

**ANALISIS DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
MENGUNAKAN APLIKASI PVSYST
DI PANTAI INDRAYANTI, GUNUNGKIDUL**

***ANALYSIS DESIGN OF SOLAR POWER PLANT
USING THE PVSYST APPLICATION
ON INDRAYANTI BEACH, GUNUNG KIDUL***

Dimas Bayu Wicaksono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

e-mail: mas.dimasbw@gmail.com

ABSTRACT

Location data in the form of need or limits on the use of electric loads and solar irradiation has taken from secondary data. Based on the data result and the calculation will be carried out generation capacity planning, component specification selection, system technical design, and economic analysis.

The results of calculations and analysis on the planning of the Solar Power Plant system in this study were made to facilitate electricity needs for 150 houses and 34 public facilities. From the results of calculations with the total electricity needs of 845,591.7 Wh / day that can be served with this Solar Power Plant. In planning this system, it is made using a DC coupling off-grid system configuration using 723 solar panels with a capacity of 330 Wp, 72 1156 Ah capacity batteries with a 48 V system, 1 central inverter with a capacity of 250 kW and 40 solar charge controllers each has an output of 100 A. The cost of investing in the Solar Power Plant is Rp.9, 682,387,073, maintenance costs and operations are Rp.234, 080,000 per year and the cost of 2 times the change of battery in the 9th and 18th years is Rp.2, 061,545,904.

Keywords : Solar Power Plant, Module PV, Renewable Energy

PENDAHULUAN

Merujuk pada kondisi negara Indonesia yang merupakan negara yang kaya akan potensi sumber daya alamnya terutama energi, baik yang berasal dari hasil tambang, air dan udara. Berdasarkan jenis-jenisnya, energi dapat dibagi menjadi dua yaitu, energi terbarukan (*renewable energy*) dan energi tidak terbarukan (*non-renewable energy*).

Maka dari itu Indonesia saat ini berupaya dalam mengembangkan sumber daya energi yang dalam jangka panjang tidak cepat habis. Salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan di Provinsi DIY adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Tepatnya yaitu berada di Pantai Indrayanti yang berada di daerah Kabupaten Gunungkidul.

Dari potensi energi matahari tersebut dapat dimanfaatkan dan dikembangkan langsung oleh masyarakat sebagai sumber pembangkit listrik energi terbarukan untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik. Energi matahari ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan

solar cell. Kegunaan dari *solar cell* ini untuk mengkonversi cahaya atau radiasi matahari menjadi listrik.

DASAR TEORI

Radiasi Matahari

Radiasi matahari adalah proses penyinaran matahari ke permukaan bumi dengan intensitas berbeda-beda. Intensitas radiasi matahari tersebut merupakan besar kecilnya sudut datang sinar matahari tersebut ke permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi dikarenakan energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

Sistem PLTS Fotovoltaik

Menurut Rangkuti, Ch. dan S.G., Ramadhan (2016) Pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu sistem pembangkit listrik dimana dengan memanfaatkan energi matahari yang akan dirubah menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi *photovoltaic*. Sel surya sendiri merupakan sebuah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari tersebut menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip fotovoltaik.

$$P = \frac{W}{t_{ins} \times K_{ef} \times \text{eff. modul}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- P (kWp) = Kapasitas PLTS
- W (kWh) = Total Kebutuhan Energi
- t_{ins} = Kelas Iradiasi (SNI IEC 04-6394-2000)
- Koef. PLTS (K_{ef}) = 0,8 (*Photovoltaics Systems Engineering Second Edition*, 2003)
- Eff. Modul = 88,5% (Bagus Ramadhani, 2018)

Panel Surya

Panel surya merupakan komponen utama yang dapat menghasilkan energi listrik DC dan terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silicon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Panel surya tersebut dihubungkan secara seri maupun paralel yang dirancang sedemikian rupa hingga berbentuk persegi panjang, dilaminasi dan dilapisi kaca khusus hingga diberi penguat rangka atau frame pada keempat sisinya. Ketika mendapatkan pancaran sinar matahari pada umumnya satu sel surya dapat menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 0,5 sampai dengan 1 volt, dan juga arus *short-circuit*. Secara umum, ada 2 (dua) jenis panel surya yang paling populer yakni tipe *monocrystalline* dan tipe *polycrystalline*.

