

DESAIN DAN ANALISA UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA DINAS ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL PROVINSI PAPUA

¹ Eka Amartya, ² Awan Uji Krismanto, ³ Aryuanto Soetedjo

Teknik Elektro S1, ITN Malang, Malang Indonesia

¹ekaavriese@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³aryuanto@lecturer.itnac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis kinerja pembangkit listrik tenaga surya yang diimplementasikan di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Papua. Dengan memanfaatkan potensi energi matahari yang melimpah di wilayah Papua, penelitian ini mengevaluasi efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya dan kontribusinya terhadap pemenuhan kebutuhan energi setempat. Metodologi penelitian meliputi perancangan sistem fotovoltai (PV), pemasangan komponen, serta pemantauan dan analisis data operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga surya yang dirancang mampu menghasilkan daya yang konsisten dengan potensi maksimal, meskipun terdapat beberapa variabilitas terkait kondisi cuaca dan intensitas cahaya matahari. Studi ini juga mengidentifikasi beberapa faktor kritis yang mempengaruhi kinerja sistem, seperti sudut kemiringan panel, efisiensi inverter, dan pemeliharaan rutin. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan proyek energi terbarukan di Papua dan wilayah lain yang memiliki karakteristik serupa.

Kata Kunci: Analisis, Kinerja, PLTS, Fotovoltai, Papua.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Papua, salah satu provinsi di Indonesia, memiliki potensi energi matahari yang melimpah sepanjang tahun. Sumber daya alam ini belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi lokal, yang sebagian besar masih mengandalkan sumber daya energi fosil dan pembangkit listrik tenaga diesel. Keterbatasan akses dan distribusi energi di wilayah terpencil Papua menjadi tantangan tersendiri dalam penyediaan energi yang stabil dan berkelanjutan[1]. Dengan meningkatnya kesadaran global akan pentingnya energi terbarukan, teknologi pembangkit listrik tenaga surya menjadi salah satu solusi potensial untuk mengatasi masalah energi di wilayah tersebut. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Papua memiliki peran penting dalam mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan, termasuk tenaga surya, untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan mendukung pembangunan berkelanjutan[2]. Penelitian ini berfokus pada

perancangan dan analisis kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya yang diimplementasikan di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Papua. Dengan memanfaatkan potensi energi matahari yang melimpah, Studi ini bertujuan untuk menilai efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya dan kontribusinya terhadap pemenuhan kebutuhan energi setempat. Studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang bagaimana sistem fotovoltai (PV) dapat dioptimalkan untuk kondisi spesifik di Papua, serta mengidentifikasi faktor-faktor kritis yang mempengaruhi kinerjanya[3]. Dalam upaya merancang sistem yang efisien dan andal, metodologi penelitian meliputi perancangan sistem PV, pemasangan komponen, serta pemantauan dan analisis data operasional. Hasil dari penelitian ini akan memberikan wawasan berharga tentang performa pembangkit listrik tenaga surya di Papua, serta tantangan dan peluang yang dihadapi dalam penerapannya. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan proyek energi terbarukan di Papua dan wilayah lain yang memiliki karakteristik serupa, sehingga dapat mendukung transisi menuju energi yang lebih bersih dan berkelanjutan[4]. Selain mempertimbangkan keandalan pasokan listrik dari PLN, berbagai analisis menunjukkan bahwa energi terbarukan akan menjadi kebutuhan di masa depan. Hal ini disebabkan oleh semakin berkurangnya ketersediaan energi fosil. Namun, kesadaran akan pentingnya energi terbarukan masih sangat rendah di kalangan masyarakat. Selain itu, ada anggapan bahwa investasi awal untuk memanfaatkan energi terbarukan sangat mahal[5]. Energi merupakan aspek penting dalam kehidupan modern. Pertumbuhan populasi menyebabkan peningkatan Kebutuhan energi di masyarakat semakin meningkat. Selama ini, masyarakat telah mengandalkan sumber energi yang tidak bersahabat dengan lingkungan. Oleh karena itu, kesadaran untuk mencari alternatif energi yang lebih ramah lingkungan, seperti energi terbarukan, mulai berkembang. Salah satu pilihan yang sangat tepat untuk diterapkan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia memiliki potensi yang sangat baik karena letak geografisnya yang berada di garis khatulistiwa [6].

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang tersebut maka muncul rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisa unjuk kerja PLTS pada Kantor Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Daya Provinsi Papua?
2. Bagaimana memperbaiki profil tegangan pada PLTS dalam memenuhi kebutuhan daya pada Kantor Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Daya Provinsi Papua?

C. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisa unjuk kerja PLTS dalam memenuhi kebutuhan daya pada Kantor Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Daya Provinsi Papua.
2. Mengetahui kapasitas profil tegangan PLTS untuk memenuhi kebutuhan daya pada Kantor Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Daya Provinsi Papua.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Pembangkit Listrik Surya (PLTS)

a. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Secara keseluruhan, pengaturan sistem generator listrik tenaga surya dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Sistem PLTS terpusat (*off grid / stand-alone sistem*)
 2. Sistem PLTS yang terkoneksi dengan jaringan listrik utama (*on grid / grid connected*)
 3. Sistem PLTS tersebar (*hybrid*):
- b. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya
1. Penangkapan Sinar Matahari: Penangkapan Sinar Matahari:
 - Panel Surya: Panel surya menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik arus searah (DC) melalui sel fotovoltaik.
 2. Konversi Listrik:
 - Inverter: Inverter adalah perangkat elektronika daya yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC Direct Current menjadi tegangan AC Alternating Current. Output Inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus sine wave, gelombang kotak square wave dan sinus modifikasi (sinewave modified). Sumber tegangan input Inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain.
 3. Distribusi dan Penggunaan:
 - Penggunaan Langsung: Listrik AC langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah atau gedung.
 - Penyimpanan dalam Baterai (Opsional): Energi disimpan dalam baterai untuk digunakan ketika sinar matahari tidak ada.
 - Pengembalian ke Jaringan: Kelebihan listrik bisa dikirim kembali ke jaringan listrik umum untuk digunakan oleh konsumen lain.

