

Studi Perencanaan Pusat Listrik Tenaga Surya Off Grid 50 kWp

Gusti Ayu Dyah Adnya Pranitha^{#1}, Nasrun Lubis^{*2}

[#]Program Studi Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh Kahfi II Srengeng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640 Indonesia

¹dyahadnya@gmail.com

Abstrak— Potensi energi matahari di wilayah Indonesia sangat besar mencapai 4,8 kWh/m²/hari. Rasio elektrifikasi Indonesia pada semester I-2017 baru mencapai 92.79 %. Untuk Wilayah Kalimantan Utara baru 73,48 % yang terlistriki. Desa Long Berang terletak di Kecamatan Mentarang Hulu, Kabupaten Malinau, Kalimantan Utara, tercatat terdapat 300 bangunan rumah yang belum mendapatkan listrik. Pemakaian energi listrik perhari oleh masyarakat sebesar 151,7 kWh/hari. Sistem Pusat Listrik Tenaga Surya di desa Long Berang sebesar 50,4 kWp, direncanakan akan mampu menyuplai listrik ke masyarakat. Sistem PLTS Off Grid dengan sistem AC Coupling tersebut terdiri atas 168 unit modul surya dengan kapasitas 300 Wp, energi tersimpan dalam baterai dengan kapasitas total 808 kWh yang mampu memasok ke beban selama 4 hari. Perencanaan posisi arah hadap modul surya yang ideal ke arah selatan dengan kemiringan 10⁰.

Kata kunci— PLTS, Iradiasi Matahari, Modul Surya, Baterai, Off Grid, AC Coupling

Abstract— The potential of solar energy in Indonesia is very high, rated solar irradiation is 4.8 kWh / m² / day and its utilization for the solar power plant has been developed for remote areas. Indonesia is an archipelagic country which have many isolated areas that have not powered by electricity yet. Indonesian electrification ratio in first semester – 2017 only 92.79 %. For North Kalimantan region only 73.48% was electrified. Long Berang village is located in Mentarang Hulu Sub-district, Malinau District, North Kalimantan, there are about 300 houses not electrified yet. Energi consumption by villagers approximately 151,7 kWh/day. Photovoltaic system install in Long Berang village was plan with capacity is 50.4 kWp to supply the villagers. Off-Grid PV system with AC Coupling configuration consists of 168 units of solar modules capacity 300 Wp per module, will store energy by 808 kWh battery storage which can supply at 4 days back up. The ideal orientation of the solar module face toward south with 10⁰ tilt plane.

Keywords— Photovoltaic System, Solar Irradiation, Solar Module, Battery Off Grid, AC Coupling

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari 17.504 pulau. Di Indonesia terdapat ribuan pulau – pulau kecil dan terisolasi menjadi kendala dalam pengembangan ketenagalistrikan. Hingga semester I-2017 rasio elektrifikasi nasional baru mencapai 92.79 %, sekitar 12.659 desa belum mendapatkan listrik. Berdasarkan data Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian ESDM wilayah Kalimantan Utara hingga akhir tahun 2015 baru 73,48 % yang mendapatkan listrik. Menurut EBTKE-ESDM, pulau Kalimantan memiliki potensi matahari yang sangat besar untuk dikembangkan menjadi energi listrik. Intensitas energi radiasi matahari yang jatuh di Pulau Kalimantan berkisar antara 4,48 – 5,13 kWh/m²/hari (NASA, 2017). Pemanfaatan sinar matahari melalui pembangunan PLTS merupakan langkah yang tepat untuk memenuhi kebutuhan dasar kelistrikan (penerangan) di Kalimantan, khususnya daerah terisolir. Desa Long Berang terletak di kecamatan Mentarang Hulu, Kabupaten Malinau, Kalimantan Utara. Wilayahnya merupakan wilayah perbukitan sehingga akses transportasi

menuju Long Berang hanya melalui sungai menggunakan longboat selama 4 – 5 jam. Karena kendala transportasi itulah sampai saat ini listrik PLN belum menjangkau desa tersebut. Berdasarkan data tersebut, maka dilakukan studi perencanaan pembangkit listrik tenaga surya untuk suplai daya yang didesain dengan memperhatikan karakteristik beban masyarakat. Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya diharapkan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil secara signifikan dan mengurangi biaya listrik yang dikeluarkan warga.

