

SKRIPSI

**PERENCANAAN DESAIN SISTEM PLTS PADA
SISTEM POMPA IRIGASI PLTS *OFF-GRID*
DENGAN SIMULASI *PVSYST* DI KABUPATEN
KUPANG**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

KAMAL BAGUS PANUNTUN

NIM. 2415374015

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Sektor pertanian di Kabupaten Kupang sangat bergantung pada ketersediaan air irigasi, khususnya dalam menghadapi musim kemarau yang berkepanjangan. Sistem pengairan yang umum digunakan masyarakat masih bergantung pada pompa air bertenaga mesin diesel, yang tidak efisien dan menimbulkan biaya operasional tinggi serta dampak lingkungan. Padahal, wilayah ini memiliki potensi energi surya yang tinggi, dengan rata-rata intensitas penyinaran mencapai 2.055 kWh/m²/tahun. Pemanfaatan energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan pompa air sentrifugal yang diintegrasikan dengan sistem PLTS *off-grid*, menggunakan perangkat lunak *PVSyst* sebagai alat bantu simulasi dan perencanaan. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kebutuhan daya sistem dalam mengairi lahan pertanian selama 8 jam per hari serta mengevaluasi kelayakan teknis dan finansial sistem PLTS *off-grid*. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi implementasi teknologi PLTS kepada kelompok tani di Kabupaten Kupang guna meningkatkan efisiensi irigasi dan mendorong pertanian berkelanjutan.

Kata Kunci: Irigasi, Pompa Air Sentrifugal, PLTS *Off-grid*, *PVSyst* , Energi Terbarukan, Kabupaten Kupang

ABSTRACT

The agricultural sector in Kupang Regency heavily depends on the availability of irrigation water, especially during prolonged dry seasons. The irrigation system commonly used by local farmers relies on centrifugal water pumps powered by diesel engines, which are inefficient, costly to operate, and environmentally harmful. Meanwhile, this region has abundant solar energy potential, with an average irradiance of approximately 2,055 kWh/m²/year. Harnessing solar energy through an off-grid Solar Power Plant (PLTS) system offers a sustainable and eco-friendly alternative to reduce dependence on fossil fuels.

This study aims to analyze the use of centrifugal water pumps integrated with an off-grid PLTS system by utilizing PV Syst software as a simulation and planning tool. The simulation is conducted to determine the system's power requirements to irrigate farmland for 8 hours per day and to assess the technical and financial feasibility of the proposed off-grid PLTS system. The findings of this study are expected to provide recommendations for implementing solar-powered irrigation systems, supporting sustainable agriculture and improving the livelihoods of farmer groups in Kupang Regency.

Keywords: Irrigation, Centrifugal Water Pump, Off-grid PLTS, PV Syst , Renewable Energy, Kupang Regency

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Pengertian Energi Surya.....	6
2.2.1.2 Karakteristik Radiasi Matahari	7
2.2.1.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Besarnya Radiasi Surya	8
2.2.1.4 Satuan dan Parameter Penting dalam Pengukuran Radiasi.....	9
2.2.1.5 Potensi Energi Surya di Kabupaten Kupang.....	9
2.2.2. Sistem <i>Fotovoltaik</i> (PV)	9
2.2.2.1 Efek Fotovoltaik.....	10
2.2.2.2 Panel surya	10
2.2.2.3 Karateristik modul surya.....	12
2.2.2.4 jenis panel surya.....	13
2.2.2.5 Kinerja Modul Surya.....	16

2.2.2.6 Konfigurasi <i>Array PV</i>	16
2.2.2.7 <i>Performance Ratio</i> (PR).....	17
2.2.2.8 Specific Yield (Y_f).....	18
2.2.3 Sistem PLTS <i>Off-grid</i>	18
2.2.3.1 Penyimpanan Energi (<i>Battery Bank</i>).....	19
2.2.3.2 Maximum Power Point Tracker (MPPT).....	20
2.2.3.3 Loss of Load Probability (LOLP)	21
2.2.3.4 Solar Fraction.....	21
2.2.3.5 Efisiensi Sistem.....	22
2.2.4 Simulasi <i>PVSyst</i> dalam perencanaan Sistem Tenaga Surya.....	24
2.2.4.1 Fitur Utama <i>PVSyst</i>	25
2.2.4.2 Peranan <i>PVSyst</i> dalam Perencanaan PLTS	26
2.2.4.3 Parameter Hasil Simulasi <i>PVSyst</i>	26
2.2.4.4 Relevansi dengan Penelitian	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Rancangan Sistem	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Pengambilan Sampel dan Unit Analisis.....	28
3.4 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data.....	29
3.5 Teknik Pengolahan dan Analisis Data	29
3.6 Uji Mutu Data (<i>Quality Control</i>)	29
3.7 Perkiraan Hasil Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil	31
4.1.1 Menentukan Spesifikasi PV Modul	31
4.1.2 Perhitungan dan Pemilihan MPPT <i>Controller</i>	36
4.1.3 Penentuan Spesifikasi Kabel dan Proteksi	37
4.1.4 Solar Panel Ground Mounting	38
4.2 Pembahasan.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	48

