

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KOMPARASI METODE NEWTON RAPHSON DENGAN  
FAST DECOUPLED DALAM ANALISA ALIRAN DAYA  
SUMATERA UTARA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**ADE NAUFAL NUFAIRI**  
**2307220125P**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ade Naufal Nufairi  
NPM : 2307220125P  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Studi Komparasi Metode Newton Raphson Dengan Fast Decoupled Dalam Analisa Aliran Daya Sumatera Utara  
Bidang ilmu : Transmisi Energi Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2025  
Mengetahui dan menyetujui:  
Dosen Pembimbing



Dr. Rimbawati, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I / Penguji



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Pembanding II / Peguji



Noorly Evalina, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua



Dr. Elvy Sannur Nasution, S.T., M.Pd.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ade Naufal Nufairi  
Tempat /Tanggal Lahir : Lhoksuemawe, 21 Mei 2001  
NPM : 2307220125P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“STUDI KOMPARASI METODE NEWTON RAPHSON DENGAN FAST DECOUPLED DALAM ANALISA ALIRAN DAYA SUMATERA UTARA”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



Ade Naufal Nufairi

## ABSTRAK

Listrik merupakan elemen krusial dalam kehidupan manusia, berfungsi sebagai sumber energi vital dalam berbagai aspek kehidupan modern. Proses perjalanan listrik dari pembangkit hingga ke rumah melibatkan berbagai aspek penting yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah studi aliran daya. Setiap metode dalam studi aliran daya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode yang lebih efisien dalam analisa aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Utara. Penelitian ini memanfaatkan data dari sistem kelistrikan Sumatera Utara, yang mencakup: data bus, kapasitas pembangkitan, tegangan (V), daya aktif (P), daya reaktif (Q), data beban, serta data impedansi saluran. Hasil Penelitian Manual metode Newton-Raphson menghasilkan error sebesar  $\varepsilon = 0,021$ , sedangkan metode Fast Decoupled mencapai konvergensi yang lebih baik dengan error  $\varepsilon = 0,005$ . Pada perhitungan MATLAB, metode Newton-Raphson mencapai error  $\varepsilon = 1,21342 \times 10^{-6}$  dalam 3 iterasi. Sedangkan metode Fast Decoupled memerlukan 9 iterasi untuk mencapai error  $\varepsilon = 5,96973 \times 10^{-6}$ . Pada Perhitungan software ETAP menunjukkan kinerja superior dengan error kurang dari 0,00001 dan hanya memerlukan 1 iterasi untuk kedua metode. Oleh karena itu, tingkat keakuratan setiap metode menunjukkan perbedaan dalam setiap eksekusi. Dalam perhitungan ETAP, selisih antara kedua metode pada aliran daya dari bus 1 ke bus 2 adalah 0. Sementara itu, dalam perhitungan MATLAB, selisih kedua metode pada aliran daya yang sama tercatat sebesar 0,000001. Di sisi lain, perhitungan manual menunjukkan selisih yang cukup signifikan, yakni 1,7, pada aliran daya bus 1 ke bus 2.

**Kata kunci:** Newton Raphson, Fast Decoupled, ETAP, MATLAB, Aliran Daya

## **ABSTRACT**

*Electricity is a crucial element in human life, serving as a vital energy source in various aspects of modern life. The process of electricity traveling from the power plant to the home involves various important aspects that need to be considered, one of which is the power flow study. Each method in the power flow study has its own advantages and disadvantages. One of the objectives of this study is to determine a more efficient method in analyzing power flow in the North Sumatra electricity system. This study utilizes data from the North Sumatra electricity system, which includes: bus data, generation capacity, voltage ( $V$ ), active power ( $P$ ), reactive power ( $Q$ ), load data, and line impedance data. In Manual calculations, the Newton-Raphson method produces an error of  $\varepsilon = 0.021$ , while the Fast Decoupled method achieves better convergence with an error of  $\varepsilon = 0.005$ . In MATLAB calculations, the Newton-Raphson method achieves an error of  $\varepsilon = 1.21342 \times 10^{-6}$  in 3 iterations. Meanwhile, the Fast Decoupled method requires 9 iterations to achieve an error of  $\varepsilon = 5.96973 \times 10^{-6}$ . In the ETAP software calculation, it shows superior performance with an error of less than 0.00001 and only requires 1 iteration for both methods. Therefore, the accuracy level of each method shows a difference in each execution. In the ETAP calculation, the difference between the two methods on the power flow from bus 1 to bus 2 is 0. Meanwhile, in the MATLAB calculation, the difference between the two methods on the same power flow is recorded at 0.000001. On the other hand, the manual calculation shows a significant difference, namely 1.7, on the power flow from bus 1 to bus 2.*

*Keywords: Newton Raphson, Fast Decoupled, ETAP, MATLAB and Power Flow*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "STUDI KOMPARASI METODE NEWTON RAPHSON DENGAN FAST DECOUPLED DALAM ANALISA ALIRAN DAYA SUMATERA UTARA" ini dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam penulisan skripsi ini, penulis berfokus pada analisis aliran daya sistem kelistrikan Sumatera Utara dengan menggunakan dua metode numerik yang umum digunakan, yaitu metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled.

Analisis aliran daya merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Dengan membandingkan kedua metode tersebut, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai kelebihan dan kekurangan masing-masing metode dalam konteks sistem kelistrikan Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan skripsi ini.

1. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:
2. Rimbawati, ST.MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan yang tak ternilai selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh dosen dan staf Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan dukungan selama masa studi.
4. Keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan moral dan motivasi.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik elektro, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Medan, 23 Februari 2025

Ade Naufal Nufairi

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	4
2.2 Landasan Teori .....	18
2.2.1 Sitem Tenaga Listrik .....	18
2.2.2 Stabilitas Jaringan Transmisi .....	20
2.2.3 Analisa Sistem Tenaga .....	20
2.2.4 Studi Aliran Daya.....	32
2.2.5 Metode Studi Aliran daya .....	39
2.2.6 Software ETAP 19 .....	45
BAB III METODE PENELITIAN.....	49
3.1 Alat Penelitian .....	49
3.2 Data Penelitian .....	50
3.2.1 Data Saluran Transmisi di Sumatera Utara.....	51
3.2.2 Data Pembangkit Sumatera Utara tahun 2023.....	55
3.2.3 Data Pembebanan Sumatera Utara tahun 2023.....	57
3.3 Alur Penelitian .....	59
3.4 Langkah-langkah pengoperasian Perangkat Lunak.....	60
3.5 Diagram Alur Penelitian (Flowchart) .....	63

3.6 Diagram Alur Perhitungan Manual Metode Newton Raphson (Flowchart)	64
3.7 Diagram Alur Perhitungan Manual Metode Fast Decoupled (Flowchart) ..	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1 Studi Kasus Aliran Daya Sumatera Utara Dengan Perhitungan Tangan .....	66
4.1.1 Klasifikasi BUS .....	66
4.1.2 Menentukan Matriks Admitansi Bus ( $Y_{Bus}$ ).....	67
4.1.3 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Newton Raphson .....	68
4.1.4 Perhitungan Manual Menggunakan Metode Fast Decoupled.....	86
4.2 Studi Kasus Aliran Daya Sumatera Utara 3 Bus Dengan Software MATLAB .....	93
4.2.1 Hasil Load Flow Metode Newton Raphson Dengan Software MATLAB .....	93
4.2.2 Hasil Load Flow Metode Fast Decoupled Dengan Software MATLAB .....	94
4.3 Studi Kasus Aliran Daya Sumatera Utara Dengan Software ETAP.....	96
4.3.1 Hasil Load Flow Metode Newton Raphson Dengan Software ETAP ..	96
4.3.2 Hasil Load Flow Metode Fast Decoupled Dengan Software ETAP... ..	100
4.4 Komparasi Metode Newton Raphson dan Fast Decoupled.....	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	111
5.1 Kesimpulan.....	111
5.2 Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA .....	113

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Sistem Tenaga Listrik Sederhana .....	18
Gambar 2.2 Rangkaian setara mesin serempak.....	25
Gambar 2.3 Rangkaian setara saluran transmisi .....	28
Gambar 2.4 Segitiga Daya .....	34
Gambar 2.5 Diagram impedansi pada sistem tenaga listrik sederhana.....	36
Gambar 2.6 Diagram admitansi pada sistem tenaga listrik sederhana.....	37
Gambar 3. 1 Peta Jaringa Transmisi Sumatera Utara.....	50
Gambar 4. 1 Grafik Aliran Daya Semu Bus 1-2 .....	106
Gambar 4. 2 Hasil Aliran Daya Semu Bus 1-3 .....	107
Gambar 4. 3 Hasil Analisa Aliran Daya Semu Bus 2-3 .....	109

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Saluran Transmisi di Sumatera Utara .....	51
Tabel 3. 2 Data Pembangkit di Sumatera Utara .....	55
Tabel 3. 3 Data Beban di Sumater Utara .....	57
Tabel 4. 1 Hasil Load Flow Metode Newton Raphson dengan Aplikasi ETAP....	96
Tabel 4. 2 Hasil Load Flow Metode Fast Decoupled dengan Aplikasi ETAP ....	100
Tabel 4. 3 Hasil Sempel 3 Bus Studi Kasus .....	104

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan elemen krusial dalam kehidupan manusia, berfungsi sebagai sumber energi vital dalam berbagai aspek kehidupan modern. Tanpa listrik, banyak aktivitas sehari-hari akan terganggu atau bahkan tidak dapat dilaksanakan. Listrik memiliki peranan penting dalam mengoperasikan peralatan rumah tangga, mendukung industri, transportasi, komunikasi, serta sistem kesehatan dan pendidikan. Ketersediaan listrik yang stabil juga merupakan faktor kunci dalam pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial suatu negara. Oleh karena itu, listrik tidak sekadar kebutuhan, melainkan juga merupakan tulang punggung infrastruktur modern yang mendukung kehidupan manusia secara keseluruhan.

Proses perjalanan listrik dari pembangkit hingga ke rumah melibatkan berbagai aspek penting yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah studi aliran daya. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam jaringan listrik pada kondisi operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa depan dengan kebutuhan beban yang terus meningkat. Dalam peningkatan beban yang terus bertambah di masa depan terdapat beberapa metode untuk melakukan studi aliran daya pada jaringan listrik, di antaranya adalah metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled. Dalam metode Newton-Raphson, slack bus diabaikan dalam perhitungan iterasi untuk menentukan nilai tegangan, karena besar dan sudut tegangan pada slack bus telah ditentukan sebelumnya. Sementara itu, pada generator bus, nilai daya aktif dan magnitudo tegangan bersifat tetap, sehingga hanya daya reaktif yang dihitung dalam setiap iterasi. Di sisi lain, metode Fast Decoupled merupakan penyederhanaan dan pengembangan dari metode Newton-Raphson, dengan tujuan untuk mempercepat waktu komputasi dan mengurangi kebutuhan memori komputer.

Setiap metode dalam studi aliran daya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode Newton-Raphson terkenal dengan konvergensi yang cepat dan kelannya pada sistem yang tidak terlalu kompleks. Namun, metode ini memerlukan perhitungan yang lebih intensif dan mungkin tidak

efisien untuk sistem besar dengan banyak bus. Di sisi lain, metode Fast Decoupled Lebih cepat dibandingkan metode Newton-Raphson dan Gauss-Seidel, terutama untuk sistem besar, karena matriks Jacobian tidak perlu dihitung ulang sepenuhnya pada setiap iterasi dan invers matriks yang lebih kecil. Akan tetapi, karena adanya asumsi decoupling, akurasi mungkin sedikit lebih rendah dibandingkan metode Newton-Raphson, terutama untuk sistem dengan rasio X/R yang rendah (misalnya, sistem distribusi). Meskipun semua metode bertujuan untuk menentukan atau menghitung tegangan, arus, daya aktif, dan daya reaktif, hasil yang diperoleh dari berbagai metode tersebut masih menimbulkan pertanyaan mengenai selisih antar dua hasil metode tersebut.

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini akan membandingkan kelan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled dalam menyelesaikan masalah aliran daya. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan masing-masing metode, serta menjawab pertanyaan mengenai selisih hasil antar dua metode studi aliran daya. Penelitian ini menggunakan dataset nyata yang diperoleh dari PT. PLN Sumatera Utara untuk mencapai hasil komparatif yang memuaskan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja aliran daya dalam menggunakan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled di wilayah Sumatera Utara?
2. Bagaimana hasil dari Perhitungan tangan dengan menggunakan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled dengan hasil yang diperoleh dari perangkat lunak ETAP.
3. Apakah terdapat perbedaan signifikan dalam akurasi hasil perhitungan aliran daya antara kedua metode pada sistem kelistrikan Sumatera Utara?
4. Metode mana yang lebih efisien untuk analisis aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Utara?