II. SISTEM PUSAT LISTRIK TENAGA SURYA

2.1 Potensi Pusat Listrik Tenaga Surya di Indonesia

Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional, potensi energi matahari di Indonesia mencapai rata – rata 4,8 kWh/m²/hari, setara dengan 112.000 GWp. Namun, hingga saat ini, kapasitas yang tersalurkan dari instalasi yang terpasang baru ± 30 megawatt (MW). Kurang dari satu persen dari total potensi seluruh Indonesia.

2.2 Teknologi Fotovoltaik

Sistem tenaga surya mengkonversi radiasi matahari menjadi listrik melalui efek fotolistrik. Menurut Einstein efek fotolistrik dirumuskan sebagai berikut :

$$h f = hf_0 + K$$

dengan :

$h f$ = Isi energi dari masing – masing kuantum cahaya datang

K = energi fotoelektron maksimum

hf_0 =energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan sebuah elektron dari permukaan logam yang disinari disebut fungsi kerja (ϕ)

Bila dikonversikan ke energi kinetik maka nilai

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV,$$

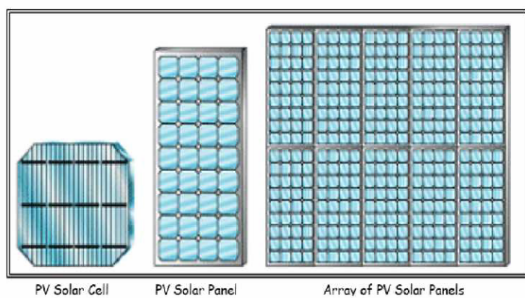
dengan,

m_e = massa jenis bahan semikonduktor
 v = kecepatan (m/s)

2.3 Komponen PLTS

2.3.1 Modul Surya

Modul surya terbentuk atas sejumlah sel surya yang saling terhubung yang mana dilindungi oleh lapisan depan terluar berupa material tembus cahaya yang keras seperti kaca. Wattpeak adalah harga satuan dari kapasitas modul surya, dimana menyatakan daya puncak dari modul surya yang dapat dihasilkan dari konversi energi matahari pada jam puncak (peak) yaitu disiang hari saat iradiasi matahari mencapai 1000 W/m². Sebuah modul surya terdiri dari 60 sel atau 72 sel surya.



Gambar 1. Hubungan Sel Surya, Modul Surya dan Array

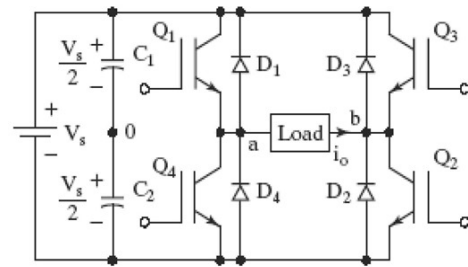
2.3.2 Baterai

Baterai sebagai komponen penyimpan energy biasanya tipe yang digunakan adalah lead acid AGM atau Gel dimana baterai tersebut maintenance free. Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan pada baterai. Tingkat kedalaman pengosongan (

Depth of Discharge) baterai biasanya dinyatakan dalam presentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, ini berarti bahwa hanya 80 % dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Pengatur DOD berperan dalam menjaga usia pakai (*lifetime*) dari baterai tersebut. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus hidup dari baterai tersebut.

2.3.3 Inverter

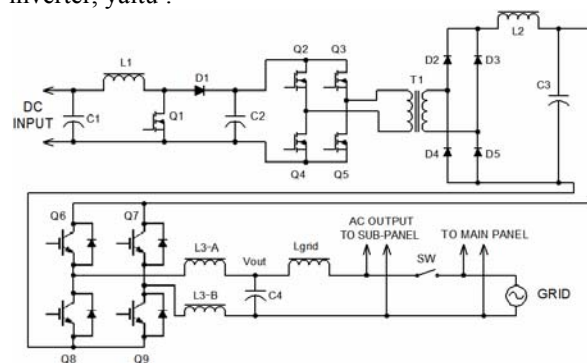
Prinsip kerja sebuah inverter diperlihatkan pada rangkaian *single-phase full bridge inverter*, memuat empat buah *choppers* yang ditunjukkan pada gambar 2. Switch pengontrol yang digunakan adalah IGBT (*Insulated-gate bipolar transistor*) dimana memiliki karakteristik drive dan keluaran yang paling baik dibanding devais kontrol lain. Ketika transistor Q1 dan Q2 berkonduksi secara bersama – sama, tegangan masukkan V_s , dihasilkan melewati beban. Jika transistor Q3 dan Q4 berkonduksi pada waktu bersamaan pula, tegangan yang dihasilkan menjadi negatif, $-V_s$.



