

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

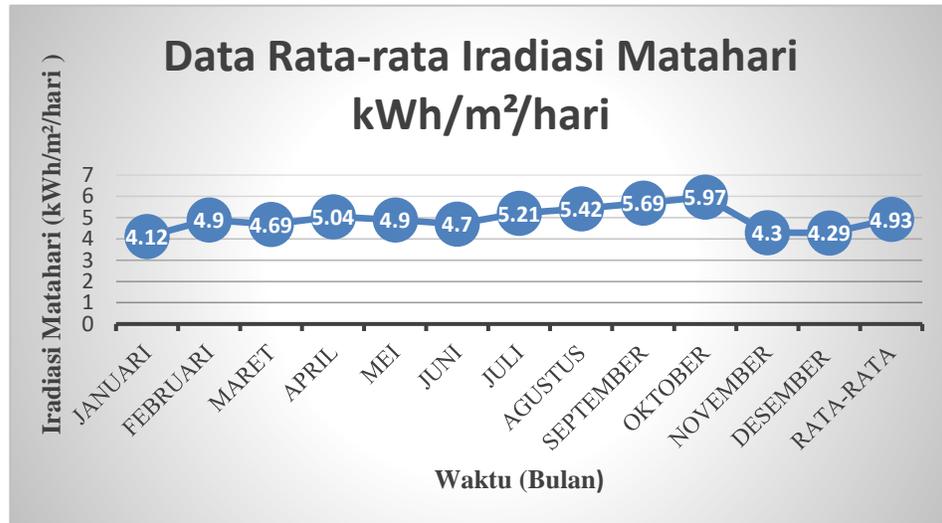
Lokasi tempat yang dijadikan pengambilan data bertempat di RT 07 RW 05 Tambakreja, Kecamatan Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, yang bertepatan di sebuah Sekolah Dasar Negeri Tambakreja 04 Cilacap Selatan. Dengan pertimbangan daerah tersebut merupakan daerah pesisir pantai yang cukup besar dan berpotensi untuk mendapatkan pancaran sinar matahari. Sehingga dapat dimanfaatkan untuk perancangan pembuatan PLTS Fotovoltaik Secara astronomis RT 07 RW 05 Tambakreja, Kecamatan Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah berada di titik *latitude* -7.7402653 dan *longitude* 109.0024236

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Lokasi

1. Iradiasi matahari

Data iradiasi matahari dan posisi matahari pada penelitian ini diperoleh dari website *database Surface meteorology and Solar Energy (SSE)* atau *Prediction Of Worldwide Energy Resources* milik *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*. Dengan menggunakan NASA SSE ini, untuk memperoleh data yang diperlukan yakni menentukan titik koordinat lokasi yang akan dipasang PLTS. Setelah ditentukan titik koordinat, maka diperlukan *setting* waktu dalam pengambilan data. Gambar 4.1 merupakan grafik iradiasi cahaya matahari yang diperoleh dari NASA SSE dengan titik koordinat lokasi yaitu *latitude* -7.7402653 dan *longitude* 109.0024236 dengan kurun waktu dari 1 Januari 2018 – 31 Desember 2018.



Gambar 4.1 Data Rata-rata Iradiasi Matahari di RT 07 RW 10

(Sumber : NASA SSE)

Untuk perencanaan sistem PLTS komunal biasanya menggunakan nilai iradiasi harian matahari minimum yaitu sebesar 4,45 KWh/m²/hari, dengan tujuan agar pada saat iradiasi harian matahari berada pada nilai yang paling rendah, maka PLTS yang akan dikembangkan tetap dapat memenuhi besar kapasitas yang dibangkitkan. Rata-rata iradiasi di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan sebesar 4,93 KWh/m²/hari,

2. Suhu di Kabupaten Cilacap

Berikut ini adalah data suhu rata-rata dan suhu tertinggi maupun suhu terendah selama bulan Januari 2018 sampai dengan bulan Desember 2018 di Kabupaten Cilacap, data diperoleh dari laporan harian iklim oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Cilacap pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Suhu di Kabupaten Cilacap

Bulan di Tahun 2018	Rata-rata Suhu perbulan (°C)	Suhu Terendah(°C)	Suhu Tertinggi (°C)
Januari	27,49	24	32,8
Februari	27,43	24	33,4
Maret	27,53	24,2	33,8
April	28,02	24	32,6
Mei	27,87	24,2	32,4
Juni	26,77	22,4	31,4
Juli	25,01	22	30,8
Agustus	25,21	20,8	28,8
September	26,39	21,9	30,2
Oktober	27,37	22,3	31,7
November	27,28	22	31,8
Desember	27,42	22,8	31,8
Rata-rata	26,98	23,2	31,8

Data suhu untuk wilayah RT 07 RW 05 Tambakreja, Kecamatan Cilacap Selatan sepanjang tahun 2018 rata-rata sebesar 26,98°C. Selama tahun 2018 di Kabupaten Cilacap mengalami suhu terendah di titik 20,8°C pada bulan Agustus dan suhu tertinggi di titik 33,8°C pada bulan Maret.

3. Jumlah fasilitas umum dan fasilitas sosial

Berikut ini merupakan data jumlah fasilitas umum dan fasilitas sosial yang ada di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan. Data diambil dari hasil wawancara pengurus RT setempat dan observasi secara langsung. Fasilitas umum di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan terdiri dari 50 penerangan jalan perkampungan, 2 penerangan jalan raya, dan satu

buah pos ronda. Serta fasilitas sosial yang ada yakni satu buah sekolah dasar yakni SD N Tambakreja 04.

4.2.2 Menentukan kebutuhan beban total

Pada penelitian PLTS dengan sistem komunal ini, pemanfaatan energi matahari harus dengan baik dan bijak dalam penggunaannya dengan menghitung kebutuhan energi harian. Perencanaan yang baik akan membuat hasil yang optimal untuk melayani beban yang ada. Pada penelitian ini, penulis hanya menghitung energi listrik untuk fasilitas umum dan fasilitas sosial. Fasilitas umum yang ada di RT 05 RW 07 Tambakreja Cilacap Selatan yakni pos ronda dan penerangan jalan, sedangkan fasilitas sosial yakni sekolah dasar. Nilai kuota energi listrik untuk fasilitas umum dan fasilitas sosial sebagai berikut:

1. Kebutuhan beban fasilitas umum ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kebutuhan beban fasilitas umum

Perangkat	Jumlah	Daya (Watt)	Waktu Pemakaian (Jam)	Total Daya (Watt)	Energi (Wh)
PJU Jalan Raya	2	20	12	40	480
PJU Perkampungan	50	10	12	500	6.000
Lampu Pos Ronda	2	20	5	40	200
TV	1	75	5	75	375
Total				655	7.055

Keterangan:

- PJU = Penerangan Jalan Umum

Jadi total daya untuk fasilitas umum sebesar 655 Watt, dan total energi yang dibutuhkan untuk fasilitas umum sebesar 7055 Wh

2. Kebutuhan beban fasilitas sosial ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kebutuhan beban fasilitas sosial

Perangkat	Jumlah	Daya (Watt)	Waktu Pemakaian (Jam)	Total Daya (Watt)	Energi (Wh)
AC	3	840	7	2.520	17.640
LAPTOP	2	50	5	100	500
Lampu Ruangan	28	25	7	700	4.900
Lampu Teras	4	25	12	100	1.200
Magic Com	1	<i>Cooking mode: 465</i>	1	465	465
	1	<i>Warmingmode: 65</i>	3	65	195
Total				3.950	24.900

Jadi total daya untuk fasilitas sosial sebesar 3.950 Watt, dan total energi yang dibutuhkan untuk fasilitas sosial sebesar 24.900 Wh.