### **1.3 Ruang Lingkup**

Agar penelitian tugas akhir ini lebih terarah dan tanpa mengurangi maksud juga tujuannya, maka ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Analisis aliran daya dengan menggunakan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled di wilayah Sumatera Utara.
2. Kondisi sistem dianggap stabil (balance system).
3. Menggunakan alat bantu perangkat lunak software ETAP 19 dan MATLAB.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kinerja aliran daya dalam menggunakan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled di wilayah Sumatera Utara.
2. Untuk memahami perbedaan antara perhitungan manual menggunakan metode Newton-Raphson dan Fast Decoupled dengan hasil yang diperoleh dari perangkat lunak ETAP.
3. Untuk mengetahui perbedaan akurasi hasil perhitungan aliran daya antara kedua metode pada sistem kelistrikan Sumatera Utara.
4. Untuk mengetahui metode yang lebih efisiensi dalam analisa aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Utara.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Ada banyak percobaan yang dilakukan dalam menganalisa studi aliran daya menggunakan metode Gauss-Seidel dan Newton-Raphson, seperti penelitian yang dilakukan (Eltamaly et al., 2018) yang berjudul Analisis Aliran Daya Optimum Dengan Metode Newton Raphson, Studi Kasus dimana Aliran daya optimal (OPF) merupakan tugas kontrol yang penting untuk pengoperasian jaringan listrik yang efisien. OPF dipelajari untuk meminimalkan kerugian distribusi daya dan biaya daya yang ditarik dari gardu induk, tanpa mempengaruhi pengaturan tegangan. Makalah ini membahas metode Newton Raphson yang dapat digunakan dengan kontrol OPF untuk stabilitas sistem daya. Metode ini memiliki solusi yang lebih cepat untuk analisis aliran beban dengan teknoekonomi yang dioptimalkan dan menjaga sistem yang stabil. Metode Newton Raphson memerlukan kondisi awal dan bekerja dengan baik untuk sistem beban berat jika dibandingkan dengan metode lain. Hasil yang diharapkan untuk aliran beban adalah besaran tegangan, sudut fasa, daya riil dan reaktif. Makalah ini mensimulasikan metode Newton Raphson untuk analisis aliran beban optimal dengan bus IEEE-5.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Ambriz-Pérez et al., 2000) Model SVC Lanjutan untuk Studi Aliran Beban Newton-Raphson dan Aliran Daya Optimal Newton. model aliran beban lanjutan untuk VAR cumpensator statis (SVC) disajikan dalam makalah ini. Model-model tersebut digabungkan ke dalam algoritma Newton aliran beban (LF) dan aliran daya optimal (OPF) yang ada. Tidak seperti model SVC yang tersedia dalam literatur terbuka, model-model baru tersebut berangkat dari representasi generator SVC dan sebaliknya didasarkan pada konsep kerentanan shunt variabel. Secara khusus, model SVC yang menggunakan sudut penyalaan sebagai variabel status memberikan informasi penting untuk kasus-kasus ketika solusi aliran beban digunakan untuk menginisialisasi penerapan sistem daya lainnya, misalnya, analisis harmonik. Variabel status SVC digabungkan dengan besaran tegangan nodal dan sudut jaringan dalam satu kerangka acuan untuk solusi iteratif terpadu melalui metode Newton. Kedua algoritma, LF dan OPF

menunjukkan karakteristik konvergensi yang sangat kuat, terlepas dari ukuran jaringan dan jumlah perangkat yang dapat dikontrol. Hasil yang disajikan menunjukkan kehebatan model SVC baru.

Lalu penelitian dari (H. Abaali, T. Talbi, 2018) Perbandingan Metode Newton Raphson dan Gauss Seidel Analisis Aliran Daya. Penelitian ini menyajikan studi perbandingan metode koordinat kutub Gauss Seidel dan Newton-Raphson untuk analisis aliran daya. Efektivitas metode ini dievaluasi dan diuji melalui sistem uji bus IEEE yang berbeda berdasarkan jumlah iterasi, waktu komputasi, nilai toleransi, dan konvergensi. Makalah ini menguraikan perbandingan metode NR dan GS untuk Analisis Aliran Daya. Lima sistem uji bus IEEE str yang berbeda dipertimbangkan untuk menyelidiki efektivitas metode yang diusulkan. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa NR adalah metode yang paling 1 karena memiliki jumlah iterasi paling sedikit dan konvergen lebih cepat.

Begitu juga dengan penelitian dari (Akinbulire, T., Oluseyi, P., Udoakam, G., & Babatunde, 2019) Analisis Aliran Beban Komparatif Jaringan Distribusi Tenaga Listrik UNILAG Menggunakan Metode Newton Raphson dan Gauss Seidel. Evaluasi aliran daya dalam jaringan distribusi memiliki banyak teknik, tetapi metode yang dikenal secara tradisional sangat diminati. Metode-metode ini telah diterima dan diterapkan secara luas. Akan tetapi, studi perbandingan teknik-teknik ini untuk penyelidikan analisis aliran daya untuk sistem distribusi Nigeria mana pun belum didokumentasikan secara memadai dan profesional. Dengan demikian, hal ini mengilhami adaptasi teknik-teknik ini untuk solusi jaringan distribusi terstruktur di Kampus Universitas Lagos (UNILAG). Peluang yang dihadirkan oleh penelitian ini adalah penerapan metode-metode ini untuk analisis dan pengujian jaringan distribusi daya di dunia nyata. Hasil yang diperoleh divalidasi dengan sistem bus IEEE-9 dan bus IEEE-30. Hasil yang diperoleh untuk jaringan distribusi Kampus tidak hanya sangat terbuka tetapi juga memberikan informasi yang relatif (sehubungan dengan GS versus NR) sebagai berikut: jumlah iterasi (yaitu 3 versus 177), waktu konvergensi (yaitu 0,2457 versus 0,3276), ketidaksesuaian daya (0,017 MVar versus 0,00 MVar), kerugian sistem (yaitu 0,854 MW versus 0,855 MW), toleransi iterasi (0,00001 versus 0,00) Dari sini, hasil yang dibandingkan menunjukkan bahwa metode NR konvergen lebih cepat dengan

jumlah iterasi paling sedikit terlepas dari jumlah bus sistem sementara dalam metode GS, jumlah iterasi meningkat secara proporsional saat jumlah bus meningkat. Dengan demikian, jelas ditetapkan bahwa metode NR sangat memadai untuk analisis jaringan distribusi besar.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode Gauss Seidel memerlukan jumlah iterasi yang jauh lebih banyak untuk memperoleh solusi daripada metode Newton Raphson yang memerlukan 3 hingga 5 iterasi untuk mencapai solusi yang dapat diterima untuk sistem daya yang besar. Selain itu, untuk metode Gauss Seidel, jumlah iterasi meningkat secara langsung seiring dengan jumlah bus jaringan sedangkan metode Newton Raphson tidak bergantung pada ukuran sistem. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk jaringan distribusi yang besar, metode Newton Raphson lebih cepat, lebih 1. Oleh karena itu, Newton Raphson merupakan metode yang lebih baik untuk jaringan distribusi yang memiliki sedikitnya 20 bus. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa persentase penurunan tegangan maksimum terjadi di sepanjang kabel 20 (sekitar 6,83%) yang merupakan cabang yang menghubungkan Gedung Senat dengan Fakultas Ilmu Manajemen; hal ini mungkin disebabkan oleh tingginya permintaan beban di gedung-gedung yang bersebelahan. Terutama Gedung Senat di mana terdapat lift listrik yang melayani gedung Sebelas (11) Lantai yang merupakan beban yang sangat induktif secara alami. Di luar hal di atas, penelitian ini mengidentifikasi sejumlah kabel dengan kerugian daya tertinggi; di antaranya cabang yang menghubungkan pembangkit listrik distribusi Universitas ke Fakultas Teknik memiliki taruhan tertinggi. Identitasnya adalah kabel 14 (dengan kerugian sekitar 28,5 kW). Hal ini mungkin sebagai akibat dari sifat mesin listrik tugas berat yang digunakan di gugus Laboratorium Teknik yang terletak di lokasi ini. Pengamatan ini dapat mengakibatkan beberapa peralatan listrik ini memerlukan arus awal yang tinggi yang menyebabkan jaringan menjadi terlalu panas dan selanjutnya kerugian yang relatif tinggi yang dapat mengakibatkan keruntuhan sistem. Hal ini juga memengaruhi frekuensi operasi sistem. Dengan bantuan penelitian ini, telah ditetapkan bahwa reaktor mungkin harus dipasang untuk membantu kabel 20 dan kabel 14 untuk meningkatkan operasi sistem tenaga listrik pada fasilitas di kedua lokasi ini di kampus UNILAG.

Selanjutnya penelitian dari (Idoniboyeobu et al., 2020) Analisis Aliran Beban Kawasan Perda Trans-Amadi Port Harcourt Menggunakan Teknik Gauss Seidel untuk Peningkatan. Analisis aliran daya merupakan tulang punggung analisis dan desain sistem tenaga. Analisis ini penting untuk perencanaan perluasan sistem tenaga di masa mendatang serta menentukan kondisi operasi terbaik dari sistem yang ada. Informasi utama dari analisis aliran daya adalah menemukan besarnya dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan daya nyata dan reaktif yang mengalir di setiap saluran transmisi. Studi ini menguji jaringan tenaga listrik yang ada untuk wilayah Ordonansi, jaringan distribusi Trans-Amadi Port Harcourt yang terdiri dari empat (4) penyulang distribusi 11kV yaitu; Waterworks, Fimie, Ndabros dan Rivoc. Jaringan distribusi dimodelkan dalam Electrical Transient Analyser Program (ETAP) menggunakan persamaan aliran daya Gauss-Seidel. Analisis aliran daya dilakukan untuk jaringan yang ada dan jaringan yang dimodifikasi menggunakan metode penyadapan transformator dan optimasi bank kapasitor. Hasilnya dianalisis, bus tegangan rendah, transformator kelebihan beban dan penyulang diidentifikasi. Level tegangan di bawah 95% dianggap sebagai tegangan rendah dan pembebanan transformator di atas 60% dianggap sebagai kelebihan beban. Alasan untuk tegangan rendah dan kelebihan beban diidentifikasi dan dua (2) teknik optimasi digunakan untuk meningkatkan jaringan dan mengetahui teknik mana yang lebih baik. Menurut hasil simulasi, efek dari semua tegangan bus berubah dan membaik di atas kisaran yang dapat diterima yaitu 100% karena variasi kondisi rasio tap terbaik. Ketika bank kapasitor di bawah nilai optimal dipasang pada bus terlemah, tegangan bus tersebut meningkat antara 97,65% dan 100,94%.

Begitu juga penelitian dari (Putri et al., 2021) Analisis sistem aliran daya jaringan pintar dengan metode Gauss-Seidel. Pemanfaatan sistem smart grid merupakan peluang yang baik bagi ketahanan energi listrik di masa mendatang. Perancangan sistem smart grid yang memanfaatkan sumber energi listrik melalui PLN (Pembangkit Listrik Nasional), Sistem Tenaga Surya PV dan Baterai sebagai cadangan dapat meningkatkan efisiensi pada jaringan listrik. Untuk memastikan bahwa sistem tersebut layak, maka perlu dilakukan analisis aliran daya pada sistem tersebut. Analisis dilakukan pada setiap kasus yang terdapat pada jaringan dengan

Metode Gauss-Seidel. Hasil analisis menunjukkan bahwa kasus 1 merupakan penyediaan daya yang paling optimal dari PLN dan RE (Energi Terbarukan).

Simulasi aliran daya dengan metode Gauss-Seidel dapat dilakukan. Untuk menyalurkan daya ke beban maksimum yang diperoleh dari PLN dan RE pada kasus 1 dimana hasil simulasi menunjukkan tidak ada rugi-rugi daya aktif yang timbul, hanya rugi-rugi daya reaktif yang timbul seperti pada kasus 4 dengan pengurangan beban. Rugi-rugi daya aktif terjadi pada saluran daya dari bus 1 ke bus 2 untuk kasus 2 dan 3 yang terjadi akibat adanya perubahan beban dan perubahan suplai daya dari RE. Dengan adanya pengurangan beban dan suplai daya yang hanya diperoleh PLN maka akan terjadi rugi-rugi daya aktif dari bus 1 ke bus 2 dan bus 2 ke bus 3.

Selanjutnya penelitian dari (Dubey, 2016) Analisis Aliran Beban Sistem Tenaga. Makalah ini memberikan gambaran singkat tentang Aliran Beban, klasifikasi berbagai jenis bus, persamaan Aliran Beban dan berbagai metode penyelesaian masalah aliran beban. Selain itu, makalah ini memberi tahu kita perbandingan antara berbagai solusi aliran beban. Juga pentingnya dan tujuan studi aliran beban. Studi aliran beban dalam sistem tenaga merupakan studi yang sangat penting. Dalam analisis aliran beban, kami melakukan seluruh jaringan dengan semua generator, beban, dan saluran transmisi. Persamaan aliran daya diformulasikan berdasarkan bentuk admitansi nodal. Ada beberapa metode solusi numerik yang kuat dan akurat untuk menyelesaikan masalah aliran daya. Salah satunya adalah metode Newton-Raphson yang banyak digunakan.

Penelitian ini mengusulkan dasar-dasar Aliran Beban. Penelitian ini membantu kita memahami pentingnya aliran beban dalam sistem tenaga. Penelitian ini melaporkan berbagai metode penyelesaian persamaan aliran daya. Yaitu metode Gauss Seidel dan metode Newton Raphson. Algoritma metode Gauss Seidel dibahas. Kedua metode di atas dibandingkan dengan parameter yang berbeda. Metode di atas terbukti lebih akurat. Metode ini mengalami beberapa iterasi tetapi jumlahnya relatif lebih sedikit daripada iterasi yang dilakukan dalam metode N-R yang agak rumit dan memakan waktu. Makalah ini mengulas berbagai tujuan dan pentingnya aliran beban dalam sistem tenaga.

Selanjutnya penelitian dari (Ahmad, 2022) Analisis Aliran Daya AC Menggunakan Algoritma Newton-Raphson Decoupled Cepat Dibandingkan Dengan Pendekatan Gaussian-Seidel. Aliran daya optimal merupakan peralatan pengoptimalan yang didedikasikan untuk analisis pemrosesan sistem daya, pengaturan tugas, dan penanganan energi. Pemanfaatan aliran daya optimal telah menjadi sangat menarik karena kemampuannya untuk mengelola berbagai keadaan dan kasus. Di sini, dalam kasus ini, optimasi untuk fungsi yang adil tersebut dapat mengelola banyak skema sekaligus memenuhi serangkaian kendala implikasional dan substansial. Manajemen OPF diperkenalkan dengan berbagai tujuan serta kondisi yang diteliti dengan baik. Dalam penelitian ini, konsentrasi penting telah diterapkan pada analisis pendekatan optimasi acak yang telah digunakan oleh literatur untuk menentukan masalah aliran daya optimal tersebut. Beberapa pekerjaan nyata diperkenalkan. Sebenarnya, penelitian ini memperkenalkan penyelidikan dekat strategi arah kutub Gauss Seidel dibandingkan dengan Newton-Raphson menggunakan algoritma decoupled cepat untuk investigasi aliran daya. Kecukupan strategi ini telah dinilai serta diuji oleh kerangka uji transportasi IEEE alternatif berdasarkan jumlah penekanan, waktu komputasi, nilai ketahanan, dan penyatuan. Algoritma Newton-Raphson yang dipisahkan dengan cepat menunjukkan peningkatan yang luar biasa dalam waktu komputasi dibandingkan dengan algoritma str dan teknik Gauss Seidel.

Dalam penelitian ini, ilustrasi perbandingan telah dicapai antara teknik NR dan GS untuk memecahkan masalah Analisis Aliran Daya. Sistem uji bus IEEE-6 telah diuji untuk memeriksa kinerja pendekatan yang disarankan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa teknik FDNR merupakan pendekatan yang jauh lebih dapat dilkan daripada NR biasa dan GS, karena teknik ini konvergen dengan cepat dengan jumlah pengulangan eksekusi program yang jauh lebih sedikit serta mengungkap kebocoran dalam pendekatan NR biasa.