4. Kontrol dan Pemantauan:

- Controller: Mengatur pengisian dan penggunaan energi dari baterai serta memastikan sistem berjalan optimal.
- Sistem Pemantauan: Mengawasi kinerja sistem PLTS, termasuk energi yang dihasilkan dan digunakan.

Secara singkat, PLTS mengubah energi matahari menjadi listrik yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari dengan cara yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Prinsip kerja panel surya adalah ketika sinar matahari mengenai panel, elektron-elektron akan akan mendapatkan energi foton dan akan bergerak bebas.. Elektron tersebut akan berpindah dari N ke P sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan timbul beda potensial. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC).

c. Jenis – jenis PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu:

1. On-Grid

Berdasarkan definisinya, PLTS on-grid adalah sistem yang hanya dapat memproduksi listrik ketika terdapat aliran listrik dari jaringan (PLN)

2. Off – Grid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-grid adalah sistem pembangkit listrik yang berfungsi secara independen dan tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini menggunakan penyimpanan energi seperti baterai untuk memastikan pasokan listrik tetap ada di malam hari atau saat intensitas sinar matahari menurun

B. Kapasitor

Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), kapasitor berfungsi untuk menyimpan dan menstabilkan energi listrik. Berikut penjelasan singkat mengenai cara kerjanya:

1. Penyimpanan Energi:

- Kapasitor menyimpan sementara energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Ketika ada kelebihan energi, kapasitor menyimpannya untuk digunakan saat diperlukan.

2. Stabilisasi Tegangan:

- Stabilisasi Tegangan: Kapasitor membantu menstabilkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya, meratakan fluktuasi tegangan yang terjadi karena perubahan intensitas sinar matahari.

3. Pengurangan Ripple:

- Pengurangan Ripple: Kapasitor mengurangi riak dalam arus listrik, yang bisa menyebabkan kerusakan atau menurunkan efisiensi perangkat elektronik yang terhubung.

Secara keseluruhan, kapasitor membantu menjaga kestabilan dan kualitas aliran listrik dalam sistem PLTS, memastikan energi yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal dan aman.

C. Trafo

Dalam konteks Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), transformator (trafo) memainkan peran penting dalam mengubah tegangan listrik agar dapat dikirim dan

didistribusikan dengan efisien. Berikut beberapa poin utama tentang trafo di jaringan PLTS :

1. Fungsi Utama Trafo pada PLTS :

- Penyesuaian Tegangan: Trafo digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran dari inverter PLTS agar cocok dengan tegangan jaringan distribusi atau transmisi.
- Pengurangan Tegangan: Trafo juga bisa digunakan untuk menurunkan tegangan saat distribusi ke konsumen akhir.

2. Jenis Trafo yang Digunakan :

- Trafo Step-Up: Biasanya digunakan di sisi keluaran inverter untuk menaikkan tegangan dari level rendah (misalnya 400V) ke level yang lebih tinggi (misalnya 20kV atau 33kV) untuk pengiriman jarak jauh.
- Trafo Step-Down: Digunakan di sisi penerima untuk menurunkan tegangan ke level yang lebih aman untuk penggunaan konsumen.

3. Desain dan Spesifikasi :

- Kapasitas Daya: Kapasitas daya trafo harus sesuai dengan output dari PLTS untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah overloading.
- Efisiensi: Trafo yang efisien penting untuk meminimalkan kerugian daya selama konversi tegangan.
- Pendinginan: Trafo besar mungkin memerlukan sistem pendinginan untuk mencegah overheating.

4. Pengoperasian dan Pemeliharaan :

- Pemantauan: Trafo memerlukan pemantauan rutin untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah gangguan.
- Pemeliharaan Berkala: Termasuk pemeriksaan visual, pengujian minyak isolasi (jika ada), dan pembersihan bagian luar.

5. Keamanan dan Proteksi :

- Proteksi Overload: Sistem proteksi untuk mencegah kerusakan akibat kelebihan beban.
- Proteksi Terhadap Hubungan Pendek: Penting untuk mencegah kerusakan trafo dan komponen lain di jaringan.

6. Integrasi dengan Sistem PLTS :

- Sinkronisasi: Trafo harus sinkron dengan output inverter dan jaringan listrik utama untuk memastikan pasokan daya yang stabil.
- Kompatibilitas: Trafo harus kompatibel dengan inverter dan sistem PLTS lainnya untuk memastikan efisiensi dan keamanan. Menggunakan trafo yang tepat dalam jaringan PLTS memastikan listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat dikirimkan secara efisien ke jaringan distribusi dan sampai ke konsumen dengan aman.

D. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang bertujuan untuk mengonversi sinar matahari menjadi tenaga listrik dengan menggunakan sel-sel. fotovoltaik yang sering disebut sebagai sel PV. Sel PV biasanya dirancang dalam satu kesatuan yang disebut Panel Surya atau Modul. Sel-sel ini

terdiri dari lapisan-lapisan tipis silikon murni dan material semikonduktor lainnya. Ketika lapisan-lapisan ini menerima energi dari cahaya, elektron di dalamnya terpicu dan menjadi elektron yang bergerak bebas, menghasilkan tegangan listrik arus searah. Dengan menghubungkan sel-sel fotovoltaik secara seri atau paralel, kita dapat menyusun modul PV yang terdiri dari kurang lebih 40 sel surya. Secara umum, PLTS adalah sumber daya energi yang dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik, mulai dari yang berskala kecil hingga besar, baik secara mandiri maupun dalam sistem yang terintegrasi. PLTS terdiri dari beberapa komponen, yaitu: panel surya, Pengatur Pengisian Baterai (BCR), baterai, dan inverter. Panel surya sebagai komponen utama dari sistem ini berfungsi untuk menghasilkan listrik selama ada sinar matahari. Energi listrik yang dihasilkan akan ditampung dalam baterai melalui proses pengisian, sehingga dapat digunakan kapan saja, baik di siang hari maupun malam. BCR bertugas untuk mengelola proses pengisian pada baterai. Energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat langsung digunakan untuk kebutuhan beban DC. Namun, untuk kebutuhan beban AC, energi listrik DC yang tersimpan di baterai perlu diubah menjadi energi listrik AC dengan bantuan inverter.

PLTS memiliki beberapa jenis Panel surya yang dapat dilihat pada gambar 1 tentang jenis-jenis panel surya berikut penjelasannya :

1. Monocrystalline Silicon

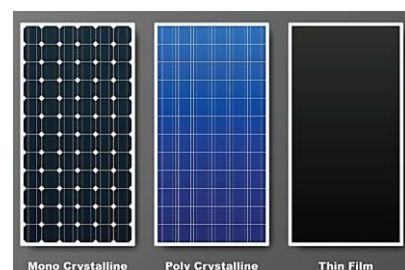
Jenis panel yang paling banyak digunakan karena memiliki kelebihan yang dimiliki. Salah satunya yaitu efisiensi konversi energi listrik yang dimiliki oleh bahan PV ini yaitu 15%. Namun jenis panel surya ini perlu membutuhkan cahaya yang cukup terang saat beroperasi.

2. Polycrystalline Silicon

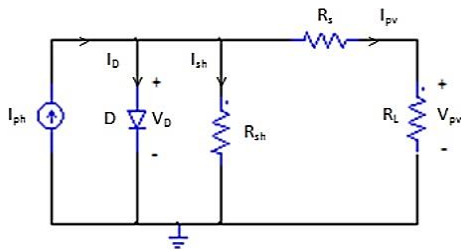
Panel surya ini memiliki susunan yang lebih rapat dan rapi, Namun, apabila dibandingkan dengan monocrystalline, efisiensi pada panel ini sangatlah rendah. Oleh karena itu diperlukan penampang yang lebih besar untuk dapat menghasilkan listrik dengan jumlah yang sama.

3. Thin Film Solar Cell

Kelebihan yang dimiliki oleh PV ini yaitu mempunyai kondisi fisik yang tipis sehingga memiliki bobot yang ringan dan fleksibel. Efisiensi pada PV cukup rendah, hanya memiliki penangkapan cahaya sebesar 8,5%. Untuk penggunaannya PV ini cocok untuk kebutuhan komersil.



Gambar 1. Jenis - jenis Panel Surya



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Panel Surya

Pada gambar 2 dapat diketahui bahwa Ketika sel surya menerima cahaya matahari, arus fotolistrik (I_{ph}) dihasilkan. Dioda memastikan arus hanya mengalir dalam satu arah. Tegangan di sepanjang dioda (V_D) mempengaruhi arus total yang dapat diekstraksi. Resistor shunt (R_{sh}) mengurangi arus bocor, dan resistor seri (R_s) memperhitungkan kerugian resistansi internal. Tegangan terminal (V_{pv}) dan arus keluaran (I_{pv}) dapat digunakan untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh sel surya. Untuk menentukan daya yang dikeluarkan oleh PLTS dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Daya PLTS} = \frac{\text{Total Energi PLTS Dalam Sehari}}{\text{Baterai Yang Digunakan}} \quad (1)$$

Dimana :

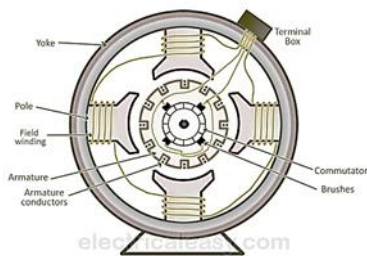
E_b = Energi Beban (Watt/jam)

E_p = Energi Panel Surya (Watt/jam)

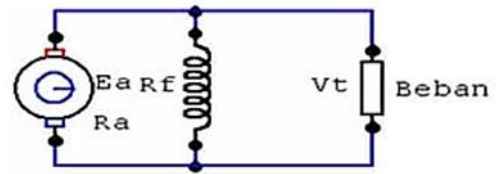
Panel surya umumnya memiliki masa pakai sekitar 25 sampai 30 tahun, yang merupakan durasi signifikan untuk produksi energi serta memperoleh keuntungan dari investasi yang dilakukan

E. Generator

Generator merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik yang dapat berasal dari sumber seperti panas, air, uap, dan lain-lain. Energi listrik yang di hasilkan oleh generator dapat berubah listrik AC (listrik bolak-balik atau DC (listrik searah). Hal ini tergantung pada desain generator yang digunakan oleh pembangkit listrik. Sebagian besar listrik yang di gunakan konsumen untuk kebutuhan sehari-hari di hasilkan generator sinkron fase banyak yang dapat di pusat pembangkit listrik. Generator sinkron yang digunakan ini memiliki kapasitas daya yang berkisar antara ratusan hingga ribuan mega volt ampere (MVA).