Pada Tabel 4.4 dibawah ini menunjukkan total daya yang dibutuhkan fasilitas umum dan fasilitas sosial.

Tabel 4.4 Total daya fasilitas umum dan fasilitas sosial

No	Jenis	Total Daya (Watt)
1	Fasilitas Umum	655
2	Fasilitas Sosial	3.950
Total		4.605

Jadi total daya untuk kebutuhan fasilitas umum dan fasilitas sosial sebesar 4.605 Watt.

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Menentukan nilai *equal sun hours*

Menentukan nilai *equal sun hours* adalah menentukan nilai kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem PLTS.

Berdasarkan data dari NASA SSE, nilai rata-rata iradiasi di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan:

Rata-rata = 4,93 kWh/m²/hari

Range = 4,93 kWh/m²/hari – 5,97 kWh/m²/hari = 1,04 (kategori III)

4,93 kWh/m²/hari – 4,12 kWh/m²/hari = 0.81 (kategori III)

Klasifikasi kelas iradiasi menurut SNI IEC 04-6394-200 ditunjukkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Klasifikasi kelas iradiasi menurut SNI IEC 04-6394-2000

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

Jadi kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perencanaan PLTS sistem komunal berdasarkan nilai yang diperoleh adalah kelas IIIa yaitu 5 jam.

4.3.2 Menentukan orientasi dan sudut kemiringan.

1. Orientasi

Lokasi penelitian berada di belahan bumi selatan karena berada di pesisir pantai selatan Pulau Jawa, maka panel surya menghadap ke utara. Maka orientasi panel surya untuk di RT 07 RW 05 Tambakreja, Kecamatan Cilacap Selatan dihadapkan ke utara, karena lokasi berada di belahan bumi selatan.

2. Sudut kemiringan

Berdasarkan data dari SNI IEC 04-6394-2000 Indonesia berada di lokasi lintang antara 15° S dan 15° LU, maka sudut kemiringan panel surya ditetapkan sebesar 15° untuk mendapatkan radiasi yang optimal.

4.3.3 Kebutuhan energi listrik RT 07 RW 05 Tambakreja Cilacap Selatan

Pada penelitian ini, perhitungan kebutuhan energi listrik untuk fasilitas umum sebesar 7055 Wh/hari, dan untuk fasilitas sosial membutuhkan energi listrik sebesar 24900 Wh/hari. Sedangkan untuk mengantisipasi penambahan beban listrik dan penurunan kinerja komponen PLTS, energi dicadangkan sebesar 30% dari total energi yang dibangkitkan. Demikian pula untuk mengantisipasi rugi-rugi sistem dan jaringan distribusi, rugi-rugi sistem dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) diasumsikan 30% dari energi total dan energi cadangan. Sehingga total estimasi kebutuhan energi listrik RT 07 RW 05 Tambakreja Cilacap Selatan ditunjukkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Estimasi kebutuhan energi listrik RT 07 RW 05 Tambakreja

No	Jenis Beban	Total Energi (Wh)
1	Fasilitas Umum	7.055
2	Fasilitas Sosial	24.900
Subtotal 1		31.955
Cadangan Energi = 30% x Subtotal 1		9.586,5
Subtotal 2		41.541,5
Rugi-rugi sistem + JTR = 30% x Subtotal 2		12.462,45
Jumlah Total = Subtotal 2 + Rugi-rugi sistem		54.003,95

Dari hasil perhitungan estimasi kebutuhan energi untuk perencanaan PLTS sistem komunal RT 07 RW 05 Tambakreja Cilacap selatan sebesar 54004 Wh/hari

4.4 Penentuan Desain Teknis PLTS

4.4.1 Perencanaan dan Perhitungan Panel Surya

Di RT 07 RW 05 Tambakreja Cilacap Selatan yang akan dirancang sebuah PLTS Fotovoltaik dengan sistem komunal, dengan data nilai-nilai sebagai berikut :

- Estimasi kebutuhan energi listrik sebesar 54004 Wh/hari
- Nilai kelas iradiasi matahari adalah 5 jam
- Nilai koefisiensi dari PLTS 0,5

Sehingga dengan nilai-nilai data seperti diatas, maka didapatkan perhitungan kapasitas PLTS komunal sebagai berikut:

$$P_{Wp} = \frac{W}{t_{ins} \times k_{ef}}$$

Dengan,

P_{Wp} = Kapasitas PLTS

W = Kebutuhan energi

t_{ins} = Kelas iradiasi

K_{ef} = Koefisiensi PLTS

Maka:

$$P_{Wp} = \frac{54004}{5 \times 0,5} = 21,6 \text{ kWp}$$

Dari perhitungan diatas, maka diperoleh nilai kapasitas PLTS komunal yang dibutuhkan sebesar 21,6 kWp.

Dalam perancangan PLTS ini, telah diketahui bahwa kebutuhan kebutuhan energi sebesar 54004 Wh atau 54 kWh. Menggunakan panel surya dengan kapasitas 200 Wp, Nilai koefisiensi dari PLTS sebesar 0,5 , dan lama penyinaran matahari dalam satu hari selama 5 jam. Sehingga jumlah panel surya yang dibutuhkan dalam perancangan PLTS dapat dihitung sebagai berikut:

Kebutuhan energi : 54004 Wh = 54 kWh
 Kapasitas maksimal panel surya : 200 Wp
 Lama penyinaran matahari perhari : 5 Jam
 Nilai koefisiensi panel surya : 0,5

Rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Energi yang dihasilkan} &= (\text{Kapasitas Maksimal} \times \text{Lama Penyinaran} \times \text{Koefisien}) \\
 &= (200 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam} \times 0,5) \\
 &= 0,5 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Kebutuhan Energi}}{\text{Energi dihasilkan}} \\
 &= \frac{54 \text{ kWh}}{0,5 \text{ kWh}} \\
 &= 108 \text{ buah.}
 \end{aligned}$$

Jadi, jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk perancangan PLTS di RT 07 RW 05 Tambakreja , Cilacap Selatan, Cilacap sebanyak 108 panel surya. Untuk mengetahui rangkaian pemasangan panel surya, maka perlu ditentukan panel surya yang dipasang seri dan paralel, berikut adalah perhitungan untuk rangkaian seri dan paralel panel surya yang akan digunakan. Diketahui data sebagai berikut:

Tegangan *input* inveter : 120 volt dan 240 volt
 Tegangan *output* panel surya : 37,53 Volt
 Arus (Imp) panel surya : 5,35 A
 Arus maksimum inverter : 150 A

Maka,

- Panel surya yang dipasang seri

$$\begin{aligned}
 \text{Panel surya seri} &= \frac{\text{Tegangan min input inverter}}{\text{Tegangan output Panel surya}} \\
 &= \frac{120}{37,53} \\
 &= 3,19 \text{ (dibulatkan) menjadi } 3
 \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned}\text{Panel surya seri} &= \frac{\text{Tegangan maks input inverter}}{\text{Arus Panel surya}} \\ &= \frac{240}{37,53} \\ &= 6,39 \text{ (dibulatkan) menjadi } 6.\end{aligned}$$

Jadi, jumlah panel surya yang dapat dipasang secara seri antara 3 hingga 6 modul, dan pada perencanaan ini dipilih 4 modul panel surya yang dipasang seri.