Selanjutnya penelitian dari (Samburi & Nor, 2025) Studi Perbandingan Metode Gauss-Seidel dan Newton-Raphson dalam Analisis Aliran Daya. Studi komprehensif menyoroti meningkatnya permintaan listrik yang didorong oleh pertumbuhan populasi global, menjadikan stabilitas dan efisiensi sistem tenaga listrik semakin penting. Dengan permintaan listrik global yang diprediksi

meningkat secara signifikan pada tahun 2050, stabilitas dan efisiensi sistem tenaga listrik telah menjadi tantangan utama. Analisis aliran daya sangat mendasar dalam mengatasi tantangan ini, khususnya dengan level tegangan dan kinerja sistem secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, analisis komparatif metode Gauss-Seidel (GS) dan Newton-Raphson (NR) dilakukan untuk menilai efektivitasnya dalam memecahkan masalah aliran daya. Simulasi MATLAB digunakan untuk melakukan analisis pada sistem uji IEEE 57-bus. Menurut hasil yang diperoleh, metode GS lebih cocok untuk sistem daya yang lebih kecil dan lebih sederhana karena efisiensi komputasinya, sedangkan metode NR memberikan akurasi yang lebih unggul dan lebih sesuai untuk sistem skala besar. Temuan menunjukkan bahwa metode NR adalah yang paling tepat untuk melakukan sistem uji 57-bus. Kebaruan penelitian ini didasarkan pada evaluasi kedua metode dalam berbagai kondisi beban untuk sistem berskala lebih besar, yang menawarkan wawasan penting tentang penerapannya dalam analisis profil tegangan. Secara keseluruhan, temuan ini menekankan pentingnya memilih metode yang tepat untuk memastikan keakuratan dan kelan operasi sistem tenaga.

Penelitian ini menyajikan analisis perbandingan metode Gauss-Seidel (GS) dan Newton-Raphson (NR) dalam memecahkan masalah aliran daya untuk sistem kelistrikan skala besar, khususnya yang diterapkan pada sistem uji IEEE 57-bus. Penelitian ini bertujuan untuk menyoroti pentingnya memilih metode yang tepat untuk memastikan operasi sistem daya yang akurat dan stabil dalam berbagai kondisi beban. Kode MATLAB digunakan untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem 57-bus menggunakan metode GS dan NR. Hasilnya menunjukkan bahwa metode NR memerlukan lebih sedikit iterasi dan lebih banyak waktu komputasi sekaligus memberikan profil tegangan yang lebih presisi dibandingkan dengan metode GS. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode GS menawarkan efisiensi komputasi ketika diterapkan pada sistem yang lebih kecil dan kurang kompleks. Sebaliknya, metode NR terbukti lebih efektif untuk sistem skala besar karena akurasi dan kelannya dalam menangani kompleksitas sistem daya. Berdasarkan perbandingan ini, metode NR menghasilkan hasil yang paling presisi dan optimal. Dengan menunjukkan keunggulan ini, penelitian ini menggarisbawahi perlunya menggunakan metode yang paling sesuai untuk memastikan sistem tenaga

listrik yang l dan efisien. Sebagai saran dalam kelanjutan studi ini, disarankan untuk memperkenalkan indeks stabilitas tegangan, seperti Indeks Kedekatan Keruntuhan Tegangan (VCPI), untuk meningkatkan analisis stabilitas sistem daya. Tidak seperti sekadar mengamati level tegangan, VCPI memberikan penilaian yang lebih rinci tentang kedekatan sistem daya dengan keruntuhan tegangan. Dengan memasukkan indeks ini ke dalam studi, peneliti dapat mengevaluasi tidak hanya efektivitas metode GS dan NR tetapi juga ketahanan sistem secara keseluruhan dalam menjaga stabilitas tegangan di bawah berbagai skenario operasional. Dengan demikian, pendekatan ini akan membuat penelitian lebih komprehensif dan dapat diterapkan pada tantangan dunia nyata dalam sistem tenaga listrik berskala besar.

Selanjutnya penelitian dari (Alnabi et al., 2022) Alokasi Optimal Pembangkitan Terdistribusi dengan Rekonfigurasi Algoritma Genetika Menggunakan Metode Newton Raphson dan Gauss Seidel untuk Meminimalkan Kehilangan Daya. Kehilangan daya pada jaringan listrik dianggap tidak dapat dihindari, karena resistansinya yang melekat, untuk operasi yang efektif dan ekonomis; kehilangan jaringan harus dikurangi semaksimal mungkin. Ada dua tujuan untuk penelitian ini, yang pertama adalah mengekstraksi ukuran dan lokasi generator distribusi (DG) yang optimal dan konfigurasi ulang yang optimal dengan tujuan mengurangi kehilangan daya dan meningkatkan profil tegangan, sedangkan tujuan kedua adalah untuk membuktikan keberhasilan metode Newton Raphson (NR) dan Guess Sidle (GS) dalam penelitian dan analisis jaringan distribusi radial. Untuk mengurangi kehilangan daya, algoritma genetika (GA) digunakan untuk mengatasi masalah distribusi jaringan. Paket perangkat lunak MATPOWER-7 dan MATLAB digunakan untuk mensimulasikan sistem pengujian 33-bus untuk mencapai empat kasus berbagai nomor generator distribusi (DG). Perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan dan kesimpulan menunjukkan dampak positif pada efisiensi sistem, pekerjaan ini mendukung pengurangan kerugian dan peningkatan tegangan dengan ukuran generator distribusi (DG) terendah dan membuktikan bahwa peningkatan jumlah generator distribusi (DG) tidak selalu dapat memberikan hasil yang lebih baik meskipun biaya sistem meningkat, pemeliharaan, seiring dengan jarak unit untuk pasokan gas meningkat. Ada 4 kasus dengan jumlah generator distribusi (DG) yang berbeda yang diterapkan

dalam makalah ini dan belas kasih dilakukan terhadap kerugian daya dan profil tegangan dengan referensi di mana kasus 4 menunjukkan hasil yang lebih baik dengan profil tegangan 0,96 dan kerugian daya 59,09. Sebagai metode aliran beban, metode Gauss-Seidel (GS) digunakan karena merupakan metode iteratif sederhana untuk menyelesaikan n jumlah persamaan aliran beban dengan menggunakan metode iteratif. Di mana turunan parsial tidak diperlukan. Dan metode Newton-Raphson (NR) digunakan di mana ia didasarkan pada deret Taylor dan turunan parsial. Keunggulan metode Newton-Raphson (NR) adalah jumlah iterasi yang lebih sedikit diperlukan untuk mencapai konvergensi, membutuhkan waktu komputer lebih sedikit ketika biaya komputasi lebih sedikit dan konvergensinya pasti. Juga lebih akurat, dan tidak sensitif terhadap faktor-faktor seperti pemilihan bus kendur, mengatur transformator. dan jumlah iterasi yang diperlukan dalam metode ini hampir tidak bergantung pada ukuran sistem. Algoritma genetika (GA) memiliki kemampuan yang baik untuk membuat pencarian global dan menjelajahi ruang pencarian menggunakan berbagai jenis crossover. juga dapat menggabungkannya dengan metode pencarian lokal untuk meningkatkan pencarian eksploitasi algoritma genetika. Dalam makalah ini bagian pendahuluan diperkenalkan di mana itu adalah bagian umum dari makalah tersebut kemudian metode penelitian yang diusulkan di bagian 3 dengan rincian kemudian algoritma genetika diusulkan akhirnya hasil dengan kesimpulan diusulkan.

Selanjutnya penelitian dari (Isa, 2014) Perangkat Lunak Analisis Aliran Daya Menggunakan Matlab. Analisis aliran daya merupakan tulang punggung analisis dan desain sistem tenaga. Analisis ini diperlukan untuk perencanaan, operasi, penjadwalan ekonomis, dan pertukaran daya antar utilitas. Informasi utama analisis aliran daya adalah menemukan besaran dan sudut fase tegangan pada setiap bus serta daya nyata dan reaktif yang mengalir di setiap saluran transmisi. Analisis aliran daya merupakan alat penting yang melibatkan analisis numerik yang diterapkan pada sistem tenaga. Dalam analisis ini, teknik iteratif digunakan karena tidak ada metode analisis yang diketahui untuk menyelesaikan masalah. Untuk menyelesaikan analisis ini, terdapat metode perhitungan matematika yang terdiri dari banyak langkah tergantung pada ukuran sistem. Proses ini sulit dan membutuhkan banyak waktu untuk dilakukan secara manual. Tujuan dari proyek

ini adalah untuk mengembangkan kotak peralatan untuk analisis aliran daya yang akan membantu analisis menjadi lebih mudah. Paket perangkat lunak analisis aliran daya yang dikembangkan oleh penulis menggunakan pemrograman MATLAB dan GUI MATLAB. Visualisasi data dan desain GUI dalam MATLAB didasarkan pada Sistem Grafik Handle di mana objek yang diatur dalam Hirarki Objek Grafik dapat dimanipulasi oleh berbagai perintah tingkat tinggi dan rendah. Perangkat lunak ini menyediakan ketiga metode yang umum digunakan, metode Newton Raphson, metode Gauss-Seidel dan metode Fast Decoupled dalam memecahkan masalah aliran daya atau aliran beban.

Selanjutnya penelitian dari (Ghore et al., 2019) Studi Perbandingan Metode Newton-Raphson dan Gauss-Seidel untuk Analisis Aliran Daya. Sektor kelistrikan sedang dalam fase pertumbuhan yang pesat untuk memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat. Sistem kelistrikan memiliki perilaku dinamis, menghadapi gangguan, gangguan, dll. Oleh karena itu, studi aliran daya merupakan alat yang sangat penting dan mendasar untuk analisis sistem kelistrikan apa pun dan dalam tahap operasi serta perencanaan. Informasi utama dari analisis aliran daya adalah menemukan besaran dan sudut fase tegangan pada setiap bus serta daya nyata dan reaktif yang mengalir di setiap saluran transmisi. Studi daya ini menyediakan banyak pendekatan teknis yang tersedia pada analisis aliran daya. Dalam makalah ini, perbandingan operasional antara metode Gauss-Seidel dan Newton Raphson digambarkan. Sistem pengujian disimulasikan dan hasilnya diverifikasi menggunakan perangkat lunak Electrical Transient Analyzer Program.

Selanjutnya penelitian dari (Jadi Ate, 2022) Perbandingan Hasil Iterasi Aliran Daya (Load Flow) Menggunakan Metode Newton Raphson dan Metode Fast-Decoupled Dengan Software ETAP. Studi aliran daya atau load flow study adalah analisis numerik aliran tenaga listrik dalam sebuah sistem kelistrikan. Sasarannya adalah untuk mengetahui aliran tenaga, arus, tegangan, daya nyata (realpower) dan daya reaktif (reactivepower) dalam suatu sistem dalam kondisi beban apa pun. Dalam analisis daya terdapat berbagai metode. Masing-masing metode untuk analisa aliran daya mempunyai kekurangan dan kelebihan satu sama lain. Metode iterasi dimulai dengan estimasi nilai akhir. Setelah menerapkan beberapa perlakuan pada nilai estimasi, hasil perlakuan selanjutnya menjadi nilai estimasi

untuk iterasi berikutnya. Dengan menggunakan ETAP dapat diketahui dengan cepat tindakan apa yang harus diketahui, dari hasil analisa untuk memperbaiki keadaan. Hasil dari penelitian ini adalah terdapat perbedaan jumlah iterasi dalam mencapai nilai optimum yang dimana pada metode Newton Raphson sudah mencapai nilai optimum pada iterasi ke 2 sedangkan pada metode Fast Decoupled mencapai nilai optimum pada iterasi ke 12. Terdapat perbedaan hasil iterasi antara kedua metode tersebut yaitu pada daya reaktif di bus 14 yang dimana metode Newton Raphson 93189,9 kVAR, dan pada metode Fast Decoupled 93189,8 kVAR. Berdasarkan pada data yang telah di dapat pada simulasi aliran daya pada ETAP terdapat perbedaan jumlah iterasi yang diperlukan dalam mencapai nilai optimum dan juga ada perbedaan hasil meski tidak terlalu signifikan dari metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled.

Berikut adalah penelitian dari (Laksono, 2014) Perbandingan Metoda Newton Raphson Dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya (Aplikasi Pt. PLN Sumbar-Riau 150 Kv). Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari banyak generator, transformator, elemen aktif dan pasif serta peralatan lainnya yang terinterkoneksi dalam jaringan transmisi antara beberapa buah atau bahkan beratus-ratus buah bus. Studi aliran daya sangatlah penting dalam perencanaan pengembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang karena pengoperasian yang baik dari sistem tersebut banyak tergantung pada diketahuinya efek interkoneksi dengan sistem tenaga yang lain, beban yang baru, stasiun pembangkit yang baru serta saluran transmisi yang baru sebelum semuanya terpasang. Studi aliran daya menjamin bahwa sistem tenaga yang baru dapat memenuhi kebutuhan listrik secara ekonomis, efisien dan aman. Banyak metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah studi aliran daya dan salah satu metode yang dipergunakan dalam studi aliran daya ini adalah metode Newton Raphson. Penerapan prosedur metoda Newton Raphson untuk perhitungan sistem besar akan dapat memberikan solusi untuk desain sistem, perencanaan dan pengembangan sistem tenaga di masa depan dan pengoperasian sistem tenaga dengan tingkat keamanan yang maksimum dan biaya operasi minimum.

Dari hasil pembahasan tentang studi aliran dengan metoda Newton Raphson dan metoda Fast Decouple ini dapat disimpulkan sebagai berikut. Metode Fast

Decouple merupakan metode penyelesaian masalah aliran daya yang memiliki kesederhaaan implementasi, efisiensi perhitungan dan kelan yang tinggi dibandingkan pada Metode Newton Raphson. Metode Fast Decouple mempunyai jumlah iterasi yang lebih banyak dibandingkan dengan Metode Newton Raphson, hal ini dikarenakan faktor konvergensi pada Metode Fast Decouple sangat tergantung pada kondisi parameter jaringan yakni perbandingan  $R/X$  dari saluran. Semakin besar perbandingan antara  $R/X$  maka Metode Fast Decouple akan mencapai konvergen pada iterasi yang semakin lama dan jumlah yang banyak. Sedangkan pada Metode Newton Raphson faktor konvergensinya bersifat kwadratis serta tidak tergantung pada perbandingan parameter jaringan tersebut. Namun waktu hitung Metode Fast Decopule secara keseluruhan jauh lebih pendek. Dalam hal ketelitian, penggunaan matriks yang mirip Jacobian pada Metode Fast Decouple secara teoritis tidak ada pengaruhnya, jika dibandingkan dengan ketelitian yang dimiliki pada Metode Newton Raphson. Hal ini dikarenakan pendekatan ini bukan merubah titik solusi melainkan hanya arah yang dipakai untuk menuju solusi tersebut.