Gambar 3. Generator



Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Generator

Pada gambar di atas menunjukkan rangkaian ekuivalen dari suatu generator. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen-komponen utama dalam rangkaian tersebut:

1. Generator: Sumber energi yang menghasilkan tegangan. Dalam diagram, ini digambarkan dengan simbol yang menunjukkan terminal positif dan negatif.
2. Tegangan (Voltage): Menunjukkan tegangan output yang dihasilkan oleh generator. Ini adalah energi yang diberikan kepada beban.
3. Resistor Internal (R): Menunjukkan resistansi internal dari generator, yang dapat mempengaruhi efisiensi dan performa generator ketika terhubung dengan beban.
4. Beban (Load Resistor): Merupakan komponen yang menerima energi dari generator. Beban ini bisa berupa perangkat apa pun yang menggunakan energi listrik.
5. Regulator (Reg): Digunakan untuk mengatur tegangan output agar tetap stabil meskipun terjadi variasi dalam beban atau input.

Rangkaian ini membantu dalam menganalisis kinerja generator serta bagaimana ia beroperasi dalam sistem kelistrikan.

F. Baterai

Baterai adalah elemen kunci dalam sistem PLTS off-grid yang memiliki peranan penting sebagai tempat untuk menyimpan energi listrik. Jika kondisinya lemah atau tidak berfungsi dengan baik, hal ini dapat menyebabkan gangguan pada Sistem PLTS juga dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen PLTS lainnya. Baterai berfungsi dengan melalui proses pengumpulan dan pengeluaran energi, yang bergantung pada ketersediaan sinar matahari

G. Inverter

Inverter merupakan sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Saat ini, terdapat berbagai jenis topologi inverter, mulai dari yang menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (modified sine wave) hingga yang menghasilkan tegangan sinus murni (pure sine wave), yang mencakup inverter satu fasa, tiga fasa, hingga multifasa. Dalam sektor industri, inverter berperan sebagai alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengubah listrik DC menjadi AC. Inverter juga berfungsi untuk mengontrol kecepatan motor listrik atau servo, yang sering disebut sebagai converter drive. Sementara untuk servo, istilah yang lebih umum digunakan adalah servo drive. Dengan adanya inverter, motor listrik dapat beroperasi dengan kecepatan variabel. Kecepatannya dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan. Inverter kerap kali

disebut sebagai Variable Speed Drive (VSD) atau Variable Frequency Drive (VFD).



Gambar 5. Inverter

H. Solar Charge Controller

Pengontrol pengisian berfungsi untuk memastikan baterai tidak mengalami pengeluaran muatan yang berlebihan (over discharge) atau pengisian muatan yang berlebihan (over charge) yang bisa mempersingkat usia baterai. Pengontrol ini mampu mengatur tegangan dan arus yang masuk dan keluar dari baterai sesuai dengan kondisinya. Banyak orang menyebut pengontrol ini dengan istilah pengontrol pengisian surya atau pengontrol pengisian baterai. Ketika pengontrol pengisian menghubungkan panel surya ke baterai atau perangkat lain seperti inverter, maka biasanya disebut pengontrol pengisian surya. Namun, jika koneksi ini ada antara inverter dan baterai, umumnya di sebut pengontrol pengisian baterai, meskipun istilah ini tidak selalu konsisten.



Gambar 6. Solar Charge Controller

J. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat berfungsi secara offline untuk melakukan simulasi tenaga listrik, serta secara online untuk mengolah data real-time atau untuk mengendalikan sistem secara langsung. ETAP merupakan *softwer* full gratis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi system tenaga Listrik secara *offline* dalam modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, sumulasi system *real time*, optimasi, manajemen energi system dan simulasi intelligent load shedding. ETAP didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi system tenaga Listrik baik disisi utility. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan kabel (cable raceways), grid pentanahan (protective device coordination/selectivity), dan AC/DC control system diagram.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

a. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga langkah utama, yaitu kajian literatur, pengumpulan data, serta simulasi dan analisa. Berikut adalah ringkasan dari metodologi yang diterapkan :

1. Kajian Literatur :
 - Kajian pustaka dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang relevan dengan topik penelitian.
 - Referensi yang digunakan meliputi buku-buku akademis dan jurnal ilmiah yang terkait dengan sistem jaringan distribusi listrik dan energi surya.
 - Tujuannya adalah untuk memahami konsep dasar dan pendekatan yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya.
2. Pengumpulan Data :
 - Data yang dikumpulkan meliputi informasi mengenai sistem aliran daya kelistrikan PLTS Ampas.
 - Pengumpulan data ini bertujuan untuk menyediakan input yang akurat dan komprehensif bagi proses simulasi.
3. Simulasi dan Analisa :
 - Fokus utama dari simulasi adalah analisa aliran daya (power flow analysis).
 - Hasil simulasi dianalisa untuk memahami kondisi aliran daya.
 - Perbandingan dilakukan antara kondisi sistem tanpa menggunakan kapasitor dan kondisi setelah menggunakan kapasitor.
 - Analisa ini membantu untuk mengidentifikasi kondisi aliran daya pada sistem untuk mengetahui kinerja dari PLTS.

Dengan mengikuti langkah-langkah ini, penelitian bertujuan untuk mengkaji pengaruh integrasi energi surya terhadap sistem kelistrikan yang ada, serta menawarkan solusi untuk peningkatan efisiensi energi.

