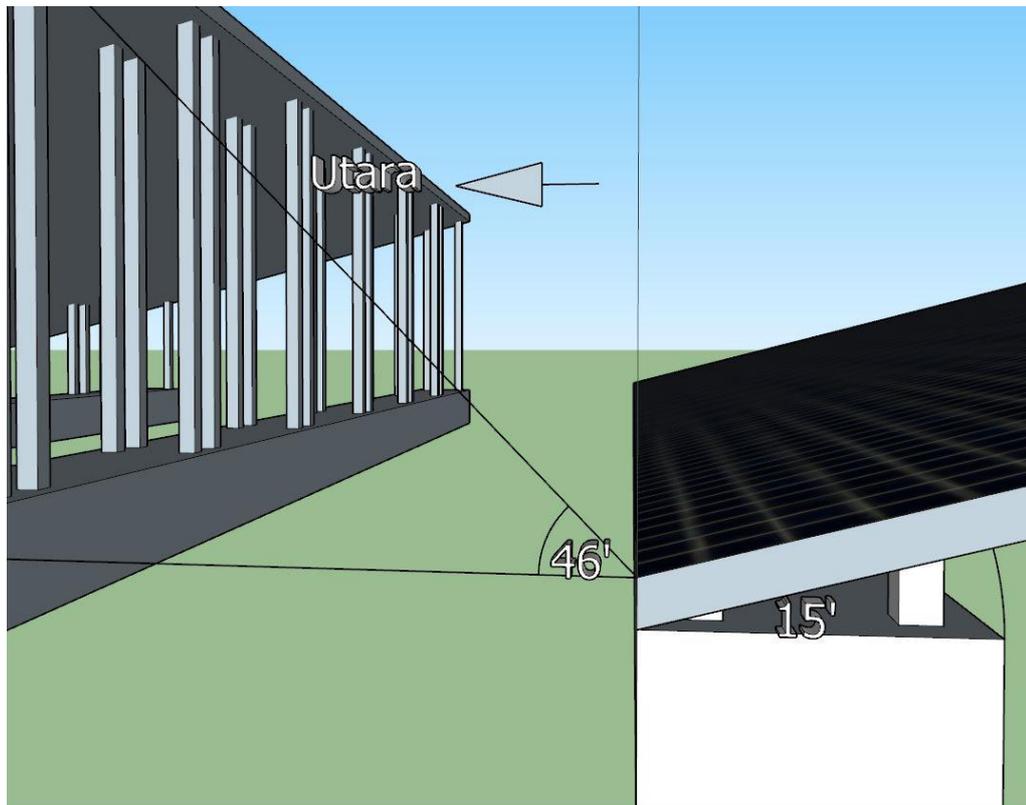
$$D = 97 \times 0,455 = 44,2 \text{ cm (dibulatkan)} = 44 \text{ cm}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh nilai jarak antara panel *array* minimal yaitu 44 cm pada setiap barisnya dengan jarak bayangan maksimal yang diperoleh yaitu 97 cm.

Untuk memperjelas dari perhitungan yang telah dilakukan maka dibuatlah gambar menggunakan *software* sketchup untuk mengetahui jarak antar panel *array* dan sudut arah panel surya. Pada gambar 4.8. merupakan contoh gambar dari jarak bayangan maksimal dari *array* dan gambar 4.9. merupakan sudut posisi dari panel surya yang mengarah ke utara.



Gambar 4.8. Jarak maksimal antar panel *array* (97 cm)



Gambar 4.9. Sudut arah posisi panel surya 15° ke utara

4.3.12. Perhitungan Sistem Proteksi *Combiner Box*

Pada perhitungan sistem proteksi *combiner box* dilakukan dengan menggabungkan beberapa solar panel *array* yang disambungkan menuju ke *solar charge controller*. Untuk pemilihan *combiner box* sudah diatur spesifikasinya dalam Permen ESDM No.36 tahun 2018. Sedangkan untuk komponen *combiner box* sistem proteksi harus dilengkapi yaitu proteksi arus hubung singkat, *surge protection*, dan switch pemutus. Untuk melakukan perhitungan sistem proteksi pada *combiner box* menggunakan nilai-nilai dan menggunakan peraturan PUIL 2000 tentang perhitungan kapasitas kabel. Untuk nilai yang digunakan dalam perhitungan menggunakan nilai dibawah ini,

