

PERANCANGAN SISTEM PLTS FOTOVOLTAIK TERPUSAT UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN TENAGA LISTRIK DI DESA TERPENCIL

Gusnur Ismail¹, Agus Jamal², Ramadoni Syahputra³

^{1,2,3}Departement of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan Bantul, (0274)387656

*Corresponding author, e-mail : igusnur@gmail.com

Abstrack

This Bachelor's thesis was made as part of the application of Electrical Power Generation Technology courses and Design of Industrial Electrical System in Electrical engineering program at Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. This is a solar power generation system by following the principles of renewable energy science, especially photovoltaic energy and electrical technology.

A general scheme in the context of a centralized solar photovoltaic power plant system based on data and location requirements. Location data in the form of needs or limits on energy use and irradiation provided from secondary data. Based on data and calculations will be carried out capacity measurement, component selection, system design presented in the form of preliminary engineering design and economic analysis.

The results of the calculation and analysis of a centralized solar photovoltaic power plant design in this study were made for electricity needs for 273 houses and 10 public facilities. From the calculation results with a total electricity demand of 185575 Wh/day can be issued with a capacity of 57,6 kWp. The design of this system was made using a DC coupling off-grid configuration system using 288 solar panels with a capacity of 200 Wp and 216 pieces of 1200 Ah battery capacity. The cost for investment is Rp 5.225.272.250, the maintenance cost for operations is Rp 85.936.700 a year and the cost of 2 times the battery change in the 9th and 18th years is Rp 2.148.417.500.

Keywords: *Solar Power Plant, Centralized Solar Photovoltaic Power Plant, Module PV, Renewable Energy, Rural Electrification, Off-grid, DC coupling.*

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia sebagian besar jaringan energi listrik hanya tersedia di kota-kota besar atau daerah-daerah dengan tingkat kepadatan penduduk relatif tinggi dan tidak jauh dari akses transportasi publik. Penduduk yang tinggal di daerah-daerah terpencil dan pelosok-pelosok atau yang tersebar di pulau-pulau kecil yang jauh dari akses transportasi publik seakan-akan hanyalah sebuah “mimpi” bagi mereka untuk terjamah oleh jaringan listrik. Sulitnya akses dan mobilisasi ke lokasi menjadikan biaya investasi pengembangan

jaringan listrik atau pembangunan pembangkit listrik konvensional menjadi membengkak, ditambah lagi biaya operasional dan perbaikan yang tidak sedikit akibat sulitnya transportasi menuju lokasi.

Berdasarkan data laporan rasio elektrifikasi di Indonesia dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada bulan juni 2017 rasio elektrifikasi di Indonesia mencapai 92.80%. Dari data tersebut berarti masih ada sekitar 5,87 juta kepala keluarga di

Indonesia yang belum mendapatkan pasokan energi listrik dari jaringan PLN.

Selain persoalan elektrifikasi di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan energi listrik oleh PLN, pemerintah Indonesia juga melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) telah menargetkan bauran energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% hingga tahun 2025 mendatang. Saat ini jumlah bauran EBT Indonesia baru mencapai angka 12,5% pada tahun 2017, sedangkan rasio kontribusi EBT cuma bertambah 2% dalam 3 tahun terakhir. Jumlah ini tergolong masih sangat kecil mengingat tahun 2025 tinggal 7 tahun lagi. Pemanfaatan energi terbarukan sendiri sangat penting untuk menjaga ketahanan energi di masa depan. Selain itu, energi terbarukan juga merupakan simbol kemandirian dan keberlanjutan energi suatu negara.

Pemanfaatan energi terbarukan akan mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, menggantinya dengan sumber energi yang tak akan habis seperti air, matahari, angin, laut, sampah, hingga biofuel.

