

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN**

#### **4.1 Pengumpulan Data**

Pada penelitian kali ini dibutuhkan beberapa data untuk kelancaran dalam perencanaan sistem. Sistem ini dirancang dengan bantuan program simulasi yaitu Pvsyst. Pengoptimalan sistem pembangkit yang disimulasikan dalam penelitian ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

##### **4.1.1 Lokasi Penelitian Potensi Sumber Daya Matahari**

Pengambilan data untuk penelitian kali ini yaitu di Pantai Indrayanti, Dusun Ngasem, Desa Tepus, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui potensi intensitas cahaya matahari sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Selain itu pengamatan ini dilakukan agar mengetahui beban listrik di Pantai Indrayanti serta daerah sekitar pantai yang nantinya akan di suplai oleh sistem PLTS. Letak pantai ini diapit oleh batu karang raksasa serta bukit-bukit yang memberi batasan alami dari garis pantai dan rute untuk menuju ke Pantai ini cukup mudah yaitu hanya berjarak 70 km dari pusat Kota Yogyakarta.

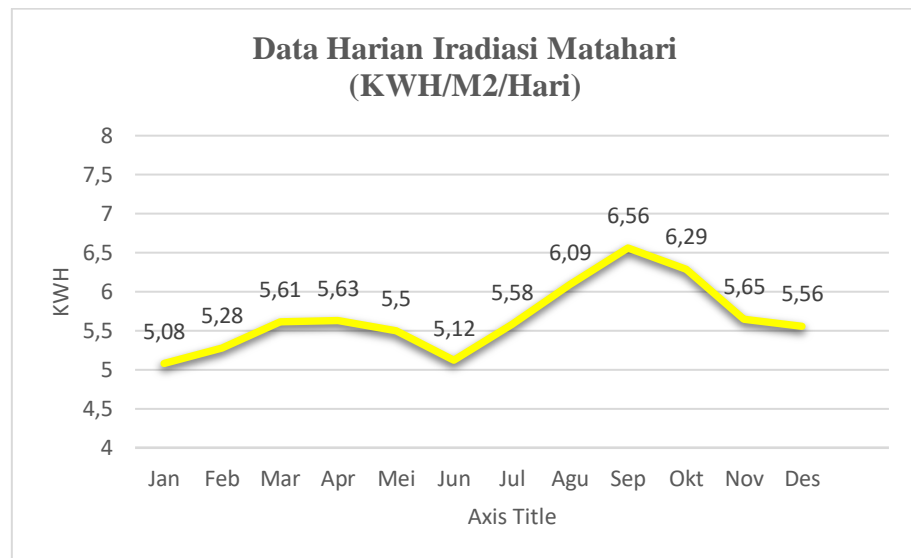


**Gambar 4.1** Kondisi Pantai Indrayanti

(Sumber : katalogwisata.com)

#### 4.1.2 Data Iradiasi Matahari

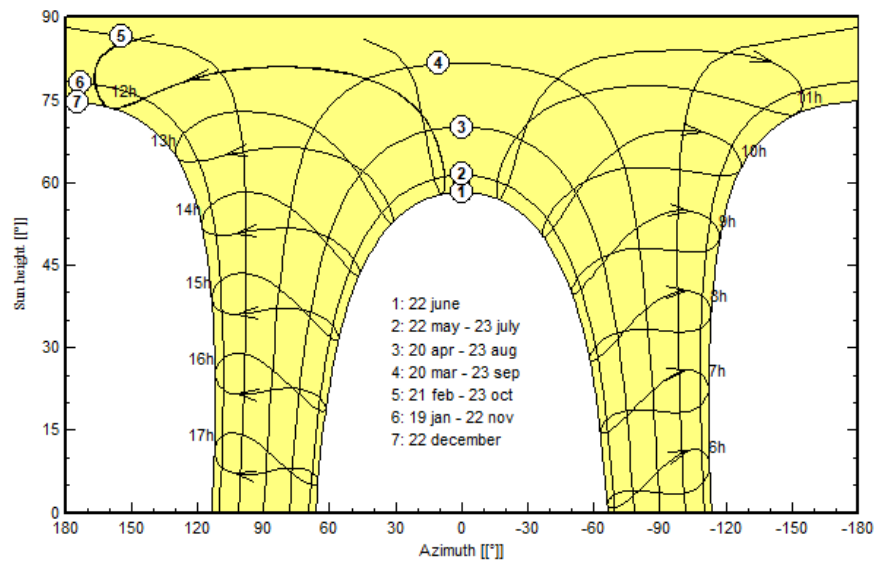
Nilai iradiasi matahari dan posisi matahari pada penelitian ini diperoleh dari database *Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) milik *National Aeronautic and Space Administration* (NASA). Untuk mendapatkan data dari SSE NASA diperlukan titik koordinat lokasi yang akan dipasang PLTS. Dibawah ini merupakan grafik hasil nilai iradiasi per jam, harian serta nilai iradiasi bulanan yang didapat dari SSE NASA dengan titik koordinat lokasi yaitu latitude  $8.15^{\circ}\text{N}$  longitude  $110.61^{\circ}\text{E}$  dan altitude 15 meter:



**Gambar 4.2** Grafik Data Iradiasi Matahari per hari di Pantai Indrayanti  
(Sumber : NASA SSE)

Grafik diatas merupakan data harian iradiasi matahari yang berguna untuk menentukan nilai kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem. Dibawah ini merupakan sun path di Pantai Indrayanti yang bertujuan untuk mengetahui waktu optimal dalam menghasilkan nilai iradiasi dari matahari berdasarkan *altitude* dan *azimute* dari lokasi yang sudah di tentukan.

Solar paths at Pantai Indrayanti, (Lat. -8.1506° S, long. 110.6126° E, alt. 15 m) - Legal Time



**Gambar 4.3** Sun Path di Daerah Pantai Indrayanti

(Sumber : NASA SSE)

#### 4.1.3 Profil Beban Pantai Indrayanti

Berdasarkan informasi yang diperoleh melalui wawancara dengan kepala desa Tepus, jumlah penduduk yang ada di Dusun Ngasem, Pantai Indrayanti yaitu sebanyak 167 rumah tangga dan 34 fasilitas umum (warung), data tersebut diambil dari laporan Kependudukan Desa Tepus pada bulan desember tahun 2018. Dibawah ini merupakan data jumlah rumah tangga dan fasilitas umum yang ada di Pantai Indrayanti Kabupaten Gunung Kidul :

**Tabel 4.1** Jumlah rumah dan fasillitas umum

No	Jenis	Jumlah
1	Rumah Tangga Sekitar Pantai	167 x (90%) = 150
2	Fasilitas Umum (Warung )	34

Sumber : Laporan Kependudukan Desa Tepus tahun 2018

Dari data di atas jumlah rumah tangga yang diambil yaitu hanya pada Dusun Ngasem, Pantai Indrayanti yang jumlah rumah tangga sekitar pantai Indrayanti hanyalah sebanyak 150 rumah tangga, karena menurut kepala desa tepus dalam satu rumah tidak mesti satu kepala keluarga dan data Laporan Kependudukan tersebut 90% bisa digunakan. Sedangkan untuk jumlah fasilitas umum hanya sebanyak 34. Data-data tersebut bisa dilihat pada lampiran.

#### 4.1.4 Data Suhu Lokasi

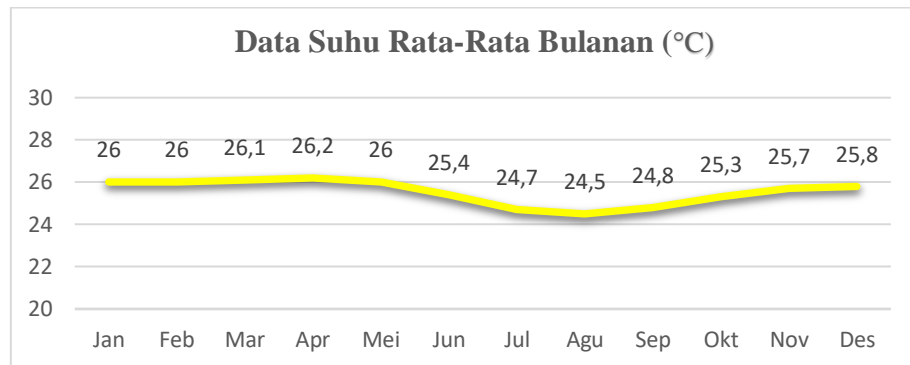
Tabel dibawah ini adalah tabel mengenai suhu ekstrim yang ada disekitar daerah Pantai Indrayanti , data tersebut diambil dari NASA SSE dengan memasukan titik koordinat dari lokasi agar nilai derajat suhu dapat tertampil :

**Tabel 4.2** Suhu ekstrim sekitar Pantai Indrayanti

No	Jenis	Nilai
1	Suhu ekstrim terendah	22°C
2	Suhu rata-rata	25°C
2	Suhu ekstrim tertinggi	30°C

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

Berdasarkan tabel diatas yang bersumber dari NASA SSE yang menunjukkan bahwa nilai derajat suhu ekstrim minimum dari lokasi sebesar 22° C, suhu rata-rata dari lokasi sebesar 25° C, serta untuk suhu ekstrim tertinggi yaitu sebesar 30° C. Untuk data tabel suhu tersebut sangatlah penting karena apabila suhu dari lokasi terlampau tinggi maka dapat menyebabkan nilai efisiensi dari panel surya yang daigunakan menjadi menurun.