Gambar 2. Rangkaian Inverter

2.3.3.1 PV Inverter

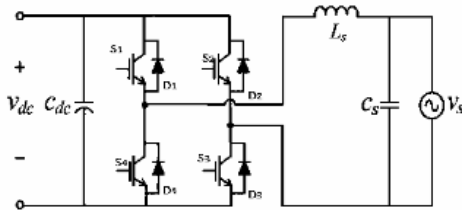
PV inverter bekerja secara langsung dengan modul surya dan dapat sinkronisasi langsung dengan jaringan AC untuk menyalurkan daya ke beban. PV Inverter menggunakan *boost converter* untuk mengatur tegangan dari modul surya dan algoritma MPPT yang memberikan tegangan referensi modul surya. Berikut ini gambar topologi rangkaian penyusun PV inverter, yaitu :



Gambar 3 Topologi rangkaian PV Inverter

2.3.3.2 Baterai Inverter

Inverter baterai bekerja secara *bidirectional* atau dua arah, selain menjalankan fungsinya untuk merubah tegangan DC ke AC, fungsi utama lainnya adalah sebagai controller untuk pengecasan baterai dari inverter PV, sehingga bekerja mengubah tegangan AC ke DC.



Gambar 4 Rangkaian Skematis *bi-directional* inverter

III. PUSAT LISTRIK TENAGA SURYA OFF GRID

3.1 Pusat Listrik Tenaga Surya

Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya yaitu PLTS memiliki beberapa keuntungan meliputi :

- Sumber energi yang digunakan sangat melimpah
- Sistem yang dikembangkan bersifat modular sehingga dapat dengan mudah diinstalasi dan diperbesar kapasitasnya.
- Perawatannya mudah
- Tidak menimbulkan polusi

3.1.1 Pusat Listrik Tenaga Surya Off Grid

PLTS Off Grid merupakan sistem pembangkit listrik terpusat tanpa terkoneksi dengan jaringan listrik, suplai daya ke konsumen dilakukan melalui jaringan distribusi.

- PLTS Off Grid dengan DC coupling, semua sumber energi digandengan melalui jaringan arus searah. Modul surya dihubungkan dengan sebuah baterai charge controller.
- PLTS Off Grid dengan AC coupling, semua beban dan sumber energi terhubung melalui jaringan AC. Keuntungannya adalah sistem off grid dapat dibangun dan ditambah secara fleksibel dengan komponen secara modular.

3.2 Perencanaan PLTS Off Grid

Perhitungan kapasitas sistem pusat listrik tenaga surya dilakukan dengan memperhatikan prinsip kesetimbangan energi yang didasarkan pada beberapa faktor berikut :

- Potensi sumber energi surya (energi radiasi matahari)
- Kebutuhan beban pada kondisi normal sesuai kurva beban harian

- Karakteristik dan spesifikasi teknis peralatan yang direncanakan

3.2.1 Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Energi listrik yang dihasilkan oleh unit modul surya harus mampu memenuhi kebutuhan beban perhari. Maka kapasitas modul surya yang digunakan diperhitungkan dengan beberapa tahap sebagai berikut :

$$\text{Luas area PV Array} = \frac{E}{\eta_{pv} \times PR \times \eta_{out}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$P_{\text{saat t naik t } ^0C} = TK P_{\text{mpp}} \times P_{\text{MPP}} \times T(^0C) \dots\dots\dots(3.2)$$

$$P_{\text{MPP saat naik menjadi t } ^0C} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat t naik t } ^0C} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$PR = \frac{P_{\text{MPP saat naik menjadi t } ^0C}}{P_{\text{MPP}}} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan :

- E = Energi yang dibutuhkan beban (kWh/hari)
- I = Energi radiasi (kWh/m²/hari)
- η_{pv} = efisiensi modul surya
- PR = ratio output daya akibat kenaikan suhu
- η_{out} = efisiensi sistem = 0,75
- TK P_{mpp} = Karakteristik suhu terhadap daya modul surya