B. Spesifikasi alat yang di gunakan pada perancangan pembangkit PLTS di area perkampungan yaitu:

1. Pada tabel 2, menunjukkan panel surya yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Panel Surya	
Spesifikasi	Keterangan
Jenis Panel	<i>poly-crystalline</i>
Peak Power (Pmax)	260 Wp
Optimum Operating Voltage (Vmp)	29,61 V
Optimum Operating Current (Imp)	8,81 A
Open Circuit Volt (Voc)	36,24 V

Short Circuit Current (Isc)	9,29 A
Module Effisiensi	0.16%

2. Pada tabel 3, menunjukkan Baterai yang akan digunakan sebagai berikut :

Tabel 3. Spesifikasi Baterai

Spesifikasi	Keterangan
Model NO.	FE21H3.0NG
Merk	Fluidic Energy
System Voltage Compatibility	48 VDC
Regulated Output Volyage	42-52 VDC
Charge Voltage	52-60 VDC
Rated Energy Capacity (E/16)	21 kWh
Peak Output Power Rating	3.0 kW
Nominal Daily Use Power	750 W
Maximun Charge Power	6.0 kW
Intelligent Power Module Controller	96%,15 W
Total System Weight	957 kg
Cabinet Dimensions	1940 x 1560 x 875

3. Pada tabel 4, menunjukan Inverter Off Grid yang akan digunakan sebagai berikut :

Tabel 4. Spesifikasi Inverter Off Grid

Spesifikasi	Keterangan		
No. Unit	1 (Main Cluster)	1 (Ext. Cluster 1)	1 (Ext.Cluster) 2
Merk	Sunny Island		
Pembuat	SMA Solar Technology AG		
Negara Pembuat	Jerman		
Tipe/Model	SI8.OH-11		
Nomor seri	1261027633	1261027578	1261024812
Tegangan DC Nominal (VDC nom)	48 V		
Arus DC Masukan Nominal (IDC in nom)	136 A		
Arus DC Keluaran Nominal (IDC out nom)	115 A		
Tegangan AC Nominal (VAC nom)	230 V		
Daya Aktif AC Nominal (PAC)	6000 W		

nom)	
Arus AC Keluaran Nominal (IAC out nom)	26,1 A
Arus AC Masukan Maksimun (IAC in max)	50 A
Faktor Daya	-1 sampai +1
Frekuensi AC (fac)	50 Hz
Ingress Protection	IP54

4. Pada tabel 5, menunjukkan data beban yang akan digunakan sebagai berikut :

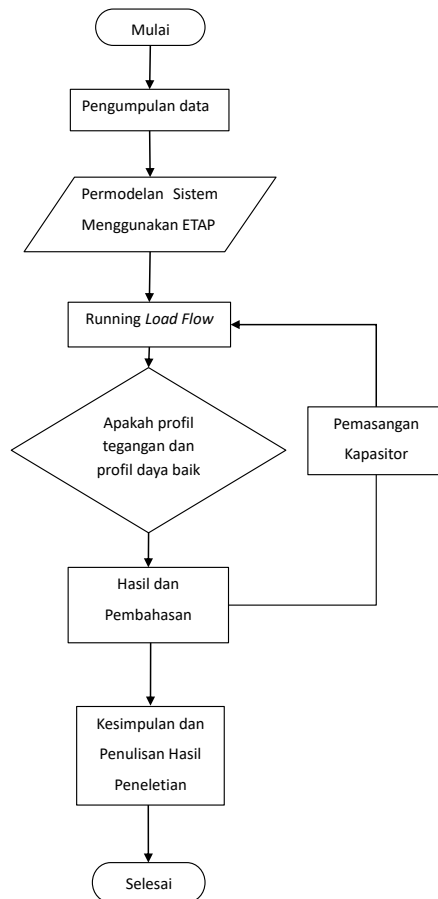
Tabel 5. Spesifikasi Beban

BUS ID	Load ID	KVA
Bus1	Balai Kampung	0.75
Bus1	Gereja St. Petrus Ampas	1.5
Bus1	Kantor Kampung	1
Bus1	Paud Tunas Komea	0.75
Bus1	SD Ampas	1
Bus1	SMP N Ampas	1.5
Bus1	Posyandu Ampas	0.75
Bus1	Rumah Adat	0.75
Bus1	Rumah Warga	5.5
Bus1	Power House Ampas	0.1
Bus1	PJU	9.15
Bus1	CAP1	25

C. FlowChart

Alur penelitian ini akan dijelaskan secara singkat, yaitu dimulai dari :

1. Pengumpulan data :
Data yang digunakan adalah data komponen dari sistem PLTS Ampas hingga data beban dari desa Ampas. Data ini merupakan data dari spesifikasi komponen.
2. Pemodelan sistem :
Pemodelan sistem dimulai dari membuat SLD dan input data spesifikasi komponen dan data hasil pengukuran.
3. *Running load flow* (aliran daya) :
Analisa *load flow* bertujuan untuk mengetahui aliran daya sistem saat kondisi tertentu. Jika sistem dalam keadaan normal maka akan dilanjutkan ke analisa hasil dan pembahasan penelitian. Namun jika terdapat bus yang mengalami *undervoltage*, maka akan dilakukan optimasi dengan pemasangan kapasitor bank.
4. Hasil dari analisa kemudian dituliskan dan dibuat laporan hasil analisa secara keseluruhan.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Dalam menentukan unjuk kerja dari suatu system PLTS dibutuhkan Analisa dan data-data spesifik dari komponen dan peralatan yang digunakan. Analisa data ini akan digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kinerja dari system. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi aliran daya menggunakan *software ETAP* untuk mengetahui kinerja dari system PLTS Ampas. Sehingga Langkah awal untuk melakukan simulasi aliran daya adalah dimulai dengan membuat *Single Line Diagram (SLD)* system kelistrikan PLTS Ampas, kemudian dilanjutkan dengan memasukan data komponen yang digunakan, selanjutnya jalankan *Load Flow Analysis* pada *software ETAP*. Dalam menentukan unjuk kerja dari suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), diperlukan analisis dan data-data spesifik dari komponen dan peralatan yang digunakan. Analisis data ini akan digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kinerja dari sistem tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi aliran daya menggunakan *software ETAP* untuk mengetahui kinerja dari sistem PLTS Ampas. *ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)* merupakan *software* yang digunakan untuk analisis, simulasi, dan pemodelan sistem