- Voc = 45,7 V
- Isc = 9,21 A
- Jumlah panel surya seri = 6
- Jumlah panel surya parallel = 7

1. Fuse yang digunakan per *string*

$$\begin{aligned}\text{Rating tegangan} &= 1,2 \times (\text{Voc} \times \text{jumlah panel surya seri}) \\ &= 1,2 \times (45,7\text{V} \times 6) \\ &= 329,04 \text{ V} \\ \text{Rating arus} &= 1,4 \times \text{Isc} \\ &= 1,4 \times 9,21 \text{ A} \\ &= 12,894 \text{ A}\end{aligned}$$

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 panel *array*

$$\begin{aligned}\text{Rating arus} &= 1,4 \times (\text{Isc} \times \text{jumlah panel surya parallel}) \\ &= 1,4 \times (9,21 \times 7) \\ &= 90,258 \text{ A}\end{aligned}$$

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. Perhitungan Kapasitas Kabel

Untuk perhitungan kapasitas kabel yang digunakan pada sambungan *combiner box* menuju ke SCC menggunakan rumus dibawah ini,

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

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

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

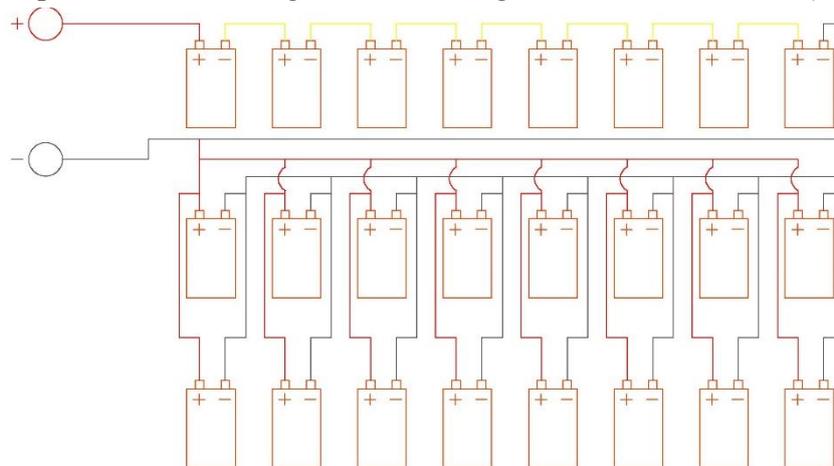
datasheet dapat menggunakan kabel NYFGbY dengan luas penampang $2 \times 25 \text{ mm}^2$.

4.3.14. Perhitungan Battery Bank

Berdasarkan data yang telah diperoleh, untuk melakukan perhitungan *battery bank* menggunakan nilai dari data-data dibawah ini,

- Total kebutuhan baterai 181.250 Ah
- Kapasitas masing-masing baterai 6V / 1156 Ah
- Tegangan dari 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 181.250 Ah maka rangkaian *battery bank* yang sesuai yaitu 10 *battery bank* dengan spesifikasi 6V / 1156 Ah. Sedangkan untuk konfigurasi dari sistem yaitu 48V, dapat menggunakan 8 buah baterai yang dirangkai seri, dan untuk setiap *battery bank* konfigurasi yang digunakan yaitu 8 baterai dirangkai seri dan 16 buah baterai dirangkai parallel, dengan kapasitas masing-masing *battery bank* yaitu 18.496 Ah. Sehingga total kebutuhan baterai yang dibutuhkan untuk sistem yaitu sejumlah 240 baterai. Pada gambar 4.10 merupakan contoh konfigurasi untuk rangkaian dalam satu *battery bank*.



