

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan suatu rangkaian komponen yang saling terkoneksi dan bekerja sama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi penggunanya [1]. Sistem tenaga listrik harus memiliki beberapa karakteristik diantaranya keandalan, efisiensi, keamanan, kecepatan, kepekaan dan selektifitas. Tanpa adanya pengelolaan yang baik terhadap sistem tenaga listrik, maka akan memperbesar rugi-rugi daya yang terjadi serta memperburuk profil tegangan. Akibatnya desain konfigurasi yang awalnya baik dan mampu beroperasi dengan baik, bisa menjadi tidak sesuai karena terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik. Maka dari itu, salah satu cara untuk meminimalisir gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu melakukan analisis aliran daya.

Analisis aliran daya adalah langkah awal dalam perencanaan instalasi listrik tegangan tinggi untuk mengetahui keandalan sistem dan menentukan bagaimana daya listrik mengalir dalam jaringan listrik di bawah kondisi operasi normal. Analisis aliran daya digunakan untuk menghitung faktor daya, magnitude tegangan, daya nyata, dan daya reaktif pada setiap bus dalam kondisi tertentu selama sistem beroperasi [2]. Analisis aliran daya tidak mempertimbangkan analisis arus hubung singkat karena analisis aliran daya merupakan langkah awal untuk memahami kondisi awal sistem sebelum melakukan analisis lebih lanjut, termasuk analisis arus hubung singkat jika diperlukan. Gangguan yang sering terjadi di aliran daya yaitu daya yang mengalir tidak sesuai dengan daya yang diterima disetiap bus maka dapat menyebabkan penurunan tegangan yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan listrik dan terjadinya rugi-rugi daya yang tinggi sehingga mengurangi efisiensi operasi [3].

Berdasarkan masalah dan urgensi tersebut, upaya yang dapat dilakukan untuk mempermudah analisis aliran daya yaitu dengan menggunakan simulasi pada perangkat lunak *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*. Perangkat lunak ETAP juga menyediakan pilihan metode untuk analisis aliran daya yaitu metode

*Newton-Raphson* [4] [5], *Gauss-Seidel* [5] [6], dan *Fast Decoupled* [5] [7] yang masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kekurangannya.

Penelitian ini menggunakan metode *Newton-Raphson* karena mempunyai perhitungan yang lebih baik dan akurat untuk sistem yang lebih kompleks [5]. Metode *Newton-Raphson* membutuhkan sedikit iterasi untuk mencapai konvergensi dibandingkan dengan metode *Fast-Decoupled* karena komputasinya lebih sederhana [6]. Kekurangan dari metode ini yaitu pemrogramannya bisa rumit dan membutuhkan banyak memori komputer.

Paiton merupakan sebuah kecamatan yang terdapat di Kabupaten Probolinggo yang memiliki pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan menjadi salah satu penyumbang energi listrik terbesar di Pulau Jawa dan Bali [8]. PLTU paiton ini menghasilkan 2.045 megawatt listrik dan memakai batu bara sebanyak 7 juta ton per tahun, maka dari itu PLTU Paiton ingin menambahkan instalasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sekitar 4 megawatt dengan sistem *on-grid* [8]. PLTS ini akan dibangun menggunakan lahan ash landfill atau tempat penimbunan batubara dan PLTS ini dapat mengurangi emisi karbon akibat batubara sebanyak 1.194 ton per tahun [8].

PLTS yang terletak di Paiton dirancang dengan sistem *on-grid* yang terhubung dengan jaringan listrik umum (PLN). PLTS Paiton tidak dilengkapi dengan baterai, sehingga hanya dapat beroperasi ketika terkena sinar matahari. Tujuan utama PLTS *on-grid* di Paiton adalah untuk mengurangi konsumsi listrik dari PLN dan emisi karbon. Sistem *on-grid* ini menggunakan energi secara langsung pada siang hari, sementara pada malam hari kebutuhan listrik disuplai dari jaringan listrik utama [9].