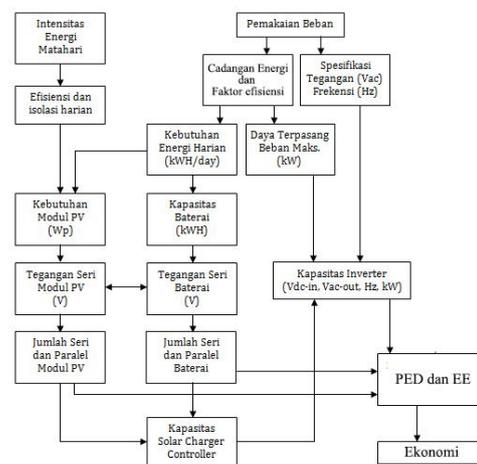
II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Ramadhan dan Rangkuti (2016), pada makalahnya di Seminar Nasional Cendekiawan pada tahun 2016 melakukan penelitian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Perencanaan PLTS terhubung jaringan tersebut dengan mengukur area terukur seluas 855 m². Area terukur tersebut dapat dipasang panel surya berkapasitas 300 Wp sebanyak 312 buah dan *inverter* sebanyak 5 buah yang berkapasitas 20 kW. Dari hasil perhitungan, didapatkan daya keluaran

yang dihasilkan perbulan sebesar 10786,2 kWh. PLTS tersebut memerlukan biaya investasi awal untuk sebesar Rp 2.869.777.544 dan biaya pemeliharaan beserta operasional adalah sebesar Rp 28.697.775 dan *payback period* selama 8 tahun 5 bulan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut diagram alir penelitian digambarkan seperti gambar berikut:



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

1. Pengumpulan data

Data yang diperlukan berupa data jumlah rumah penduduk, fasilitas umum, jumlah iradiasi matahari dan temperatur di lokasi tersebut.

2. Pengolahan data

Berdasar data lapangan yang telah dikumpulkan, maka semua yang terkait dengan aspek teknis akan disajikan sebagai bahan pertimbangan dalam rancangan peralatan yang akan digunakan dalam sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat.

3. Pilihan desain teknis umum

Desain teknis umum sudah dapat ditentukan berdasarkan pengolahan data rencana penggunaan energi listrik. Desain

teknis ini berupa kapasitas PLTS yaitu total kapasitas pembangkit dan kapasitas penyimpanan energi.

4. Spesifikasi teknis

Spesifikasi teknis ditentukan mengikut data pilihan desain umum dan pertimbangan agar peralatan yang akan dipilih dapat memenuhi kualitas. Pilihan teknis mengikut kaidah keilmuan energi terbarukan khususnya teknologi energi fotovoltaik dan kelistrikan. Spesifikasi teknis dan gambar yang akan diperoleh perancangan ini adalah spesifikasi semua alat yang diperlukan, gambar rangkaian panel surya, baterai, dan inverter. Desain teknis ini disajikan dalam bentuk preliminary engineering design.

5. Estimasi anggaran biaya

Biaya yang diperlukan untuk membangun PLTS Fotovoltaik Terpusat dapat dihitung apabila semua alat yang ditetapkan sudah memenuhi aspek teknis. Estimasi biaya disusun dalam bentuk engineering estimate.

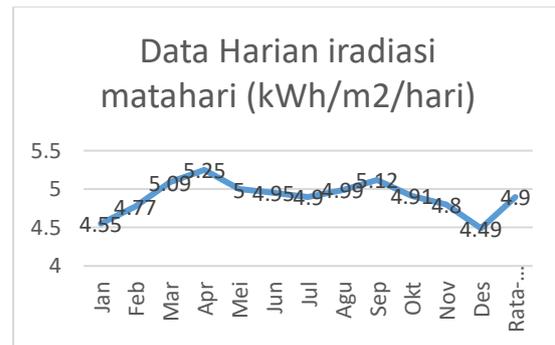
6. Aspek ekonomi

Aspek ekonomi dari PLTS dapat dihitung apabila biaya-biaya investasi dari PLTS sudah dihitung. Aspek ekonomi akan menghasilkan kesimpulan untung atau ruginya jika PLTS dioperasikan.