Selanjutnya penelitian dari (Ukut Uwem Isong et al., 2023) Comparison Of Load Flow Analysis On IEEE 33 Bus System Based On Newton Raphson And Fast Decoupled Methods. perbandingan analisis aliran beban pada sistem bus IEEE 33 berdasarkan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled. Diagram alir metode analisis aliran beban Newton Raphson dan metode Fast Decoupled disajikan. Penelitian ini didasarkan pada kumpulan data studi kasus sistem bus IEEE 33. Program MATLAB dikembangkan berdasarkan diagram alir Newton Raphson dan diagram alir metode Fast Decoupled dan simulasi analisis aliran beban juga dilakukan menggunakan masing-masing dari kedua metode tersebut. Simulasi Newton Raphson konvergen pada iterasi ke-5 sedangkan perhitungan aliran beban fast decoupled konvergen pada iterasi ke-13. Hasil simulasi pada tegangan bus menunjukkan bahwa nilai-nilai yang diestimasi dengan metode Fast Decoupled sangat mirip dengan yang diperoleh dengan metode Newton Raphson dengan persentase kesalahan absolut maksimum sebesar 1,26% yang terjadi pada bus 17. Selain itu, nilai sudut fasa yang diestimasi dengan metode Fast Decoupled sangat mirip dengan yang diperoleh dengan metode Newton Raphson dengan persentase

kesalahan absolut maksimum sebesar 4,41% yang terjadi pada bus 31. Dari semua bus, hanya 12 bus yang tidak memiliki persentase kesalahan nol pada tegangan bus dan sudut fasa.

Kemampuan analisis aliran beban metode Fast Decoupled dievaluasi relatif terhadap metode Newton Raphson. Perbandingan dilakukan terhadap tegangan bus dan sudut fasa yang diestimasi menggunakan metode Fast Decoupled dan metode Newton Raphson. Persentase kesalahan diestimasi dan persentase kesalahan absolut maksimum diperoleh untuk kedua parameter tersebut. Persentase kesalahan adalah nol (0%) di sebagian besar bus dan hanya 12 bus yang tidak memiliki persentase kesalahan nol dalam tegangan bus dan sudut fasa.

Selanjutnya penelitian dari (Syafi'i et al., 2021) yang berjudul Perbandingan Metode Gauss-Seidel, Metode Newton Raphson Dan Metode Fast Decoupled Dalam Solusi Aliran Daya. Untuk menyelesaikan studi aliran daya dengan metode iterasi (numerik) telah banyak dikembangkan dengan menggunakan komputer digital. Berbagai metode penyelesaian studi aliran daya telah semakin banyak dikembangkan sejalan dengan makin berkembangnya konfigurasi jaringan sistem tenaga, baik dalam perencanaan, pengembangan, maupun pengoperasian. Sampai saat ini beberapa metode yang sering dipelajari adalah Metode Gauss Seidel, Metode Newton Rhapsion, Metode Decoupled, dan Metode Fast Decoupled. Masing-masing metode untuk analisa aliran daya mempunyai kekurangan dan kelebihan satu sama lain. Dalam Tugas Akhir ini penulis akan membandingkan keandalan antara metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson, dan metode Fast Decoupled dalam menyelesaikan masalah aliran daya untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode. Dengan Menguasai ketiga metode tersebut, setiap masalah aliran daya dapat diselesaikan dengan efektif, apabila mampu menentukan yang mana diantara ketiga metode tersebut yang paling sesuai terhadap sistem yang dihadapi. Hasil perhitungan ketiga metode dituangkan dalam perangkat lunak (program simulasi), program komputer yang digunakan untuk simulasi adalah bahasa pemrograman MATLAB versi 5.3 sebagai Computing program (program perhitungan). Microsoft Excell 2000 sebagai server sekaligus database dan Delphi versi 6 yang mengintegrasikan keduanya dalam suatu tampilan visual.

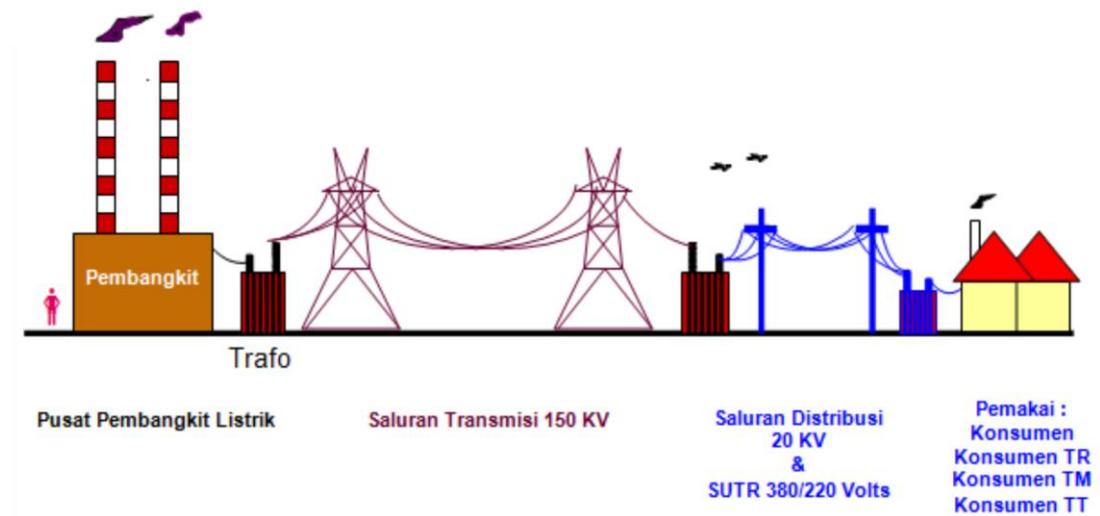
Dari hasil pengujian simulasi dan analisa terhadap data-data yang ada dapat penulis ambil Kesimpulan. Jumlah iterasi untuk mencapai konvergen, metode Gauss-Seidel (29 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran) lebih banyak dibandingkan metode Newton Raphson (3 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran) dan metode Fast Decoupled (8 Iterasi untuk jaringan 5 Bus 7 Saluran). Ini membuktikan bahwa metode Newton Raphson dan metode Fast Decoupled mempunyai kurva iterasi yang lebih baik daripada metode Gauss Seidel. Untuk masalah rugi-rugi daya saluran pada ketiga metode hasilnya hampir mendekati sama berarti ketelitian untuk perhitungan rugi-rugi daya hampir sama ketelitiannya. Operasi matematik metode Newton Raphson dan Fast Decoupled lebih sulit bila dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel dikarenakan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled ada pembentukan matrik Jacobian, begitu pula dengan penyusunan program komputernya, secara relatif metode Newton Raphson dan Fast Decoupled memerlukan waktu lebih lama. Metode Newton Raphson lebih sesuai untuk menghitung aliran beban pada sistem dengan jumlah yang besar, dan kurang sesuai untuk sistem kecil, sedang metode Gauss-Seidel bersifat sebaliknya. Jadi metode yang paling baik adalah metode Fast Decoupled dikarenakan metode ini telah banyak penyempurnaan dari metode-metode sebelumnya dan metode ini dapat diterapkan pada jaringan sistem besar maupun kecil dan cepat mencapai konvergen.

Selanjut pada penelitian (Rimbawati et al., 2023) yang membahas tentang Analisis Aliran Daya Pembangkit Hybrid (Photovoltaic/Diesel) Pada Menara Mercusuar Di Pulau Pandang. Studi analisis aliran daya untuk mendapatkan informasi tentang aliran daya atau tegangan dalam suatu sistem tenaga listrik. Seiring berjalannya waktu dan meningkatnya jumlah wisatawan di Pulau Pandang, khususnya di sektor pembangunan dan perubahan, beban yang ditanggung juga akan semakin besar, sehingga desain awal yang baik tidak lagi sesuai dengan beban yang ada. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik. Manfaat penelitian ini juga untuk evaluasi perencanaan apabila akan ada inovasi beban tambahan. Dalam studi ini, digunakan perangkat lunak ETAP Power Station 19.0 dengan menggunakan Newton Raphson untuk simulasi aliran daya. Hasil yang diperoleh pada simulasi ETAP adalah beban pembangkit sebesar 37% dengan total daya aktif sebesar 10,35 KW, daya reaktif

sebesar 6,85 Kvar, dan daya semu sebesar 12,42 KVA. Penelitian ini juga menambah beban sebesar 4.800 watt, dimana generator fotovoltaik harus menambah kapasitas fotovoltaik dari sebelumnya 10,26 kW menjadi 13,29 kW, sehingga akan ditambahkan panel sel surya sebanyak 8 panel.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2. 1 Diagram Sistem Tenaga Listrik Sederhana

Suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang terdiri dari tiga komponen utama: pembangkitan (penggerak mula dan generator), penyaluran (jaringan transmisi dan distribusi) dan beban konsumen yang memiliki tujuan membangkitkan energi listrik kemudian menyalurkannya ke konsumen dengan aman efisien dan ekonomis.(Rimbawati et al., 2015)

Sekilas, listrik tampak seperti komoditas seperti halnya komoditas lain dalam daftar pengeluaran rutin konsumen. Bahkan, sudut png inilah yang memicu revolusi yang mengguncang sistem energi listrik di seluruh dunia, karena sistem tersebut telah dil gelombang liberalisasi dan deregulasi yang telah mengubah banyak sektor ekonomi lainnya. Namun, listrik didefinisikan oleh serangkaian sifat yang membedakannya dari produk lain, argumen yang sering digunakan dalam upaya untuk mencegah atau setidaknya membatasi penerapan perubahan tersebut dalam industri kelistrikan. Karakteristik utama listrik sebagai produk yang

membedakannya dari yang lain adalah bahwa listrik tidak rentan, dalam praktiknya, untuk disimpan atau diinventarisasi. Listrik tentu saja dapat disimpan dalam baterai, tetapi harga, kinerja, dan ketidaknyamanan membuat hal ini tidak praktis untuk menangani jumlah energi yang biasanya dibutuhkan di negara maju. Oleh karena itu, listrik harus dihasilkan dan disalurkan saat dikonsumsi, yang berarti bahwa sistem kelistrikan bersifat dinamis dan sangat kompleks, serta sangat besar. Pada waktu tertentu, sistem dinamis yang luas ini harus mencapai keseimbangan antara pembangkitan dan permintaan, dan gangguan yang disebabkan oleh kegagalan satu komponen dapat disalurkan ke seluruh sistem hampir seketika. Fakta yang menyadarkan ini memainkan peran yang menentukan dalam struktur, operasi, dan perencanaan sistem energi listrik.

Keunikan lain dari listrik adalah transmisinya ini bukanlah produk yang dapat dikirim dalam paket dari asal ke tujuan melalui media yang paling sesuai pada waktu tertentu. Tenaga listrik disalurkan melalui jaringan yang jalurnya tidak dapat dipilih sesuka hati, tetapi ditentukan oleh hukum Kirchhoff, yang menyatakan bahwa distribusi arus bergantung pada impedansi pada saluran dan elemen lain yang dilalui listrik. Kecuali dalam kasus yang sangat sederhana, yang dapat dikatakan hanyalah bahwa tenaga listrik mengalir ke dalam sistem pada satu titik dan keluar dari sistem pada titik lain, karena menghubungkan aliran ke jalur tertentu sangatlah rumit dan agak sewenang-wenang. Selain itu, menurut hukum fisika ini, rute alternatif yang membentuk jaringan sangat saling bergantung, sehingga setiap perubahan dalam fasilitas transmisi dapat menyebabkan konfigurasi ulang aliran daya secara instan dan, pada gilirannya, dapat berdampak besar pada fasilitas lain. Semua ini membuat keseimbangan dinamis yang disebutkan dalam paragraf sebelumnya menjadi lebih rumit. (J. Conejo & Canizares, 2009)

Situasi penawaran dan permintaan energi listrik sangat berbeda dengan produk lain yang diproduksi oleh suatu organisasi dan kemudian dijual kepada konsumen. Energi listrik harus dipasok pada saat yang sama ketika dibutuhkan oleh konsumen. Tidak ada sistem penyimpanan sederhana yang dapat digunakan untuk memasok energi listrik tambahan pada saat permintaan puncak. Situasi ini unik, dan memerlukan produksi energi listrik dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi permintaan konsumen setiap saat. Perusahaan utilitas harus melakukan peramalan

akurat tentang kebutuhan beban pada berbagai waktu tertentu agar mereka dapat merekomendasikan output pembangkit listrik yang diperlukan untuk waktu tertentu dalam setahun, minggu, atau hari.(Fardo & Patrick, 2013)

### **2.2.2 Stabilitas Jaringan Transmisi**

Stabilitas jaringan transmisi tiga fasa merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi operasi yang seimbang dan sinkron setelah mengalami gangguan, seperti hubung singkat, perubahan beban mendadak, atau hilangnya elemen jaringan. Dalam konteks sistem tiga fasa, stabilitas mencakup kemampuan tiap fasa (R, S, dan T) untuk menjaga magnitudo dan sudut fasa tegangan serta arus yang konsisten terhadap pusat pembangkit, terutama selama dan setelah gangguan terjadi. Stabilitas sistem dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama: stabilitas statis (steady-state), stabilitas transien (transient), dan stabilitas dinamis (dynamic).

Dalam jaringan transmisi, gangguan dapat menyebabkan perbedaan sudut rotor antar generator, yang jika tidak dikendalikan dapat mengarah pada kehilangan sinkronisasi dan kegagalan sistem secara keseluruhan. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem transmisi didesain dengan kompensasi reaktansi, kontrol eksitasi, dan proteksi adaptif guna menjaga stabilitas pasca gangguan. Keberadaan sistem proteksi yang responsif serta kendali otomatis pada pembangkit sangat berperan dalam memulihkan keadaan normal dengan cepat.