- Panel surya yang dipasang paralel

$$\begin{aligned}\text{Panel surya paralel} &= \frac{\text{Arus maks inverter}}{\text{Tegangan output Panel surya}} \\ &= \frac{150}{5,35} \\ &= 28,03 \text{ (d disesuaikan dengan kebutuhan) menjadi } 27\end{aligned}$$

Jadi, jumlah panel surya yang dibutuhkan dalam perancangan PLTS RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap sebanyak 108 panel surya, dengan dipasang seri sebanyak 4 panel, dan 27 panel dipasang secara paralel.

4.4.2 Perencanaan dan Perhitungan *Solar Charge Controller* (SCC)

Untuk mengetahui kebutuhan *Solar Charge Controller* (SCC), maka yang perlu diketahui dahulu adalah spesifikasi dari panel surya. Nilai *Isc* (*short circuit current*) merupakan spesifikasi yang harus diperhatikan untuk mengetahui kebutuhan SCC. Setelah mengetahui nilai *Isc* panel surya dan *data sheet Solar Charge Controller* yang dapat dilihat pada Tabel 4.9, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- $$\begin{aligned}\text{Isc} &= \text{Isc Panel} \times \text{N Panel Paralel} \times 125\% \\ &= 5,8 \times 27 \times 125\% \\ &= 195,75 \text{ A}\end{aligned}$$

Dengan hasil *Isc* yang diperoleh sebesar 203 A, maka *Solar Charge Controller* yang dibutuhkan sejumlah:

$$\begin{aligned}
 N_{SCC} &= \frac{I_{SCC}}{\text{Arus SCC}} \\
 &= \frac{195,75}{60} \\
 &= 3,26 \text{ (dibulatkan) menjadi } 4 \text{ buah SCC.}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

I_{SCC}	= Arus Solar Charge Controller (A)
N Panel Paralel	= Jumlah panel yang diparalel
Isc Panel	= Arus pada panel surya
125%	= Nilai kompensasi
N SCC	= Jumlah SCC yang dibutuhkan
Arus SCC	= Kapasitas arus maksimal SCC

Jadi, jumlah *Solar Charge Controller* pada perencanaan PLTS di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap sebanyak 4 buah.

4.4.3 Perencanaan dan Perhitungan Baterai

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut, dengan nilai efisiensi baterai sebesar 0,9:

$$\text{Baterai (kWh)} = \frac{\text{Jumlah otonomi sistem} \times \text{Total daya perhari (kWh)}}{\text{efisiensi baterai}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Baterai (kWh)} &= \frac{2 \times 54,004}{0,9} \\
 &= 120,008 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Baterai (Ah)} &= 120,008 \times \frac{1000}{48} \\
 &= 2.500,16 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan ketentuan syarat *depth of discharge* (DOD) baterai sebesar 80%, maka kapasitas baterai yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Baterai} &= \frac{\text{Baterai (Ah)}}{\text{DoD}} \\ &= \frac{2.500,16}{0,8} \\ &= 3.125,2 \text{ (dibulatkan)} = 3125 \text{ Ah}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka nilai kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk perancangan PLTS sebesar 3.125 Ah

Untuk mengetahui jumlah baterai yang digunakan dalam perancangan PLTS, maka ada data yang harus diketahui. Berikut adalah nilai-nilai dating yang telah diketahui:

Kebutuhan baterai : 3125 Ah
Kapasitas baterai : 1000 Ah / 2 V per baterai
Tegangan sistem : 48 V

Untuk memenuhi kebutuhan baterai sebesar 3125 Ah, maka dibutuhkan 4 *battery bank* dengan spesifikasi baterai 1000 Ah 2 V tiap baterai. Untuk mendapatkan tegangan sistem sebesar 48 V, maka dibutuhkan 24 baterai ($48 \div 2$). Kapasitas total tiap *battery bank* diperoleh hasil sebesar 48 kW ($24 \text{ baterai} \times 2 \text{ V} \times 1000$). Jadi , total baterai yang dibutuhkan sebanyak 96 baterai. 96 baterai 1000 Ah 2 V dipasang secara seri setiap 24 buah agar menghasilkan tegangan sistem sebesar 48 V. kemudian jika akan dipasang secara seri dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Baterai Paralel} &= \frac{N \text{ Baterai}}{\text{Baterai Seri}} \\ &= \frac{96}{24} \\ &= 4 \text{ paralel.}\end{aligned}$$

Jadi, untuk perancangan PLTS di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap dibutuhkan 96 baterai. Sebanyak 24 baterai dipasang secara seri,

dan 4 baterai diparalel. Spesifikasi baterai yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

4.4.4 Perencanaan dan Perhitungan Inverter

Untuk mengetahui jumlah inverter yang dibutuhkan dalam perancangan PLTS ini, maka dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Inverter} &= \frac{N \text{ Panel Surya} \times \text{Kapasitas Maks Panel Surya}}{\text{Kapasitas Inverter}} \\
 &= \frac{108 \times 200}{3500} \\
 &= 6,17 \text{ (dibulatkan) menjadi 6 buah}
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk perancangan PLTS di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap dibutuhkan inverter sebanyak 6 buah. Spesifikasi inverter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

4.5 Spesifikasi Teknis

Penelitian tentang perencanaan PLTS ini menggunakan sistem *off-grid* komunal *DC coupling*, dengan menggunakan sistem tersebut, maka komponen utama yang dibutuhkan untuk perancangan PLTS yakni: panel surya, *solar charger controller* (SCC), inverter baterai, dan baterai. Berikut ini adalah merk dan jenis yang digunakan untuk komponen utama perancangan PLTS ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Merk dan jenis komponen utama PLTS

Komponen	Penjelasan Merk dan Jenis
Panel Surya	Len 200Wp-24 V <i>Monocrystalline</i>
<i>Solar Charge Controller</i> (SCC)	<i>ConextTM</i> MPPT 60 150
Inverter Baterai	Conext-XW-120-240V
Baterai	OPzV 2V/1000AH

Dengan menggunakan empat komponen utama tersebut yang digunakan dalam perancangan sistem PLTS, maka perlu diketahui spesifikasi dari masing-masing komponen. Panel surya yang digunakan dipilih dari PT LEN Industri karena spesifikasi panel surya PT LEN Industri memiliki beberapa faktor keunggulan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah spesifikasi dari komponen utama perancangan PLTS dapat dilihat pada Tabel 4.8 untuk spesifikasi panel surya, Tabel 4.9 untuk spesifikasi *Solar Charge Controller*, Tabel 4.10 untuk spesifikasi baterai, dan Tabel 4.11 untuk spesifikasi inverter.