Gambar 4.10. Konfigurasi Satu Battery Bank

4.3.15. Perhitungan Sistem Proteksi Panel Distribusi DC

Pada perhitungan sistem proteksi panel distribusi DC dilakukan dengan menggunakan nilai arus output maksimal dari SCC dan menggunakan arus input maksimal dari inverter. Sedangkan panel distribusi DC sendiri merupakan panel

yang menggabungkan input serta output yang bersumber dari beberapa *battery bank*, serta SCC menuju ke *battery inverter*. Untuk data yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat dibawah ini,

- Arus output maksimal SCC 100 A
- Arus input maksimal dari inverter 1400 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 25mm².

2. Fuse dari inverter ke baterai

Rating fuse

$$\begin{aligned} I_{\text{fuse}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1400 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 1750 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka untuk rating fuse yang digunakan pada setiap sambungan inverter menuju baterai adalah 1750 A, atau dapat menggunakan yang tersedia dipasaran yaitu 1800 A.

Luas penampang penghantar kabel

$$\begin{aligned} I_{\text{KHA}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1750 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 2.187,5 \text{ A} \end{aligned}$$

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

4.3.16. Perhitungan Sistem Proteksi Panel Distribusi AC

Untuk sistem pada panel distribusi AC, perhitungan yang dilakukan menggunakan data dari output maksimal dari inverter yang digunakan. Sedangkan untuk panel distribusi sendiri memiliki fungsi untuk mendistribusikan listrik menuju konsumen melewati kabel serta pada panel distribusi AC berfungsi untuk menggabungkan *inverter* yang tersambung secara paralel. Nilai data yang digunakan yaitu,

- Nilai arus output maksimal dari inverter yang digunakan 1411 A.

1. Rating proteksi setiap output dari inverter

Rating Circuit Breaker

$$\begin{aligned} I_{\text{CB}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1411 \times 1,25 \\ &= 1.763,5 \text{ A} \end{aligned}$$

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

Perhitungan luas penampang dari kabel penghantar

$$\begin{aligned} I_{KHA} &= I_n \times 1,25 \\ &= 1411 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 1.763,5 \text{ A} \end{aligned}$$

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

Perhitungan rating circuit breaker

$$\begin{aligned} I_{CB} &= 3 \times I_n \times 1,25 \\ &= 3 \times 1411 \times 1,25 \\ &= 5292 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan diperoleh hasil rating pada circuit breaker yang digunakan pada output 3 phase adalah 5292 A.