Analisis stabilitas jaringan transmisi tiga fasa umumnya dilakukan menggunakan simulasi dinamis berbasis metode numerik seperti Runge-Kutta untuk melihat respon sudut rotor dan tegangan terhadap waktu. Dengan meningkatnya penetrasi energi terbarukan yang bersifat intermiten, tantangan terhadap stabilitas sistem transmisi juga semakin besar, sehingga dibutuhkan strategi kendali lanjutan berbasis digital dan teknologi grid cerdas (smart grid).

### **2.2.3 Analisa Sistem Tenaga**

Analisis aliran tenaga merupakan pendekatan yang paling penting dan esensial untuk menyelidiki masalah dalam pengoperasian dan perencanaan sistem tenaga listrik. Berdasarkan status pembangkitan dan struktur jaringan transmisi

yang ditentukan, analisis aliran beban memecahkan status operasi tetap dengan tegangan simpul dan aliran daya cabang dalam sistem tenaga listrik. Analisis aliran beban dapat memberikan status operasi tetap yang seimbang dari sistem tenaga listrik, tanpa mempertimbangkan proses transien sistem. Oleh karena itu, model matematika dari masalah aliran beban merupakan sistem persamaan aljabar nonlinier tanpa persamaan diferensial.

Analisis dinamis sistem tenaga listrik menyelidiki stabilitas sistem di bawah beberapa gangguan tertentu. Model matematikanya mencakup persamaan diferensial. Perlu ditunjukkan bahwa analisis dinamis didasarkan pada analisis aliran beban dan algoritma analisis aliran beban juga merupakan dasar untuk metode analisis dinamis. Oleh karena itu, pemahaman tentang teori dan algoritma analisis aliran beban sangat penting untuk memahami metodologi analisis sistem tenaga listrik modern.

Penggunaan komputer digital untuk menghitung aliran beban dimulai sejak pertengahan tahun 1950-an. Sejak saat itu, berbagai metode telah digunakan dalam perhitungan aliran beban. Pengembangan metode-metode ini terutama didorong oleh persyaratan dasar perhitungan aliran beban, yang dapat disimpulkan sebagai:

1. Properti konvergensi
2. Efisiensi komputasi dan persyaratan memori
3. Kenyamanan dan fleksibilitas implementasi

Secara matematis, masalah aliran beban adalah masalah penyelesaian sistem persamaan aljabar nonlinier. Solusinya biasanya tidak dapat menghindari beberapa proses iterasi. Dengan demikian, konvergensi yang menjadi kriteria utama untuk metode perhitungan aliran beban. Dengan skala sistem daya yang terus berkembang, dimensi persamaan aliran beban sekarang menjadi sangat tinggi (beberapa ribu hingga puluhan ribu). Untuk persamaan dengan dimensi yang begitu tinggi, kita tidak dapat memastikan bahwa metode matematika apa pun dapat konvergen ke solusi yang benar. Situasi ini mengharuskan para peneliti dan sarjana di bidang analisis sistem daya untuk mencari metode yang lebih baik.

Pada tahap awal penggunaan komputer digital untuk memecahkan masalah aliran beban sistem daya, metode yang banyak digunakan adalah metode iteratif Gauss–Seidel yang didasarkan pada matriks admitansi nodal. Prinsip metode ini

cukup sederhana dan kebutuhan memorinya relatif kecil. Properti ini membuatnya sesuai dengan tingkat teori komputer dan sistem daya saat itu. Namun, konvergensinya tidak memuaskan. Ketika skala sistem menjadi lebih besar, jumlah iterasi meningkat tajam, dan terkadang proses iterasi tidak dapat konvergen. Masalah ini menyebabkan penggunaan metode substitusi sekuensial yang didasarkan pada matriks impedansi nodal (juga disebut metode impedansi). Pada awal tahun 1960-an, komputer digital telah berkembang ke generasi kedua. Memori dan kecepatan komputasi komputer ditingkatkan secara signifikan, sehingga menyediakan kondisi yang sesuai untuk penerapan metode impedansi.

Metode impedansi mengharuskan komputer untuk menyimpan matriks impedansi yang mewakili topologi dan parameter jaringan listrik. Dengan demikian, diperlukan sejumlah besar memori komputer. Lebih jauh, dalam setiap iterasi, setiap elemen dalam matriks impedansi harus dioperasikan, sehingga beban komputasi menjadi sangat berat. Metode impedansi meningkatkan konvergensi dan memecahkan beberapa masalah aliran beban yang tidak dapat dipecahkan oleh metode admitansi. Oleh karena itu, metode impedansi diterapkan secara luas sejak saat itu dan memberikan kontribusi besar pada desain, operasi, dan penelitian sistem daya. Kerugian utama dari metode impedansi adalah kebutuhan memori dan beban komputasi yang tinggi. Semakin besar sistem, semakin serius cacat ini. Untuk mengatasi kerugian tersebut, metode solusi sepotong-sepotong berdasarkan matriks impedansi dikembangkan.

Metode ini membagi sistem besar menjadi beberapa sistem lokal kecil dan hanya matriks impedansi sistem lokal dan impedansi saluran penghubung antara sistem lokal ini yang akan disimpan di komputer. Dengan cara ini, kebutuhan memori dan beban komputasi sangat berkurang. Pendekatan lain untuk mengatasi kelemahan metode impedansi adalah dengan menerapkan metode Newton-Raphson. Metode Newton adalah metode umum yang digunakan untuk memecahkan persamaan nonlinier dalam matematika dengan konvergensi yang sangat baik. Selama kelangkaan matriks Jacobean digunakan dalam proses iteratif, efisiensi komputasi metode Newton dapat ditingkatkan secara signifikan. Sejak metode eliminasi orde optimal mulai digunakan pada pertengahan tahun 1960-an, metode Newton telah melampaui metode impedansi dalam aspek konvergensi,

permintaan memori, dan kecepatan komputasi. Metode ini masih menjadi metode yang disukai, dan digunakan secara luas dalam perhitungan aliran beban saat ini. Sejak tahun 1970-an, metode perhitungan aliran beban terus berkembang dalam berbagai cara. Di antara metode tersebut, yang paling berhasil adalah metode decoupled cepat, yang juga disebut metode decoupled P Q. Dibandingkan dengan metode Newton, metode ini jauh lebih sederhana dan lebih efisien secara algoritmik, sehingga lebih populer dalam banyak aplikasi.

Dalam 20 tahun terakhir, penelitian tentang perhitungan aliran beban masih sangat aktif. Banyak kontribusi yang berupaya untuk meningkatkan karakteristik konvergensi metode Newton dan metode P Q decoupled. Seiring dengan perkembangan teori kecerdasan buatan, algoritma genetika, algoritma jaringan saraf tiruan, dan algoritma fuzzy juga telah diperkenalkan untuk analisis aliran beban. Namun, hingga saat ini model dan algoritma baru ini masih belum dapat menggantikan metode Newton dan metode P Q decoupled. Karena skala sistem tenaga terus berkembang dan persyaratan untuk perhitungan daring menjadi semakin mendesak, algoritma komputasi paralel juga dipelajari secara intensif sekarang dan dapat menjadi bidang penelitian yang penting.

Tingkat fleksibilitas dan kemudahan perhitungan aliran beban juga sangat penting untuk aplikasi komputer. Dalam praktiknya, analisis aliran beban biasanya merupakan bagian dari lingkungan interaktif, bukan masalah perhitungan murni. Oleh karena itu, antarmuka manusia-komputer harus ramah, yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan proses perhitungan. Untuk memperoleh skema operasi yang ideal, biasanya perlu memodifikasi data asli sesuai dengan hasil perhitungan. Dengan demikian, metode perhitungan harus fleksibel, yang memungkinkan pengguna untuk memodifikasi dan menyesuaikan skema operasi mereka dengan mudah. Proses masukan dan keluaran juga harus mendapat perhatian yang cermat. Analisis kondisi stabil sistem daya mencakup analisis aliran beban dan analisis keamanan statis.

Analisis aliran beban terutama digunakan dalam menganalisis kondisi operasi normal, sedangkan analisis keamanan statis digunakan ketika beberapa elemen tidak berfungsi. Tujuannya adalah untuk memeriksa apakah sistem dapat beroperasi dengan aman, yaitu, jika ada kelebihan beban peralatan, atau beberapa

tegangan simpul terlalu rendah atau terlalu tinggi. Pada prinsipnya, analisis keamanan statis dapat digantikan oleh serangkaian analisis aliran beban. Namun, biasanya ada banyak kondisi kontingensi yang harus diperiksa dan beban perhitungan cukup besar jika metode perhitungan aliran beban yang ketat digunakan. Oleh karena itu, metode khusus harus dikembangkan untuk memenuhi persyaratan perhitungan yang efisien. (Wang et al., 2008)

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang terdiri dari 3 komponen utama yaitu Pembangkitan (penggerak mula dan generator), Penyaluran (jaringan transmisi dan distribusi) dan Beban (konsumen) yang bertujuan membangkitkan energi listrik kemudian menyalurkan ke konsumen dengan aman, efisien, dan ekonomis. Adapun analisa sistem tenaga listrik adalah serangkaian pengkajian terhadap proses penyediaan tenaga listrik yang dibangkitkan oleh generator, penyaluran oleh saluran transmisi ke saluran distribusi sampai ke beban pada gardu distribusi sampai ke beban pada gardu distribusi, tetapi adakalanya hanya sampai pada gardu yang ke distribusi.

Setiap bagian sistem tersebut terdiri atas beberapa komponen atau peralatan yang saling berhubungan. Suatu sistem pembangkit terdiri atas mesin serempak (generator sinkron), penguat (exciter), sistem pengatur tegangan (voltage regulator), sistem penggerak utama beserta mekanisme governor.

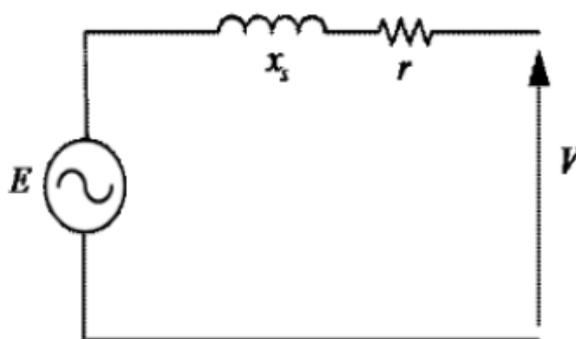
Sistem penyaluran dapat terdiri atas saluran transmisi, distribusi transformator, peralatan relai pengaman dan pemutus rangkaian, kapasitas statis, reaktor paralel. Sedangkan beban yang biasanya dalam penganalisaan tidak diberikan secara detail tetapi digambarkan sebagai suatu impedansi tetap yang menyerap daya dari sistem tenaga listrik.

Untuk menganalisis permasalahan, komponen-komponen suatu sistem tenaga listrik diberikan dalam bentuk rangkaian setaranya. Penggambaran ini bukan hanya untuk mempermudah perhitungan saja, tetapi digunakan juga di dalam praktek untuk mempermudah komunikasi. Rangkaian setara yang digunakan untuk menggambarkan komponen-komponen sistem tenaga listrik adalah rangkaian setara satu fasa dengan nilai-nilai fasa ke netralnya. Dasar pemikiran dari gambaran ini adalah dengan menganggap bahwa sistem tiap fasa tersebut dalam keadaan seimbang pada kondisi operasi normal. Jika terjadi keseimbangan pada fasa-

fasanya akibat adanya gangguan pada sistem tersebut, maka seluruh pernyataan fasanya dituliskan dan untuk menyelesaikannya digunakan metode komponen simetris.

### 2.2.3.1 Mesin Serempak/Mesin Sinkron

Terdapat 2 bentuk konstruksi rotor yang menghasilkan karakteristik yang sangat berpengaruh terhadap operasi suatu sistem, yaitu mesin serempak dengan rotor bulat (*round or cylindrical rotor*) dan mesin serempak dengan rotor kutub menonjol (*the salient pole rotor*). Diameter rotor bulat relatif lebih kecil dibandingkan dengan diameter rotor dengan kutub menonjol. Mesin serempak dengan rotor bulat dioperasikan pada putaran tinggi, dan dikenal sebagai turbo generator. Rangkaian setara mesin serempak diberikan sebagai suatu sumber tegangan dengan suatu impedansi yang dihubungkan seri dengan sumber tegangan tersebut. (Rimbawati et al., 2015)



Gambar 2. 2 Rangkaian setara mesin serempak

Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian setara suatu generator (mesin serempak). Pengaruh reaksi jangkar dan flusk bocor merupakan reaktansi sinkron. Tahanan setiap fasa dari belitan jangkar yang terhubung seri dengan reaktansi, dapat diabaikan terhadap reaktansinya. Rangkaian setara tersebut digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik hanya dalam keadaan tetap. Dalam analisis sistem tenaga listrik, penting untuk memahami bagaimana generator dan elemen-elemen lainnya berinteraksi dalam jaringan. Dengan mengabaikan tahanan fasa, fokus dapat dialihkan sepenuhnya pada aspek reaktansi yang lebih dominan dalam penentuan karakteristik operasional generator. Hal ini memungkinkan untuk menyederhanakan model dan mempermudah perhitungan serta simulasi, sehingga dapat mengidentifikasi potensi masalah dan mengembangkan solusi yang efektif

untuk menjaga stabilitas dan efisiensi sistem. Analisis ini juga membantu dalam perencanaan kapasitas dan penentuan kebutuhan pemeliharaan untuk memastikan kelangsungan operasional yang optimal.

Perencanaan Perluasan Mesin – mesin serempak (Pembangkit Listrik) merupakan langkah krusial pertama dalam masalah perencanaan jangka panjang, setelah beban diperkirakan dengan tepat untuk periode tertentu di masa mendatang. Pembangkit Listrik Perluasan sebenarnya adalah masalah menentukan kapan, apa, dan di mana pembangkit listrik diperlukan sehingga beban dapat dipasok secara memadai untuk masa mendatang yang diperkirakan. (Seifi & Sepasian, 2011)

### 2.2.3.2 Saluran Transmisi

Persoalan yang terpenting di dalam suatu perencanaan dan operasi dari suatu sistem tenaga listrik adalah pemeliharaan tegangan dalam batas-batas yang telah ditentukan pada berbagai titik dalam sistem tersebut. Untuk itu, perlu diketahui besar tegangan, arus dan daya yang mengalir pada setiap titik sepanjang saluran transmisi.