Untuk perhitungan jarak yang digunakan antar panel array dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$h = x \times \text{Sin} (\theta) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$D' = \frac{h}{\tan(a)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$D = D' \times \cos (\psi) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

D' = Jarak bayangan maksimal
 D = Jarak antar panel *array* minimal

Untuk menghitung jumlah solar panel yang digunakan pada sistem PLTS Fotovoltaik dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS}}{\text{Kapasitas Panel Surya}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan sebuah rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian baterai. Kontroler ini berfungsi sebagai pengendali atau pengatur daya dan tegangan yang masuk ke baterai dari panel surya agar tidak melampaui batas toleransi dayanya. Secara umum ada dua jenis Solar Charge Controller yakni PWM dan MPPT.

Untuk menghitung kebutuhan *solar charge controller* pada sistem PLTS Fotovoltaik dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{SCC} = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS (kWp)}}{\text{Output SCC (kW)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Baterai

Baterai merupakan alat elektro kimia yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai pada sistem PLTS menggunakan baterai jenis sekunder. Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau rechargeable battery. Baterai pada PLTS memiliki fungsi untuk menyimpan kelebihan daya dari PLTS yang selanjutnya akan digunakan untuk memberikan daya listrik ke sistem ketika daya tidak disediakan oleh panel surya.

$$\text{Baterai (kWh)} = \frac{\text{Otonomi sistem} \times \text{Total daya per hari (kWh)}}{\text{Efisiensi}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

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

Efisiensi = Efisiensi baterai x Efisiensi Penghantar

Eff. baterai = 0,85 (Bagus Ramadhani, 2018)

Eff. penghantar = 0,98 (Bagus Ramadhani, 2018)

$$\text{Baterai (Ah)} = \text{Baterai (kWh)} \times \frac{1000 \text{ V}}{\text{Nominal tegangan}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Baterai (Ah)}}{\text{DOD}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

Depth of Discharge (DOD) = 80% (Permen ESDM No. 36 Tahun 2018).

Inverter

Inverter merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). *Inverter* nantinya akan mengubah arus listrik DC dari komponen seperti baterai, panel surya menjadi arus listrik AC.

METODE PENELITIAN

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan permasalahan penelitian sehingga nantinya dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam penelitian ini.

Pengambilan Data

Data yang diperlukan pada penelitian berupa nilai iradiasi, *sun direction*, *sun position*, suhu terendah dan suhu tertinggi pada lokasi penelitian dikumpulkan untuk kemudian akan dianalisis dan menghasilkan rencana perancangan PLTS.

Pengolahan Data

Berdasarkan data pada lokasi penelitian yang telah dikumpulkan sebelumnya yang berhubungan dengan aspek teknis dari sistem PLTS, maka semua data tersebut akan dianalisis yang kemudian akan disajikan untuk bahan pertimbangan dalam melakukan perancangan komponen yang akan digunakan pada sistem PLTS.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem ditentukan berdasarkan pengolahan data sebelumnya yang mengacu pada standar-standar yang mengatur dalam penentuan sistem. Sehingga akan diperoleh desain teknis yang berupa kapasitas PLTS yang akan dipasang dan sistem penyimpanan energi yang dihasilkan PLTS tersebut.

Pemilihan Komponen

Pemilihan komponen akan ditentukan berdasarkan pada data pilihan perancangan sistem dan pertimbangan dalam memilih komponen yang dapat memenuhi kualitas. Pemilihan spesifikasi teknis mengikut kaidah keilmuan energi terbarukan khususnya teknologi fotovoltaik serta kelistrikan. Spesifikasi teknis dan gambar yang akan diperoleh pada perancangan ini adalah spesifikasi seluruh alat yang digunakan pada PLTS, gambar rangkaian panel surya, penyimpanan energi berupa baterai, dan inverter.