Dari perhitungan area modul surya, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (Watt peak) dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P \text{ Watt peak} = \text{PV area} \times \eta_{pv} \times PSI \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan:

- PSI = Standar radiasi pada 25⁰C = 1000 W/m²
- η_{pv} = efisiensi modul surya

3.2.2 Perhitungan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C = E \times d \times 1000 / (\text{DOD} \times \text{EB} \times \text{VB}) \dots\dots\dots(3.6)$$

Dengan :

- C = Total kapasitas baterai yang dibutuhkan (Ah)
- E = Energi yang dibutuhkan beban per hari (kWh)
- DOD= *Deep of Discharge*= 80%
- d = *Autonomy Day* = jumlah hari tanpa matahari
- EB = Efisiensi Baterai = 0,95
- VB = Tegangan Sistem Baterai

3.2.2 Perhitungan Kapasitas Inverter

- PV inverter = kapasitas modul surya
- Baterai Inverter = kapasitas PV Inverter

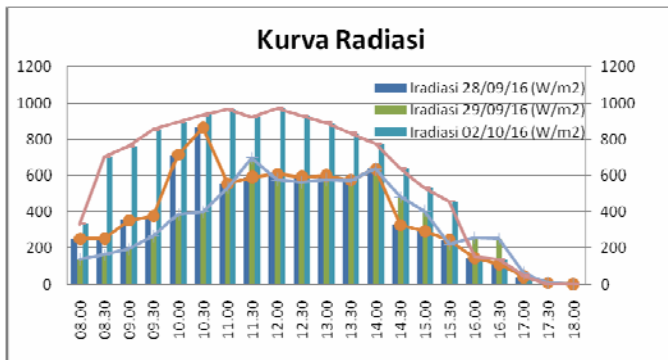
IV. PERENCANAAN SISTEM PLTS OFF GRID 50 kWp

4.1 Data Meteorologi NASA

TABLE I
DATA METEOROLOGI NASA

Lokasi	Bulan	Rata - rata energi radiasi matahari harian (kWh/m ² /hari)	Suhu Maksimal Lingkungan (°C)
Lat 3.766 Lon 116.188 22-year average	Januari	4.48	31.0
	Februari	4.63	32.0
	Maret	4.9	33.0
	April	5.11	33.0
	Mei	5.05	33.0
	Juni	4.96	32.6
	Juli	4.97	32.7
	Agustus	5.05	33.7
	September	5.13	34.0
	Oktober	4.95	33.5
	Nopember	4.81	32.8
	Desember	4.48	31.1

Data rata – rata energi matahari terendah pada bulan januari dan desember sebesar 4.48 kWh/m²/hari serta suhu maksimum pada 34°C dapat digunakan untuk perhitungan desain PLTS. Untuk meyakinkan data tersebut dilakukan pengukuran langsung energi matahari dengan data logger pyranometer yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 5 Kurva Radiasi Matahari desa Long Berang

4.2 Data Pola Beban Masyarakat

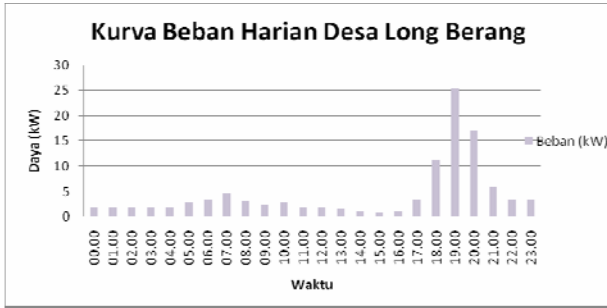
Tabel 4.4 Estimasi Penggunaan Listrik Rumah Tangga

No	Peralatan	Jumlah	Daya (Watt)	Waktu pemakaian / hari (jam)	Energi (Wh/hari)
1	Lampu LED	3	15	12	180
2	Televisi	1	100	2	200
3	Stop Kontak	1	100	1	100
			215		480