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini melakukan analisis aliran daya di PLTS dengan sistem *on-grid* yang akan dipasang ditempat penimbunan batubara di PLTU Paiton. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETAP untuk menentukan besarnya daya aktif, daya reaktif, *magnitude* dan faktor daya serta rugi-rugi yang dihasilkan oleh PLTS *on-grid*.

## 1.2 Tinjauan Penelitian Sejenis

Tinjauan penelitian sejenis merupakan konfirmasi keaslian penelitian yang direncanakan dan menyajikan perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi saat penyusunan proposal penelitian ini. Tabel 1.1 mencakup referensi jurnal dari beberapa peneliti sebelumnya yang melakukan penelitian sejenis.

Tabel 1.1 Daftar referensi.

Judul	Peneliti	Tahun
Perancangan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 27 kWp di Kota Cilacap	Bagas Gangsar Panggayuh, Itmi Hidayat Kurniawan	2020
<i>Analysis of Load Flow and Transient Stability of 10-bus Multi-Machine System with PV Penetration</i>	Sarah Alasady, Rasheed Almansory, and Haider Alrudainy	2022
Analisis <i>Load Flow</i> dan <i>Short Circuit</i> serta Pengaruh Penambahan <i>Photovoltaic (PV)</i> pada GI Kentungan <i>Feeder</i> KTN07	Desrita Pardi, S.T., M. Eng	2022
<i>Electrical distribution grid of Kirkuk City: A case study of load flow and short circuit valuation using ETAP</i>	Hussein Al-bayaty <sup>1</sup> , Muna Suddeq Kider, Omar Nsaif Jasim, Ali Shakor	2022
<i>Load Flow Analysis and the Impact of a Solar PV Generation in a Radial Distribution Network</i>	Mohamed Ali Zdiri, Bilel Dhouib, Zuhair Alaas, Fatma Ben Salem, Hsan Hadj Abdallah	2023
<i>Load Flow Analysis of PV System Integration in Universitas Andalas Distribution System</i>	El Gazaly, Aejelina, and Akbar Abadi	2019

Bagas Gangsar Panggayuh dan Itmi Hidayat Kurniawan [10] melakukan penelitian mengenai perancangan PLTS dengan menggunakan perangkat lunak

ETAP. Penelitian ini fokus pada analisis aliran daya dan hubung singkat yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik. Kapasitas PLTS yang digunakan sebesar 27 kWp, dengan tingkat kemiringan panel antara 0 hingga 11 derajat. Potensi pembangkit energi listriknya mencapai 111.537 kWh/m<sup>2</sup> per hari, menggunakan 90 modul surya. Hasil analisis aliran daya menunjukkan nilai sebesar 27 + j10 kW, dengan arus keluaran dari *array* PV pada *bus* 2 mencapai 0.236 kA.

Sarah Alasady, dkk [11] melakukan penelitian mengenai analisis aliran beban dan mengevaluasi efek perembesan daya PV pada stabilitas keadaan transien dari sebuah jaringan yang terdiri dari 10-*bus* dengan sel surya. Hasil simulasi menggunakan ETAP menunjukkan keandalan dan stabilitas sistem uji dipertahankan oleh penetrasi sistem PV dengan meningkatkan stabilitas tegangan jaringan listrik di bawah hubung singkat di tengah-tengah saluran 1 (antara *bus* 1 dan *bus* 4) dengan sistem PV, kompensasi daya reaktif ditingkatkan melalui sistem PV. Lokasi gangguan dan waktu penyelesaian gangguan mempengaruhi stabilitas tegangan dan ketidakstabilan tegangan dianggap sebagai salah satu ancaman utama terhadap keamanan operasi sistem tenaga listrik di seluruh dunia. Sehingga panel PV yang terhubung ke jaringan berdampak pada stabilitas sistem tenaga listrik.

Desrita Pardi, S.T., M. Eng [12] melakukan penelitian mengenai analisis aliran daya dalam kondisi eksisting sistem, saat terjadi hubung singkat, dan selama penerapan *Distributed Generation* (DG). Metode yang digunakan adalah metode *Newton-Raphson* dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dari total 106 *busbar*, terdapat 28 *busbar* yang mengalami kondisi *undervoltage* yang kritis. Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PV) di awal saluran dengan penetrasi sebesar 30% pada saluran 20 kV tidak menghasilkan pengurangan kerugian daya yang signifikan. Sebaliknya, penambahan PV di tengah saluran dengan penetrasi sebesar 30% pada saluran 20 kV berhasil mengurangi kerugian daya sebesar 3.17%.