DAFTAR PUSTAKA	49
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Spektrum Radiasi Matahari.....	8
Gambar 2.2 Peta Potensi Radiasi Surya di Indonesia	9
Gambar 2. 3 Penampang panel surya.....	11
Gambar 2. 4 Hubungan modul surya dengan ketinggian matahari.....	12
Gambar 2. 5 Pengaruh tingkat radiasi pada I-V panel surya	13
Gambar 2. 6 Panel surya jenis <i>mono-crystalline</i>	14
Gambar 2. 7 Sel surya jenis <i>poly-crytalline</i>	15
Gambar 2. 8 Sel surya jenis <i>amorphous</i>	15
Gambar 2. 9 Jenis semi-konduktor silikon	16
Gambar 2. 10 Konfigurasi Sistem PV	17
Gambar 2. 11 Sistem PLTS <i>Offgrid</i>	19
Gambar 2. 12 <i>Batteray Bank</i>	20
Gambar 2. 13 <i>Controller regulator</i>	20
Gambar 2. 14 Diagram Alir Kerugian Energi.....	24
Gambar 2. 15 Aplikasi PVSyst.....	25
Gambar 4.1 <i>Average Hourly Profile</i>	33

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Kebutuhan komponen utama	5
Tabel 3.1 Data Survey	29
Tabel 4.1 Data potensi energi surya.....	31
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Faktor Rugi Energi Sistem PLTS	34
Tabel 4. 3 Rangka & pondasi.....	39
Tabel 4. 4 Ketinggian & clearances.....	40
Tabel 4. 5 Skema kelistrikan.....	40
Tabel 4. 6 Bill of Materials.....	42
Tabel 4. 7 Parameter Teknis	43
Tabel 4. 8 Data Cuaca dan Radiasi	43
Tabel 4. 9 Faktor kerugian.....	44
Tabel 4. 10 Kinerja Sistem	44
Tabel 4. 11 Kesesuaian Kapasitas system dengan konsumsi energi harian.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian menjadi sektor utama yang mendukung perekonomian masyarakat di daerah pedesaan, termasuk di Desa Oesao, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Namun, salah satu tantangan utama yang masih dihadapi dalam sistem pertanian tradisional adalah ketergantungan terhadap air hujan sebagai sumber irigasi. Ketika musim kemarau tiba, sering kali terjadi kekurangan pasokan air yang mengakibatkan menurunnya produktivitas hasil pertanian. Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan sistem irigasi yang andal dan efisien.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan pompa Sentrifugal untuk mengangkat air dari sumber sumur dalam. Namun, penggunaan pompa ini umumnya memerlukan pasokan listrik yang stabil. Di daerah pedesaan seperti Oesao, keterbatasan akses terhadap jaringan listrik PLN menjadi kendala. Oleh karena itu, pemanfaatan energi baru terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menjadi alternatif yang sangat potensial.

Indonesia, termasuk wilayah Nusa Tenggara Timur, memiliki potensi energi surya yang tinggi dengan rata-rata penyinaran harian di atas 2078,1 kWh/m². Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk mengoperasikan sistem pompa irigasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Dengan merancang sistem panel surya yang terintegrasi dengan pompa Sentrifugal, petani dapat mengakses air irigasi secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Namun, perencanaan sistem PLTS yang tepat membutuhkan pendekatan ilmiah yang terukur. Salah satunya adalah melalui pemodelan dan evaluasi kinerja sistem menggunakan perangkat lunak seperti *PVSyst*. Alat simulasi ini memungkinkan perancang untuk memprediksi performa sistem berdasarkan data iklim, karakteristik beban, dan konfigurasi teknis sistem.