Tabel 4.5 Data Estimasi Daya dan Energi pada Desa Long Berang

No	Bangunan	Unit	Daya (W)	Energi (Wh)	Jumlah Daya (W)	Jumlah Energi (Wh)
1	TK	1	230	500	230	500
2	SD	1	450	1200	450	1200
3	SMP	1	900	1900	900	1900
4	SMA	1	900	1900	900	1900
5	KANTOR DESA	1	450	1200	450	1200
6	KANTOR CAMAT	1	900	1900	900	1900
7	GEREJA	1	450	800	450	800
8	PUSKESMAS	2	450	800	900	1600
10	KANTOR BPU	1	450	800	450	800
11	RUMAH DINAS	32	450	800	14400	25600
14	ASRAMA SMA	1	450	800	450	800
15	LABORATORIUM	1	450	800	450	800
16	PERPUSTAKAAN	1	450	800	450	800
17	RUMAH	145	230	500	33350	72500
18	CADANGAN	50	230	500	11500	25000
19	PJU	60	20	240	1200	14400
		300			67430	151700

Estimasi konsumsi energi listrik masyarakat Long berang mencapai 151,7 kWh/hari, apabila dibuatkan kurva beban harian seperti gambar berikut :



Gambar 6 Kurva beban harian Desa Long Berang

4.4 Perencanaan Kapasitas PLTS

4.4.1 Perhitungan Kapasitas Baterai

perhitungan kapasitas baterai dapat diperoleh dengan menggunakan rumus 3.6 sebagai berikut :

$$C = E \times d \times 1000 / (DOD \times EB \times VB)$$

$$= \frac{151.7 \times 4 \times 1000}{80\% \times 0.95 \times 48}$$

$$= 16.634 \text{ Ah}$$

Jadi kapasitas total baterai yang dibutuhkan sebesar 16.634 Ah pada tegangan 48 V. Selanjutnya perlu diketahui konfigurasi seri paralel dan jumlah baterai yang digunakan.

Pemilihan tipe baterai yaitu jenis lead acid Valve Regulated Lead Acid tegangan 2V kapasitas 1200 Ah.

$$\text{Batt paralel} = C \text{ total} / C \text{ baterai}$$

$$= \frac{16.634 \text{ Ah}}{1200 \text{ Ah}}$$

$$= 13,861 = 14 \text{ paralel}$$

Jadi jumlah baterai terhubung paralel sebanyak 14 unit

$$\text{Batt seri} = VB / V \text{ batt}$$

$$= \frac{48 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 24 \text{ unit}$$

Jadi jumlah baterai terhubung seri sebanyak 24 unit, sehingga total baterai yang dibutuhkan sebanyak = 24 x 14 = 336 unit

$$\text{Total kapasitas baterai} = \text{Jmlh baterai} \times V \times \text{Ah}$$

$$= 336 \times 2 \text{ V} \times 1200 \text{ Ah}$$

$$= 806.400 \text{ Wh}$$

$$= 806 \text{ kWh}$$

Kapasitas baterai sebesar 806 kWh akan mampu untuk menyuplai listrik kemasyarakat selama 4 hari cadangan apabila suplai daya dari modul surya kurang, dengan pemakaian pada 80% kapasitas baterai.

4.4.2 Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Berdasarkan data tabel I bahwa suhu maksimum pada 34°C, maka daya output modul surya dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$P_{\text{saat t naik } 9^{\circ}\text{C}} = TK P_{\text{mpp}} \times P_{\text{MPP}} \times \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C})$$

$$= 0,39\% / ^{\circ}\text{C} \times 300 \text{ W} \times 9^{\circ}\text{C}$$

$$= 10,53 \text{ W}$$

Untuk daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi 34°C, diperhitungkan sebagai berikut :

$$P_{\text{MPP saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat t naik } 9^{\circ}\text{C}}$$

$$P_{\text{MPP saat t} = 34^{\circ}\text{C}} = 300 \text{ W} - 10,53 \text{ W}$$

$$= 289,47 \text{ W}$$

Nilai Performance Ratio PR diketahui dengan membandingkan daya aktual pada suhu lingkungan dengan daya nominal pada STC.

$$PR = \frac{P_{\text{MPP saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{MPP STC}}}$$

$$= \frac{289,47 \text{ W}}{300 \text{ W}} = 0,97$$

Setelah didapat performance ratio, efisiensi modul serta efisiensi komponen (estimasi faktor rugi komponen = 0,75)

$$\text{Luas area PV Array}$$

$$= \frac{E}{I \times \eta_{\text{pv}} \times PR \times \eta_{\text{opt}}}$$

$$= \frac{151,7 \text{ kWh/hari}}{4,48 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \times 0,1789 \times 0,97 \times 0,75}$$

$$= 260,2 \text{ m}^2$$

Dari luasan area PV array yang didapat maka kapasitas daya PLTS dalam wattpeak didapat dengan menggunakan rumus 3.5

$$P \text{ Watt peak} = \text{PV area} \times \eta_{\text{pv}} \times 1000 \text{ W/m}^2$$

$$= 260,2 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,1789$$

$$= 46.6 \text{ Watt peak}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut kapasitas modul surya sebesar 46,6 kWp sudah mampu untuk menyuplai daya ke masyarakat desa Long Berang.