Perhitungan luas penampang kabel penghantar

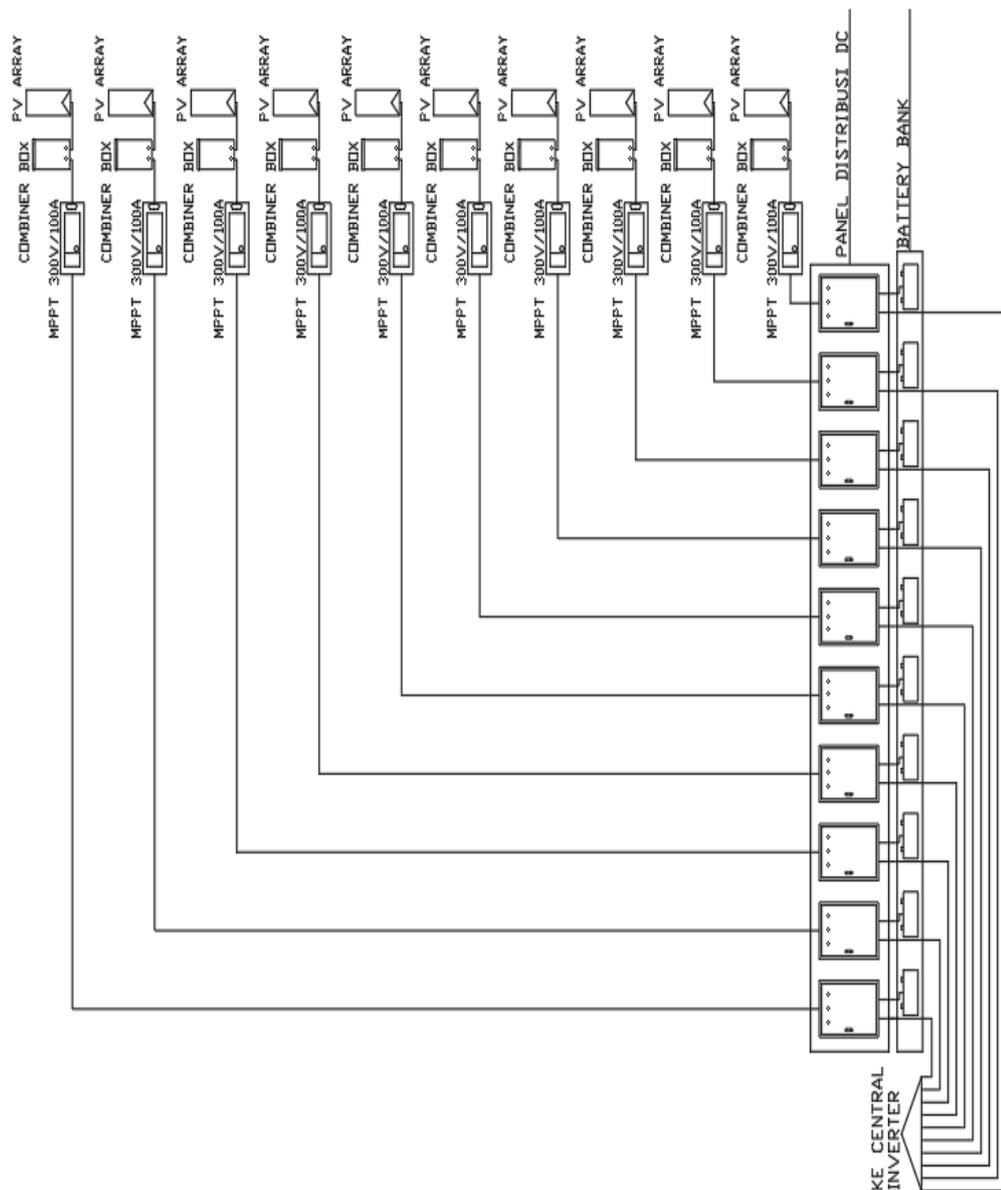
$$\begin{aligned} I_{KHA} &= 3 \times I_n \times 1,25 \\ &= 3 \times 1411 \times 1,25 \\ &= 5292 \text{ A} \end{aligned}$$

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

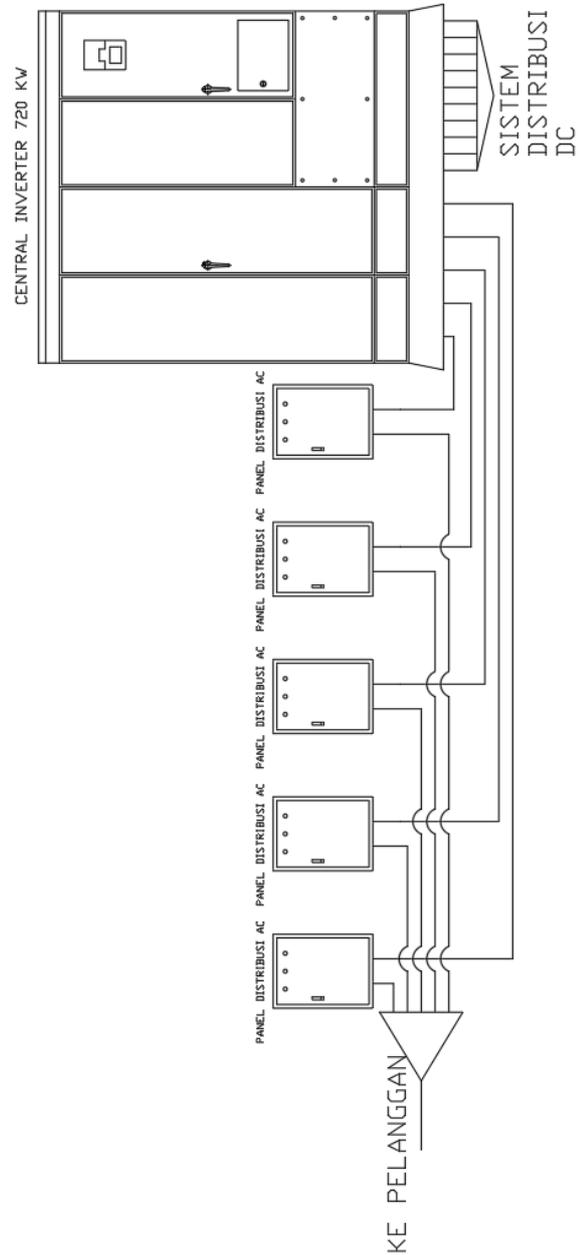
Maka untuk jenis kabel yang digunakan yaitu menggunakan jenis NYY dengan spesifikasi $8 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$.