Tabel 4.8 Spesifikasi Panel Surya

Item	Teknikal Data
Manufaktur	PT Len Industri (Persero)
Tipe Modul	Len 200Wp -24 V Monocrystalline
Tegangan Daya Maksimal (Vmp)	37.44 V
Arus Daya Maksimal (Imp)	5.35 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	44.5 V
Short-Circuit Current (Isc)	5.80 A
Daya Maksimal (Pmax)	200Watt
Efisiensi Modul	16%
Temperatur Operasi Modul	-40° C to 85° C
Tegangan Maksimal Sistem	1000V DC
Koefisien Temperatur Voc	-0.32 %/°C
Koefisien Temperatur Isc	0.04 %/°C
Ukuran	158 x 80.8 x 4.5 cm
Berat	16.5 kg

(Sumber : www.len.co.id)

Tabel 4.9 Spesifikasi *Solar Charge Controller*

Item	Teknikal Data
Manufaktur	Schneider Electric
Tipe	Conext MPPT 60 150
Tegangan Operasi PV array	140 V
Maksimal Tegangan Masukan	150 V
Maksimal Arus Masukan	60 A
Maksimal Daya Keluaran	3500 W
Temperatur Operasi	-40° C to 85° C
Ukuran	36.8 x 14.6 x 13.8 cm
Berat	4.8 kg

(Sumber : www.solar.schneider-electric.com)

Tabel 4.10 Spesifikasi Baterai

Item	Teknikal Data
Manufaktur	Nippres Industrial Baterai
Tipe	OpzV 2-1000A
Tegangan	2 V
Kapasitas	1000 Ah
Berat	77 kg
Temperatur Operasi Optimal	25
Ukuran	23.3 x 21 x 68.1 cm
Pengisian Daya Maksimum	25° C +/- 5 ° C
Siklus Penggunaan	DOD 80% 4500 cycle

(Sumber : www.jskye.com)

Tabel 4.11 Spesifikasi Inverter

Item	Teknikal Data
Manufaktur	Schneider Electric
Tipe	Conext-XW+ 5548 NA120-240V
Daya Keluaran pada 25° C	5500 W
Daya Keluaran pada 40° C	4500 W
Frekuensi	50/60 Hz
Tegangan Output	L-N :120V +/- 3% ; L-L : 240V +/- 3%
Arus input DC	150 A
Tegangan input DC	42-60 V (48V)
Efisiensi	95.7 %
Kapasitas Baterai	440-10000 Ah
Ukuran	58 x 41 x 23 cm
Berat	53.5 kg

(Sumber : www.solar.schneider-electric.com)

4.6 Perhitungan Proteksi

4.6.1 Perhitungan Proteksi *Combiner Box*

Perangkat yang dapat berfungsi untuk menggabungkan beberapa *string* panel surya yang dipasang secara paralel untuk dihubungkan ke *solar charge controller* disebut *Combiner Box*. *Combiner Box* yang baik menurut PERMEN ESDM Nomor 03 Tahun 2017 harus dilengkapi dengan pengaman terhadap arus hubung singkat, proteksi surja, dan *switch* pemutus. Rangkaian panel surya pada penelitian ini sudah diketahui nilai-nilai data sebagai berikut:

$$V_{oc} = 44,5 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 5,8 \text{ A}$$

Jumlah panel surya dirangkai secara seri = 4 panel

Jumlah panel surya dirangkai secara paralel = 27 panel

Setelah diketahui data tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan peralatan dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Fuse per *string* panel surya

$$\begin{aligned}\text{Rating tegangan} &= 1,2 \times (\text{Voc} \times \text{panel surya secara seri}) \\ &= 1,2 \times (44,5 \times 4) \\ &= 213,6 \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rating arus} &= 1,4 \times \text{Isc} \\ &= 1,4 \times 5,8 \\ &= 8,12 \text{ A}\end{aligned}$$

Jadi, fuse yang digunakan untuk masing-masing string adalah minimal 8,12 A dengan minimal tegangan 213,6 V. Dengan nilai yang diperoleh, maka fuse yang tersedia dipasaran dan yang dapat digunakan adalah 10A 1000VDC.

2. Fuse panel array

$$\begin{aligned}\text{Rating arus} &= 1,4 \times \text{Isc} \times \text{panel surya secara seri} \\ &= 1,4 \times 5,8 \times 4 \\ &= 32,48 \text{ A}\end{aligned}$$

Jadi, fuse yang digunakan untuk panel array dengan minimal rating arus sebesar 32,48 A. Dengan nilai yang diperoleh, maka fuse yang tersedia dipasaran dan yang dapat digunakan adalah 40A 1000VDC.

3. Luas penampang penghantar arus (kabel NYFGbY)

$$\begin{aligned}I_{KHA} &= \text{In} \times 1,25 \\ &= 32,48 \times 1,25 \\ &= 40,6 \text{ A}\end{aligned}$$

Dengan nilai arus sebesar 40,6 A , maka kabel yang digunakan untuk sambungan *combiner box* ke SCC menggunakan kabel NYFGbY dengan luas penampang 4 mm². (Tabel spesifikasi kabel NYFGbY terlampir)

4.6.2 Perhitungan Proteksi Panel Distribusi DC

Battery bank, *solar charge controller* (SCC), dan baterai inverter digabungkan menjadi satu pada panel distribusi DC. Spesifikasi dari komponen-komponen tersebut telah diketahui sebagai berikut:

- Arus *output* maksimal SCC 60 A.
- Arus *input* inverter 150 A.

Dengan data tersebut, maka perhitungan peralatan diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

1. SCC ke baterai

a. Rating fuse

$$\begin{aligned} I_{fuse} &= I_{SCC} \times 100\% \\ &= 60 \text{ A} \times 100\% \\ &= 60 \text{ A} \end{aligned}$$

Rating fuse yang digunakan untuk setiap sambungan SCC ke baterai maksimal 60A

b. Rating MCB

$$\begin{aligned} I_{MCB} &= I_{SCC} \times 1,25 \\ &= 60 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 75 \text{ A} \end{aligned}$$

Rating MCB yang digunakan untuk setiap sambungan SCC ke baterai 75 A.

c. Luas penampang penghantar arus (Kabel NYAF)

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

$$= 60 \text{ A} \times 1,25$$

$$= 75 \text{ A}$$

Dengan nilai arus sebesar 75 A, maka kabel yang digunakan untuk sambungan SCC ke *busbar* menggunakan kabel NYAF dengan luas penampang sebesar 16mm^2 . (Tabel spesifikasi kabel NYAF terlampir).