Untuk merepresentasikan suatu saluran transmisi ke dalam bentuk rangkaian simulasinya, tergantung pada panjang dari saluran transmisi serta ketelitian yang diinginkan. Menurut panjangnya, saluran transmisi dapat digolongkan menjadi 3, yaitu:

1. Saluran transmisi pendek (*short line*), adalah saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km (50 mil). Saluran ini umumnya digunakan untuk menghubungkan pembangkit listrik dengan pusat beban yang relatif dekat. Karena jaraknya yang relatif pendek, efek kapasitansi dan induktansi pada saluran ini biasanya dapat diabaikan, sehingga perhitungannya lebih sederhana dibandingkan dengan saluran transmisi yang lebih panjang. Pada saluran transmisi pendek, fokus utama adalah pada resistansi dan reaktansi seri yang mempengaruhi pengiriman daya. Meski efek kapasitansi diabaikan, tetap penting untuk memastikan bahwa saluran ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi dan kelan dalam pengiriman energi listrik. Penting juga untuk memperhatikan aspek keamanan dan pemeliharaan, karena meskipun jarak pendek, gangguan pada saluran ini bisa berdampak signifikan

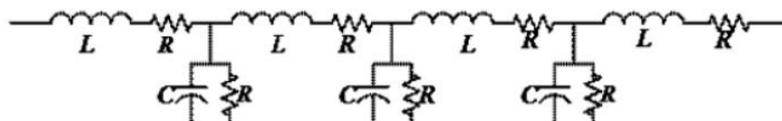
terhadap pasokan listrik di area yang dilayaninya. Penggunaan teknologi modern seperti sistem pemantauan dan kontrol otomatis dapat membantu meningkatkan kinerja dan keamanan saluran transmisi pendek ini.

2. Saluran transmisi menengah (medium line), adalah saluran transmisi yang panjangnya antara 80 km sampai dengan 240 km (50-150 mil). Saluran ini biasanya digunakan untuk mentransmisikan daya listrik dari pembangkit listrik ke daerah yang lebih jauh atau dari satu substation ke substation lainnya. Karena panjangnya yang lebih dari 80 km, efek kapasitansi dan induktansi menjadi lebih signifikan dibandingkan dengan saluran pendek. Oleh karena itu, analisis yang lebih mendalam terhadap parameter saluran seperti impedansi, susseptansi, dan faktor pengaturan tegangan diperlukan untuk memastikan efisiensi dan kelan transmisi.

Pada saluran transmisi menengah, sering kali diperlukan penggunaan kompensasi reaktif, seperti kapasitor shunt atau reaktor seri, untuk mengurangi kerugian daya dan menjaga stabilitas tegangan. Selain itu, teknologi modern seperti pengukur jarak dan proteksi relai juga diterapkan untuk meningkatkan pengawasan dan keamanan jaringan. Penggunaan material yang tepat dan desain struktur yang kuat juga penting untuk memastikan saluran transmisi dapat bertahan dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan, menjaga pasokan listrik yang stabil dan l ke konsumen.

3. Saluran transmisi panjang (long line), adalah saluran transmisi yang panjangnya lebih dari 240 km (lebih dari 150 mil). Saluran ini sering digunakan dalam sistem komunikasi jarak jauh, seperti untuk menghubungkan kota atau negara. Karena panjangnya, saluran transmisi panjang memerlukan pertimbangan khusus dalam perancangan dan operasinya, termasuk pengelolaan kerugian sinyal, dispersi, dan efek kapasitansi serta induktansi. Teknologi modern sering menglkan penggunaan penguat sinyal dan teknik modulasi canggih untuk memastikan sinyal tetap kuat dan jelas sepanjang perjalanan. Hal ini penting agar data yang dikirimkan tidak mengalami degradasi kualitas yang signifikan, memungkinkan komunikasi yang efisien dan l.

Parameter-parameter saluran sangat berpengaruh terhadap tegangan bus dan aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut. Nilai dari parameter-parameter saluran sangat tergantung pada panjangnya salurannya. Suatu saluran transmisi mempunyai parameter-parameter saluran antara lain tahanan (resistansi), reaktansi serta konduktansi yang tersebar sepanjang saluran. Rangkaian setara untuk saluran transmisi secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Rangkaian setara saluran transmisi

Untuk saluran pendek dan saluran menengah, parameterparameter terpusat (lumped) tidak tersebar secara merata sepanjang saluran. Hal ini tidak menimbulkan perbedaan, apakah parameter-parameter itu terpusat atau tersebar sepanjang saluran, selama pengukuran dilakukan pada ujung-ujung saluran tersebut.

### 2.2.3.3 Konduktor

Konduktor adalah suatu bahan yang dapat menghantarkan listrik. Fungsi penghantar pada teknik listrik adalah untuk menyalurkan energi listrik dari satu ke titik lain. Penghantar yang lazim digunakan antara lain Bahan konduktor yang paling populer digunakan adalah tembaga (copper) dan aluminium. Tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Oleh karena itu ada beberapa macam jenis konduktor, yaitu :

- AAC (All-Aluminium Conductor) Kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC (All-Aluminium-Alloy Conductor) Kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium.

- ACSR (All Conductor, Steel-Reinforced) Kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- ACAR (Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced) Kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

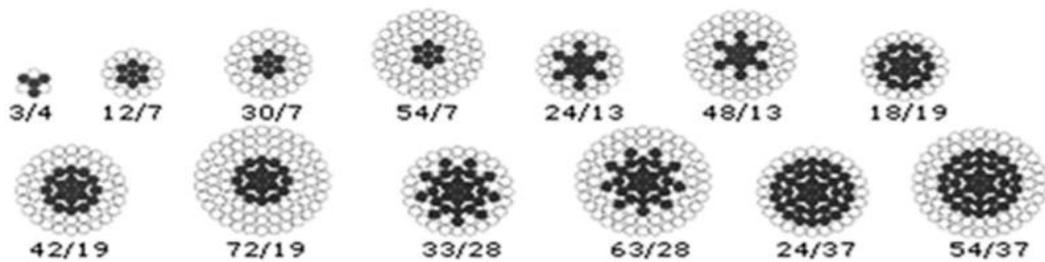
Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced) yang memiliki batas temperatur kerja yang diijinkan sebesar 90oC. Mempertimbangkan peningkatan kebutuhan daya listrik yang semakin pesat akhir-akhir ini, maka usaha menambah kapasitas saluran transmisi dilakukan dengan membangun saluran transmisi baru, akan tetapi diperlukan biaya yang sangat tinggi. Dewasa ini telah dikembangkan konduktor ACCR (Aluminium Conductor Composite Reinforced). Keunggulan dari konduktor jenis ini adalah tahan terhadap panas sampai 240oC, sehingga kemampuan hantar arusnya menjadi lebih tinggi dibandingkan konduktor ACSR. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan arus saluran terhadap unjuk kerja mekanis konduktor ACCR yang meliputi tegangan tarik, panjang pemuluran dan andongan, sehingga diharapkan dari hasil penelitian ini akan berguna untuk membangun struktur konstruksi saluran transmisi yang sesuai dengan sifat konduktor ACCR. Hasil simulasi memperlihatkan, bahwa dengan mempertahankan ROW dan tower yang ada, penggunaan konduktor ACCR dapat meningkatkan kapasitas penyaluran sistem transmisi sekitar 100 % dibanding konduktor ACSR. Pada bab ini disampaikan pula beberapa bahan yang masih ada relevansinya. Sifat dan karakteristik bahan penghantar yang dibahas lebih bersifat umum tidak mengarah lebih spesifik pada ilmu bahan. Hal ini disesuaikan dengan aplikasi dilapangan yang lebih mengarah pada pada kenaikan temperatur dan sifat jenis bahan tersebut.



Gambar 1.7 Kabel Hantaran Udara Jenis ACSR



Gambar 1.8 Kabel Hantaran Udara jenis AAAC dan AAC



Gambar 1.9 Kabel Hantaran Udara Jenis ACAR

Aluminium murni mempunyai massa jenis  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , titik leleh  $658^\circ\text{C}$  dan titik korosif. Daya hantar aluminium sebesar  $35 \text{ m/ohm.mm}^2$  atau kira-kira  $61,4 \%$  daya hantar tembaga. Aluminium murni mudah dibentuk karena lunak, kekuatan tarikannya hanya  $9 \text{ kg/mm}^2$ . Untuk itu jika aluminium digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium. Penggunaan yang demikian misalnya pada ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced). Penggunaan aluminium yang lain adalah untuk busbar dan karena alasan tertentu misalnya, karena alasan ekonomi, dibuat penghantar aluminium yang berisolasi, misalnya ACSR OW.

#### 2.2.3.4 Transformator

Dalam bidang sistem tenaga listrik, pemakaian transformator dapat dikelompokkan menjadi transformator daya, transformator distribusi dan transformator pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan tranformator

tegangan. Sedangkan menurut jumlah sisi belitnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Transformator satu belitan.
2. Transformator dua belitan.
3. Transformator tiga belitan.

### 2.2.3.5 Beban

Di dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik, beban tidak diberikan secara lengkap. Untuk merepresentasikan suatu beban dari suatu sistem tenaga listrik (P-jQ), sangat penting untuk mengetahui variasi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) terhadap variasi tegangannya. Pada suatu bus, suatu beban mungkin terdiri atas:

1. Motor-motor induksi: 50 – 70%.
2. Motor-motor sinkron: 20 – 30%.
3. Penerangan dan pemanasan: 5 – 10%.

Di dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik, terdapat 3 cara untuk merepresentasikan suatu beban, antara lain:

1. Representasi beban dengan daya tetap. Dalam hal ini daya aktif P (MW), maupun daya reaktif Q (MVAR) dianggap konstan. Representasi beban ini digunakan untuk merepresentasikan beban untuk studi aliran daya.
2. Representasi beban dengan arus tetap. Dalam hal ini arus dihitung sebagai:

$$I = \frac{P - jQ}{V} = I \angle (\theta - \phi) \quad (2.1)$$

Dimana:

V = Volt

$\phi = \tan^{-1}(Q/P) =$  sudut daya (power factor angle).

I = Arus Listrik

Substitusi untuk  $I_i$  pada persamaan (15.1), hasilnya:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i} = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$

3. Representasi beban dengan impedansi tetap. Untuk merepresentasikan suatu beban dengan impedansi tetap, daya yang diserap oleh beban dikonversikan

ke dalam bentuk impedansi seri atau paralel. Representasi beban dengan impedansi tetap ini biasanya digunakan pada studi stabilitas suatu sistem tenaga listrik. Jika MW dan MVAR dari beban diketahui dan bernilai tetap, maka impedansi atau admintansi dihitung dengan:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V^2}{P - jQ} \quad (2.3)$$

atau

$$Y = \frac{I}{V} = \frac{P - jQ}{V^2} \quad (2.4)$$

Total beban yang dibutuhkan suatu wilayah tergantung pada jumlah penduduk dan taraf hidup penduduknya. Umumnya beban dicirikan oleh faktor beban, faktor permintaan, faktor keanekaragaman, faktor daya, dan faktor pemanfaatan. Secara umum, jenis beban dapat dibagi menjadi beberapa kategori berikut:

1. Beban Domestik: Beban domestik terutama terdiri dari lampu, kipas angin, lemari es, AC, mixer, penggiling, pemanas, oven, motor pompa kecil, dll.
2. Beban Komersial: Beban komersial terutama terdiri dari lampu untuk toko, kantor, iklan, dll., kipas angin, pemanas, AC, dan banyak peralatan listrik lainnya yang digunakan di tempat usaha komersial seperti pasar, restoran, dll.
3. Beban Industri: Beban industri terdiri dari industri skala kecil, industri skala menengah, industri skala besar, industri berat, dan industri rumahan.
4. Beban Pertanian: Jenis beban ini terutama beban pompa motor untuk keperluan irigasi. Faktor beban untuk beban ini sangat kecil, misalnya 0,15—0,20.(Das, 2017)

#### 2.2.4 Studi Aliran Daya

Tujuan aliran daya dalam buku (Rimbawati et al., 2015) adalah untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk menelaah berbagai permasalahan yang

berhubungan dengan jaringan tersebut, yaitu meliputi hal-hal yang berhubungan dengan operasi jaringan yaitu:

1. Pengaturan tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (*power factor*) jaringan, kapasitas kawat penghantar, termasuk rugi-rugi daya.
2. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru.
3. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena peningkatan kebutuhan tenaga listrik.

Dalam analisis aliran daya, terdapat lima besaran pada masing-masing bus jaringan yang ditinjau dan memegang peranan, yaitu:

1. Daya aktif P (*active power*)

Daya nyata yang dibutuhkan oleh beban disebut juga daya aktif (Active Power). Watt adalah satuan daya aktif dinyatakan dengan persamaan:

$$P = V I \cos \theta \quad (2.5)$$

2. Daya reaktif Q (*reactive power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang mempunyai nilai induktif atau kapasitif. Satuan daya reaktif adalah VAR dinyatakan dengan persamaan:

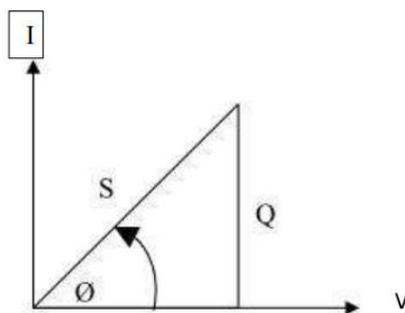
$$Q = V I \sin \theta \quad (2.6)$$

3. Daya Semu

Daya yang terukur atau terbaca pada alat ukur adalah daya semu pada beban impedansi (Z). Penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara vektoris adalah daya semu. VA adalah satuan daya semu yang dinyatakan dengan persamaan:

$$S = P + jQ \quad (2.7)$$

Gambar 2.4 menunjukkan gambar segitiga daya. Hubungan dari ketiga daya diatas (P, Q, S) disebut segitiga daya.



Gambar 2. 4 Segitiga Daya

#### 4. Nilai skalar tegangan $|V|$ (*magnitude*)

Dalam konteks kelistrikan, nilai skalar tegangan  $|V|$  (*magnitude*) mengacu pada besarnya tegangan listrik tanpa memperhitungkan arahnya. Tegangan listrik sendiri merupakan perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik, yang menyebabkan arus listrik dapat mengalir.

Nilai skalar tegangan dinyatakan dalam satuan volt (V). Pengukuran nilai skalar tegangan dapat dilakukan menggunakan alat yang disebut voltmeter. Voltmeter mengukur perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian dan menampilkan nilai tegangan dalam satuan volt.