Hussein Al-bayaty, Muna Suddeq Kider, dkk [13] melakukan penelitian mengenai pengujian terhadap jaringan distribusi listrik kota Kirkuk dengan mengambil studi kasus tentang aliran beban dan hubung singkat dengan data riil dari 12 gardu induk dan menggunakan metodologi perangkat lunak ETAP.

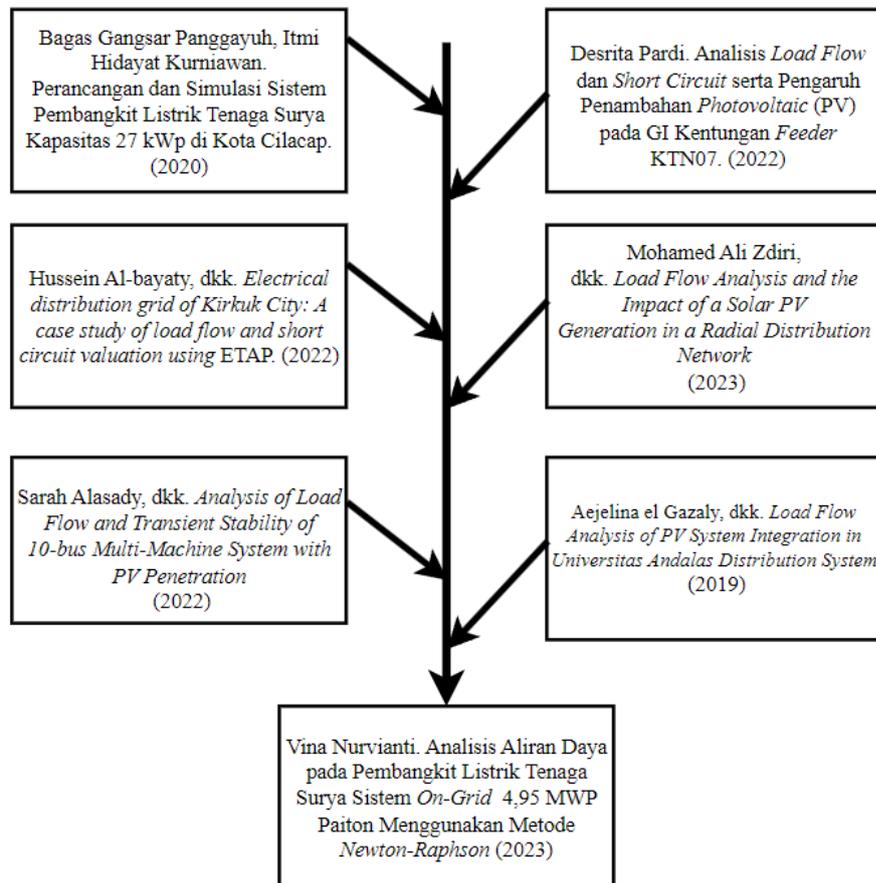
Penelitian aliran daya digunakan untuk memeriksa tegangan sistem tetap berada dalam batas yang ditentukan dengan berbagai macam skenario sedangkan, penelitian hubung singkat dilakukan secara konvensional sehingga dapat mengelola kesalahan pada arus hubung singkat. Penelitian ini dapat memberikan data korsleting masalah seperti potensi kerusakan yang dapat ditimbulkannya.

Mohamed Ali Zdiri, dkk [14] melakukan penelitian mengenai analisis untuk sistem distribusi sebagai penghubung antara konsumen dan jaringan listrik masal dengan menggunakan PV sebagai generatornya. Perangkat simulasi yang digunakan ialah ETAP dan metode yang digunakan yaitu metode berulang dengan ditambah pengoptimalan generator PV menggunakan metode jaringan syaraf tiruan. Hasil dari simulasi dan metode yang digunakan terciptanya solusi yang ideal untuk masalah aliran beban dengan menggunakan persamaan dua buah matriks yang dihasilkan dari sifat topologi jaringan distribusi dengan perhitungan Hukum Kirchoff.