2. Masukan inverter ke baterai

a. Rating fuse

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

$$= 150 \text{ A} \times 1,25$$

$$= 187,5 \text{ A}$$

Rating fuse yang dapat digunakan untuk setiap sambungan inverter ke baterai maksimal 187,5 A, dan dipasaran fuse yang tersedia adalah fuse dengan rating arus sebesar 200A.

b. Luas penampang penghantar arus (Kabel NYAF)

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

$$= 187,5 \times 1,25$$

$$= 234,4 \text{ A}$$

Dengan nilai arus sebesar 234,4 A , maka kabel yang digunakan untuk sambungan *input* inverter ke *busbar* panel DC menggunakan kabel NYAF dengan luas penampang sebesar 70 mm^2 .

4.6.3 Perhitungan Proteksi Panel Distribusi AC

Panel yang mendistribusikan listrik ke jaringan pelanggan dengan perantara kabel distribusi dan menggabungkan inveter secara paralel disebut panel distribusi AC. Spesikasi inverter yang harus diketahui nilainya ialah nilai

arus *output* maksimal inverter, sesuai spesifikasi nilai arus *output* maksimal inveter sebesar 82 A. Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Proteksi *output* inverter

a. Rating *Circuit Breaker* (CB)

$$\begin{aligned} I_{CB} &= I_n \times 1,25 \\ &= 82 \text{ A} \times 1,25 \\ &= 102,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Rating CB pada sambungan *output* / keluaran tiap inverter sebesar 102,5 A. Dipasaran CB yang tersedia dan dapat digunakan adalah sebesar 125A.

b. Luas penampang penghantar arus (Kabel NYY)

$$\begin{aligned} I_{KHA} &= I_n \times 1,25 \\ &= 82 \times 1,25 \\ &= 102,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan nilai arus sebesar 102,5 A, maka kabel yang digunakan untuk tiap sambungan *output* inverter ke *busbar* panel AC menggunakan kabel NYY dengan luas penampang sebesar 25 mm^2 .

2. Proteksi *Alternating Current* (AC) *disconnect*

a. Rating *Circuit Breaker* (CB)

$$\begin{aligned} I_{CB} &= 3 \times I_n \times 1,25 \\ &= 3 \times 82 \times 1,25 \\ &= 307,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi, dengan nilai arus sebesar 307,5 A maka CB yang digunakan dan tersedia untuk sambungan keluaran sistem 3 *phase* adalah CB dengan rating arus 400A. Menggunakan kabel NYAF sebesar 120 mm².

4.7 Engineering Estimate

4.7.1 Rencana Anggaran Biaya Investasi

Setelah perencanaan untuk membangun PLTS komunal di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap selesai, maka akan didapatkan yang dibutuhkan, antaranya: komponen utama, komponen pendukung, jasa pengiriman, jasa instalasi, biaya operasional. Data-data harga yang didapatkan dari distributor PLTS yang menyediakan peralatan PLTS di internet. Pada Tabel 4.12 adalah tabel rencana anggaran biaya komponen utama.

Tabel 4.12 Rencana Anggaran Biaya Komponen Utama

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Per Unit (Rp)	Harga Total (Rp)
Panel Surya	108	Pcs	2.799.300	302.324.400
<i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	4	Pcs	8.369.429	33.477.716
Baterai	96	Pcs	6.900.000	662.400.000
Inverter Baterai	6	Pcs	50.779.375	304676250
Total				1.302.878.366

Dari hasil perhitungan harga komponen utama PLTS, maka total biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan komponen utama PLTS sebesar Rp 1.302.878.366. Kemudian untuk perhitungan rencana anggaran biaya komponen pendukung PLTS ditunjukkan Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Rencana Anggaran Biaya Komponen Pendukung

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Per Unit (Rp)	Harga Total (Rp)
Panel Distribusi AC	1	Set	5.5825.000	55.825.000
Rak Baterai	4	Set	4.675.000	18.700.000
Support Mounting	4	Set	18.139.000	72.556.000
Combiner Box	4	Set	3.960.000	15.840.000
Monitoring Baterai	1	Pcs	9.089.600	9.089.600
Conext PDP	1	Pcs	18.116.250	18.116.250
Conext ComBox	3	Pcs	11.853.000	35.559.000
Conext SCP	2	Pcs	4.403.900	8.807.800
Kabel NYAF 2x4 <i>mm</i> ²	100	Meter	703.000/100m	703.000
Kabel NYAF 2x16 <i>mm</i> ²	50	Meter	34.000	1.700.000
Kabel NYAF 2x95 <i>mm</i> ²	150	Meter	124.000	18.600.000
Kabel NYF 4x10 <i>mm</i> ²	250	Meter	67.000	16.750.000
Kabel NYFGbY 2x4 <i>mm</i> ²	200	Meter	210.000	42.000.000
Total				314.246.650

Dari hasil perhitungan harga komponen pendukung PLTS, total biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan komponen pendukung PLTS sebesar Rp 314.246.650. Setelah rencana anggaran biaya komponen PLTS diketahui, maka biaya yang diperlukan lainnya yakni jasa pengiriman dan jasa instalasi. Jasa pengiriman menggunakan sewa truk container 20 feet dari Jakarta ke Cilacap, dan biaya instalasi dan pengerjaan pemasangan panel surya. Pada Tabel 4.14 menunjukkan rencana anggaran biaya jasa pengiriman, dan Tabel 4.15 rencana anggaran biaya instalasi.

Tabel 4.14 Rencana Anggaran Biaya Jasa Pengiriman

Jenis	Hari	Harga (Rp)	Harga Total (Rp)
Truck Container 20 feet	2	4.000.000	8.000.000

Tabel 4.15 Rencana Anggaran Biaya Jasa Instalasi

Jenis	Qty (kWp)	Harga (Rp)	Harga Total (Rp)
Instalasi PLTS	21.6	2.500.000	54.000.000

Biaya yang dibutuhkan untuk jasa pengiriman perlengkapan PLTS dari Jakarta ke Cilacap sebesar Rp 8.000.000 dan biaya instalasi yang dibutuhkan sebesar Rp 54.000.000. Jadi total biaya investasi yang diperlukan untuk membangun PLTS komunal di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Total Rencana Anggaran Biaya Investasi

No	Jenis	Harga (Rp)
1	Komponen Utama	1.302.878.366
2	Komponen Pendukung	314.246.650
3	Jasa Pengiriman	8.000.000
4	Jasa Instalasi	54.000.000
Total		1.679.125.016

Dari tabel perhitungan tersebut, diperoleh estimasi biaya untuk membangun PLTS komunal di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap sesuai rancangan membutuhkan biaya investasi awal sebesar Rp 1.679.125.016.