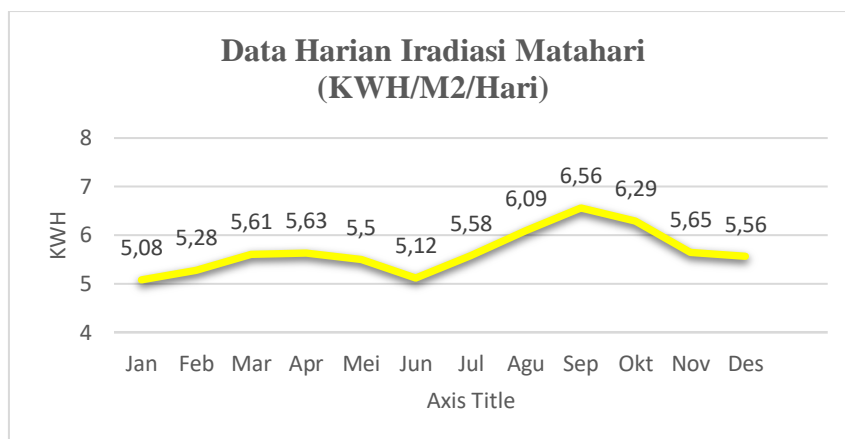
Analisis Sistem

Melakukan analisis terhadap sistem dengan standar yang ada, misalnya melakukan perbandingan luas wilayah pada aplikasi PVSYST dengan *rule of thumb* di Indonesia.

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

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). Berikut adalah grafik nilai iradiasi matahari per harian satu bulan dalam setahun dan posisi matahari yang diperoleh dari *database* SSE NASA dengan titik koordinat lokasi yaitu *latitude* 8.15°N *longitude* 110.61°E dan *altitude* 15 m.



Sumber : NASA SSE

Profil Beban Pantai Indrayanti

Jumlah penduduk yang ada di Dusun Ngasem, Pantai Indrayanti yaitu sebanyak 150 rumah tangga dan 34 fasilitas umum (warung), data tersebut diambil dari laporan Kependudukan Desa Tepus pada bulan desember tahun 2018

Tabel 4.1 Jumlah Rumah dan Fasilitas Umum

No.	Jenis	Jumlah
1	Rumah Tangga	150
2	Fasilitas Umum (Pertokoan & Warung)	34

Sumber : Laporan Kependudukan Desa Tepus Tahun 2018

Suhu Lokasi

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

Tabel 4.2 Suhu ekstrim sekitar Pantai Indrayanti

No.	Jenis	Nilai
1	Suhu ekstrim minimum	22°
2	Suhu rata-rata	25°
3	Suhu ekstrim maksimum	30°

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

Konsumsi Beban Energi Listrik

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 :

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

Konsumsi listrik rumah tangga yang berada di sekitar pantai Indrayanti dengan mengambil 15 sampel rumah dalam satu hari mendapatkan total sejumlah 3037 Wh.

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
Total					2544

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.

Nilai Equal Sun Hours

Menentukan nilai *equal sun hours* dilakukan agar dapat mengetahui lama waktu efektif matahari yang mengacu pada standar SNI IEC 04-6394-2000. Berikut penentuan nilai equal sun hours:

Rata-rata = 5,5 kWh/m²/hari (kategori IIIa)

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

Range = 5,5 kWh/m²/hari – 5,08 kWh/m²/hari = 0,42 (kategori IIIa)

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

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

Kelas iradiasi	3	4	4	5	5	6
----------------	---	---	---	---	---	---

Jadi kelas iradiasi matahari yang akan digunakan untuk perancangan sistem berdasarkan nilai yang didapatkan adalah kelas IIIa yaitu 5 jam.

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
Total Beban Kebutuhan				542.046
Toleransi Cadangan Energi 30%				162.613,8
Sub Total 1				704.659,8
Rugi-rugi 20%				140.931,9
Jumlah total kebutuhan beban				845.591,7

Total kebutuhan beban energi listrik untuk perencanaan PLTS Fotovoltaik Terpusat di Pantai Indrayanti sebesar 845.591,7 Wh/hari atau 0,845 MWh/hari.