4.4.3 Perhitungan Kapasitas Inverter

$$\text{Jumlah Modul Surya} = \frac{P \text{ watt peak}}{P_{\text{MPP}}}$$

$$= \frac{46.617}{300}$$

$$= 154,39$$

$$= 155 \text{ modul surya}$$

Pemilihan PV inverter dengan kapasitas 25 kW sebanyak 2 unit, sehingga konfigurasi seri paralel modul sebagai berikut :

$$\text{Jumlah modul surya / inverter}$$

$$= \frac{P_{\text{inverter}}}{P_{\text{modul surya}}}$$

$$= \frac{1250 \text{ W}}{300 \text{ W}} = 85 \text{ modul surya}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah seri modul max} &= \frac{V_{in \text{ max inverter}}}{V_{open \text{ circuit}}} \\ &= \frac{1000 \text{ Vdc}}{40 \text{ Vdc}} \\ &= 25 \text{ modul (d disesuaikan dengan kapasitas inverter)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah paralel modul} &= \frac{I_{jml \text{ max modul}}}{I_{jml \text{ seri modul}}} \\ &= \frac{00}{25} \\ &= 3,4 = 4 \text{ paralel (4 string)} \end{aligned}$$

Untuk menyesuaikan dengan kapasitas inverter dengan paralel 4 string dengan jumlah modul maksimum tiap inverter 85 unit, maka seri modul dikurangi menjadi 21 modul. Nilai tegangan untuk 21 seri modul ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{input} &= \text{jml modul} \times V_{oc} = 21 \times 40 = 840 \text{ V} \\ V_{mpp} &= \text{jml modul} \times V_{mpp} = 21 \times 32,6 = 684,6 \text{ V} \end{aligned}$$

Inverter memiliki dua buah MPP input sehingga tiap MPP input terbagi atas dua string modul surya. Arus tiap MPP dapat dihitung sebagai berikut:

$$I \text{ string} = I_{sc} \times \text{jml string tiap MPP} = 9,83 \times 2 = 19,66 \text{ A}$$

Total modul tiap inverter menjadi 21 x 4 = 84 unit, sehingga daya input tiap inverter menjadi :

$$P \text{ input} = 84 \times 300 \text{ W} = 25200 \text{ W}$$

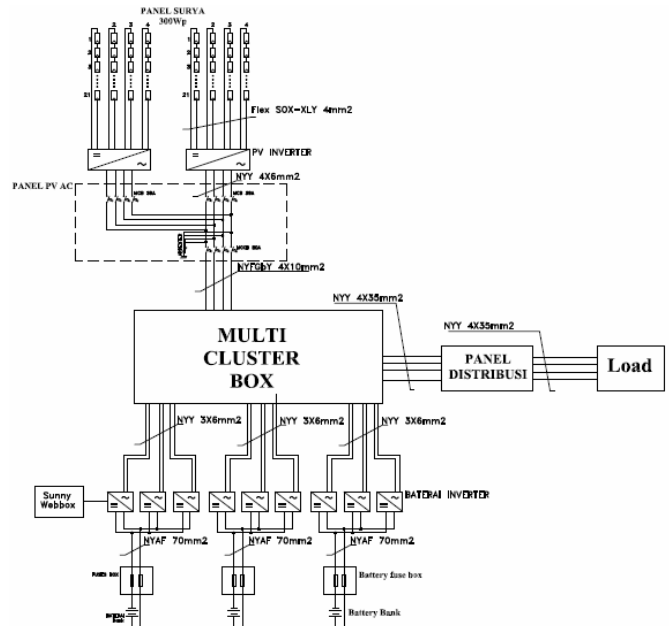
Sehingga untuk 2 unit inverter total modul menjadi 84 x 2 = 168 modul surya. Kapasitas total PLTS menjadi 168 x 300 Wp = **50,400 kWp.**