**Gambar 4.4** Grafik Data Suhu per bulan di Daerah Pantai Indrayanti  
(Sumber : NASA SSE)

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

#### 4.1.5 Konsumsi Beban Energi Listrik

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan sistem *off-grid*, pemanfaatan energi terbarukan mengharuskan kita secara bijak menghitung kebutuhan energi harian. Hal tersebut dilakukan karena nilai kapasitas pembangkit listrik sistem *off grid* memiliki kapasitas yang terbatas guna memenuhi kebutuhan 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 kebutuhan beban energi listrik terdiri dari 2 kelompok yang terbagi yaitu kelompok rumah tangga dan kelompok fasilitas umum atau warung yang ada di sekitar Pantai Indrayanti. Data ini diperoleh dengan melakukan metode wawancara. Dibawah ini merupakan tabel konsumsi energi listrik tiap konsumen di Pantai Indrayanti :

1. Konsumsi rata-rata beban kebutuhan energi listrik rumah tangga

**Tabel 4.3** Konsumsi rata-rata kebutuhan energi listrik rumah tangga

Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (jam)	Energi (Wh)
Lampu 1	3	12	36	12	432
Lampu 2	2	10	20	8	160
Kipas Angin	1	85	85	7	595
TV	1	100	100	7	700
Magic Com	1	350	350	1	350
Pompa Air	1	250	250	2	500
Setrika	1	300	300	1	300
Total					3037

Tabel di atas ini merupakan hasil *suvey* pada bulan januari, di Pantai Indrayanti, data tersebut merupakan penggunaan konsumsi rata-rata kebutuhan rumah tangga di pantai Indrayanti, Desa Tepus, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Konsumsi listrik rumah tangga yang berada di sekitar pantai Indrayanti dengan mengambil 15 sampel rumah dalam satu hari mendapatkan total sejumlah 3037 Wh.

2. Konsumsi rata-rata kebutuhan energi listrik fasilitas umum.

**Tabel 4.4** Kuota rata-rata kebutuhan energi listrik fasilitas umum

Perangkat	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
Lampu 1	1	12	12	12	144

Lampu 2	2	10	20	8	160
TV	1	100	100	8	800
Kulkas	1	180	180	8	1440
<b>Total</b>					<b>2544</b>

Dari hasil *survey* ke setiap warung-warung yang ada di pantai Indrayanti, konsumsi rata-rata berdasarkan *survey* yaitu, setiap warung menggunakan 3 buah lampu, 1 TV, dan 1 Kulkas. Hasil pengambilan data rata-rata kebutuhan listrik untuk fasilitas umum ( warung ) hanya mengambil 5 sampel fasilitas umum yang berada di sekitar pantai Indrayanti dalam satu hari mendapatkan total sejumlah 2544 Wh.

## 4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang digunakan guna 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 Nilai Equal Sun Hours

Dalam menentukan *nilai equal sun hours* yang bertujuan untuk menentukan nilai kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem. Klasifikasi kelas iradiasi menggunakan standar SNI 04-6394-2000.

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

Rata-rata = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari (kategori IIIa)

Range Equal Sun Hours (ESH) = (nilai rata-rata) - (nilai terendah)

Range = 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari – 5,08 kWh/m<sup>2</sup>/hari = 0,42 (kategori IIIa)

**Tabel 4.5** Klasifikasi kelas iradiasi berdasarkan SNI IEC 04-6394-2000

<b>Kelas ESH</b>	<b>I</b>	<b>Ia</b>	<b>Ib</b>	<b>IIIa</b>	<b>IIIb</b>	<b>IV</b>
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

Berdasarkan perhitungan diatas maka kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem berdasarkan nilai yang didapatkan adalah kelas ESH IIIa yaitu berada pada range <1,5 dengan rata-rata iradiasi sebesar 4,5-5,5. Sedangkan untuk kelas iradiasinya adalah 5 jam dengan nilai rata-rata 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

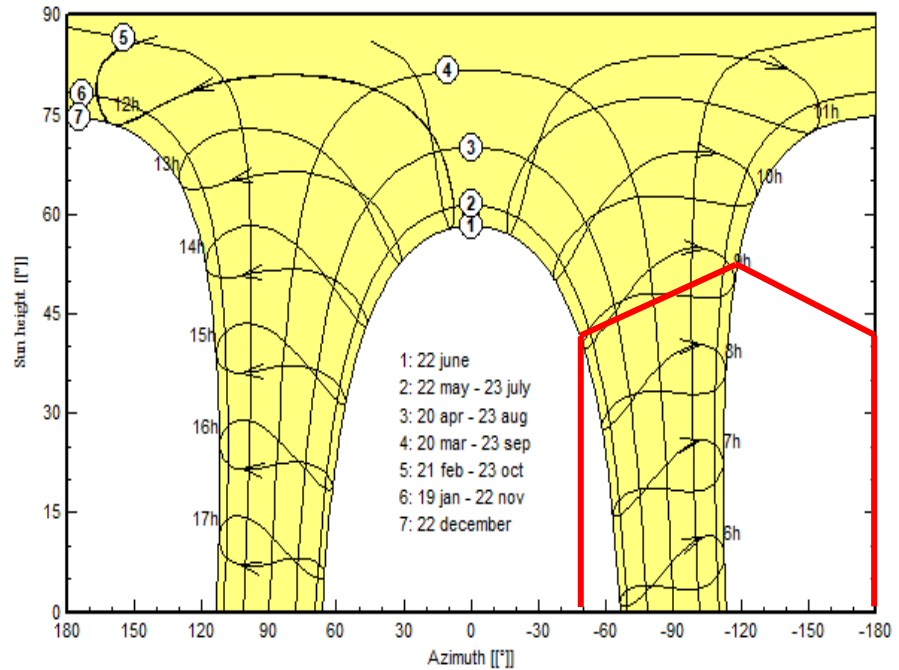
#### **4.2.2 Menentukan sudut posisi matahari, orientasi panel, serta sudut kemiringan**

Dalam menentukan sudut posisi matahari, sudut kemiringan dan orientasi panel maka dilakukan pengambilan data melalui *software* PVSYST dan *software* online yaitu 3d sun path. Penentuan sudut-sudut tersebut dilakukan agar dapat mengoptimalkan nilai iradiasi matahari yang akan berpengaruh pada nilai output tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

Sesuai klasifikasi nilai ESH diatas maka daerah Pantai Indrayanti tergolong kedalam kategori III dengan waktu efektif matahari selama 5 jam yang dimulai dari pukul 09.00 sampai pukul 14.00. Penentuan sudut posisi matahari tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan gambar diagram kartesian dari *software* sun path NASA SSE serta gambar 3d sun path. Berikut ini merupakan gambar yang diperoleh dari database NASA SSE yang berada pada lokasi Pantai Indrayanti Kabupaten Gunungkidul.



Solar paths at Pantai Indrayanti, (Lat. -8.1506° S, long. 110.6126° E, alt. 15 m) - Legal Time

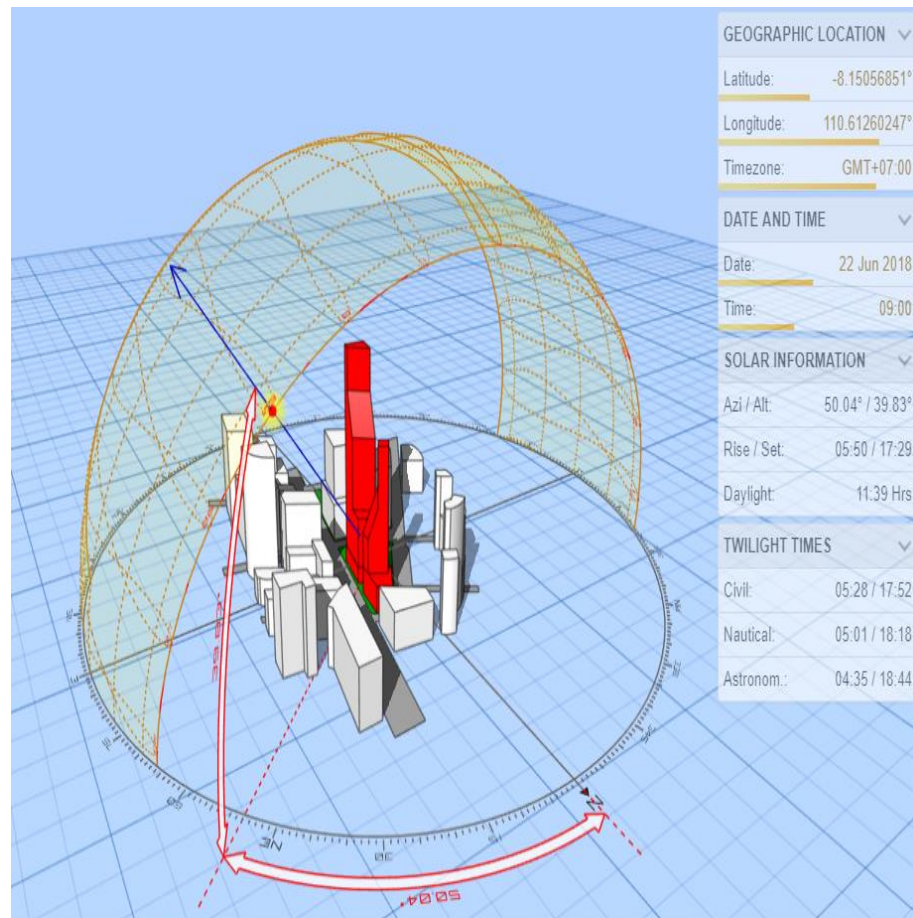


**Gambar 4.5** Posisi Matahari pada Jam 9

(Sumber : NASA SSE)