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.

Perhitungan Jumlah Solar Panel

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.

Menentukan Kapasitas Baterai

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.

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 :

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

$$\text{SCC} = 723 \times 9,21$$

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

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

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 yaitu 250 kW.

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.

Konfigurasi Array

Penentuan desain panel *array* dari PLTS dilakukan untuk mengetahui nilai algoritma dari *maximum power point tracking* pada *solar charge controller* maupun pada *inverter* agar dapat bekerja secara optimal serta kapasitas daya serta tegangan dari panel *array* tidak melampaui batas yang diperbolehkan oleh sistem. Dalam menentukan desain panel *array* akan menggunakan spesifikasi dari komponen panel surya dan *solar charge controller*. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung desain rangkaian panel *array*.

1. Perhitungan Tegangan

a. Perhitungan *Open Circuit Voltage* pada NOCT

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

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

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

d. Perhitungan jumlah minimal panel surya tiap string

$$\text{Jumlah input} = \text{Tegangan minimal MPPT} \div V_{MPP\text{ NOCT}}$$

$$= 30 \text{ V} \div 33,8 \text{ V}$$

$$= 0,88 \text{ (dibulatkan)} = 1$$

2. Perhitungan arus

a. Perhitungan arus maksimal pada NOCT

$$I_{SC(35^\circ\text{C})} = ((1 + (T_{OC} + T_a - 25 \times (T_{CSC} \div 100))) \times I_{SC\text{STC}})$$

$$= ((1 + (24,5 + 30 - 25 \times (0,056 \div 100))) \times 9,21)$$

$$= ((1 + (29,5 \times (0,00056))) \times 9,21)$$

$$= ((1 + 0,01652) \times 9,21)$$

$$= 9,3 \text{ A (dibulatkan)} = 9 \text{ A}$$

b. Perhitungan jumlah maksimal string

$$\text{Jumlah input} = \text{Arus SCC} \div \text{USC NOCT}$$

$$= 64 \text{ A} \div 9 \text{ A}$$

$$= 7,1 \text{ String (dibulatkan)} = 7$$

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.

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.

Luas Wilayah PLTS

PVSYST V6.70		25/02/19	Page 1/1
Grid system presizing			
Geographical Site	Pantai Indrayanti		Country Indonesia
Situation	Latitude -8.15° S	Longitude 110.61° E	Altitude 15 m
Time defined as	Legal Time Time zone UT+7		
Collector Plane Orientation	Tilt 15°	Azimuth 50°	
PV-field installation main features			
Module type	Standard		
Technology	Monocrystalline cells		
Mounting method	Ground based		
Back ventilation properties	Free standing		
System characteristics and pre-sizing evaluation			
PV-field nominal power (STC)	Pnom	238 kWp	
Collector area	Acoll	1488 m²	
Annual energy yield	Eyear	424 MWh	Specific yield 1781 kWh/kWp
Economic gross evaluation	Investment	*04366 IDR	Energy price 1.58 IDR/kWh

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada simulator PVSYST, luas wilayah yang digunakan oleh PLTS dengan kapasitas 238 kWp yaitu sebesar 1488 M², yang artinya dalam satu kWp membutuhkan lahan sebesar 6,25 M². Jika dibandingkan dengan rule of thumb untuk wilayah di Indonesia dengan 7-8 M² per kWp (GIZ, 2018), maka wilayah Pantai Indrayanti memiliki luas per kWp yang lebih baik dengan nilai 6,25 M² per kWp.

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 total biaya yang digunakan pada perencanaan PLTS dengan kapasitas 238,8 kWp yaitu Rp.9.682.387.073.