Pemilihan baterai inverter yang digunakan berkapasitas 6 kW, maka jumlah inverter baterai yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah inverter} &= \frac{\text{daya PV inverter}}{\text{daya inverter baterai}} = \frac{50 \text{ kW}}{6 \text{ kW}} = 8.4 = 9 \text{ inverter} \end{aligned}$$

4.4.4 Desain Sistem PLTS

Desa Long Berang bila dilihat dari letak lintangnya pada wilayah 03°46'06.6" LU dan 116°11'51.5" BT, berada pada 3° diatas khatulistiwa, sehingga arah hadap ideal modul surya menghadap selatan. Pada dasarnya untuk daerah dekat khatulistiwa, panel surya menghadap keatas mendatar, hanya saja untuk pembersihan panel surya dari debu, disarankan modul surya dipasang miring maksimum 10° menghadap arah utara/selatan.



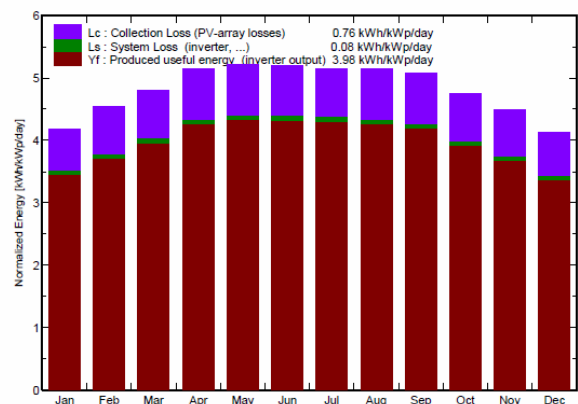
Gambar 7 Wiring Diagram Sistem PLTS

Software PVSYSYT digunakan untuk simulasi sistem PLTS, dimana output simulasi menampilkan energi produksi modul surya, baik secara tahunan maupun bulanan. PLTS desa Long Berang sebesar 50,4 kWp setelah disimulasikan dalam software PVSYSYT menghasilkan data yang ditunjukkan pada gambar 4.13.

Project :	PLTS LONG BERANG		
Simulation variant :	New simulation variant		
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth 180°
PV modules	Model	SW 300 Mono	Pnom 300 Wp
PV Array	Nb. of modules	168	Pnom total 50.4 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL_3P	Pnom 25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total 50.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		
Main simulation results	Produced Energy	73.2 MWh/year	Specific prod. 1453 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio	82.6 %	

Gambar 8 Hasil Simulasi PVSYSYT PLTS Desa Long Berang

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 50.4 kWp



Gambar 9 Grafik Produksi Energi Tiap Bulan

Hasil simulasi PVSYST menunjukkan produksi rata rata energi pertahun array modul surya. Estimasi hasil produksi energy efektif yang mampu dihasilkan sistem PLTS tiap bulan ditunjukkan oleh kolom *E_Grid*, Perbedaan produksi tiap bulan menyesuaikan kondisi alam yaitu intensitas matahari yang turun pada musim penghujan. Energi pertahun yang dihasilkan PLTS mencapai 73,231 MWh/tahun = 73.231 kWh/tahun = 200,6 kWh/hari

Dibandingkan dengan energy yang diperlukan untuk konsumsi masyarakat desa 151,7 kWh/ hari. Selisih plus 48.9 kWh memastikan apabila ada mendung maupun berkurangnya intensitas sinar matahari, tidak terjadi kekurangan energi. PLTS dengan kapasitas modul 50,4 kWp cukup untuk desa Long Berang. Daya PLTS sesuai simulasi PVSYST sebesar 50,4 kWp dibandingkan dengan hasil perhitungan sebesar 46,6 kWp terdapat selisih sebesar 3,8 kWp atau sebesar 7,5 %. Perbedaan hasil terkait parameter pada simulasi yang lebih kompleks.

PLTS beroperasi selama ada sinar matahari dan daya produksinya disesuaikan dengan radiasi matahari yang diperlihatkan pada tabel 4.1. Pada siang hari PLTS memproduksi energi puncaknya pada jam 11.00 sampai jam 13.00 siang. Namun pada jam – jam tersebut daya konsumsi masyarakat masih rendah, hanya kantor dan sekolah yang membutuhkan listrik di siang hari, sehingga sebagian energi listrik produksi plts akan ditampung di baterai.