Maka dapat dilihat pada gambar diatas penentuan posisi matahari diambil pada 22 juni dengan garis nomor 1. Pada daerah yang bertanda merah adalah letak posisi matahari serta menentukan sun height (ketinggian matahari) pada saat pukul 09.00 untuk lokasi Pantai Indrayanti. Sedangkan sudut *azimuth* adalah sudut kemiringan dari posisi matahari dengan nilai sebesar  $50.04^{\circ}$ .

Dibawah ini merupakan tampilan waktu optimal dari *software* online 3d sun path :



**Gambar 4.6** 3d Sun Path waktu mulai optimal dari pukul 09.00 WIB  
(Sumber : <http://andrewmarsh.com>)

Berdasarkan gambar sun path diagram kartesian serta gambar 3d sun path pada pukul 09.00 diperoleh nilai *azimuth* sebesar  $50.04^\circ$  pada ketinggian matahari (*altitude*) sebesar  $39.83^\circ$ .

Dalam menentukan sudut kemiringan dari panel surya maka menggunakan standar SNI 04-6394-2000, sudut kemiringan dari panel surya yang terpasang sebesar  $15^\circ$  agar memudahkan dalam melakukan pembersihan air hujan dan untuk mendapatkan nilai radiasi sinar matahari yang optimal. Oleh karena itu orientasi dari panel surya memiliki sudut kemiringan panel sebesar  $15^\circ$  dengan mengarah ke utara.

### 4.2.3 Perhitungan Total Kebutuhan Beban

Setelah diperoleh jumlah total kebutuhan listrik rumah tangga sekitar pantai dan fasilitas umum maka tabel di bawah ini merupakan perhitungan jumlah total kebutuhan beban yang akan dipenuhi di pantai Indrayanti. Dalam perhitungan total kebutuhan beban tersebut, menggunakan toleransi sebesar 30% (Triyanto Pangaribowo, 2016) diatas kapasitas total beban. Sedangkan untuk rugi-rugi yang terjadi, mengacu pada standar IEEE 1562:2007 yang mengatur tentang perhitungan rugi-rugi sebesar 10 - 20%

**Tabel 4.6** Perhitungan Total Kebutuhan Beban

No	Jenis	Beban Energi (Wh)	Jumlah Beban (Unit)	Total Pemakaian (Wh)
1	Rumah Tangga	3037	150	455.550
2	Fasilitas Umum	2544	34	86.496
<b>Total Beban Kebutuhan</b>				542.046
Toleransi Cadangan Energi 30%				162.613,8
<b>Sub Total 1</b>				704.659,8
Rugi-rugi 20%				140.931,9
<b>Jumlah total kebutuhan beban</b>				845.591,7

$$\begin{aligned}\text{Sub total 1} &= \text{Jumlah total beban} + (\text{Jumlah total beban} * 30\%) \\ &= 542.046 + (542.046 * 30\%) \\ &= 704.659,8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah total kebutuhan beban} &= \text{Sub total 1} + (\text{Sub total 1} * 20\%) \\ &= 704.659,8 + (704.659,8 * 20\%) \\ &= 845.591,7 \text{ Wh}\end{aligned}$$

$$= 845,591 \text{ kWh}$$

$$= 0,845 \text{ MWh}$$

Pada perhitungan jumlah total kebutuhan beban makan diperoleh hasil sebesar 0,845 MWh. Nilai total kebutuhan beban tersebut diperoleh berdasarkan nilai dengan ditambahkan dengan nilai toleransi sebesar 30% dari kebutuhan total. Setelah nilai penjumlahan kebutuhan beban ditambahkan dengan nilai toleransi 30%, lalu hasil penjumlahan tersebut ditambahkan dengan nilai rugi-rugi sebesar 20% agar diperoleh nilai kebutuhan total dari beban dengan nilai 0,845 MWh.

### 4.3 Spesifikasi Teknis Umum PLTS

#### 4.3.1 Penentuan kapasitas PLTS

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

Maka perhitungan dari kapastias PLTS Fotovoltaik yaitu menggunakan persamaan rumus pada 2.1 , sebagai berikut :

$$P = \frac{845,591 \text{ kWh}}{5 \text{ jam} \times 0,8 \times 0,885} = 238,8 \text{ kWp}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh nilai kapasitas PLTS yang dibutuhkan oleh lokasi sebesar 238,8 kWp.

#### 4.3.2 Perhitungan jumlah solar panel

Dalam melakukan perhitungan jumlah solar panel yang akan digunakan maka dilakukan perhitungan berdasarkan komponen-komponen yang telah dipilih. Panel surya yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu *Monocrystalline* dengan kapasitas masing-

masing sebesar 330Wp. Untuk menentukan jumlah solar panel yang digunakan maka mengacu pada rumus 2.5 seperti dibawah ini :

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{238,8 \text{ kWp}}{330 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{238.800 \text{ Wp}}{330 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = 723 \text{ Panel}$$

Setelah dilakukannya perhitungan maka diperoleh jumlah total panel surya yang dibutuhkan oleh sistem yaitu sebanyak 723 panel surya dengan masing-masing kapasitas yaitu 330Wp.

#### 4.3.3 Menentukan Solar Panel

Untuk menentukan *solar* panel tentu dibutuhkan beberapa pertimbangan. Salah satu cara menentukan solar panel yang sesuai yaitu membuat perbandingan yang terdiri dari beberapa merk panel surya agar memudahkan dalam pemilihan komponen. Dibawah ini merupakan perbandingan spesifikasi panel surya :

**Tabel 4.7** Perbandingan spesifikasi panel surya

Spesifikasi	Sky Energi Indonesia 330Wp Monocrystalline	Solar Land 300Wp Monocrystalline	Wedosolar 300Wp Monocrystalline
Manufactures	PT. Sky Energi Indonesia	Solarland Electric PowerTechnology Limited	Wedosolar Indonesia
Tipe Panel	Monocrystalline	Monocrystalline	Monocrystalline
Ratted Power (Pmax)	330Wp	300Wp	300Wp

Max. Power Voltage (Vmpp)	37,8 V	36,7 V	36,6 V
Max. Power Current (Impp)	8,72 A	8,17 A	8,2 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45,7 V	44,4 V	45,2 V
Short Circuit Current (Isc)	9,21 A	8,99 A	8,7 A
Max. System Voltage	1000 V	1000 V	1000 V
Cell Efficiency (eff)	17,09 %	15,5 %	18 %
Dimensions (mm)	1950 x 990 x 45	1956 x 992 x 45	1956 x 922 x 40
Weight (kg)	25,8 Kg	24 Kg	25,8 Kg
Price (Rp)	Rp. 4.603.000	Rp. 4.650.000	Rp. 4.180.020
Price per Wp	Rp. 13.948	Rp. 15.500	Rp. 13.933,4

Dalam menentukan panel surya maka diperlukan perbandingan antara beberapa panel agar dapat mengetahui panel dari merk apa yang sesuai oleh sistem. Setelah melakukan perbandingan dari ketiga merk tersebut, maka panel yang akan digunakan pada sistem ini adalah merk Sky energi dengan kapasitas 330Wp karena panel tersebut memiliki efisiensi yang tinggi dibandingkan panel solarland meskipun lebih rendah dari Wedosolar. Lalu alasan dipilihnya panel tersebut karena dengan harga yang tidak jauh dengan merk lain , sky energi memiliki

kapasitas diatas dua merk tersebut dan hal itu juga berdampak pada penggunaan panel yang lebih sedikit pada sistem.