Penting untuk diingat bahwa tegangan listrik juga memiliki arah, yang biasanya ditunjukkan oleh tanda positif (+) atau negatif (-). Namun, dalam beberapa konteks, seperti dalam perhitungan daya atau energi listrik, hanya nilai skalar tegangan yang diperlukan.

#### 5. Sudut fasa tegangan $\theta$ (*angle*)

Perbedaan fasa antara gelombang tegangan dan gelombang arus dalam rangkaian listrik bolak-balik (AC). Sudut fasa ini menunjukkan seberapa besar gelombang tegangan mendahului atau tertinggal dari gelombang arus.

### 2.2.4.1 Matriks Admitansi Bus

Pendekatan yang paling umum untuk analisis aliran daya didasarkan pada matriks admitansi bus  $Y_{bus}$ . Namun, ini matriksnya sedikit berbeda dari yang dipelajari sebelumnya karena Impedansi internal Generator dan beban yang dihubungkan ke sistem tidak diikutkan dalam  $Y_{bus}$ . Sebaliknya, mereka diperhitungkan sebagai input dan output daya nyata (riil) dan reaktif yang ditentukan

dari bus. Contoh sistem daya sederhana memiliki 4 bus, 5 saluran transmisi, 1 generator dan 3 beban.

Admitansi shunt pada saluran transmisi diabaikan. Dalam kasus ini, Istilah  $Y_{ii}$  untuk matriks admitansi bus dapat dibangun dengan menjumlahkan admitansi pada semua saluran transmisi yang terhubung ke setiap bus, dan istilah  $Y_{ij}$  ( $i \neq j$ ) adalah hanya negatif dari admitansi saluran yang membentang antara bus  $i$  dan  $j$ . Oleh karena itu, sebagai contoh, istilah  $Y_{11}$  akan merupakan jumlah admitansi semua saluran transmisi yang terhubung ke bus 1, yang merupakan saluran 1 dan 5.

Jika admitansi shunt saluran transmisi tidak diabaikan, admitansi diri  $Y_{ii}$  di setiap bus juga akan mencakup setengah dari admitansi shunt setiap saluran transmisi yang terhubung ke bus. Istilah  $Y_{12}$  akan negatif dari semua admitansi peregangannya antara bus 1 dan bus 2, yang akan menjadi negatif dari admitansi saluran transmisi 1.

Dalam menganalisis kinerja sistem listrik harus baik dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi kesalahan atau kondisi gangguan. Analisa operasi kondisi normal (*steady state*) disebut studi aliran daya dan targetnya adalah menentukan aliran tegangan, arus, daya nyata (riil) dan daya reaktif yang mengalir dalam sistem di bawah kondisi beban tertentu. Tujuan dari studi aliran daya adalah untuk merencanakan ke depan dan memperti, bangkan untuk hipotesa berbagai situasi. Misalnya, bagaimana jika saluran transmisi dalam sistem yang memasok beban dengan benar harus lepas dengan alasan untuk pemeliharaan. Saluran yang tersisa dalam sistem dapat menanggung beban yang diperlukan tanpa melebihi parameter ratingnya. (Wibowo, 2018)

Supaya lebih sederhana, resistansinya diabaikan. Semua nilai yang tertera di gambar I dinyatakan dalam per-unit. Jika semua Impedansi diubah ke dalam admitansi, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$y_{ik} = \frac{1}{z_{ik}} = \frac{1}{r_{ik} + jx_{ik}} \quad (2.8)$$

Dalam besaran admitansi-admitansi dan transformasi menjadi sumber arus pada rangkaian gambar 2.5 digambar kembali pada gambar 2.6. Pada gambar 2.6 antara simpul-simpul akan menghasilkan persamaan dengan menerapkan hukum Arus Kirchoff:

$$I_1 = y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3) \quad (2.9)$$

$$I_2 = y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3) \quad (2.10)$$

$$0 = y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{34}(V_3 - V_4) \quad (2.11)$$

$$0 = y_{34}(V_3 - V_4) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) maka menghasilkan:

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3 \quad (2.13)$$

$$I_2 = -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3 \quad (2.14)$$

$$0 = -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{34})V_3 - y_{34}V_4 \quad (2.15)$$

$$0 = -y_{34}V_3 + y_{34}V_4 \quad (2.16)$$

Dengan persamaan (2.13), (2.14), (2.15), (2.16) maka menghasilkan:

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13} \quad (2.17)$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23} \quad (2.18)$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{34} \quad (2.19)$$

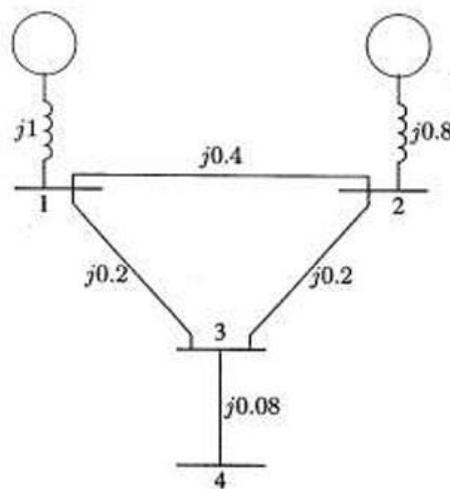
$$Y_{44} = y_{34} \quad (2.20)$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12} \quad (2.21)$$

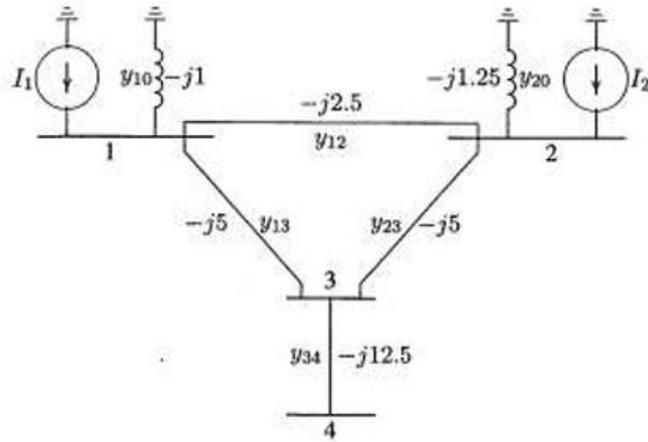
$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13} \quad (2.22)$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} \quad (2.23)$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34} \quad (2.24)$$



Gambar 2. 5 Diagram impedansi pada sistem tenaga listrik sederhana



Gambar 2. 6 Diagram admitansi pada sistem tenaga listrik sederhana

Persamaan (2.13) hingga (2.24) arus pada simpul menjadi:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 \quad (2.25)$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 \quad (2.26)$$

$$I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 \quad (2.27)$$

$$I_4 = Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 \quad (2.28)$$

Persamaan arus pada simpul dalam matriks untuk sistem n bus, adalah:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{ni} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.30)$$

Vektor arus bus yang diinjeksikan adalah  $I_{bus}$ . Arus negatif jika meninggalkan bus dan positif jika menuju bus. Vektor tegangan bus yang diukur dari simpul referensi adalah  $V_{bus}$ . Matriks admitansi bus dikenal sebagai  $Y_{bus}$ . Elemen diagonal antara simpul-simpul dan matriks admitansi bus ( $Y_{bus}$ ) ini terbentuk dari elemen diagonal masing-masing simpul. Admitansi sendiri dikenal sebagai elemen diagonal masing-masing sama dengan penjumlahan dari admitansi yang dihubungkan padanya, yaitu:

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (2.31)$$

Sedangkan admitansi bersama dikenal sebagai elemen diagonal antara simpul simpul sama dengan admitansi yang dihubungkan padanya dengan t negatif, yaitu:

$$Y_{ij} = Y_{ji}^{-1} = -y_{ij} \quad (2.32)$$

Jika arus bus diketahui, persamaan (2.30) dapat diselesaikan untuk tegangan n bus, yaitu:

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (2.33)$$

Matriks impedansi bus  $Z_{bus}$  dikenal sebagai invers dari matriks admitansi bus

#### 2.2.4.2 Jenis – Jenis Bus

Dalam studi aliran daya, bus-bus dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

Tipe 1 – Bus PV: Daya riil P dan besaran tegangan  $|V|$  diketahui, sedangkan daya reaktif Q dan sudut tegangan  $q$  tidak diketahui. Bus yang terhubung ke generator biasanya berupa bus PV.

Tipe 2 – Bus PQ: Daya riil dan reaktif, P dan Q, masing-masing, diketahui, sedangkan besaran tegangan dan sudut, V dan  $q$ , tidak diketahui. Bus yang terhubung ke beban biasanya berupa bus PQ atau load bus, serta bus tempat generator dengan daya keluaran konstan atau tidak dapat disesuaikan terhubung.

Tipe 3 - Bus berayun (*swing bus*), yang sering juga disebut floating bus, slack bus, atau bus referensi, dipilih di antara bus generator atau penyedia daya yang mempunyai kapasitas tertinggi di antara yang terpasang dalam jaringan yang ditinjau. Bus berayun ini harus mampu membangkitkan daya aktif dan daya reaktif yang dibutuhkan untuk melayani bus beban dan mengimbangi rugi daya pada saluran. (Rimbawati et al., 2015)

#### 2.2.4.3 Kapasitor dan Reaktor Shunt

Dalam sistem tenaga listrik, sering diperlukan kapasitor shunt dan reaktor shunt sebagai alat kompensasi pada saluran transmisi. Kompensasi ini diperlukan, antara lain, untuk memperbaiki tegangan agar variasi tegangan tetap berada pada batas-batas yang diizinkan. Pada kondisi kebutuhan daya aktif dan daya reaktif yang cukup besar, tegangan cenderung menurun melewati batas yang diizinkan. Oleh sebab itu, untuk mengatasi kondisi tersebut, dipasang kapasitor shunt yang dapat menyuplai daya reaktif sehingga tegangan dapat naik kembali. Sebaliknya, bila kebutuhan daya aktif dan reaktif sangat kecil, pengaruh dari kapasitor akan

menyebabkan naiknya tegangan di sisi penerima, melewati batas yang diizinkan. Pemasangan reaktor shunt akan menyerap pelepasan muatan dari kapasitansi saluran sehingga tegangan turun kembali. Kapasitor dapat direpresentasikan sebagai sumber daya reaktif atau sering kali sebagai impedansi. (Rimbawati et al., 2015)

Nilai admitansi dalam pu terdiri dari konduktansi dan susceptansi. Untuk reaktor induktif shunt, susceptansi negatif dan untuk kapasitor shunt, nilai susceptansi positif. Nilai konduktansi nol atau nilainya dapat diabaikan. Jumlah total baris data dalam aliran sama dengan jumlah reaktor shunt dan kapasitor, yang nilainya diberikan dalam bentuk admitansi. Untuk reaktor induktif shunt, nilai impedansi dalam pu terdiri dari resistansi dan reaktansi. Reaktansi positif dan untuk kapasitor shunt, nilai reaktansi negatif. Resistansi nol atau nilainya dapat diabaikan. Dalam beberapa studi sistem tertentu, data elemen shunt tersedia dalam bentuk impedansi. Motor induksi direpresentasikan dalam bentuk impedansi shunt, nilai impedansi diperoleh setelah menyederhanakan rangkaian ekuivalen yang tepat. Selain itu, dalam beberapa studi beban direpresentasikan dalam bentuk impedansi. Ketika jaringan diperkecil, semua beban dapat digabungkan pada bus sebagai beban impedansi. Jumlah total baris data dalam aliran ini sama dengan jumlah impedansi shunt seperti yang diberikan dalam aliran spesifikasi. (Kirtley, 2010)

### **2.2.5 Metode Studi Aliran daya**

Dalam berbagai kasus, diagram satu garis berbeda-beda sesuai dengan persoalan yang akan diselesaikan. Misalnya, dalam studi aliran daya, beban-beban dan hambatan-hambatan seperti impedansi, resistansi, dan induktansi harus digambarkan. Tempat netral ke tanah tidak perlu digambarkan. Sebenarnya, pengabaian ini bertujuan untuk menyederhanakan perhitungan, terutama jika perhitungan dilakukan secara manual. Komponen-komponen dari suatu sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari: pusat pembangkit, dalam hal ini yang digambarkan adalah generatornya; transformator daya; saluran transmisi; kondensator sinkron arus statis; alat pengaman (pemutus daya dan relai-relai); serta beban yang terdiri dari beban dinamis dan beban statis.

### 2.2.5.1 Metode Newton Raphson

Metode Newton-Raphson dikembangkan dari Deret Taylor dengan mengabaikan derivatif pertama fungsi dengan satu variabel dari persamaan Deret Taylor. Metode Newton Raphson memiliki perhitungan lebih baik daripada metode Gauss-Seidel bila untuk sistem yang besar karena lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar.