kelistrikan. Simulasi ini penting untuk memahami bagaimana sistem PLTS beroperasi di bawah berbagai kondisi dan untuk mengidentifikasi potensi masalah yang mungkin muncul. Langkah awal untuk melakukan simulasi aliran daya adalah dimulai dengan membuat *Single Line Diagram (SLD)* sistem kelistrikan PLTS Ampas. SLD adalah representasi grafis sederhana dari sistem kelistrikan yang menunjukkan hubungan antara komponen utama seperti panel surya, inverter, baterai, dan beban. Setelah SLD dibuat, langkah selanjutnya adalah memasukkan data komponen yang digunakan ke dalam *software ETAP*. Data komponen yang diperlukan meliputi spesifikasi teknis panel surya, inverter, baterai, dan perangkat lain yang terkait. Informasi ini mencakup daya keluaran, efisiensi, karakteristik tegangan dan arus, serta parameter lain yang relevan. Setelah data komponen dimasukkan, langkah berikutnya adalah menjalankan *Load Flow Analysis* pada *software ETAP*. *Load Flow Analysis* adalah proses untuk menentukan aliran daya dalam sistem kelistrikan di berbagai titik dan beban. Analisis ini membantu untuk mengetahui distribusi tegangan, arus, dan daya pada setiap komponen dalam sistem, serta untuk mengidentifikasi potensi masalah seperti tegangan rendah, kelebihan beban, atau ketidakseimbangan daya. Hasil dari *Load Flow Analysis* akan memberikan gambaran tentang kinerja sistem PLTS Ampas dalam kondisi operasi normal. Analisis ini memungkinkan untuk mengevaluasi apakah sistem beroperasi sesuai dengan desain dan spesifikasi, serta untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan atau penyesuaian. Dengan menggunakan hasil simulasi aliran daya dari *software ETAP*, penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang kinerja dan efisiensi sistem PLTS Ampas. Hasil analisis ini diharapkan dapat membantu dalam optimalisasi desain sistem PLTS dan meningkatkan keandalan serta efisiensi operasionalnya. Selain itu, temuan dari penelitian ini dapat menjadi acuan bagi implementasi dan pengembangan proyek PLTS di wilayah lain yang memiliki kondisi serupa, sehingga dapat mendukung penggunaan energi terbarukan yang lebih luas dan berkelanjutan.

adalah 99.35% dari tegangan nominalnya, hal ini menunjukkan bahwa bus1 mengalami peningkatan pada profil tegangan.

a. Data hasil Load Flow Tegangan

Tabel 8. Profil Tegangan PLTS

BUS ID	TEGANGAN BUS (%)	
	Tanpa Kapasitor	Dengan Kapasitor
dc Bus1	100	100
dc Bus2	100	100
dc Bus3	100	100
dc Bus5	100	100
Bus1	96.55	99.35
Bus7	98.37	99.72
Bus9	98.16	99.59

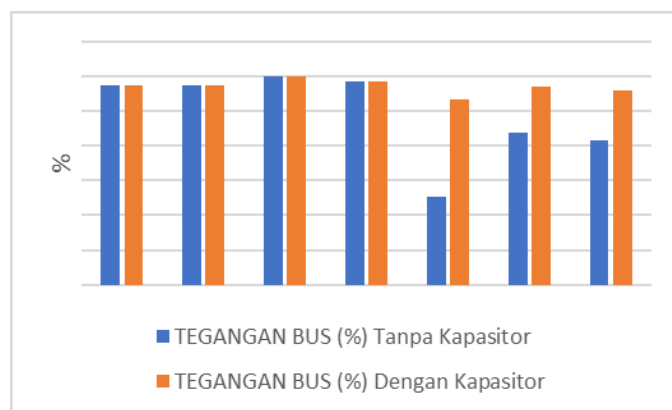
D. Perbandingan tanpa kapasitor dan ada kapasitor

a. Perbandingan Tegangan sebelum dan sesudah terpasang Kapasitor

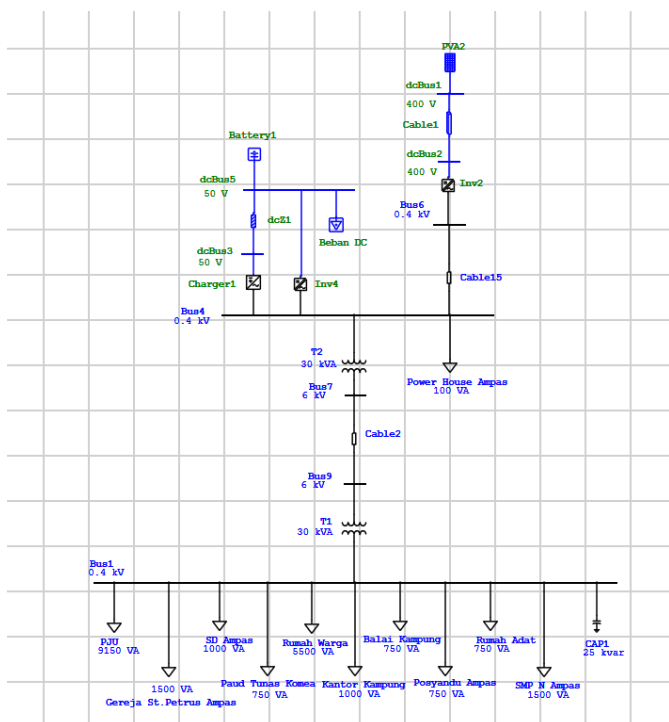
Dibawah ini menampilkan tabel bahwa sistem kelistrikan Pembangkit PLTS Distrik Ampas memiliki 7 bus dimana bus7 dan bus9 merupakan saluran trafo dari jaringan listrik yang kemudian disalurkan ke bus beban yang dihasilkan dari 1. Bus.