#### 4.3.4 Menentukan Kapasitas Baterai

Dalam menentukan kapasitas baterai, untuk setiap sistem memiliki sebuah nilai efisiensi masing-masing yaitu pada efisiensi baterai, efisiensi inverter dan efisiensi dari penghantar. Dalam menentukan nilai dari efisiensi baterai mengacu pada Permen ESDM No.36 tahun 2018 diatur sebesar 90% atau 0,9, sedangkan untuk menentukan efisiensi dari penghantar yaitu sebesar 98% atau 0,98. Untuk perhitungan dari kapasitas baterai yang dibutuhkan yaitu menggunakan rumus pada 2.7 , sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Baterai (kWh)} &= \frac{2 \times 845,591 \text{ kWh}}{(0,85 \times 0,98)} \\ &= 2.030 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh kapasitas baterai dalam satuan kWh, maka dikonversi kedalam satuan Ah menggunakan rumus 2.8 , seperti dibawah ini :

$$\text{Baterai (Ah)} = 2.030 \text{ kWh} \times \frac{1000}{48} = 42.291 \text{ Ah}$$

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 menggunakan persamaan rumus 2.9, yaitu :

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{42.291 \text{ Ah}}{0,8} = 52.863 \text{ Ah}$$

Setelah dilakukannya perhitungan baterai seperti diatas, maka kapasitas baterai yang dibutuhkan oleh sistem yaitu sebesar 52.863 Ah

#### 4.3.5 Menentukan Solar Battery

Dalam menentukan jenis baterai yang akan digunakan yaitu dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan sistem PLTS tersebut. Untuk jenis baterai yang digunakan yaitu jenis VRLA, dan Lithium-Ion dengan konfigurasi tegangan nominal setiap *battery bank* yaitu 48 V, maka dapat menggunakan baterai 2 – 12 volt. Apabila menggunakan 2 volt maka akan membutuhkan baterai dengan konfigurasi seri 24 buah untuk memenuhi rangkaian pada setiap *battery bank*. Maka dari itu untuk perancangan kali ini menggunakan konfigurasi 6 baterai karena hanya membutuhkan 8 buah baterai yang dihubungkan secara seri untuk mencapai tegangan nominal dari setiap *battery bank* 48 Volt.

**Tabel 4.8** Perbandingan Spesifikasi Solar Battery

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



Weight (kg)	144	188
Warranty	7 years	5 years
Price (Rp)	Rp. 14.316.291	Rp. 18.027.922
Price per Ah (Rp)	Rp. 12.384	Rp. 14.716

Setelah dilakukan perbandingan, maka hal yang perlu dipertimbangkan adalah nilai harga komponen serta garansi yang telah diberikan oleh produsen. Hal tersebut akan berpengaruh pada perencanaan biaya nantinya. Pada baterai trojan kapasitas yang dimiliki lebih tinggi dibandingkan dengan merek rolls, namun untuk harga baterai per Ah lebih tinggi dibandingkan merek rolls. Dan juga untuk garansi produk yang diberikan dari Rolls juga lebih lama. Maka dari itu untuk batterai yang digunakan yaitu merek Rolls Deep Cycle Battery dengan kapasitas 6 volt / 1156 Ah.

#### 4.3.6 Menentukan Kapasitas Solar Charge Controller

*Solar Charge Controller* (SCC) sangatlah diperlukan karena berfungsi sebagai pengontrol pengisian pada baterai yang digunakan sistem, dalam menentukan kebutuhan *solar charge controller* dari sistem maka mengacu pada rumus sebagai berikut :

$$SCC = \text{Jumlah panel} \times I_{sc} \text{ (Short Circuit Current) pada Panel}$$

$$SCC = 723 \times 9,21$$

$$SCC = 6.658 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan solar charge controller maka diperoleh nilai SCC sebesar 6.658 A.

#### 4.3.7 Menentukan Solar Charge Controller (SCC)

Dalam menentukan *Solar Charge Controller* tentu harus mempertimbangkan dari kebutuhan sistem yang akan digunakan. *Solar Charge Controller* memiliki 2 jenis yaitu MPPT dan PWM. Perbandingan antara kedua jenis tersebut yaitu jika sistem yang digunakan dalam skala besar maka dapat menggunakan MPPT sedangkan apabila sistem tersebut dalam golongan kecil dan temperature dari solar panel tergolong tinggi maka dapat menggunakan PWM. Maka dalam pemilihan *Solar Charge Controller* pada perancangan ini akan menggunakan MPPT karena sistem PLTS ini tergolong dalam kategori besar. Di bawah ini merupakan tabel perbandingan spesifikasi *Solar Charge Controller* :

**Tabel 4.9** Perbandingan spesifikasi Solar Charge Controller

Spesifikasi	Out Back Power FLELmax	Schneider Conext MPPT 80 600
Manufactures	OutBlack Power	Schneider Electric
Type	FLEXmax 100 Mppt Charge Controller	Conect MPPT 80 600
Battery Voltage	24 V / 36 V / 48 V	24 and 48 V (Default 48V)
PV array operating voltage	30 to 300 VDC	195 to 550 VDC
Battery voltage operating range	24 to 48 VDC	16 to 67 VDC
Max. Charge current	100 A	80 A

Power Efficiency	96 % (24V) 98% (48V)	94 % (24V) 96 % (48V)
Price (Rp)	Rp. 13.643.662	Rp. 22.039.762

Sesuai dengan tabel diatas yaitu terdapat 2 spesifikasi yang dapat digunakan sebagai perbandingan dalam memilih MPPT yang sesuai dengan sistem. Apabila melihat dari segi harga maka yang sangat murah yaitu menggunakan MPPT dari OutBack Power dibandingkan dengan merek Schneider. Untuk tegangan baterainya , dari kedua merek ini memiliki rating tegangan yaitu antara 24-48 V dan arus *charging* merek OutBack yaitu 100 A sedangkan Schneider memiliki arus charging sebesar 80 A. Lalu untuk tegangan operasi PV *array* merek schneider memiliki tegangan yang lebih tinggi yaitu 600 V sedangkan untuk merek OutBack menawarkan tegangan 300 V saja. Dari kedua merek tersebut efisiensi yang paling tinggi yaitu merek OutBack dengan nilai 98%, oleh karena itu pada perancangan kali ini *Solar Charge Controller* yang akan digunakan yaitu merek OutBack dengan rating arus tertinggi yaitu 100 A dengan efisiensi 98% serta tegangan kerja 48 V.

#### 4.3.8 Perbandingan Spesifikasi Inverter

Dalam menentukan inverter yang sesuai dengan sistem maka harus menentukan total kapasitas yang dibutuhkan, sehingga nantinya inverter yang digunakan tidak terlampau tinggi kapasitasnya dari sistem. Untuk sistem dengan kapsitas tinggi bisa menggunakan inverter tipe central inverter. Di bawah ini merupakan tabel perbandingan inverter :

**Tabel 4.10** Perbandingan Spesifikasi Inverter

<b>Spesifikasi</b>	<b>ABB PVS800-57-0250kW-A</b>	<b>Sunny Central 250 HE</b>
Manufactures	ABB	SMA Solar Technology AG
Type	Central Inverters PVS 250	Sunny Central 250HE
Maximum Input Power	300 kWp	261 kWp
DC Voltage Range	450 to 825 V	450 to 825 V
Maximum Dc Voltage	900 V	880 V
Maximum DC Current	600 A	591 A
Nominal Power AC	250 kW	250 kW
Nominal AC Current	485 A	535 A
Nominal AC Output Voltage	300 V	270 V
Efficiency Maximum	98,0 %	97.5 %
Own Concumption in operation	< 300 W	< 1500 W
Dimensions (mm)	1830 x 2130 x 644	2400 x 2120 x 850
Price (Rp)	Rp. 1.446.765.634	Rp.1.208.973.942

Perbandingan antara kedua inverter dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas dari sistem yaitu 238,8 kWp, lalu untuk inverter yang digunakan setidaknya melebihi dari kapasitas beban yang digunakan. Setelah melakukan perbandingan spesifikasi inverter seperti

tabel diatas, pada tabel tersebut banyak sekali perbedaan kualitas dari setiap inverter. Maka tahap selanjutnya yaitu menentukan kapasitas inverter yang ingin digunakan pada sistem PLTS.