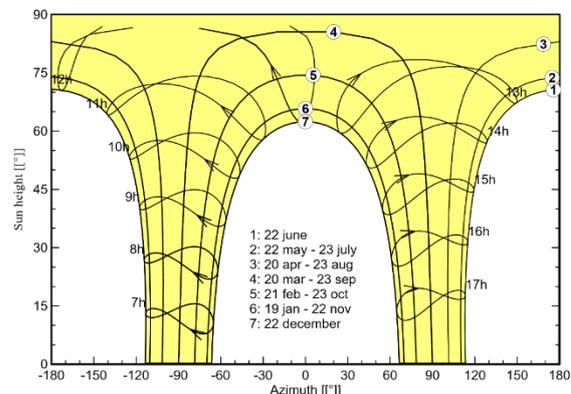
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

1. Iradiasi matahari dan posisi matahari



Gambar 4.1 Grafik data harian iradiasi matahari di wilayah Desa Bukit Harapan (Sumber: NASA SSE)



Gambar 4.2 Sun path di Desa Bukit Harapan (Sumber: NASA SSE)

2. Jumlah rumah dan fasilitas umum

Tabel 4.1 Jumlah rumah dan fasilitas umum

No	Jenis	Jumlah
1	Rumah Tangga	273
2	Fasilitas Umum	10

3. Suhu ekstrim sekitar

Tabel 4.2 Suhu ekstrim sekitar

No	Jenis	Nilai
1	Suhu terendah	18°
2	Suhu tertinggi	35°

4.1.2 Pemilihan kuota energi listrik

1. Kuota energi listrik untuk tiap rumah
Jadi kuota energi untuk tiap rumah berdasarkan klasifikasi SNI IEC 04-6394-2000 untuk nilai 380 Wh adalah 400 Wh/hari

2. Kuota energi listrik untuk fasilitas umum

Jadi kuota energi untuk tiap fasilitas umum berdasarkan klasifikasi SNI IEC 04-6394-2000 untuk nilai 460 Wh adalah 500 Wh/hari

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Menentukan nilai *equal sun hours*

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

4.2.2 Menentukan sudut posisi matahari, orientasi dan kemiringan

1. Posisi matahari

Jadi posisi ketinggian matahari pada jam 9 pagi adalah altitude 36° dan azimuth 55° .

2. Orientasi

Maka orientasi panel surya untuk daerah Desa Bukit Harapan dihadapkan ke selatan karena lokasinya termasuk ke belahan bumi utara.

3. Sudut kemiringan

Maka sudut kemiringan ditetapkan 15° untuk memastikan pembersihan panel pada saat hujan dan radiasi matahari yang didapatkan optimal.

4.2.3 Menentukan total kebutuhan beban

Tabel 4.6 Total kapasitas beban harian yang dibutuhkan

No	Jenis Beban	Jumlah	Kuota Energi (Wh)	Total Energi (Wh/hari)
1	Rumah Tangga	273	400	109200
2	Fasilitas Umum	10	500	5000
Sub Total 1				114200
Cadangan Energi			30%	34260
Sub Total 2				148460
Rugi-rugi			25%	37115
Total Beban				185575

4.3 Pilihan Desain Teknis Umum

4.3.1 Menentukan kapasitas PLTS

Dari perhitungan didapatkan nilai kapasitas PLTS Fotovoltaik Terpusat yang dibutuhkan sebesar 57,1 kWp.

4.3.2 Menentukan kapasitas baterai

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kapasitas baterai yang dibutuhkan sebesar 10740 Ah.

4.4 Spesifikasi Teknis

Pada penelitian ini sistem yang dipakai menggunakan konfigurasi sistem *off-grid DC coupling*, maka komponen utama untuk PLTS terdiri dari panel surya, SCC, inverter baterai, dan baterai.

4.4.1 Desain panel *array*

Jadi dari hasil perhitungan didapatkan skema rangkaian panel array minimal 6 panel dan maksimal 12 panel dengan hubungan seri tiap string dan maksimal 4 string dengan hubungan paralel tiap string. Pada penelitian ini kombinasi yang dipilih untuk rangkaian panel array adalah kombinasi 2 string dengan 12 panel surya dengan hubungan seri setiap string.