Tabel 9. Tegangan sebelum dan sesudah terpasang Kapasitor

BUS ID	TEGANGAN BUS (KV)	
	Tanpa Kapasitor	Dengan Kapasitor
dc Bus1	100	100
dc Bus2	100	100
dc Bus3	100	100
dc Bus5	100	100
Bus1	96.55	99.35
Bus7	98.37	99.72
Bus9	98.16	99.59



Gambar 9. Grafik Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pasang Kapasitor



Gambar 8. Single Line Diagram PLTS Ampas

A. Analisa Aliran Daya (Load Flow)

Analisa aliran daya dilakukan menggunakan *software ETAP* dengan metode *Load Flow Analysis*. Parameter yang dianalisis setelah *running Load Flow Analysis* adalah profil tegangan bus, profil daya (daya aktif dan daya reaktif).

B. Analisa Aliran daya Sebelum Pemasangan Kapasitor

Tabel 6. Profil tegangan dan Daya pada bus

Bus ID	Voltage (%)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
Bus1	96.55	0.0179	0.0111
Bus7	98.37	0.0182	0.0114
Bus9	98.16	0.0182	0.0114

Dari tabel 6 dapat dilihat presentase tegangan pada bus1 adalah 96,55% dari tegangan nominalnya, hal ini menunjukkan bahwa bus1 mengalami *under voltage* dengan *alert marginal*. Dimana jika tegangan dengan kondisi *alert marginal* harus diperhatikan agar segera dilakukan langkah optimasi atau perbaikan profil tegangan.

C. Analisa Aliran Daya Sesudah Pemasangan Kapasitor

Tabel 7. Profil tegangan dan Daya pada bus

Bus ID	Voltage (%)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
Bus1	99.35	0.019	0.0247
Bus7	99.72	0.0193	0.0126
Bus9	99.59	0.0193	0.0126

Dari tabel 7 dapat dilihat presentase tegangan pada bus1

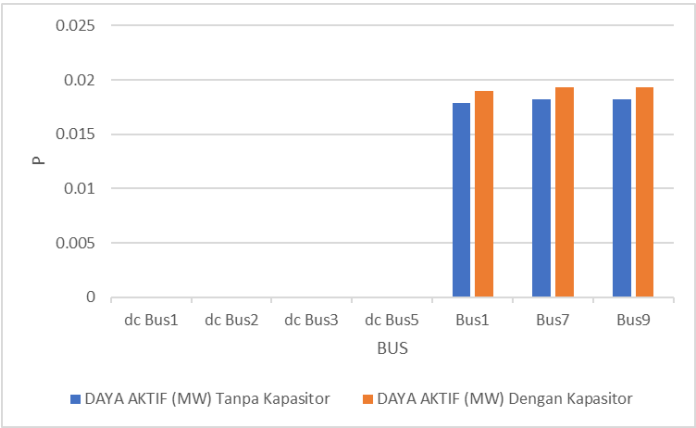
Dilihat dari Tabel 9 dan Grafik 4 merupakan perbandingan profil tegangan bus antara sebelum pemasangan sebelum pemasangan kapasitor dan sesudah pemasangan kapasitor terpasang, dapat kita ketahui bahwa tegangan bus sebelum pemasangan kapasitor terdapat *under voltage* pada bus 1 dengan nilai 96,55%, dan sesudah pemasangan kapasitor profil tegangan bus 1 mengalami peningkatan pada profil tegangan sebesar 99,35%, dapat dilihat pada bus 1.

b. *Perbandingan Aliran Daya Aktif Sebelum dan sesudah pemasangan Kapasitor*

Di bawah ini ditampilkan tabel dan grafik perbandingan Daya Aktif (MW) dari hasil simulasi load flow sebelum dan sesudah pemasangan PLTS 20 kWp pada sistem kelistrikan Pembangkit PLTS Distrik Ampas menggunakan perangkat lunak ETAP.

Tabel 10. Daya aktif sebelum dan sesudah terpasang Kapasitor

BUS ID	DAYA AKTIF (MW)	
	Tanpa Kapasitor	Dengan Kapasitor
dc Bus1	0	0
dc Bus2	0	0
dc Bus3	0	0
dc Bus5	0	0
Bus1	0.0179	0.019
Bus7	0.0182	0.0193
Bus9	0.0182	0.0193



Gambar 10. Grafik Perbandingan daya aktif sebelum dan sesudah pasang Kapasitor

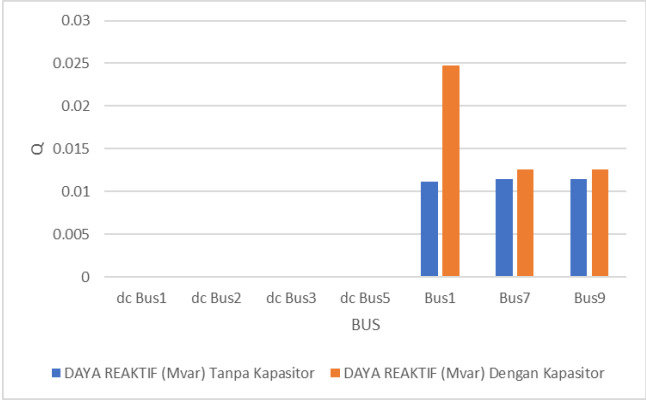
Grafik perbandingan daya aktif sebelum dan sesudah pemasangan PLTS 20 kWp menunjukkan perubahan nilai daya aktif (MW) yang dihasilkan oleh sistem kelistrikan. Grafik ini memberikan visualisasi yang jelas mengenai dampak dari pemasangan PLTS terhadap daya aktif yang tersedia dalam sistem. Berdasarkan Tabel 10 dan Gambar 5, daya aktif pada bus beban yang dimulai dari bus 1 sebelum integrasi PLTS adalah 0,0179 MW. Setelah integrasi PLTS ke dalam sistem, daya aktif pada bus 4 meningkat menjadi 0,019 MW.

c. *Perbandingan Aliran Daya Reaktif sebelum dan sesudah terpasang Kapasitur*

Dibawah ini menampilkan tabel dan grafik perbandingan Daya Hasil simulasi load flow menunjukkan bahwa pemasangan PLTS 20 kWp dapat mempengaruhi daya reaktif (kvar) dalam sistem kelistrikan. Secara umum, integrasi PLTS dapat mengurangi losses dan meningkatkan profil tegangan, yang berpotensi mempengaruhi nilai reaktif pada sistem pemasangan PLTS 20Kwp pada sistem kelistrikan Pembangkit PLTS Distrik Ampas menggunakan *software* ETAP.