4.7.2 Biaya Operasional

Biaya operasional adalah biaya yang dibutuhkan untuk proses berlangsungnya produksi listrik PLTS. Biaya operasional pada PLTS terdiri dari biaya pemeliharaan PLTS dan biaya operasional pembangkit. Pada Tabel 4.17 menunjukkan perhitungan biaya operasional yang dibutuhkan:

Tabel 4.17 Biaya Operasional PLTS

Deskripsi	Waktu	Harga (Rp)	Harga Total (Rp)
Gaji teknisi 2 orang	12 bulan	2.500.000	60.000.000
Perawatan	1 tahun	15.000.000	15.000.000
Subtotal 1			75.000.000
Cadangan 10%			7.500.000
Total			82.500.000

Jadi, berdasarkan perhitungan maka diperoleh hasil biaya operasional PLTS setiap tahunnya sebesar Rp 82.500.000.

4.8 Analisis Ekonomi

4.8.1 Biaya Pemakaian Listrik PLTS

Sistem PLTS diperkirakan akan dapat bertahan sekitar 20 tahun penggunaan, Sedangkan umur pemakaian baterai hanya 10 tahun, maka di tahun ke 10 ada pergantian baterai baru. Maka biaya yang dibutuhkan setiap bulan untuk sistem PLTS komunal dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya perbulan} &= \frac{(\text{Biaya Investasi} + \text{Biaya Ganti baterai}) + (\text{Biaya Operasional} \times 20 \text{ tahun})}{20 \text{ Tahun}} \\
 &= \frac{(\text{Rp } 1.679.125.016 + \text{Rp } 662.400.000) + (\text{Rp } 82.500.000 \times 20 \text{ tahun})}{20 \text{ Tahun}} \\
 &= \frac{\text{Rp } 2.341.525.016 + \text{Rp } 1.650.000.000}{20 \text{ Tahun}} \\
 &= \frac{\text{Rp } 3.991.525.016}{20 \text{ Tahun}} \\
 &= \text{Rp } 199.576.250/\text{tahun} \\
 &= \text{Rp } 16.631.354/\text{bulan}.
 \end{aligned}$$

4.8.2 Biaya Pemakaian Listrik PLN

SD N Tambakreja 04 yang berada di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap menggunakan listrik berdaya 3500VA. Apabila masih menggunakan listrik PLN dengan kapasitas daya 3500VA, berdasarkan

Tarif Dasar Listrik PLN Maret 2018 maka harga listrik 1 kWh sebesar Rp 1467,28. Jadi biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan listrik sebesar 54 kWh/hari adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Biaya perbulan} &= 54 \text{ kWh/hari} \times \text{Rp } 1.467,28 \\ &= \text{Rp } 79.233,12/\text{hari} \\ &= \text{Rp } 2.376.993/\text{bulan}.\end{aligned}$$

Jadi apabila menggunakan listrik dari PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik 54 kWh/hari, setiap satu bulan dibutuhkan biaya sebesar Rp 2.376.993.

4.9 Perbandingan Penggunaan Listrik PLTS dan Listrik PLN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa perancangan PLTS komunal, maka dapat diketahui kelebihan dan kekurangan apabila menggunakan listrik dari PLTS jika dibandingkan dengan menggunakan listrik langsung dari PLN, diantaranya sebagai berikut:

1. Sisi Ekonomi

a. Penggunaan listrik PLTS

Apabila dilihat dari sisi ekonomi, penggunaan PLTS komunal di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan, Cilacap dengan total kebutuhan beban sebesar 54 kWh/hari, dalam sebulan biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp 16.631.354.

b. Penggunaan listrik PLN

Jika menggunakan listrik PLN dengan total kebutuhan beban sebesar 54 kWh/hari maka dalam satu bulan hanya cukup mengeluarkan biaya sebesar Rp 2.376.993.

Jadi, jika dilihat dari sisi ekonomi maka penggunaan PLTS sangat tidak efisien dan jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan menggunakan listrik langsung dari PLN. Biaya yang dikeluarkan setiap bulan untuk PLTS jika dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan untuk listrik PLN 7x lebih mahal jika menggunakan listrik PLTS.

2. Sisi Lingkungan

Kabupaten Cilacap memiliki 2 PLTU yakni PLTU 2 Jawa Tengah berkapasitas 1.469 MW yang berada di Karangandri, Kesugihan, Cilacap dan UJP PLTU Jawa Tengah Adipala berkapasitas 700 MW yang berada di Kecamatan Adipala. Dengan adanya dua PLTU di Cilacap mengakibatkan pencermaraan lingkungan dan emisi gas karbondioksida yang sangat terasa dan berpengaruh terhadap masyarakat sekitar. Oleh karena itu, pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi listrik sebagai alternatif yang sangat solutif untuk mengatasi dampak lingkungan karena PLTS sangat ramah lingkungan.

Dengan perencanaan PLTS komunal di RT 07 RW 05 Tambakreja, Cilacap Selatan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik sebesar 54 kWh/hari, maka dapat mengurangi gas karbondioksida yang cukup banyak. Berikut adalah perhitungannya:

Kebutuhan energi listrik = 54 kWh/hari
= 1.620 kWh/bulan
= 19.440 kWh/tahun

Faktor emisi karbondioksida = 0,73 kgCO₂/ kWh

Jadi, potensi emisi gas karbondioksida yang dapat dikurangi sebesar :

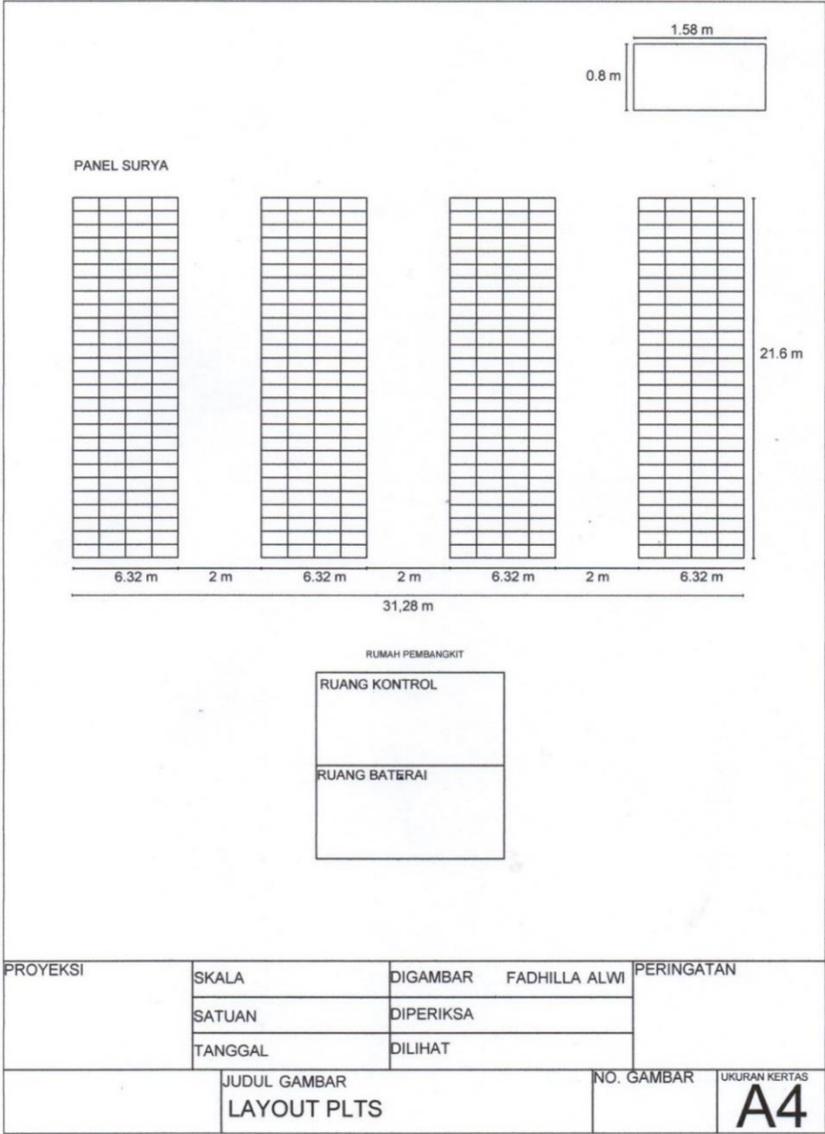
19.440 kWh/tahun × 0,73 kgCO₂/ kWh = 14.191,2 kg CO₂/tahun