Untuk memperjelas dari konfigurasi panel yang digunakan, maka gambar konfigurasi *single line diagram* dibuat dari sambungan PV array menuju ke *combiner box*, lalu setelah dari *combiner box* menuju ke panel distribusi dc, setelah semua terpusat pada panel distribusi dc, listrik dialirkan menuju ke *central inverter* yang digunakan pada sistem. Setelah listrik arus dc dirubah menjadi listrik arus ac pada *central inverter*, listrik yang sudah dirubah menjadi

listrik arus ac lalu dialirkan menuju ke panel distribusi ac. Pada gambar 4.11 merupakan gambar dari sistem distribusi dc dan gambar 4.12 sistem distribusi ac.



Gambar 4.11. Sistem Distribusi DC



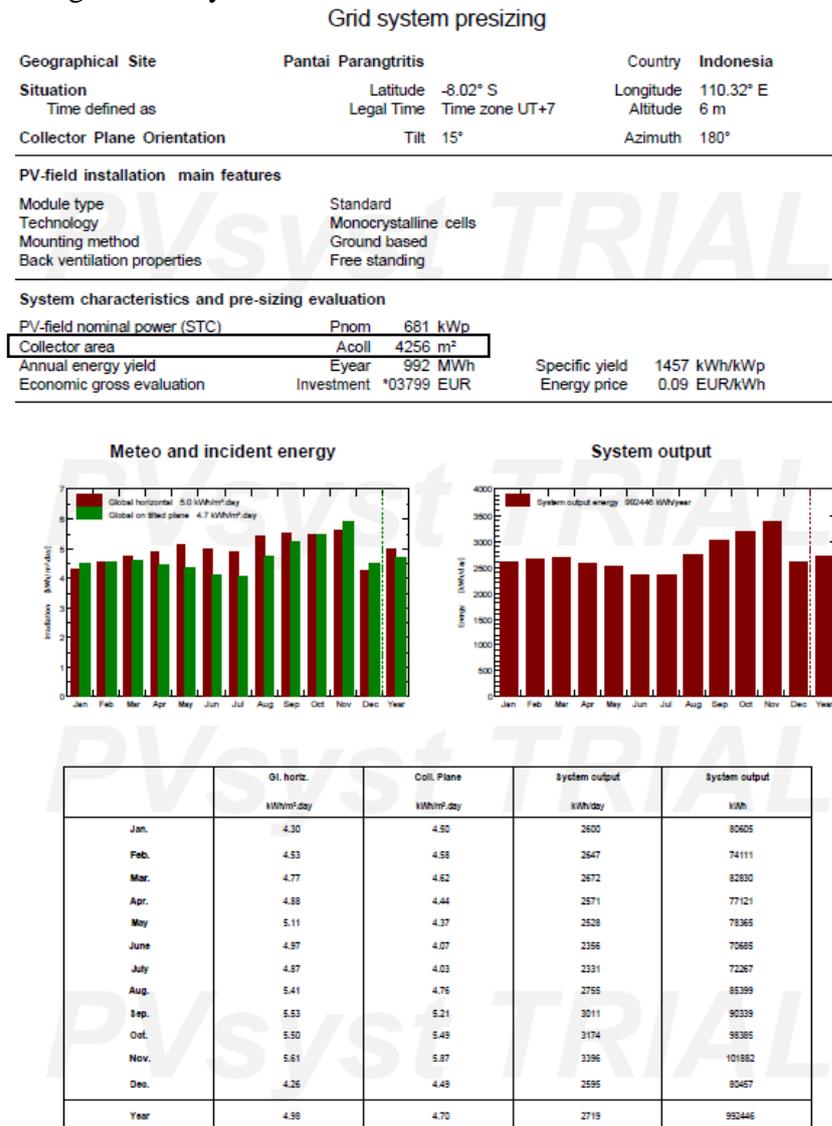
Gambar 4.12. Sistem Distribusi AC

Pada gambar sistem distribusi dc, listrik arus dc yang dihasilkan dari PV array dialirkan menuju *combiner box*. Didalam *combiner box* sendiri tidak hanya terdiri dari satu PV array, melainkan terdiri dari 6 PV array. Setelah dari

combiner box, maka listrik dialirkan menuju ke panel distribusi dc, dan setelah dari panel distribusi dc maka listrik arus dc tersebut dialirkan menuju ke *central inverter* untuk dikonversi menjadi arus listrik ac.

Output dari *central inverter* merupakan listrik arus ac yang dapat digunakan oleh pengguna. Namun agar lebih mudah dalam penyalurannya, maka output dari *central inverter* dibagi dan dialirkan menuju ke 7 buah panel distribusi ac yang selanjutnya terhubung ke pelanggan.

Sedangkan untuk luas wilayah yang digunakan oleh PLTS Fotovoltaik yang digunakan pada perencanaan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.13 tentang luas wilayah PLTS:



Gambar 4.13. Luas Wilayah PLTS Fotovoltaik

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada simulator PVSYS, luas wilayah yang digunakan oleh PLTS Fotovoltaik dengan kapasitas 681 kWp yaitu sebesar 4256 m², yang 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), maka wilayah Pantai Parangtritis memiliki luas per kWp yang lebih baik dengan nilai 6,25 m² per kWp.

4.4. Perincian Biaya

Perincian biaya penting dilakukan karena akan dapat dilihat keseluruhan biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun PLTS Fotovoltaik di Pantai Parangtritis Kabupaten Bantul dengan rancangan serta perhitungan jumlah yang dibutuhkan. Data dari 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 diperhitungkan biaya pengiriman juga menuju ke Kabupaten Bantul. Untuk tabel dari perincian biaya yang digunakan pada perencanaan PLTS dengan kapasitas 681kWp dapat dilihat pada tabel 4.14:

Tabel 4.14. Perincian Biaya Sistem PLTS

Komponen Utama	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Solar Panel 330 Wp Sky Energi Indonesia	2.064	Unit	Rp. 4.603.000	Rp. 9.500.592.000
SMA Sunny Central CP-US 720 kW	1	Unit	Rp. 1.646.736.840	Rp. 1.646.736.840
OutBack FLEXmax 100	114	Unit	Rp. 13.643.662	Rp. 1.553.377.468
Rolls Battery @1156Ah	240	Unit	Rp. 14.316.291	Rp. 3.435.909.840
Jumlah				Rp. 16.136.616.148
Komponen Tambahan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
NYFGbY 2x25mm ²	3000	Meter	Rp. 125.000	Rp. 375.000.000
NYF 4x(4x1x300mm ²)	800	Meter	Rp. 539.000	Rp. 431.200.000
NYAF 2x(1x25mm ²)	850	Meter	Rp. 48.000	Rp. 81.600.000
NYAF2x(4x1x300mm ²)	1.200	Meter	Rp. 450.000	Rp. 540.000.000