Pada sore hari ketika produksi energi plts berkurang maka suplai ke beban sebagian dibantu oleh baterai, hingga malam hari beban puncak masyarakat secara full disuplai oleh baterai. Berdasarkan kurva beban pada gambar 4.6, maka beban di malam hari dari pukul 18.00 sampai 23.00 estimasi pada 99,8 kWh akan disuplai oleh baterai. Sekitar 15 % dari kapasitas baterai terpakai di malam hari. Begitulah hingga pada siang hari baterai dicharge oleh modul surya. Melihat data produksi energi listrik plts pada gambar 4.15, estimasi produksi perhari sekitar 200,6 kWh /hari maka dengan 6 jam pengisian oleh modul surya maka baterai akan penuh kembali, dan siap untuk menyuplai ke beban pada malam hari.

Pemanfaatan energi PLTS sebagai sumber daya listrik masyarakat berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar minyak. Maka 151,7 kWh/ hari akan setara dengan kurang lebih 51 liter solar yang dihemat perhari = 1530 liter/bulan. Dengan harga solar Rp 10.000,- maka estimasi penghematan setara Rp. 15.300.000,- perbulan bisa dihemat di desa Long Berang. Produksi 73,2 MWh/ tahun oleh PLTS adalah setara dengan 51,5 metric ton emisi CO² per tahun yang dapat dihindarkan mencemari bumi (Egrid, U.S. annual non-baseload CO₂ output emission rate, year 2012 data).

V. SIMPULAN

1. Berdasarkan analisa penggunaan listrik di desa Long Berang didapatkan hasil bahwa masyarakat membutuhkan energi listrik 151,7 kWh / hari.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas pusat listrik tenaga surya yang dibutuhkan untuk menyuplai beban listrik ke masyarakat desa Long Berang sebesar 46,6 kWp, setelah menyesuaikan kapasitas inverter dengan hasil simulasi PVSYST kapasitas plts yang dibangkitkan sebesar 50,4 kWp.
3. Pusat Listrik tenaga listrik off grid berkapasitas 50,4 kWp tersusun atas 168 unit modul surya dengan kapasitas daya 300 Wattpeak/modul.
4. Besar kapasitas baterai yang diperlukan sebesar 808 kWh, tersusun atas 336 unit baterai 2V kapasitas 1000 Ah, dengan penyimpanan energi ini mampu untuk menyuplai energi ke beban selama 4 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudrajat, Adjat. 2007. Sistem – sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Jakarta. BPPT Press.
- [2] Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi – Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Laporan Kinerja. EBTKE-ESDM.
- [3] Beiser, Arthur. 1992. Konsep Fisika Modern. Edisi Keempat. Diterjemahkan oleh : DR. The Houw Liong. Jakarta : Erlangga.
- [4] Quaschnig, V. 2005. Understanding Renewable Energy Systems. London : Earthscan.
- [5] Anonim. 2016. Data Survey Lokasi PLTS Malinau. PT. Guna Elektro Divisi Local Component & Energy Conversion
- [6] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>. Diunduh pada tanggal 30 Juni 2017
- [7] Rashid, Muhammad. H. 1999. Elektronika daya : rangkaian, devais, dan aplikasinya. Jakarta. Prehallindo
- [8] Anonim. 2016. Designing Offgrid Systems. SMA Solar Technology AG
- [9] <http://files.pvsyst.com/help/> Diakses pada tanggal 5 Juli 2017
- [10] Carl von Ossietzky Universitat Oldenburg. 1999. Photovoltaic Stand-Alone System. Universitas Oldenburg.
- [11] Rosyid, Oo Abdul, dkk. 2015. Silabus Pelatihan Sistem Pembangkit Listrik Surya (PLTS). Serpong. Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) – BPPT
- [12] <http://www.electronics-tutorial.net/dc-to-ac-inverter/single-phase-full-bridge-inverter/index.html>. Diakses tanggal 1 september 2017
- [13] <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references> Diakses tanggal 1 september 2017
- [14] Abi Yusuf Aulia dan Amir Hamzah. 2016. Desain dan Analisa Bidirectional Inverter Sebagai Penggerak mesin Induksi Satu Fasa dengan Sumber Baterai DC 36 Volt. Riau. Jurnal Teknik Elektro Universitas Riau. Vol.3