#### 4.3.9 Menentukan Kapasitas Inverter

Dalam penentuan kapasitas inverter yaitu berdasarkan Permen No.36 tahun 2018 yang mengatur tentang spesifikasi dari sistem PLTS. Berdasarkan perhitungan yang telah diperoleh maka total kebutuhan kapasitas sistem yaitu sebesar 238,8 kWp, maka dari itu dalam menentukan yang digunakan oleh sistem paling tidak mendekati dari kapasitas kebutuhan dari beban yang digunakan oleh sistem tersebut. Oleh karena itu untuk inverter yang digunakan yang tersedia dipasaran yaitu dengan kapasitas 250 kW dengan spesifikasi seperti berikut ini :

**Tabel 4.11** Spesifikasi Inverter Sunny Central 250 HE

Inverter	Spesifikasi Teknis
<b>Input DC</b>	
Maximum Input Power ( $P_{pv,max}$ )	261 kWp
DC Voltage Range, MPP ( $U_{DC,mpp}$ )	450 to 825 V
Maximum DC Voltage ( $U_{max(DC)}$ )	880 V
Maximum DC Current ( $I_{max(DC)}$ )	591 A
<b>Output AC</b>	
Nominal AC Power	250 kW
Nominal AC Voltage	270 V
Nominal AC current ( $I_{N(AC)}$ )	535 A

Maximum cos	> 0,98
Harmonic Distortion, Current	< 3%
<b>Efficiency</b>	
Maximum	97.5 %
Euro-eta	96.7 %
<b>Power Consumptio</b>	
Own Consumption in Operation	< 1500 W
Standby Operation Consumption	< 80 W
External Auxiliary Voltage	400 V, 50/60 Hz
<b>Dimensions and Weight</b>	
Width/Height/Depth,mm (W/H/D)	2400/2120/850
Weight Appr	1170Kg

Inverter yang akan digunakan adalah produksi dari brand SMA dengan seri Sunny Central yang memiliki kapasitas 250 kW. *Range* tegangan DC antara 450-825 V, dan tegangan maksimum yaitu 880 V. Maksimum input dari PV dapat mencapai 261 kW sedangkan output nominal AC sebesar 250 kW. Maximum input dari inverter ini yaitu 591 A dan maksimal output AC dari inverter yaitu 535 A. Nilai output maksimal dari inverter yaitu 270 V dengan nilai efisiensi sebesar 97,5%. Dengan kapasitas input mencapai 261 kWp maka dapat digunakan pada sistem ini karena output dari sistem menghasilkan 238 kWp.

#### 4.3.10 Menentukan Desain Panel Array

Dalam menentukan desain rangkaian untuk panel *array* dari PLTS maka harus mengetahui nilai algoritma dari maximum power point tracking pada *solar charge controller* maupun pada inverter agar dapat bekerja secara optimal serta kapasitas daya dan tegangan dari panel array tersebut tidak melebihi dari batas yang diperbolehkan oleh sistem.

Setelah dilakukannya pemilihan komponen utama dari PLTS yaitu solar panel, maka dibawah ini adalah tabel spesifikasi lengkap dari solar panel serta spesifikasi lengkap dari *solar charge controller* yang akan digunakan oleh sistem dalam perancangan sistem PLTS :

**Tabel 4.12** Spesifikasi lengkap panel surya

<b>Panel Surya</b>	
Electrical Performance (STC : AM 1,5, 1000/m <sup>2</sup> , 25°C)	
Manufaktur	PT. Sky Energy Indonesia
Modul Type	Monocrystalline
Maximum Power (P <sub>max</sub> /W)	330 Wp
Power Tolerance	+3%
Maximum Power Voltage (V <sub>m</sub> /V)	37.8
Maximum Power Current (I <sub>m</sub> /A)	8.72
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> /V)	45.7
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> /A)	9.21
Module Efficiency (%)	17.09
Other Information	
Dimensions (LxWxH / mm)	1950 x 990 x 45

Weight (Kgs)	25,8 Kg
--------------	---------

Panel surya yang digunakan yaitu produk dari PT.Sky Energi Indonesia dengan tipe *Monocrystalline* serta maksimum power 330Wp. Untuk tegangan maksimum dari panel yaitu 37,8 V dengan arus maksimum 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%. Lalu untuk berat nya dari setiap panel surya ini yaitu 25,8 Kg.

Dibawah ini merupakan Spesifikasi lengkap dari *Solar Charge Controller* yang akan digunakan pada sistem PLTS :

**Tabel 4.13** Spesifikasi Lengkap *Solar Charge Controller*

<b>Solar Charge Controller</b>	
Manufaktur	OutBack Power
Tipe	FLEXmax 100
Nominal Battery Voltage	24 V / 36 V / 48 V
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
Max.Continuous Output Current	100 A
Max. Array	3000 W / 4500 W / 6000 W
Charge Regulation	Three Stage
Max. Power Efficiency	96 % (24V), 97 % (48V)



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 merk OutBack Power dengan tipe FLEXmax 100 dengan tegangan maksimal PV sistem yaitu 300 VDC dan tegangan nominal baterai yaitu 24 V / 36 V / 48 V. Tegangan charging dari *solar charge controller* yaitu 20 – 68 VDC. Lalu arus input dari *solar charge controller* yaitu 64A dan maksimum arus outputnya 100 A. Kapasitas minimum *battery bank* yang dapat digunakan yaitu 100 Ah dengan efisiensi 97% pada 48 V.

Berikut ini merupakan rumus perhitungan untuk melakukan desain rangkaian panel *array* :

Keterangan:

$T_{OC}$  = *Temperature Open Circuit*

$V_{OC}$  = *Voltage Open Circuit*

$TC_{OC}$  = *Temperatur Coefficient Open Circuit*

$T_a$  =  $TC_{OC} - TC_{SC}$

$V_{mpp}$  = *Tegangan Maksimum Power*

$TC_{SC}$  = *Temperature Coefficient Isc*

$I_{SC}$  = *Arus Short Circuit*

$I_{SC\ NOCT}$  = *Arus Short Circuit pada NOCT*

## 1. Perhitungan Tegangan

### a. Perhitungan *Open Circuit Voltage* pada NOCT

$$\begin{aligned}
 U_{OC(24,5\ ^\circ C)} &= ((1 - (T_{OC} - 25 \times (TC_{OC} / 100))) \times V_{OC\ STC}) \\
 &= ((1 - (24,5 - 25 \times (-0,356 / 100))) \times 45,7) \\
 &= ((1 - (-0,5 \times (-0,00356))) \times 45,7) \\
 &= 45,6\ V
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal panel surya tiap string

$$\begin{aligned}\text{Max. String} &= \text{Tegangan SCC} \div \text{Tegangan VOC NOCT} \\ &= 300 \text{ V} \div 45,6 \text{ V} \\ &= 6,5 \text{ (dibulatkan)} = 6\end{aligned}$$

c. Perhitungan nilai  $V_{mpp}$  maksimal pada NOCT

$$\begin{aligned}V_{MPP(26,2^{\circ}\text{C})} &= ((1 + (T_{oc} + T_a - 25 \times (TC_{OC} / 100))) \times V_{MPP} \\ &\quad \text{STC}) \\ &= ((1 + (24,5 + 30 - 25 \times (-0,356 / 100))) \times 37,8) \\ &= ((1 + (29,5 \times (-0,00356))) \times 37,8) \\ &= ((1 + 0,144536) \times 37,8) \\ &= 33,8 \text{ Volt}\end{aligned}$$

d. Perhitungan jumlah minimal panel surya tiap string

$$\begin{aligned}\text{Jumlah input} &= \text{Tegangan minimal MPPT} \div \text{VMPP NOCT} \\ &= 30 \text{ V} \div 33,8 \text{ V} \\ &= 0,88 \text{ (dibulatkan)} = 1\end{aligned}$$

2. Perhitungan arus

a. Perhitungan arus maksimal pada NOCT

$$\begin{aligned}I_{SC(35^{\circ}\text{C})} &= ((1 + (T_{oc} + T_a - 25 \times (TC_{SC} \div 100))) \times I_{SC \text{ STC}}) \\ &= ((1 + (24,5 + 30 - 25 \times (0,056 \div 100))) \times 9,21) \\ &= ((1 + (29,5 \times (0,00056))) \times 9,21) \\ &= ((1 + 0,01652) \times 9,21) \\ &= 9,3 \text{ A (dibulatkan)} = 9 \text{ A}\end{aligned}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal string

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

Setelah melakukan perhitungan maka 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 akan dilakukan untuk memperoleh nilai arus yang dibutuhkan yaitu maksimal sejumlah 7 panel yang dihubungkan secara paralel.