Biaya Operasional

Pada perhitungan biaya operasional sebesar 1% dari total biaya investasi (Vember Restu Kossi, 2017) yang mencakup perhitungan biaya untuk teknisi pada lokasi PLTS serta perawatan yang dilakukan secara rutin dalam satu tahun. Total perhitungan biaya operasional dari PLTS di Pantai Indtayanti Kabupaten Gunungkidul sebesar Rp. 234.080.000 dalam satu tahun.

Cashflow

Untuk perhitungan *cashflow* pada perencanaan PLTS Fotovoltaik dapat mengacu pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang pembelian tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik oleh PT. PLN (Persero). Pada Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 mengatur tentang pembelian listrik yang tertulis pada pasal 5 ayat (3) yang menjelaskan bahwa harga pembelian listrik dari PLTS Fotovoltaik sebesar 85% dari BPP sebesar US\$ 14.5 sen/kWh yang tertera pada lampiran peraturan tersebut. Maka untuk harga jual listrik dari PLTS Fotovoltaik yaitu sebesar Rp. 914,7955 per kWh

Inflow

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

Outflow

Untuk perhitungan *outflow* dalam perhitungan finansial dari PLTS terdiri atas biaya investasi awal serta biaya operasional dalam kurun waktu 25 tahun. Dengan adanya perbaikan dalam kurun waktu 10 tahun yakni pergantian baterai pada tahun ke-9 (berdasarkan perkiraan dari umur baterai). Maka akan diperoleh biaya tambahan pada investasi pada tahun ke-9 serta pada tahun ke-18. Sehingga total *outflow* pada perencanaan sistem PLTS Fotovoltaik ini yaitu sebesar Rp. 17.595.932.977

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:

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

- *Net Present Value (NPV)*

Perhitungan *net present value* dilakukan untuk melihat proyeksi perhitungan dari pendapatan serta biaya yang dikeluarkan selama 25 tahun berdasarkan suku bunga acuan sebesar 6% dalam setiap tahun. Setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh nilai NPV yang negatif sebesar Rp. -11.067.369.952.

- *Internal Return Rate (IRR)*

Perhitungan nilai IRR pada perencanaan PLTS Fotovoltaik tidak dapat dilakukan karena nilai NPV tidak mencapai nilai positif atau tidak adanya nilai *interest rate*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian pada lokasi, yaitu dengan melakukan analisis data, melakukan perhitungan serta melakukan perencanaan PLTS Fotovoltaik maka diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan perhitungan maka diperoleh kapasitas total PLTS sebesar 238 kWp. Sedangkan untuk luas lahan yang digunakan pada perencanaan PLTS yaitu 1488 M².
2. Konfigurasi sistem PLTS yang digunakan yaitu 48V dengan total jumlah 72 baterai. Berdasarkan penggunaan total 723 panel surya dengan kapasitas masing-masing 330 Wp. Total Solar Charge Controller yang digunakan yaitu 40 buah, yang masing-masing dari solar charge controller memiliki output arus 100 A dan 1 buah central inverter yang berkapasitas 250 kW.
3. Pada biaya investasi awal yang dibutuhkan untuk melakukan pembelian keseluruhan komponen PLTS Fotovoltaik berdasarkan perhitungan yaitu sebesar Rp.9.682.387.073 sedangkan untuk biaya operasional setiap tahunnya yaitu Rp. 234.080.000. Dikarenakan tingginya biaya investasi dari PLTS dikarenakan beberapa komponen tidak diproduksi di dalam negeri dan membutuhkan pembelian dari luar negeri.
4. Dalam satu tahun perhitungan nilai penjualan listrik yang mengacu dari permen nomor 50 tahun 2017 yang mengatur tentang harga pembelian listrik dari PLTS yaitu sebesar 85% dari BPP, diperoleh nilai sebesar Rp.184.460.381,868 untuk pemasukan dalam satu tahun serta untuk perencanaan PLTS ini memiliki nilai NPV negatif setelah 25 tahun.