4.4.2 Perhitungan proteksi pada *combiner box*

1. Fuse per string

Jadi fuse yang digunakan dalam tiap string adalah minimal 8,12 A dengan nominal tegangan 1000 VDC atau yang tersedia dipasaran adalah 10 A 1000 VDC

2. Fuse panel array

Jadi fuse yang digunakan dalam panel array adalah minimal 16,24 A dengan nominal tegangan 1000 VDC atau yang tersedia dipasaran adalah 20 A 1000 VDC

3. Luas penampang kahantar arus (kabel)
Jadi kabel yang digunakan dalam sambungan combiner box ke SCC adalah kabel NYFGbY 2,5 mm².

4.4.3 Perhitungan jarak antar panel array
Dari perhitungan didapatkan nilai jarak antar panel array minimal 65 cm setiap baris dan jarak bayangan maksimal 113 cm.

4.2.4 Battery bank

Maka untuk desain rangkaian battery bank, kapasitas yang mendekati untuk kebutuhan 10740 Ah adalah 9 battery bank dengan spesifikasi tiap baterai 1200 Ah 2 V, dan untuk mendapatkan rangkaian sistem 48 V diperlukan 24 baterai ($48 \div 2 = 24$), dengan kapasitas total tiap battery bank 57,6 kW ($24 \text{ baterai} \times 2 \text{ V} \times 1200 \text{ Ah} = 57600 \text{ Wh}$). Sehingga total kebutuhan baterai adalah 216 baterai.

4.4.5 Perhitungan proteksi pada panel distribusi DC

1. SCC ke baterai

Jadi rating fuse yang digunakan dalam tiap sambungan SCC ke baterai adalah maksimal 80 A.

Jadi rating MCB yang digunakan dalam tiap sambungan SCC ke baterai adalah maksimal 100 A.

Jadi kabel yang digunakan dalam sambungan SCC ke busbar adalah kabel NYAF 25 mm².

2. Input inverter ke baterai

Jadi rating fuse yang digunakan dalam sambungan tiap inverter ke baterai adalah 187,5 A atau yang tersedia dipasaran adalah 200 A.

Jadi kabel yang digunakan dalam sambungan input inverter ke busbar panel DC adalah kabel NYAF 95 mm².

4.4.6 Perhitungan proteksi pada panel distribusi AC

1. Proteksi keluaran tiap inverter

Jadi rating *breaker* yang digunakan dalam sambungan tiap inverter adalah 50 A.

Jadi kabel yang digunakan dalam sambungan keluaran inverter ke busbar panel AC adalah kabel NYAF 10 mm².

2. Proteksi AC disconnect

Rating CB

Jadi rating CB yang digunakan dalam sambungan keluaran sistem 3 phase pada multi-cluster adalah 150 A.

Jadi kabel yang digunakan dalam sambungan keluaran inverter ke busbar panel AC adalah kabel NYAF 150 mm².

4.5 Engineering Estimate

4.5.1 Biaya investasi awal

Dari tabel perhitungan diatas didapatkan, estimasi untuk membuat PLTS Fotovoltaik Terpusat sesuai rancangan sistem di Desa Bukit Harapan membutuhkan total investasi awal sebesar Rp 5.225.272.250.

4.5.2 Biaya operasional

Dari tabel perhitungan diatas didapatkan, biaya operasional PLTS Fotovoltaik Terpusat di Desa Bukit Harapan membutuhkan dana sebesar Rp 85.936.700 per tahun.

4.6 Analisis Ekonomi dari PLTS

4.6.1 Cash flow

Jadi harga listrik yang harus dibayar oleh masyarakat adalah Rp 2.310 per kWh.

4.6.2 Inflow

Berikut ini merupakan tabel penerimaan kas PLTS:

Tabel 4.11 Penerimaan kas PLTS

Jumlah Pelanggan	Total Beban (kWh)	Penghasilan per Bulan (Tarif Listrik Rp 2310/kWh)	Penghasilan per Tahun (Tarif Listrik Rp 2310/kWh)
273	12	7.567.560	90.810.720
10	15	346.500	4.158.000
Total		7.914.060	94.968.720

Jadi penerimaan kas PLTS selama satu tahun adalah sebesar Rp 94.968.720

4.6.3 Outflow

Total investasi = Rp 7.373.689.750

Namun, karena penggantian suku cadang pembangkit yang diharapkan akan diganti di tahun ke-9 (perkiraan umur baterai). Maka akan ada tambahan biaya investasi di tahun ke-9 dan di tahun ke-18