Jadi penggunaan PLTS untuk memenuhi kebutuhan listrik 54 kWh/hari dapat mengurangi emisi gas karbondioksida sebesar 14.191,2 kg CO₂/tahun. Hal ini sangat berdampak positif untuk lingkungan, semakin banyak memanfaatkan PLTS sebagai sumber energi listrik maka semakin kecil pula gas emisi karbondioksida yang terpapar ke masyarakat sekitar.

4.10 Preliminary Engineering Design

1. Layout PLTS

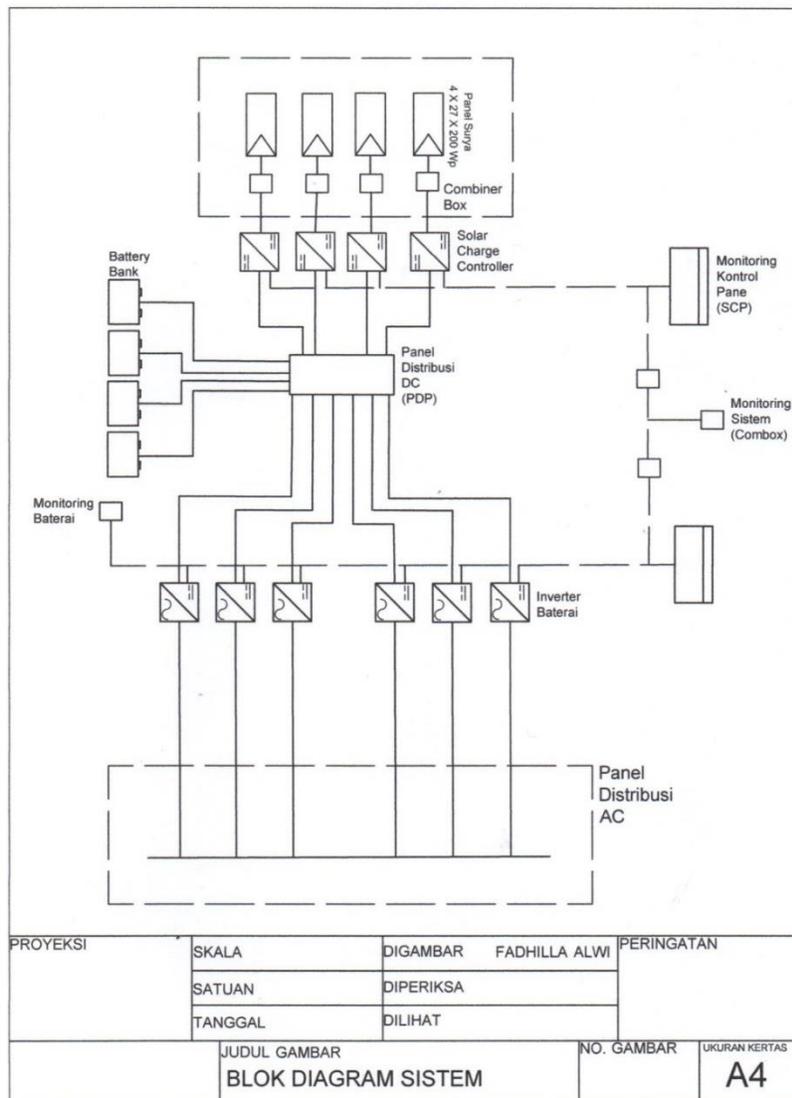
Pada Gambar 4.2 menunjukkan *layout* PLTS



Gambar 4.2 *Layout* PLTS

2. Blok Diagram Sistem

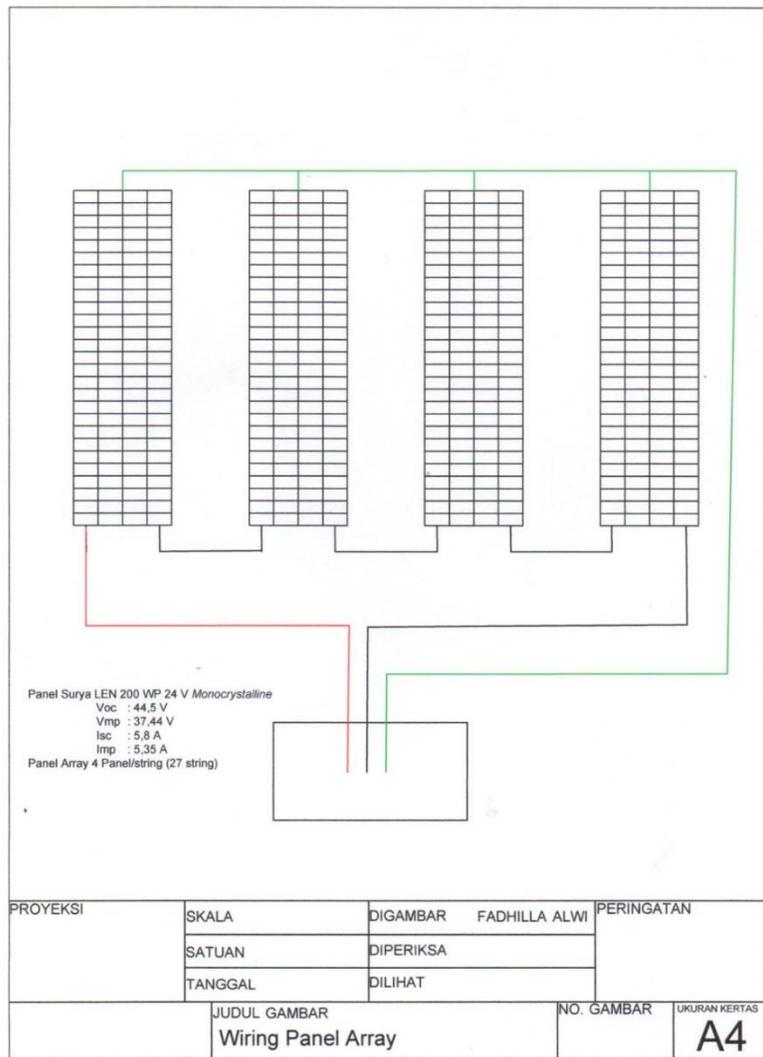
Pada Gambar 4.3 menunjukkan blok diagram sistem