#### 4.3.11 Perhitungan jarak antar panel array

Pada perhitungan jarak antar panel array dilakukan agar menghindari bayangan yang dapat menghambat sinar matahari yang menuju panel serta untuk mengoptimalkan penggunaan luas lahan yang akan digunakan untuk PLTS. Di bawah ini merupakan data yang akan digunakan dalam perhitungan:

- Panjang solar panel array 2 x 195 cm
- Sudut kemiringan panel array 15°
- Sudut solar altitude 39.83°
- Sudut solar azimuth 50.04°

Sedangkan untuk rumus perhitungan dari jarak yang akan digunakan antar panel array dapat dihitung menggunakan rumus seperti berikut:

Maka, perhitungan jarak panel array sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan ketinggian array yaitu menggunakan persamaan 2.2, seperti di bawah ini :

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

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

$$= 101 \text{ cm}$$

2. Dalam perhitungan jarak bayangan maksimal array yaitu menggunakan persamaan rumus 2.3, seperti di bawah ini :

$$D' = \frac{101}{\tan(39.83)}$$

$$D' = \frac{101}{0,834}$$

$$= 121 \text{ cm}$$

3. Dalam perhitungan jarak antar baris panel array maka menggunakan persamaan rumus 2.4, seperti di bawah ini :

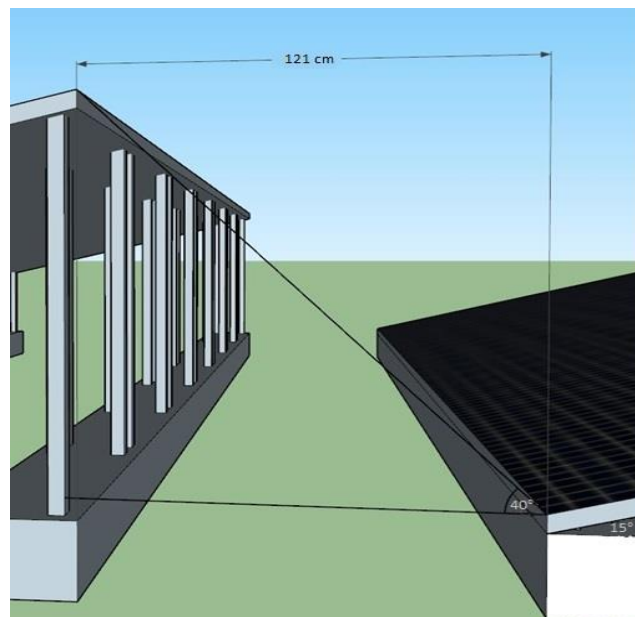
$$D = 121 \times \cos (50,04)$$

$$D = 121 \times 0,642$$

$$= 77,6 \text{ cm (dibulatkan)} = 78 \text{ cm}$$

Setelah melakukan perhitungan seperti diatas, maka diperoleh nilai jarak antar baris panel array minimal 78 cm serta jarak bayangan maksimal yang diperoleh yaitu 121 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. Berikut ini merupakan contoh gambar dari jarak bayangan maksimal dari *array* dan gambar sudut posisi panel surya mengarah ke utara.



**Gambar 4.7** Jarak maksimal antar panel array 121cm

#### 4.3.12 Perhitungan Proteksi Combiner Box

Perhitungan sistem proteksi pada *combiner box* ini dilakukan dengan menggabungkan beberapa solar panel array yang telah disambungkan menuju ke *solar charge controller*. Dalam pemilihan *combiner box* sudah diatur spesifikasinya dalam Permen ESDM no.36 tahun 2018. Lalu untuk sistem proteksi *combiner box* ini harus dilengkapi dengan proteksi arus hubung singkat, surge protection, dan switch pemutus. Dibawah ini adalah nilai-nilai yang digunakan dalam perhitungan sistem proteksi pada *combiner box* :

- $V_{oc} = 45,7 \text{ V}$
- $I_{sc} = 9,21 \text{ A}$
- Jumlah panel surya seri = 6
- Jumlah panel surya paralel = 7

##### 1. Fuse yang digunakan per String

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

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh nilai *rating* tegangan per *string* yaitu 329,04 V dan *rating* arusnya 12,894 A. Lalu untuk *fuse* yang digunakan yaitu *fuse* yang tersedia dipasaran dengan kapasitas 15 A dengan *rating* tegangan 1000 VDC.

##### 2. Fuse yang digunakan per panel array

$$\begin{aligned} \text{Rating arus} &= 1,4 \times (I_{sc} \times \text{jumlah panel surya paralel}) \\ &= 1,4 \times (9,21 \times 7) \end{aligned}$$

$$= 90,258 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan *fuse* pada panel *array* maka diperoleh nilai *rating* arus 90,258 A untuk per panel. Lalu untuk *fuse* yang akan digunakan yaitu *fuse* yang telah tersedia di pasaran dengan rating 100A dan tegangan 1000 VDC.

#### 4.3.13 Perhitungan Kapasitas Kabel

Pada perhitungan kapasitas kabel yang digunakan pada sambungan *combiner box* menuju SCC yaitu dengan menggunakan rumus seperti berikut :

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

$$\text{Luas penampang} = 25 \text{ mm}^2 \text{ (datasheet kabel NYFGbY)}$$

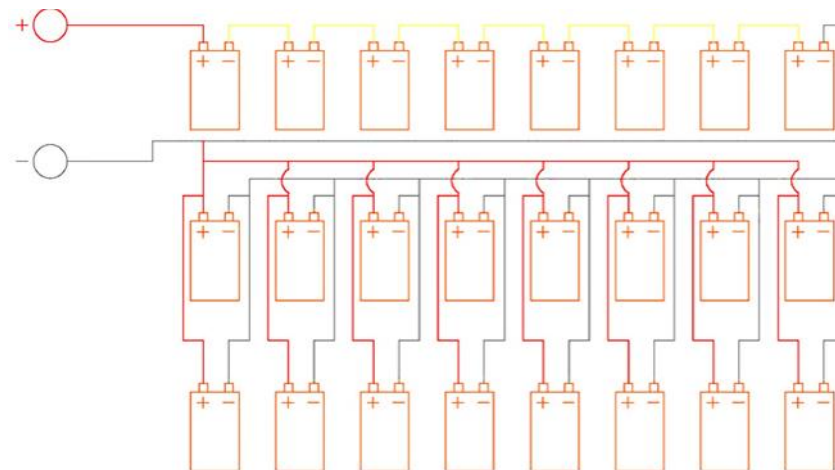
Berdasarkan perhitungan maka diperoleh nilai arus KHA kabel dari *combiner box* menuju SCC sebesar 112,8225 A. Maka dengan arus sebesar itu, kabel yang digunakan adalah NYFGbY dengan luas penampang  $2 \times 25 \text{ mm}^2$ .

#### 4.3.14 Perhitungan Battery Bank

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, maka dalam melakukan perhitungan *battery bank* dapat menggunakan nilai dari data-data di bawah ini :

- Total kebutuhan baterai 52.863 Ah
- Kapasitas masing-masing baterai 6 V / 1156 Ah
- Tegangan baterai 48 VDC
-

Untuk desain *battery bank*, dengan kapasitas yang besar maka dibutuhkan konfigurasi seri-paralel pada baterai. Maka dari itu, dengan kapasitas sebesar 53.863 Ah maka rangkaian *battery bank* yang sesuai yaitu 3 *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 paralel, masing-masing kapasitas *battery bank* yaitu 18.496 Ah. Sehingga total kebutuhan baterai yang dibutuhkan yaitu sejumlah 72 baterai. Dibawah ini merupakan contoh konfigurasi untuk rangkaian dalam satu *battery bank*.



**Gambar 4.8** Konfigurasi Satu *Battery Bank*

#### 4.3.15 Perhitungan Sistem Proteksi Panel Distribusi DC

Perhitungan sistem proteksi panel distribusi DC dilakukan dengan menggunakan nilai arus output maksimal dari SCC dan menggunakan arus input maksimal dari inverter. Sedangkan untuk panel distribusi DC sendiri merupakan panel yang menggabungkan input serta output yang bersumber dari beberapa *battery bank*, SCC dan *battery inverter*. Dibawah ini merupakan data yang digunakan untuk perhitungan :

- Arus output maksimal SCC 100 A
- Arus input maksimal inverter 591 A

Maka perhitungan yang dapat dilakukan yaitu 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 akan digunakan pada masing-masing sambungan SCC menuju ke baterai maksimal yaitu 125 A.

Luas penampang penghantar kabel (kabel NYAF)

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

Luas penampang = 25 mm<sup>2</sup> (berdasarkan datasheet kabel)

Maka kabel yang digunakan pada sambungan SCC menuju ke busbar yaitu jenis kabel NYAF 25 mm<sup>2</sup>.

2. Fuse dari inverter ke baterai

Rating Fuse

$$\begin{aligned} I_{\text{fuse}} &= I_n \times 1,25 \\ &= 591 \text{ A} \times 1,25 \end{aligned}$$



$$= 739 \text{ A}$$

Maka rating fuse yang digunakan pada setiap sambungan inverter menuju baterai adalah 739 A.

Luas penampang kabel

$$\begin{aligned} I_{KHA} &= I_n \times 1,25 \\ &= 739 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 924 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka kabel yang digunakan pada sambungan input inverter menuju ke busbar panel DC adalah 2 x 1 x NYAF 240 mm<sup>2</sup>.

#### 4.3.16 Perhitungan Sistem Proteksi Panel Distribusi AC

Perhitungan sistem proteksi panel distribusi AC menggunakan data dari output maksimal dari inverter yang telah digunakan. Sedangkan untuk panel distribusi ini berfungsi 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 inverter yang digunakan yaitu 535 A

1. Rating proteksi setiap output dari inverter

Rating Circuit Breaker

$$\begin{aligned} I_{CB} &= I_n \times 1,25 \\ &= 535 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 669 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka untuk rating pada circuit breaker yang digunakan pada masing-masing inverter adalah 800 A.