Tabel 11. Daya reaktif sebelum dan sesudah terpasang Kapasitor

BUS ID	DAYA REAKTIF (Mvar)	
	Tanpa Kapasitor	Dengan Kapasitor
dc Bus1	0	0
dc Bus2	0	0
dc Bus3	0	0
dc Bus5	0	0
Bus1	0.0111	0.0247
Bus7	0.0114	0.0126
Bus9	0.0114	0.0126



Gambar 11. Grafik Perbandingan daya aktif sebelum dan sesudah pasang Kapasitor

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP pada sistem kelistrikan Pembangkit PLTS Distrik Ampas, baik sebelum maupun sesudah integrasi PLTS, terlihat bahwa profil daya reaktif di bus beban yang dimulai dari bus 1 tidak mengalami perubahan signifikan. Hal ini ditunjukkan dalam Tabel 11 dan Gambar 6. Penyebabnya adalah PLTS tidak menghasilkan daya reaktif, sehingga kebutuhan daya reaktif beban di Pembangkit PLTS Distrik Ampas tetap dipenuhi oleh grid PLN.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Dari simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini, terlihat bahwa
- 2 dapat diketahui bahwa PLTS dengan kapasitas 20 KW dapat memenuhi kebutuhan beban sebesar 19,684 kw.
- 3 Kebutuhan daya reaktif tidak dapat dipenuhi oleh PLTS, sehingga dilakukan pemasangan kapasitor untuk emenuhi permintaan daya reaktif sebesar 11,7 kvar
- 4 Dengan penambahan kapasitor berkapasitas 25 kvar dapat memperbaiki *undervoltage* pada sistem, dan memenuhi kebutuhan daya reaktif dari beban.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini, saran dari penulis agar dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai kestabilan tegangan pada sistem kelistrikan desa Ampas, distrik Waris.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sitohang, M. P. (2019). "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System".
- [2] ESDM, K. (2020). "Panduan Perencanaan Dan Pemanfaatan PLTS Atap Di Indonesia".
- [3] Gifson, A., Siregar, M. R., & Pambudi, M. P. (2020). "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Di Ecopark Ancol".
- [4] Bambang Hari Purwoto dkk : "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Energi Alternatif". Jurnal : Emitor : Jurnal Teknik Elektro vol. 18 no. 1 ISSN 1411-8890.
- [5] Saodah Siti & Utami Sri, : 2019 "Perancangan Sistem Grid Tie Inverter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya". Jurnal Elkomika : Jurnal Penelitian Politeknik Negeri Bandung vol. 7, no. 2 Hal 339-350 ISSN (p) : 2338-8323 ISSN (e) : 2459-9638.
- [6] Alfaridzi, S. M., Nugroho, A., & Sinuraya, E. W. (2020). "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Menggunakan Software ETAP V. 12.6 Di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro". *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 143-147.
- [7] Fatur, R. (2023). "STUDI KELAYAKAN PLTS ATAP ON GRID DAN EFEK TERHADAP PROFIL TEGANGAN DI JARINGAN TEGANGAN RENDAH (JTR)".
- [8] Peprah, F., Gyamfi, S., Amo-Boateng, M., & Effah-Donyina, E. (2022). "Impact assessment of grid tied rooftop PV systems on LV distribution network". *Scientific African*, 16, e01172.
- [9] de Fretes, S., Innah, H., Setiadj, P., Numberi, J. J., Karapa, E., & Ansanai, Y. (2023). "Unjuk Kerja Sistem Smart Grid Pada Plts Off-Grid 18 KWP di Kampung Abar, Sentani". *Musamus Journal of Electro & Mechanical Engineering*, 5(02), 1-8.

- [10] Amalia, D., Abdillah, H., & Hariyadi, T. W. (2022). Analisa "Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50wp Yang Dirangakai Seri Dan Paralel Pada Instalasi Plts Off-Grid. *Jurnal ELEMENTER (Elektro dan Mesin Terapan)*", 8(1), 12-21.
- [11] "Tri, S., Isdawimah, I., & Kamil, I. (2022). Implementasi Penggunaan Super Kapasitor Pada Sistem PLTS Off-Grid Sebagai Penstabil Baterai". *ELECTRICES*, 4(1), 7-11.
- [12] Cahyo, E. D. (2023). "Pengaruh Penggunaan Super Kapasitor 16.2 V/1.6 F dan 16.2 V/83 F Pada Baterai PLTS Off Grid 100 WP "(Doctoral dissertation, Universitas Pamulang).

VII. BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Eka Amartya lahir pada tanggal 22 Januari 2000 di Jayapura, Papua. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD YPPK Eben Heaser Argapura pada tahun 2011, dilanjutkan dengan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Jayapura pada tahun 2014. Kemudian, penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMK Negeri 3 Jayapura dan tamat pada tahun 2017 dengan bidang keahlian Teknik Listrik. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Nasional Malang pada tahun 2018 dengan Program Studi Teknik Elektro S-1, khususnya di bidang teknik energi listrik. Akhir kata, penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya skripsi ini yang berjudul "Desain dan Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Papua".