Gambar 4.3 Blok Diagram Sistem

3. Wiring Panel Array

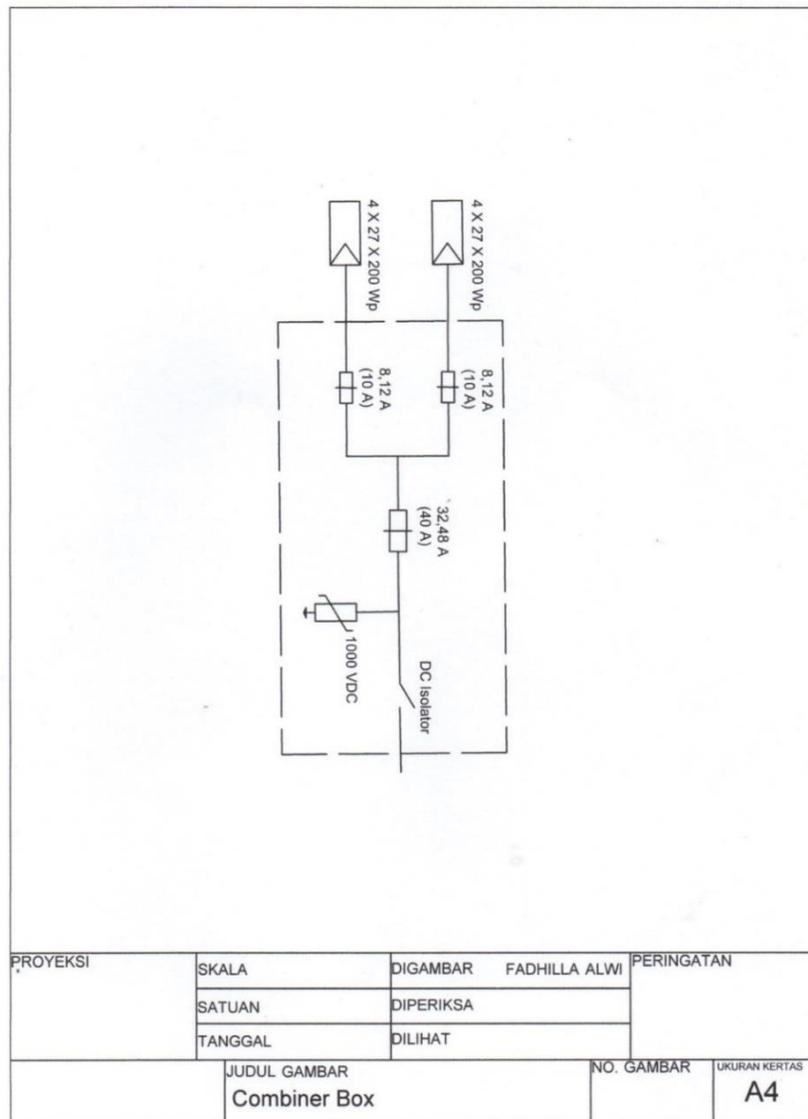
Pada Gambar 4.4 menunjukkan gambar *wiring panel array*



Gambar 4.4 *Wiring Panel Array*

4. Combiner Box

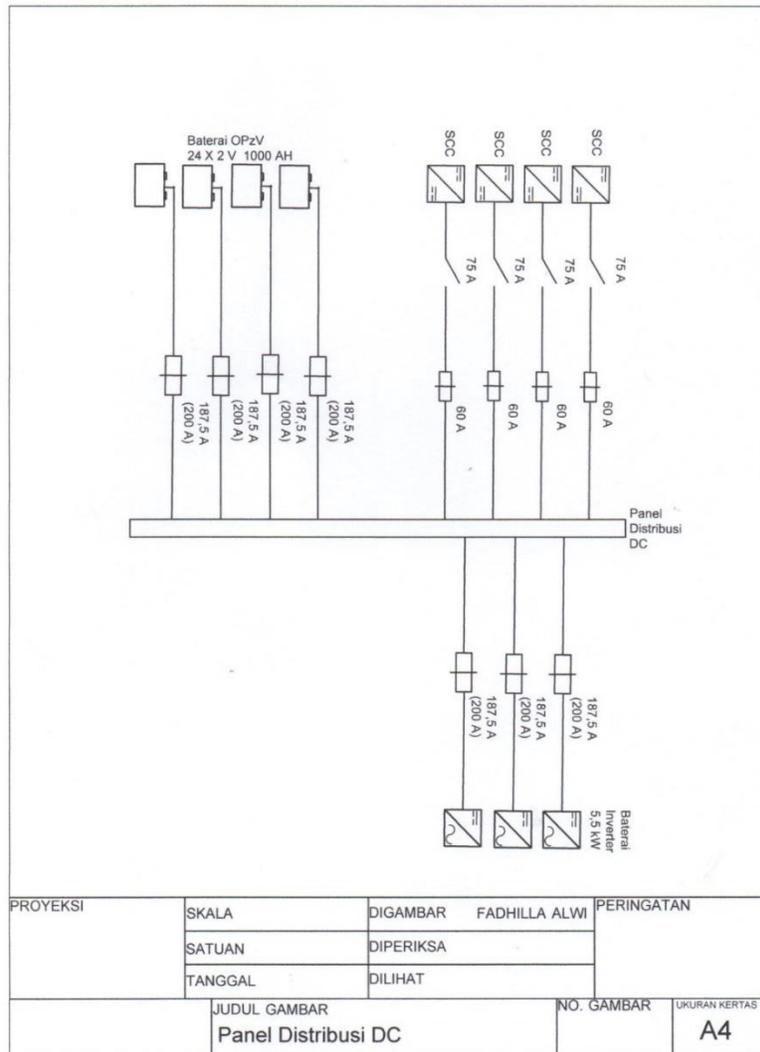
Pada Gambar 4.5 menunjukkan gambar *combiner box*



Gambar 4.5 *Combiner Box*

5. Panel Distribusi DC

Pada Gambar 4.6 menunjukkan gambar panel distribusi DC



Gambar 4.6 Panel Distribusi DC

6. Wiring Battery Bank

Pada Gambar 4.7 menunjukkan gambar wiring battery bank



Gambar 4.7 Wiring Battery Bank