Perhitungan luas penampang dari kabel penghantar

$$\begin{aligned} I_{KHA} &= I_n \times 1,25 \\ &= 535 \text{ A} \times 1,25 \end{aligned}$$

$$= 669 \text{ A}$$

Luas penampang kabel =  $2 \times 1 \times 120 \text{ mm}^2$  (kabel NYY)

Maka berdasarkan perhitungannya yang dilakukan, kabel yang digunakan pada sambungan output dari inverter menuju busbar pada panel distribusi AC yaitu jenis kabel NYY dengan spesifikasi  $2 \times 1 \times 120 \text{ mm}^2$ .

## 2. Perhitungan proteksi dari AC disconnect

Perhitungan rating circuit breaker

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

$$= 3 \times 535 \text{ A} \times 1,25$$

$$= 2007 \text{ A}$$

Maka berdasarkan perhitungan tersebut hasil rating circuit breaker yang digunakan pada output 3 phase adalah 2007 A.

Perhitungan luas penampang kabel penghantar

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

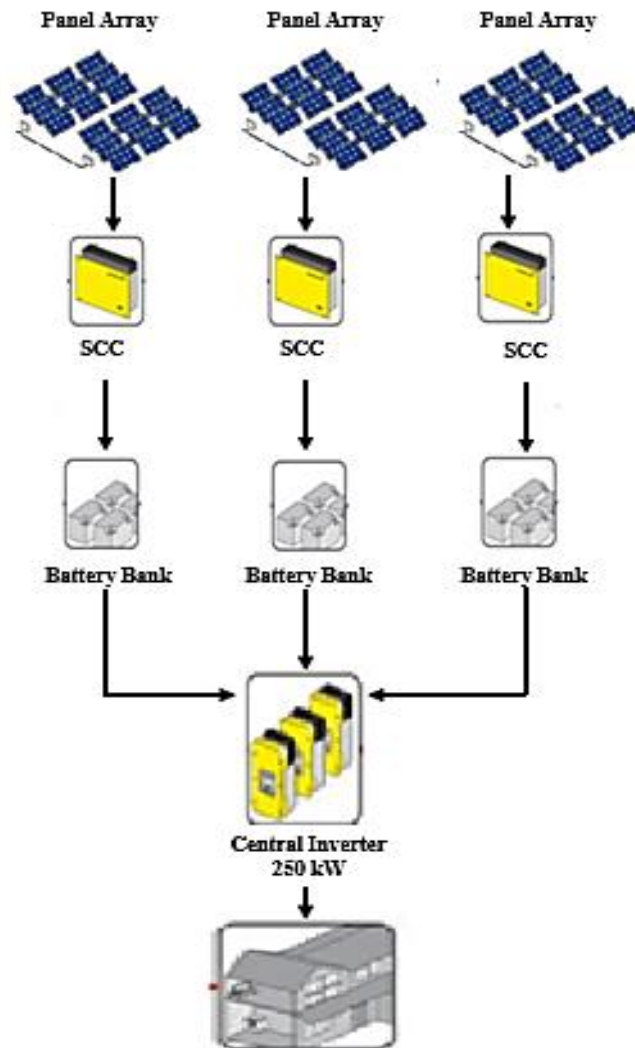
$$= 3 \times 535 \times 1,25$$

$$= 2007 \text{ A}$$

Luas penampang kabel =  $3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$ .

Maka untuk jenis kabel yang digunakan yaitu menggunakan jenis NYY dengan spesifikasi  $3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$ .

Untuk memperjelas dari konfigurasi yang digunakan oleh sistem, maka dibawah ini merupakan gambar sistem PLTS secara umum yang akan di rancang pada penelitian kali ini.



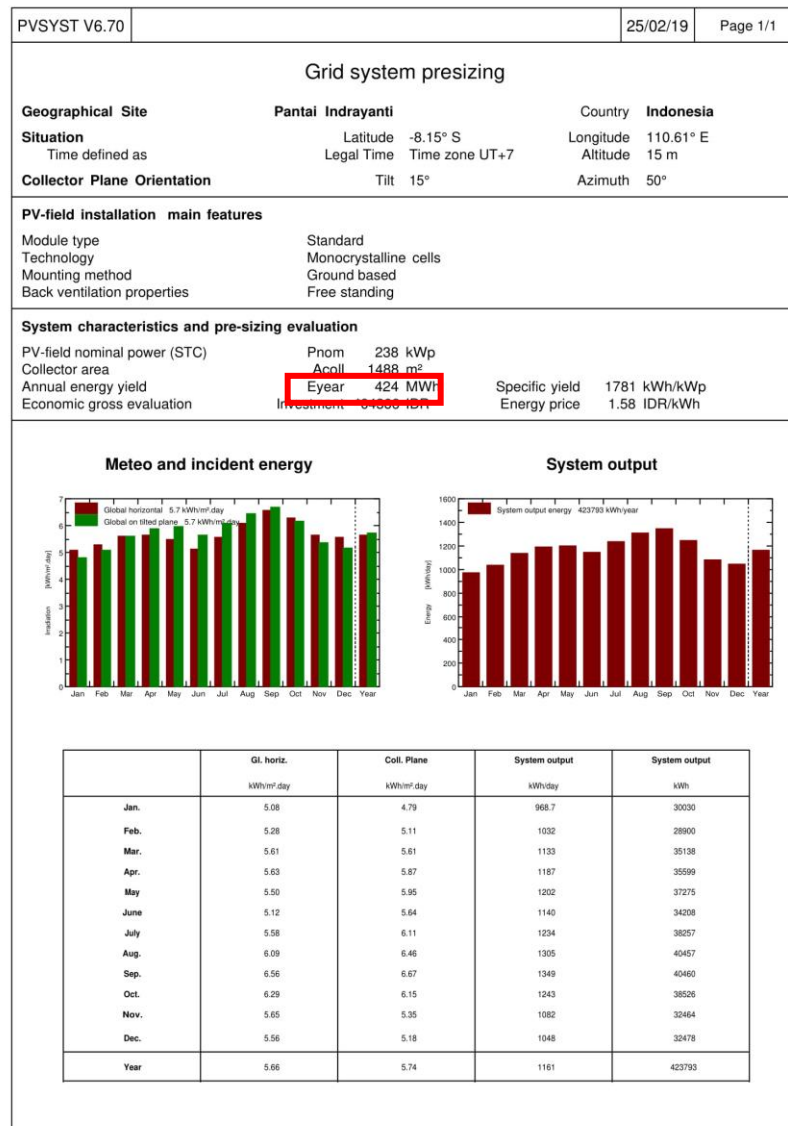
**Gambar 4.9** Sistem Umum PLTS

*PV modules* akan di hubungkan ke masing-masing SCC (*Solar Charge Controller*) yang berfungsi mengatur pengisian baterai dari tegangan DC dari PV yang berubah-ubah menjadi lebih stabil sehingga umur baterai tidak cepat rusak. Lalu baterai tersebut akan menyimpan energi yang dihasilkan pada siang hari untuk dipakai di malam hari.

Pada malam hari, inverter akan mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC untuk disalurkan ke beban. Keterangan :

- PV modules : 723 panel
- SCC : 40 SCC
- Battery Bank : 3 battery bank (72 baterai)
- Inverter : 1 Central Inverter 250 kW

Sedangkan untuk luas lahan wilayah yang digunakan pada perencanaan ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 4.10** Luas Wilayah PLTS

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada simulator PVSYST, luas wilayah yang digunakan oleh PLTS dengan kapasitas 238 kWp yaitu sebesar 1488 M<sup>2</sup>, yang artinya dalam satu kWp membutuhkan lahan sebesar 6,25 M<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan rule of thumb untuk wilayah di Indonesia dengan 7-8 M<sup>2</sup> per kWp (GIZ, 2018), maka wilayah Pantai Indrayanti memiliki luas per kWp yang lebih baik dengan nilai 6,25 M<sup>2</sup> per kWp.