Permasalahan ini menunjukkan adanya kesenjangan (gap) antara kondisi ideal yaitu sistem irigasi mandiri dan andal berbasis energi terbarukan, dengan kondisi nyata yaitu ketergantungan pada pasokan air hujan dan keterbatasan listrik. Oleh karena itu,

penelitian ini penting dilakukan untuk merancang dan mengevaluasi sistem PLTS yang dapat digunakan untuk pengairan lahan pertanian seluas 1,07 hektar di Desa Oesao dengan pendekatan simulatif berbasis perangkat lunak.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a) Bagaimana merancang sistem PLTS yang mampu mendukung operasi pompa untuk irigasi lahan pertanian seluas 1 hektar di Desa Oesao?
- b) Berapa besar kebutuhan daya dan kapasitas panel surya yang diperlukan untuk menjalankan sistem irigasi tersebut secara optimal?
- c) Bagaimana hasil simulasi sistem PLTS menggunakan perangkat lunak *PVSyst* dalam mengevaluasi kinerja sistem irigasi tenaga surya di lokasi tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini berjalan secara terfokus, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a) Penelitian ini hanya difokuskan pada perancangan sistem PLTS *off-grid* untuk pengoperasian pompa Sentrifugal.
- b) Luas lahan yang menjadi objek penelitian dibatasi sebesar 1,07 hektar di Desa Oesao, Kabupaten Kupang.
- c) Sistem irigasi yang dirancang tidak mempertimbangkan penggunaan energi cadangan dari diesel atau baterai malam hari, melainkan hanya fokus pada sistem operasi siang hari.
- d) Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *PVSyst* atau berdasarkan data klimatologi lokasi dan karakteristik teknis pompa.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a) Merancang sistem PLTS yang dapat mengoperasikan pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi lahan pertanian seluas 1,07 hektar.
- b) Menentukan kebutuhan daya dan kapasitas sistem panel surya yang dibutuhkan berdasarkan analisis kebutuhan air dan energi.
- c) Melakukan simulasi dan evaluasi kinerja sistem PLTS menggunakan perangkat lunak *PVSyst* untuk memperoleh performa energi sistem dan kelayakan teknisnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat dikategorikan ke dalam dua aspek, yaitu :

- a) **Manfaat Akademik:** Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang konversi energi, khususnya aplikasi PLTS untuk sektor pertanian, serta memperkaya literatur mengenai pemodelan dan evaluasi sistem menggunakan *PVSyst* .
- b) **Manfaat Aplikatif:** Memberikan solusi nyata bagi masyarakat petani di daerah terpencil untuk memperoleh sistem irigasi mandiri berbasis energi surya, yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik konvensional.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi sistem PLTS standalone dengan kapasitas terpasang 3.200 Wp yang menggunakan 10 modul *SunPower* SPR-E19-320 (320 Wp) dan empat unit baterai *Lithium-ion* (*Pylontech* US2000B, 48 V, 202 Ah) untuk memenuhi kebutuhan energi rata-rata 12 kWh/hari, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem PLTS untuk Mendukung Operasi Pompa Irigasi

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* dengan kapasitas terpasang 3,20 kWp telah dirancang untuk mengoperasikan pompa sentrifugal pada lahan pertanian seluas 1,07 hektar di Desa Oesao, Kabupaten Kupang. Konfigurasi sistem menggunakan 10 modul *SunPower* SPR-E19-320 (320 Wp) yang disusun dalam 5 string seri-paralel, dikombinasikan dengan MPPT *Victron Energy SmartSolar* 150/60, dan baterai *Lithium-ion Pylontech* US2000B (total kapasitas 9,696 kWh). Desain mempertimbangkan kondisi geografis, radiasi tahunan 2.292,4 kWh/m², serta kemiringan panel optimal 15°.

2. Kebutuhan Daya dan Kapasitas Panel Surya

Berdasarkan perhitungan beban, pompa 1,5 kW yang beroperasi selama 8 jam/hari memerlukan energi 12 kWh/hari. Dengan nilai *Specific PV Output* sebesar 1.713,4 kWh/kWp/tahun dan efisiensi sistem 80%, dibutuhkan kapasitas ±3,20 kWp atau 10 modul surya untuk memenuhi kebutuhan energi harian. Kapasitas baterai dipilih agar mampu memberikan cadangan suplai hingga ±15 jam operasi, sehingga menjamin kontinuitas irigasi meskipun radiasi matahari berfluktuasi.

3. Hasil Simulasi Sistem PLTS Menggunakan *PVSyst*

Simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan energi tahunan sebesar 6.155,2 kWh dengan *Performance Ratio* (PR) 58,79% dan *Solar Fraction* (SF) 99,18%, yang berarti hampir seluruh kebutuhan energi pompa terpenuhi oleh PLTS. Kerugian terbesar berasal dari *unused energy* (27,04%) akibat baterai penuh dan beban tidak beroperasi, diikuti *Thermal losses* (12,31%) dan rugi konversi *inverter* (3,90%). Nilai *Loss of Load Probability* (LLP) sebesar 1% menunjukkan keandalan sistem yang tinggi.