5. Berdasarkan perhitungan nilai kelayakan secara finansial melalui variabel *Return of Investment* (ROI) diperoleh hasil yaitu -98,95%. Untuk *Payback Period* dari perencanaan PLTS Fotovoltaik akan kembali dalam kurun waktu 95 tahun 4 bulan sedangkan *Net Present Value* (NPV) menghasilkan nilai yang negatif. Sehingga perencanaan dari PLTS Fotovoltaik ini tidak layak untuk diterapkan di Pantai Indrayanti, Kabupaten Gunungkidul.

Saran

1. Dalam melakukan perencanaan PLTS Fotovoltaik selanjutnya sebaiknya diperhitungkan apabila terjadi kondisi penyusutan energi yang terjadi pada saat drop tegangan pada sistem yang diakibatkan oleh kendala dari cuaca, bayangan yang menghalangi, debu serta usia pakai dari panel surya.
2. Untuk pemerintah daerah diharapkan dapat melakukan pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan sebagai alternatif penyedia listrik untuk masyarakat dikarenakan semakin lama energi dari fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam akan semakin menipis yang selanjutnya berimbas akan semakin langkanya sumber energi tersebut.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan perencanaan pada lokasi lain ataupun pantai lain serta dapat mencakup hingga beban dalam satu kabupaten atau satu provinsi.
4. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan acuan dalam melakukan perencanaan pembangkit listrik tenaga surya pada Kabupaten Gunungkidul ataupun daerah lain di Indonesia.
5. Diharapkan setelah adanya perencanaan PLTS di Pantai Indrayanti ini, maka selanjutnya diharapkan adanya pembangkit listrik lain dengan energi alternatif selain matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, Wisna D, dkk. 2014. Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Transient*, Vol. 3, No. 2, Juni 2014.
- Hasan, Hasnawiya (2016). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi, *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)* Vol. 10 No. 2.
- I K. Agus Setiawan, dkk. 2014. Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubihi, Bangli. *Teknologi Elektro*. Vol. 13 No. 1 Januari - Juni 2014.
- Irawan, Rahardjo dkk. 2006. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Indonesia, Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan, Jakarta, 2006, pp. 43-52.
- Ismail, G. 2018. Perancangan Sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat untuk Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik di Desa Terpencil. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Kossi, V.R. Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Skripsi*. Universitas Tanjungpura.

- Pangaribowo, T. Implementasi Algoritma Logika Fuzzy dalam Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat *Off-Grid*. TESLA. Vol. 18. No. 1. Maret 2016.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik. (2017). Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Nomor 36 Tahun 2018 tentang Petunjuk Operasional Pelaksanaan Dana Alokasi Khusus Fisik Bidang Energi Skala Kecil. (2018). Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Ramadhani Bagus, 2018, Dasar-dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Jakarta: GIZ.
- Ramadhani Bagus, 2018, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: *Dos & Don'ts*, Jakarta: GIZ.
- Rangkuti dan Ramadhan. 2016. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. *Seminar Nasional Cendekiawan. ISSN (E) : 2540-7589, ISSN (P) : 2460-8696*.
- Roger A. Messenger, 2005, *Photovoltaic Systems Engineering Second Edition*, Boca Raton: CRC Press.
- Standar IEEE: Solar Sizing – IEEE 1562:2007
- Sumbung, Frederik Haryanto, dkk. 2016. Penentuan Kapasitas dan Karakteristik Modul PV Pada Perencanaan Pembangunan PLTS Komunal Di Distrik Okaba, *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha Vol. 5 No. 2, Agustus 2016*
- Sianipar, R. 2014. Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *JETri Volume 11, Nomor 2, Februari 2014, Halaman 61 – 78. ISSN 1412-0372*.
- Standar Nasional Indonesia: SNI 04-0225-2000 tentang Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000).
- Standar Nasional Indonesia: SNI 04-6394-2000 tentang *Classification Determination Procedurs for Stand-Alone PV Systems – General Guide*.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. TELKOMNIKA*, 13(3). pp. 759-766.
- Syahputra, R., (2012), “*Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., (2016), “*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., (2015), “*Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syukri, M dan Suriadi. 2010. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Kelompok Perumahan di Banda Aceh. *Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 9, No. 2, Oktober 2010*.