El Gazaly Alpha Agustinus, dkk [15] melakukan penelitian mengenai kajian aliran beban penyulang Universitas Andalas dengan penambahan sistem PV. Analisis aliran daya ini diperlukan untuk mengetahui kelayakan sistem PV yang akan dilakukan instalasi. Metode yang digunakan adalah algoritma kalkulasi aliran daya dengan menggunakan 4 kasus dan hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa profil tegangan terbaik diperoleh pada kondisi dimana sistem PV ditempatkan pada bus yang memiliki tegangan terendah dan pada bus dengan beban yang terjauh dengan sumber dengan peningkatan diatas 0.9 pu.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa analisis aliran daya sekarang ini sudah banyak digunakan contohnya untuk menguji jaringan distribusi, mengevaluasi keandalan sistem PV dan banyak diaplikasikan dalam industri maupun rumah tinggal. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu dilakukan analisis aliran daya di PLTS Paiton dengan sistem *on-grid* yang terhubung ke Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan tujuan untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan dan mengurangi pemakaian listrik di PLTU. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETAP dan metode *Newton-Raphson* untuk mempermudah dalam menganalisis aliran daya. Metode *Fast-*

*Decoupled* digunakan sebagai metode pembandingan untuk mengetahui kinerja dari metode *Newton-Raphson* yang dipilih dalam metode penelitian ini. Gambar 1.1 merupakan tinjauan penelitian sejenis yang dijadikan referensi pada penelitian ini.



Gambar 1.1 Hubungan penelitian.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil aliran daya meliputi magnitude tegangan, daya aktif, daya reaktif, tegangan jatuh dan faktor daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS *On-Grid* di Paiton?
2. Bagaimana hasil rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS *On-Grid* di Paiton?

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dan manfaat diperlukan untuk menunjukkan hasil penelitian ini.

### 1.4.1 Tujuan

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Menganalisis hasil aliran daya seperti *magnitude* tegangan, daya aktif, daya reaktif, tegangan jatuh dan faktor daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS *on-grid* di Paiton.
2. Menganalisis hasil rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS *on-grid* di Paiton.

### 1.4.2 Manfaat

1. Manfaat Akademik

Penelitian ini berkontribusi pada bidang ilmu teknik elektro, terutama pada bidang energi baru terbarukan. Penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan lebih lanjut pada penelitian berikutnya, terutama dalam konteks topik yang terkait dengan pembangkit energi baru terbarukan.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi yang akurat untuk melakukan analisis aliran daya, yang nantinya akan diaplikasikan secara langsung pada PLTS di wilayah Paiton, Jawa Timur, dengan sistem pembangkit *on-grid*.

### 1.5 Batasan Masalah

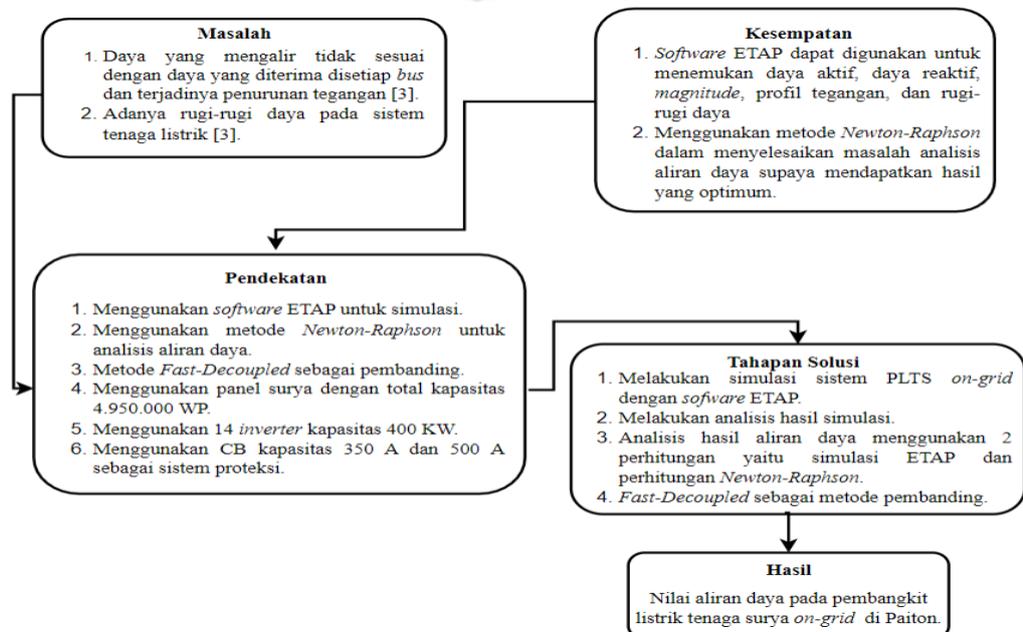
Penelitian ini akan dibatasi pada bagian-bagian berikut:

1. Analisis aliran daya akan difokuskan pada kondisi operasi normal pada sistem, dengan tidak adanya gangguan yang mengakibatkan hilangnya sinkronisasi.
2. Menggunakan ETAP untuk menentukan nilai daya aktif, daya reaktif, *magnitude*, jatuh tegangan, profil tegangan, faktor daya serta rugi-rugi daya.
3. Tidak melakukan analisis arus hubung singkat.
4. Menggunakan 9.000 buah modul surya berkapasitas 550 Wp.
5. Keluaran dari transformator 5MVA dianggap beban konstan.
6. Menggunakan 14 *inverter* kapasitas 400 kW.

7. Tidak menggunakan baterai.
8. Tidak menghitung penghematan biaya dengan terpasangnya sistem ini pada *on-grid*.
9. Data yang digunakan diperoleh dari PT Energi Entelemi Indonesia sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.
10. Data peralatan yang tidak diperoleh dari PT Energi Entelemi Indonesia akan diolah dengan menggunakan konstanta yang tersedia dalam simulasi ETAP.
11. Analisis aliran daya yang dihitung pada penelitian ini dimulai dari keluaran *inverter* sampai ke beban.
12. *Fast-Decoupled* digunakan sebagai metode pembandingan saja, tetapi penelitian ini lebih fokus pada metode *Newton-Raphson*.

## 1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir berisi alur pemikiran yang secara sistematis menjelaskan masalah penelitian dan pendekatan yang dianggap perlu untuk menganalisis aliran daya pada PLTS Paiton. Gambar 1.2 menunjukkan struktur kerangka berpikir penelitian ini .



Gambar 1.2 Kerangka berpikir.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir disusun secara sistematis dan terdiri atas 6 bab, masing-masing bab mempunyai isi yang berbeda. Berikut ini adalah ringkasan isi dari setiap bab:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat akademis, manfaat praktis, tinjauan penelitian sejenis, kerangka pemikiran dan sistematika penulisan.

### **BAB II TEORI DASAR**

Bab ini memberikan penjelasan mengenai hal-hal dasar yang diperlukan saat melakukan penelitian, seperti teori dasar dan pemahaman metode. Tujuan dari bab ini adalah untuk menguasai teori yang berhubungan dan mendukung konsep penelitian yang akan dilakukan dalam analisis aliran daya pada sistem PLTS *on-grid*.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini memberikan penjelasan mengenai metodologi penelitian, perancangan penelitian, teknik analisis yang akan digunakan.

### **BAB IV PERANCANGAN DAN SIMULASI ALIRAN DAYA**

Bab ini menjelaskan tentang spesifikasi peralatan yang digunakan untuk membuat *single line diagram* PLTS Paiton, proses perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* dan menjelaskan simulasi aliran daya menggunakan *software* ETAP.

### **BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang hasil analisis aliran daya yaitu hasil daya yang diterima, faktor daya, profil tegangan, tegangan jatuh dan rugi-rugi daya. Selain itu hasil simulasi aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* akan dibandingkan dengan metode *Fast-Decoupled*.

### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menjelaskan tentang bagian penutup dari penelitian. Bagian ini berisi mengenai kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.