5.2 Saran

1. Optimalisasi Pemanfaatan Energi

Untuk mengurangi *unused energy*, disarankan menyesuaikan kapasitas baterai atau menambah beban yang dapat dioperasikan pada saat kondisi surplus energi, seperti pompa cadangan atau peralatan pendukung irigasi.

2. Pengendalian Suhu Modul

Mengingat kehilangan akibat suhu cukup signifikan (12,31%), diperlukan desain pemasangan yang memungkinkan sirkulasi udara optimal di sekitar modul, misalnya dengan jarak pemasangan yang cukup dari permukaan atap atau struktur.

3. Pemeliharaan Berkala

Pemeliharaan rutin pada komponen PV, kabel, konektor, dan sistem proteksi harus dilakukan secara berkala untuk menjaga performa sistem sesuai spesifikasi awal, serta meminimalkan degradasi dan risiko kerusakan dini.

4. Pengembangan Sistem Monitoring

Integrasi sistem monitoring real-time direkomendasikan untuk memantau kinerja harian, efisiensi konversi, dan status baterai, sehingga tindakan *preventif* dapat dilakukan sebelum terjadi penurunan kinerja yang signifikan.

5. Evaluasi Berkala dan *Upgrade* Kapasitas

Dalam jangka menengah hingga panjang, dilakukan evaluasi kapasitas sistem setiap 3–5 tahun untuk menyesuaikan kebutuhan energi yang mungkin meningkat akibat perubahan pola konsumsi atau perluasan area irigasi, termasuk kemungkinan penambahan modul PV atau kapasitas baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deni Tri Laksono¹ , Luis Adi Candra Putra Pratama, Achmad Ubaidillah , Monika Faswia Fahmi , Dedi Tri Laksono, “*Simulasi dan Perancangan PLTS Off-grid 3 kW Menggunakan Software PVsyst*,” J. Teknik Elektro Uniba, vol. 9, no. 2, pp. 581–588, 2025
- [2] M. Rizkillah, “*Analisis Kinerja PLTS Off-Grid untuk Pompa Irigasi Sawah di Kabupaten Ciamis*,” Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2024.
- [3] F. Fitria, “*Perencanaan dan Analisis PLTS Off-Grid untuk Irigasi Pertanian di Lamongan, Jawa Timur*,” Skripsi, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2020.
- [4] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2023). *Climate Data for Indonesia*. Retrieved from <https://www.bmkg.go.id>
- [5] Luque and S. Hegedus, “*Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*”, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2011.
- [6] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems* , 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
- [7] G. N. Tiwari and S. Dubey, “*Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications. Cambridge*”, UK: Royal Society of Chemistry, 2016.
- [8] D. L. Prasetyo, “*Laporan Praktikum Karakteristik Sel Surya*,” dandanluhur.wordpress.com, Jul. 29, 2010.
- [9] J. A. Duffie and W. A. Beckman, “*Solar Engineering of Thermal Processes*”, 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
- [10] International Electrotechnical Commission, “*IEC 61724: Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for Measurement, Data Exchange, and Analysis* “. Geneva, Switzerland: IEC, 2017
- [11] S. A. Kalogirou, “*Solar Energy Engineering: Processes and Systems* “, 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2014.
- [12] M. A. Green, E. D. Dunlop, J. Hohl-Ebinger, M. Yoshita, N. Kopidakis, and X. Hao, “Solar cell efficiency tables (version 60),” *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, vol. 30, no. 7, pp. 673–689, Jul. 2022
- [13] PVSyst SA, “*PVSyst Software Documentation* “. Geneva, Switzerland: University of Geneva, 2022

SCHEDULE PELAKSANAAN

SCHEDULE PERENCANAAN SISTEM PLTS OFF-GRID POMPA IRIGASI															
No	Uraian Kegiatan	Durasi Waktu (Minggu)	2025												KETERANGAN
			Juni				Juni				Juni				
			M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
1	Survei lokasi dan pengumpulan data kebutuhan air dan potensi energi surya	2													Data lahan, debit air, potensi
2	Analisis kebutuhan daya pompa dan perhitungan jumlah panel surya dan baterai	1													Hitung kapasitas pompa dan PLTS
3	Perancangan sistem penyimpanan energi dan inverter	1													Desain inverteR
4	Pengadaan komponen PLTS dan pompa	2													Pembelian panel, inverter
5	Persiapan instalasi saluran irigasi	1													Saluran primer dan sekunder
6	Persiapan instalasi sistem PLTS di lokasi	1													Penempatan panel dan perangkat
7	Instalasi sistem PLTS dan pompa irigasi	2													Pemasangan dan integrasi sistem
8	Pengujian sistem secara menyeluruh	2													Fungsi pompa, output listrik
9	Pelatihan penggunaan dan pemeliharaan sistem	1													Training operator dan evaluasi