NYN 35mm ² (Gnd)	200	Meter	Rp. 65.000	Rp. 13.000.000
Mounting Support 10kw	69	Pcs	Rp. 41.888.000	Rp. 2.890.272.000
Battery Rack	10	Pcs	Rp. 4.675.000	Rp. 46.750.000
OutBack Mate 3s	10	Pcs	Rp. 6.131.765	Rp. 61.317.650
OutBack HUB 4	10	Pcs	Rp. 2.132.788	Rp. 21.327.880
OutBack FLEXnet DC	10	Pcs	Rp. 3.900.757	Rp. 39.007.570
OutBack AXS Port	10	Pcs	Rp. 3.962.917	Rp. 39.629.170
OutBack FLEXware PV	50	Set	Rp. 3.564.001	Rp. 178.200.050
Panel Distribusi AC	5	Set	Rp. 55.825.000	Rp. 279.125.000
Panel Distribusi DC	10	Set	Rp. 7.392.000	Rp. 73.920.000
Biaya Pengerjaan	681	kWp	Rp. 2.500.000	Rp. 1.702.500.000
Jumlah				Rp. 6.772.849.320
Jumlah Keseluruhan				Rp. 22.909.465.468

Setelah dilakukan perhitungan keseluruhan dari proyek PLTS pada Pantai Parangtritis sesuai dari perancangan sistem yang telah dilakukan diperoleh total investasi awal sebesar Rp. 22.909.465.468.

1. Perincian Biaya Operasional

Untuk perhitungan biaya operasional dilakukan guna memperhitungkan pembiayaan dari sistem apabila perencanaan sistem dapat dilakukan dan dapat beroperasi menghasilkan energi listrik. Pada pembiayaan operasional 1 % dari total biaya investasi (Vember Restu Kossi, 2017) mencakup perhitungan dari biaya untuk mempekerjakan teknisi pada lokasi PLTS serta pembiayaan yang dilakukan secara rutin dalam satu tahun. Pada tabel 4.15. 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. 30.000.000	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 diperoleh total perhitungan untuk biaya operasional dari PLTS Fotovoltaik pada Pantai Parangtritis Kabupaten Bantul sebesar Rp. 234.080.000 dalam satu tahun.

2. *Cashflow*

Tahap perhitungan arus kas dari perencanaan PLTS Fotovoltaik dilakukan mengikuti standar yang diatur oleh pemerintah pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 tahun 2017 tentang pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Pada Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 mengatur tentang pembelian listrik yang tertera pasal 5 ayat (3) yang mengatur bahwa harga beli tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik sebesar 85% dari BPP. Maka untuk harga jual listrik per kWh yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ US\$} &= \text{Rp. } 14.050 \\
 0,0766 \text{ US\$} &= \text{Rp. } 1076,23 \text{ (BPP Nasional)} \\
 85\% \times \text{Rp. } 1076,23 &= \text{Rp. } 914,7955
 \end{aligned}$$

Maka untuk harga listrik yang dihasilkan dari PLTS Fotovoltaik yang dijual dalam satu kWh yaitu Rp. 914,7955.

3. *Inflow*

Untuk arus penerimaan kas atau disebut dengan *inflow* pada perencanaan dilakukan berdasarkan total kebutuhan beban dari jumlah pelanggan dalam satu bulan. Pada tabel 4.16. merupakan tabel *inflow* dari PLTS:

Tabel 4.16. *Inflow* dari PLTS

Total Pelanggan	Total Beban Satu Bulan	Penghasilan per Bulan (Rp.914,7955/kWh)	Penghasilan per Tahun
631	83,080 kWh	Rp.47.956.763,598	Rp.575.481.163,18

71	71,020 kWh	Rp.4.612.783,1251	Rp.55.353.397,501
Total Penghasilan Satu Tahun			Rp.630.834.560,68

Maka untuk total penghasilan dalam satu tahun dari penjualan listrik ke pelanggan yang menjadi penerimaan kas PLTS dalam satu tahun diperoleh sebesar Rp. 630.834.560,68

4. *Outflow*

Aliran modal keluar atau disebut dengan *outflow* dalam perhitungan finansial dari PLTS terbagi menjadi biaya investasi awal serta biaya operasional dalam kurun waktu 25 tahun yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Investasi} &= \text{Investasi Awal} + \text{Biaya Operasional Selama 25 Tahun} \\
 &= \text{Rp. 22.909.465.468} + \text{Rp. 5.852.000.000} \\
 &= \text{Rp. 28.761.465.468}
 \end{aligned}$$

Dengan adanya perbaikan dalam kurun waktu 10 tahun yaitu 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.

$$\begin{aligned}
 \text{Outflow} &= \text{Total Investasi} + \text{Biaya Pergantian Baterai} \\
 &= \text{Rp. 28.761.465.468} + \text{Rp. 6.871.819.680} \\
 &= \text{Rp. 35.633.285.148}
 \end{aligned}$$

Untuk total *outflow* dari perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini diperoleh total biaya yaitu Rp. 35.633.285.148.