Outflow = Rp 12.063.913.750

4.6.4 Analisis kelayakan finansial untuk pengoperasian PLTS

1. Return Of Investment (ROI)

2. Payback Period (PP)

PP = Jumlah Investasi/Aliran Kas

PP = Rp 12.063.913.750/Rp 94.968.720 = 127,03 Tahun \approx 127 Tahun 1 Bulan"

3. Net Present Value (NPV)

Perhitungan NPV dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama 25 tahun berdasarkan dengan penggunaan tingkat suku bunga (*interest*) sebesar 5,5% setiap tahun

NPV = -7,447,107,404

4. Internal Rate Return (IRR)

Nilai Internal Rate Return (IRR) pada penelitian ini tidak dapat dihitung atau mempunyai nilai ∞ (*infinity*) karena tidak ada nilai *interest rate* untuk mendapatkan nilai NPV positif.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan serta data yang diperoleh pada perancangan sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat di desa Bukit Harapan sesuai perencanaan kapasitas dan spesifikasi teknis dapat disimpulkan:

1. Total kebutuhan beban harian sebesar 185575 Wh/hari dapat dipenuhi dengan PLTS Fotovoltaik Terpusat berkapasitas 57,6 kWp dengan kapasitas panel surya 200 Wp per panel sebanyak 288 unit.
2. Kapasitas baterai yang dibutuhkan dengan DOD 80% dan otonomi selama 2 hari adalah 216 buah baterai VRLA 2V 1200 Ah.
3. Dari hasil perhitungan data, didapatkan biaya untuk membangun PLTS Fotovoltaik Terpusat tersebut adalah Rp 5.225.272.250, biaya pemeliharaan beserta operasional adalah sebesar Rp 85.936.700 per tahun dan biaya 2 kali pergantian baterai pada tahun ke-9 dan ke-18 sebesar Rp 2.148.417.500.
4. Dari hasil analisis kelayakan finansial untuk pengoperasian PLTS pada penelitian ini yaitu Return On Investment (ROI) adalah "-99,213%" , Payback Period membutuhkan waktu 127 tahun 1 bulan, nilai NPV sebesar -7,447,107,404 dan nilai IRR adalah ∞ (*infinity*). Maka dapat disimpulkan bahwa proyek PLTS Fotovoltaik Terpusat pada penelitian ini tidak dapat diterima. Faktor utama yang

mempengaruhinya adalah tingginya biaya penggantian baterai pada tahun ke-9 dan ke-18 (perkiraan umur baterai).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani W.D, Karnoto, dan Bambang Winardi (2014). *Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara*. Jurnal Transient Vol. 3 No. 2, 2302-9927.
- Badan Standardisasi Nasional (2000), *Classification Determination Procedures for stand-alone PV Systems - General Guide*, dalam <http://siteresources.worldbank.org/INTRENEWABLEENERGY/TK/Resources/51382371239644200204/ClassificationProceduresOforOstand.pdf>, diakses 29 Juli 2018, pukul 13.00
- Hasan, Hasnawiyah (2016). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi*. Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Vol. 10 No. 2
- <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/q-a-calculating-inter-row-spacing>, diakses 19 September 2014, pukul 17.30.
- <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/interrow-spacing>, diakses 19 September 2014, pukul 17.30.
- <http://www.civicsolar.com/support/installer/articles/determining-module-inter-row-spacing>, diakses 19 September 2014, pukul 17.30.
- <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/methods-selecting-appropriate-pv-array-string-sizes>, diakses 19 September 2014, pukul 17.30.
- <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/q-a-calculating-inter-row-spacing>, diakses 19 September 2014, pukul 17.30.
- Mayfield, Ryan, 2010, *Photovoltaic Design and Installation For Dummies*, Indianapolis: Wiley Publishing.
- Ramadhan S.G, dan Rangkuti (2016). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti*. Seminar Nasional Cendekiawan 2016, 2540-7589.
- Roger A. Messenger, 2005, *Photovoltaic Systems Engineering Second Edition*, Boca Raton: CRC Press.