#### 4.4 Perincian Biaya

Dalam perincian biaya yang dilakukan pada perencanaan ini sangatlah penting karena akan dapat dilihat keseluruhan biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun PLTS fotovoltaik di Pantai Indrayanti Kabupaten Gunungkidul 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-komponen dari PLTS yang tidak ada di pasaran Indonesia. Harga dari komponen juga akan diperhitungkan biaya pengiriman juga menuju ke Kabupaten Gunungkidul. Untuk tabel dari perincian biaya yang digunakan pada perencanaan PLTS dengan kapasitas 238,8 kWp dapat dilihat sebagai berikut :

**Tabel 4.14** Perincian Biaya Sistem PLTS

Komponen Utama	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Solar Panel 330 Wp	723	Unit	Rp. 4.603.000	Rp.3.327.969.000
SMA Sunny Central 250 HE	1	Unit	Rp.1.208.973.942	Rp.1.208.973.942
Outback FLEXmax 100	40	Unit	Rp. 13.643.662	Rp. 545.746.480
Rolls Battery @1156Ah	72	Unit	Rp. 14.316.291	Rp.1.030.772.808

Jumlah				Rp.6.113.462.374
<b>Komponen Tambahan</b>				
<b>Komponen Tambahan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Total Harga</b>
NYFGbY 2x25 mm <sup>2</sup>	2500	Meter	Rp. 125.000	Rp. 312.500.000
NY Y 2x1x120 mm <sup>2</sup>	700	Meter	Rp. 386.000	Rp. 270.200.000
NY Y 3x1x300 mm <sup>2</sup>	700	Meter	Rp. 539.000	Rp. 377.300.000
NYAF 2x1x240 mm <sup>2</sup>	1000	Meter	Rp. 353.000	Rp. 535.000.000
NYAF 2x1x25 mm <sup>2</sup>	750	Meter	Rp. 48.000	Rp. 36.000.000
NY Y 35mm <sup>2</sup>	150	Meter	Rp. 65.000	Rp. 9.750.000
Mounting Support 10 kW	24	Pcs	Rp. 41.888.000	Rp.1.005.312.000
Battery Rack	3	Pcs	Rp. 4.675.000	Rp. 14.025.000
OutBack Mate 3s	3	Pcs	Rp. 6.131.765	Rp. 18.395.295
OutBack HUB 4	3	Pcs	Rp. 2.132.788	Rp. 6.398.364
OutBack FLEXnet DC	3	Pcs	Rp. 3.900.757	Rp. 11.702.271
OutBack AXS Port	3	Pcs	Rp.3.962.917	Rp. 11.888.751
OutBack FLEXware PV	18	Set	Rp. 3.564.001	Rp. 64.152.018
Panel Distribusi AC	5	Set	Rp. 55.825.000	Rp. 279.125.000
Panel Distribusi DC	3	Set	Rp. 7.392.000	Rp. 22.176.000
Biaya Pengerjaan	238	kWp	Rp. 2.500.000	Rp. 595.000.000
Jumlah				Rp.3.568.924.699
Jumlah Keseluruhan				Rp.9.682.387.073

Setelah dilakukan perhitungan keseluruhan dari perencanaan proyek PLTS di Pantai Indrayanti, maka diperoleh total investasi awal sebesar Rp.9.682.387.073

#### 4.4.1 Perincian Biaya Operasional

Dalam perhitungan biaya operasional dilakukan agar dapat memperhitungkan pembiayaan dari sistem apabila perencanaan sistem dapat dilakukan dan dapat menghasilkan energi listrik. Pada pembiayaan operasional 1 % dari total biaya investasi (Vember Restu Kossi, 2017) mencakup perhitungan dari biaya untuk memperkerjakan teknisi pada lokasi PLTS serta pembiayaan 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.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 telah dilakukan maka diperoleh total perhitungan biaya operasional dari PLTS Fotovoltaik pada Pantai Indrayanti Kabupaten Gunungkidul sebesar Rp.234.080.000 dalam satu tahun.

#### 4.4.2 Cashflow

Pada tahap perhitungan arus kas dari perencanaan PLTS Fotovoltaik dilakukan mengikuti standar yang telah 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 PTLN 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. Setelah menentukan harga jual listrik per kWh dari PLTS maka setelah itu dilakukan lah perbandingan harga per kWh dari PLTS dan PLN. Sesuai Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT PLN (Persero) sebagaimana telah diubah terakhir dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 41 Tahun 2017 yaitu tarif per kWh yang ditetapkan dari PLN adalah Rp.1.352 / kWh.

**Tabel 4.16** Perbandingan tarif PLN dan PLTS

No	Perusahaan	Rp / kWh
1	PLTS	Rp. 914,7955 / kWh
2	PLN	Rp. 1.352 / kWh

#### 4.4.3 Inflow

Untuk arus penerimaan kas atau *inflow* pada perencanaan ini dilakukan berdasarkan total kebutuhan beban dari jumlah pelanggan dalam satu bulan. Di bawah ini adalah tabel *inflow* dari PLTS dan PLN:



**Tabel 4.17** Inflow dari PLTS

<b>Total Pelanggan</b>	<b>Total Beban Satu Bulan</b>	<b>Penghasilan per Bulan (Rp.914,7955/kWh)</b>	<b>Penghasilan per Tahun</b>
150	94,147 kWh	Rp.12.918.787,79	Rp.155.025.453,48
34	78,864 kWh	Rp.2.452.910,699	Rp.29.434.928,388
		Rp. 15.371.698,49	
<b>Total Penghasilan Satu Tahun</b>			<b>Rp.184.460.381,868</b>

**Tabel 4.18** Inflow dari PLN

<b>Total Pelanggan</b>	<b>Beban Satu Bulan</b>	<b>Penghasilan per Bulan (Rp. 1.352)</b>
150	Rp. 94,147 kWh	Rp. 19.093.011,6
34	Rp. 78,864 kWh	Rp. 3.625.220,35
<b>Total penghasilan per bulan</b>		<b>Rp. 22.718.231,95</b>

Setelah melakukan perhitungan inflow dari PLTS, maka total penghasilan dalam satu tahun dari penjualan listrik ke pelanggan yang menjadi penerimaan kas PLTS dalam satu tahun diperoleh sebesar Rp. 184.460.381,868. Sedangkan untuk perbandingan tarif per bulan dengan PLN yaitu total Rp. 22.718.231,95 dan PLTS sejumlah Rp.15.371.698,49

#### 4.4.4 Outflow

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

$$\begin{aligned}
\text{Total Investasi} &= \text{Investasi Awal} + \text{Biaya Operasional Selama 25 Tahun} \\
&= \text{Rp. } 9.682.387.073 + \text{Rp. } 5.852.000.000 \\
&= \text{Rp. } 15.534.387.073
\end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
\text{Outflow} &= \text{Total Investasi} + \text{Biaya Pergantian Baterai} \\
&= \text{Rp. } 15.534.387.073 + \text{Rp. } 2.061.545.904 \\
&= \text{Rp. } 17.595.932.977
\end{aligned}$$

Untuk total *outflow* dari perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini diperoleh total biaya sebesar Rp. 17.595.932.977

#### 4.4.5 Kelayakan secara finansial pada pengoperasian sistem PLTS

Dalam melakukan 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%.

- *Return of Investment* (ROI)

$$\begin{aligned}
\text{ROI} &= \frac{(\text{Pendapatan} - \text{Biaya Investasi})}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \\
\text{ROI} &= \frac{(\text{Rp. } 184.460.381,868 - \text{Rp. } 17.595.932.977)}{\text{Rp. } 17.595.932.977} \times 100\% \\
&= -98,95 \%
\end{aligned}$$

- *Payback Period (PP)*

Untuk nilai *payback period* pada 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:

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

$$PP = \frac{\text{Rp. 17.595.932.977}}{\text{Rp. 184.460.381,868}} = 95,4 \text{ tahun} = 95 \text{ tahun } 4 \text{ bulan}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka akan *payback period* dari perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini selama 95 tahun 4 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 sebesar 6% dalam setiap tahun. Untuk penyajian dari kas keuangan disajikan dalam tabel dibawah ini:

**Tabel 4.19** *Net Present Value*

Tahun	Kas Masuk	Kas Keluar	DF	Net Present Value
			6%	
0		Rp. 9.682.387.073	1,0000	-Rp. 9.682.387.073
1	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,9434	-Rp. 46.810.961
2	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,8900	-Rp. 44.161.283
3	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,8396	-Rp. 41.661.588
4	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,7921	-Rp. 39.303.385
5	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,7473	-Rp. 37.078.665
6	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,7050	-Rp. 34.979.873
7	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,6651	-Rp. 32.999.880
8	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,6274	-Rp. 31.131.962
9	Rp. 184.460.382	Rp. 1.030.772.808	0,5919	-Rp. 500.931.025
10	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,5584	-Rp. 27.707.336
11	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,5268	-Rp. 26.138.996

12	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,4970	-Rp. 24.659.430
13	Rp. 184.460.382	Rp. 34.080.000	0,4688	-Rp. 23.263.613
14	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,4423	-Rp. 21.946.805
15	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,4173	-Rp. 20.704.533
16	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,3936	-Rp. 19.532.578
17	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,3714	-Rp. 18.426.961
18	Rp. 184.460.382	Rp. 1.030.772.808	0,3503	-Rp. 296.500.304
19	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,3305	-Rp. 16.399.929
20	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,3118	-Rp. 15.471.631
21	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,2942	-Rp. 14.595.879
22	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,2775	-Rp. 13.769.697
23	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,2618	-Rp. 12.990.280
24	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,2470	-Rp. 12.254.981
25	Rp. 184.460.382	Rp. 234.080.000	0,2330	-Rp. 11.561.303
NVP				-Rp. 11.067.369.952

- *Internal Return Rate (IRR)*

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

Proyek bisa dijalankan apabila nilai dari NPV memiliki nilai positif, dikarenakan berdasarkan tabel didapatkan 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.