5. Kelayakan secara finansial pada pengoperasian sistem PLTS.

Analisis dari kelayakan secara finansial dilakukan untuk menilai apakah jika perencanaan dari PLTS dilakukan dinilai layak atau tidak layak 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%.

a. *Return of Investment (ROI)*

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

$$ROI = \frac{(\text{Rp. 630.834.560,68} - \text{Rp. 35.633.285.148})}{\text{Rp. 35.633.285.148}} \times 100\% = -98,22 \%$$

b. *Payback Period (PP)*

Untuk nilai *payback period* dari perencanaan sistem PLTS ini memiliki nilai *inflow* yang sama dalam setiap tahunnya. Sehingga dalam melakukan perhitungan *payback period* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan dibawah ini:

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

$$PP = \frac{\text{Rp. 35.633.285.148}}{\text{Rp. 630.834.560,68}} = 56,4 \text{ tahun} = 56 \text{ tahun 5 bulan}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka waktu *payback period* dari perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini selama 56 tahun 5 bulan.

c. *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 sebesar 6% dalam setiap tahun. Untuk penyajian dari kas keuangan disajikan dalam tabel 4.17 :

Tabel 4.17. Arus Kas Keuangan

Tahun	Kas Masuk (Rp)	Kas Keluar (Rp)	DF (6 %)	<i>Net Present Value</i>
0		Rp.22.909.465.468	1.0	- Rp. 22.909.465.468
1	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.943396	Rp. 374.296.755
2	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.889996	Rp. 353.110.147
3	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.839619	Rp. 333.122.780
4	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.792094	Rp. 314.266.773
5	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.747258	Rp. 296.478.088
6	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.704961	Rp. 279.696.310

7	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.665057	Rp. 263.864.443
8	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.627412	Rp. 248.928.720
9	Rp. 630.834.560,68	Rp. 3.669.989.840	0.591898	- Rp. 1.798.871.340
10	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.558395	Rp. 221.545.674
11	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.526788	Rp. 209.005.353
12	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.496969	Rp. 197.174.862
13	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.468839	Rp. 186.014.020
14	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.442301	Rp. 175.484.925
15	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.417265	Rp. 165.551.816
16	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.393646	Rp. 156.180.958
17	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.371364	Rp. 147.340.527
18	Rp. 630.834.560,68	Rp. 3.669.989.840	0.350344	- Rp.1.064.749.182
19	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.330513	Rp.131.132.544
20	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.311805	Rp.123.709.947
21	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.294155	Rp.116.707.498
22	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.277505	Rp.110.101.413
23	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.261797	Rp.103.869.257
24	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.246979	Rp.97.989.865
25	Rp. 630.834.560,68	Rp. 234.080.000	0.232999	Rp.92.443.269
NPV				- Rp. 21.075.070.046

d. *internal return rate* (IRR)

Nilai dari *internal return rate* pada perencanaan PLTS Fotovoltaik ini tidak dapat dilakukan atau tidak dapat dihitung dikarenakan tidak adanya nilai dari *interest rate* karena nilai NPV tidak mencapai nilai positif yang artinya memiliki nilai *infinity* (∞).

Proyek bisa dijalankan apabila nilai dari NPV memiliki nilai positif, dikarenakan berdasarkan tabel diperoleh nilai NPV negatif maka proyek ditolak atau dapat dikatakan tidak dapat diterima. Hal tersebut terjadi disebabkan biaya penggantian dari komponen baterai pada tahun ke-9 serta pada tahun ke-18 yang bernilai besar sehingga menyebabkan nilai NPV negatif.