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.34)$$

Persamaan diatas bila ditulis dalam bentuk polar adalah :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.35)$$

Daya kompleks pada bus I adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.36)$$

Substitusi dari persamaan (2.45) untuk  $I_i$  ke dalam persamaan (2.47) menghasilkan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_j \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.37)$$

Pisahkan bagian real dan imajiner :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.38)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.39)$$

Persamaan (2.49) dan (2.50) membentuk persamaan aljabar nonlinier dengan variable sendiri. Besarnya setiap variable dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian. Persamaan (2.49) dan (2.50) dikembangkan dari deret taylor seperti persamaan berikut ini

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Dalam hal ini bus 1 diumpamakan sebagai slack bus. Matriks Jacobian memberikan perbandingan linier antara perubahan pada sudut tegangan  $\Delta\delta_i^{(k)}$  dan besarnya tegangan  $\Delta|V_i^{(k)}|$  dengan sedikit perubahan pada daya aktif ( $\Delta P_i^{(k)}$ ) dan daya reaktif ( $\Delta Q_i^{(k)}$ ). Dalam bentuk singkat dapat ditulis seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Banyaknya elemen Matriks Jacobian dari persamaan (2.52) ditentukan dengan  $(2n-2-m) \times (2n-2-m)$  dengan n adalah banyaknya bus pada sistem, sedangkan m adalah banyaknya *Voltage-controlled buses* pada sistem.  $J_1$  diperoleh dari  $(n-1) \times (n-1)$ ,  $J_2$  diperoleh dari  $(n-1) \times (n-1-m) \times (n-1)$  dan  $J_4$  diperoleh dari  $(n-1-m) \times (n-1-m)$ . Solusi ini merupakan solusi perkiraan karena suku turunan orde lebih tinggi dari deret Taylor diabaikan. Oleh karena itu, solusinya juga merupakan perkiraan, yaitu bukan solusi sebenarnya. Akibatnya, diperlukan iterasi lebih lanjut. Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_1$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.43)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_2$  adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ij}| \cos\theta_{ij} + \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.44)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.45)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_3$  adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{i=1} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.46)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.47)$$

Elemen diagonal dan diagonal luar untuk  $J_4$  adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ij}|\sin\theta_{ij} + \sum_{j \neq i} |V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.48)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.49)$$

Harga dari  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  berbeda antara yang terjadwal dengan nilai perhitungan, dan ini disebut sisa daya (*power residuals*) yang diberikan dengan :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.50)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.51)$$

Perhitungan baru untuk sudut fasa dan tegangan bus adalah :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.52)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.53)$$

Prinsip matematika yang dijelaskan di atas dapat diterapkan untuk menyelesaikan persamaan aliran daya non-linier yang dinyatakan dalam sistem koordinat polar atau sistem koordinat persegi panjang. (Sallam & Malik, 2015)

### 2.2.5.2 Metode Fast Decoupled

Teori Fast Decoupled digunakan di sistem listrik dengan keadaan tunak. Daya aktif dan tegangan bus merupakan factor pendukung pada teori Fast Decoupled. Perhitungan daya terdapat beberapa keadaan sistem dengan cara menurunkan serta menaikkan pemakaian pada seluruh bus dan X serta R merupakan pengaruh terhadap sudut fasa (Syafi'i et al., 2021). Pencarian nilai yang menggunakan metode Fast Decoupled ini dapat dimulai dari perhitungan impedansi pada jaringan ( $Z_{ij}$ ) di persamaan berikut:

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad (2.54)$$

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga adalah ketergantungan daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan daya reaktif dengan magnitude tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada

magnitudo tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti daya nyata. Sedangkan perubahan kecil pada sudut tegangan fasa tidak menyebabkan perubahan pada daya reaktif. Ini dapat dibuktikan pada pendekatan untuk menyatakan ketertarikan pada P dan S serta Q dan V. Pada metode Fastdecoupled persamaan matriks menjadi dua persamaan decoupled yang membutuhkan waktu yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan menggunakan pemecah persamaan Newton Raphson (Pangloli et al., 2020).

Perubahan daya aktif ( $\Delta P$ ) kurang sensitif terhadap perubahan tegangan, tetapi paling sensitif terhadap perubahan sudut fasa ( $\Delta \delta$ ). Sebaliknya, daya reaktif kurang sensitif terhadap perubahan sudut fasa dan sangat bergantung pada perubahan tegangan. Oleh karena itu, elemen matriks Jacobian dapat disederhanakan menjadi matriks nol. Dengan demikian, persamaan (2.41) menjadi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

$$\Delta P = J_1 \Delta \delta = \left[ \frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta \delta \quad (2.56)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta |V| = \left[ \frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta |V| \quad (2.57)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa matriks menjadi suatu persamaan yang terdekupl (*decoupled*), yang membutuhkan waktu lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pemecahan persamaan (2.41). Selain itu, penyederhanaan dapat dilakukan agar tidak terjadi perhitungan ulang untuk  $J_1$  dan  $J_4$  selama iterasi berlangsung. Elemen-elemen diagonal dari  $J_1$  dijelaskan oleh persamaan (2.42), yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i - \delta_j) - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} \quad (2.58)$$

Gantilah suku pertama di atas dengan  $-Q_i$  seperti yang diberikan oleh persamaan (2.38), sehingga menjadi:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q - |V|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} \quad (2.59)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (2.60)$$

Dengan  $B_{ii} = |Y_{ii}| \sin \theta_{ii}$  merupakan bagian imajiner dari elemen-elemen diagonal admitansi matriks bus.  $B_{ii}$  merupakan jumlah dari elemen yang masuk ke bus  $i$ . Dalam sistem tenaga,  $B_{ii} \gg Q_{ii}$ , sehingga  $Q_i$  dapat diabaikan. Penyederhanaan dapat diperoleh dengan menganggap  $|V_i|^2 = |V_i|$ , sehingga hasilnya:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ii} \quad (2.61)$$

Pada keadaan operasi normal,  $\delta_j - \delta_i$  sedikit lebih kecil. Demikian juga persamaan (2.43) yang mengasumsikan  $\theta_{ii} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ii}$ , sehingga elemen diagonal luar dari  $J_1$  menjadi:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| B_{ij} \quad (2.62)$$

Penyederhanaan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menganggap  $|V_i| \approx 1$ , jadi:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| B_{ij} \quad (2.63)$$

Ganti suku kedua dari persamaan di atas dengan  $-Q_i$  maka yang diberikan oleh persamaan Elemen diagonal  $J_4$  dijabarkan dengan persamaan (2.48), yang dapat ditulis sebagai:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.64)$$

Ganti suku kedua dari persamaan di atas dengan  $-Q_i$  maka yang diberikan oleh persamaan (2.39) adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = |V_i| |Y_{ii}| \theta_{ii} + Q_i \quad (2.65)$$

Karena  $B_{ii} = Y_{ii} \sin \theta_{ii} \gg Q_i$ ,  $Q_i$  dapat diabaikan dan persamaan (2.48) menjadi:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i| B_{ij} \quad (2.66)$$

Juga pada persamaan (2.49) diumpamakan  $\theta_{ii} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ii}$  jadi

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_i} = -|V_i| B_{ij} \quad (2.67)$$

Dengan mengasumsikan persamaan (2.56) dan (2.57) diformulasikan dalam:

$$\frac{\Delta P}{|V|} = -B' \Delta \delta \quad (2.68)$$

$$\frac{\Delta Q}{|V|} = -B'' \Delta |V| \quad (2.69)$$

Di sini,  $B'$  dan  $B''$  adalah bagian imajiner dari matriks  $Y_{bus}$ .  $B'$  adalah matriks yang baris dan kolomnya disusun mulai dari  $(n-1)$ , dengan  $n$  adalah banyaknya bus pada sistem.  $B''$  adalah suatu nilai yang ditentukan dari baris dan kolomnya dengan  $(n-1-m)$ , dengan  $m$  merupakan banyaknya bus yang dikendalikan tegangan. Oleh karena itu, dalam algoritma aliran daya dengan metode fast decoupled, besar sudut fasa dan tegangan dapat dicari dengan:

$$\Delta \delta = -[B']^{-1} \frac{\Delta P}{|V|} \quad (2.70)$$

$$\Delta |V| = -[B'']^{-1} \frac{\Delta Q}{|V|} \quad (2.71)$$

Pemecahan aliran daya dengan metode fast decoupled membutuhkan lebih banyak iterasi dibandingkan dengan metode Newton-Raphson, tetapi untuk setiap proses iterasi dibutuhkan waktu yang lebih sedikit sehingga pemecahan aliran daya dapat diperoleh dengan cepat.

### 2.2.6 Software ETAP 19

ETAP adalah paket Enterprise yang sepenuhnya grafis yang berjalan pada sistem operasi Microsoft Windows® 2008, 2012, 7, 8, 8.1 dan 10. ETAP adalah alat analisis terlengkap untuk desain dan pengujian sistem daya yang tersedia. Dengan menggunakan modul simulasi offline strnya, ETAP dapat memanfaatkan data operasi waktu nyata untuk pemantauan tingkat lanjut, simulasi waktu nyata, pengoptimalan, sistem manajemen energi, dan pemutusan beban cerdas berkecepatan tinggi.

ETAP telah dirancang dan dikembangkan oleh para insinyur untuk para insinyur guna menangani berbagai disiplin sistem daya untuk spektrum industri yang luas dalam satu paket terintegrasi dengan berbagai tampilan antarmuka seperti jaringan AC dan DC, jalur kabel, jaringan tanah, GIS, panel, arc flash, WTG, koordinasi/selektivitas perangkat pelindung, dan diagram sistem kontrol AC dan DC.

Pengguna ETAP harus mahir dalam menggunakan operasi dasar lingkungan Windows®. Penggunaan ETAP tidak memerlukan pelatihan. Namun, untuk memfasilitasi proses pembelajaran, OTI menyediakan lokakarya sepanjang tahun di beberapa lokasi.

ETAP memungkinkan membuat dan mengedit diagram satu garis grafis (OLD), sistem jalur kabel bawah tanah (UGS), sistem kabel tiga dimensi, diagram koordinasi waktu-arus dan selektivitas tingkat lanjut, skema sistem informasi geografis (GIS), serta sistem grid tanah tiga dimensi (GGS) dengan mudah. Program ini dirancang untuk menggabungkan tiga konsep utama.

Operasi program ini meniru operasi sistem kelistrikan yang sebenarnya sedekat mungkin. Misalnya, saat membuka atau menutup pemutus arus, menonaktifkan elemen, atau mengubah status pengoperasian motor, elemen dan subsistem yang tidak diberi energi ditunjukkan pada diagram satu baris dengan warna abu-abu. ETAP menggabungkan konsep inovatif untuk menentukan koordinasi perangkat pelindung langsung dari diagram satu baris.

ETAP menggabungkan atribut kelistrikan, logika, mekanik, dan fisik elemen sistem dalam basis data yang sama. Misalnya, kabel tidak hanya berisi data yang menunjukkan sifat kelistrikan dan dimensi fisiknya, tetapi juga informasi yang menunjukkan jalur kabel yang dilaluinya. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk analisis aliran beban atau sirkuit pendek (yang memerlukan parameter dan koneksi kelistrikan) serta perhitungan penurunan daya kabel (yang memerlukan data perutean fisik). Integrasi data ini memberikan konsistensi di seluruh sistem dan menghilangkan kebutuhan untuk beberapa entri data untuk elemen yang sama, yang dapat menghemat banyak waktu.

ETAP melacak data terperinci untuk setiap peralatan listrik. Editor data dapat mempercepat proses entri data dengan memerlukan data minimum untuk

studi tertentu. Untuk mencapai hal ini, kami telah menyusun editor properti dengan cara yang paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisis atau desain. Diagram satu baris ETAP mendukung sejumlah fitur untuk membantu dalam membangun jaringan dengan kompleksitas yang berbeda. Misalnya, setiap elemen dapat memiliki orientasi, ukuran, dan simbol tampilan yang berbeda (IEC atau ANSI). Diagram satu baris juga memungkinkan untuk menempatkan beberapa perangkat proteksi antara cabang sirkuit dan bus. ETAP memberi berbagai opsi untuk menyajikan atau melihat sistem kelistrikan. Tampilan ini disebut presentasi. Lokasi, ukuran, orientasi, dan simbol setiap elemen dapat ditampilkan secara berbeda dalam setiap presentasi. Selain itu, perangkat proteksi dan relai dapat ditampilkan (terlihat) atau disembunyikan (tidak terlihat) untuk setiap presentasi tertentu. Misalnya, satu presentasi dapat berupa tampilan relai tempat semua perangkat proteksi ditampilkan. Presentasi lain dapat menampilkan diagram satu baris dengan beberapa pemutus sirkuit ditampilkan dan sisanya disembunyikan (tata letak yang paling sesuai untuk hasil aliran beban).

Di antara fitur ETAP yang paling canggih adalah elemen jaringan dan motor komposit. Elemen komposit memungkinkan untuk secara grafis menumpuk elemen jaringan di dalamnya hingga kedalaman yang sewenang-wenang. Misalnya, jaringan komposit dapat berisi jaringan komposit lainnya, fitur yang menyediakan kemampuan untuk membangun jaringan listrik yang kompleks sambil tetap mempertahankan diagram yang bersih dan rapi yang menampilkan apa yang ingin tekankan - namun tingkat detail sistem berikutnya mudah dijangkau oleh mouse. ETAP menempatkan kekuatan di ujung jari.

Analisis Aliran Beban ETAP menghitung tegangan bus, faktor daya cabang, arus, dan aliran daya di seluruh sistem kelistrikan. ETAP memungkinkan sumber daya yang berayun, diatur tegangannya, dan tidak diatur dengan beberapa jaringan listrik dan koneksi generator. Modul ini mampu melakukan analisis pada sistem radial dan loop. ETAP memungkinkan memilih dari beberapa metode berbeda untuk mencapai efisiensi perhitungan terbaik. Latar belakang teoritis untuk berbagai metode perhitungan aliran beban juga disediakan. Bagian bilah alat Aliran Beban menjelaskan cara meluncurkan perhitungan aliran beban, membuka dan melihat laporan keluaran, atau memilih opsi tampilan. Bagian Editor Kasus Studi

Aliran Beban menjelaskan cara membuat kasus studi baru, parameter apa yang diperlukan untuk menentukan kasus studi, dan cara mengaturnya. Bagian Opsi Tampilan menjelaskan opsi apa yang tersedia untuk menampilkan beberapa parameter sistem utama dan hasil keluaran pada diagram satu baris, dan cara mengaturnya. Bagian Metode Perhitungan Aliran Beban menunjukkan rumusan berbagai metode perhitungan aliran beban. Perbandingan pada tingkat konvergensi, peningkatan konvergensi berdasarkan parameter dan konfigurasi sistem yang berbeda, dan beberapa kiat untuk memilih metode perhitungan yang tepat juga ditemukan di bagian ini. Bagian Data yang Diperlukan untuk Perhitungan menjelaskan data apa yang diperlukan untuk melakukan perhitungan aliran beban dan di mana memasukkannya. Bagian Laporan Keluaran Studi Aliran Beban mengilustrasikan dan menjelaskan laporan keluaran dan bentuknya. Terakhir, Penganalisis Hasil Aliran Beban memungkinkan untuk melihat hasil dari berbagai studi dalam satu layar sehingga dapat menganalisis dan membandingkan hasil yang berbeda. (Operation Technology, 2008).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat Penelitian**

Alat dalam komperasi analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled dalam penyelesaian Studi Aliran Daya dengan menggunakan Software ETAP adalah sebuah laptop yang memiliki prosesor AMD Ryzen 7 8845HS w/ Radeon 780M Graphics dengan memori RAM 16 GB dan penyimpanan menggunakan SSD NVME 512 GB. Alat ini memungkinkan pengolahan data yang cepat dan efisien, sehingga memudahkan dalam melakukan simulasi dan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik. Dengan spesifikasi tersebut, laptop mampu menjalankan perhitungan iteratif yang diperlukan dalam metode Newton Raphson dan Fast Decoupled, serta menyediakan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Penggunaan SSD NVME juga mempercepat waktu akses data, yang sangat bermanfaat ketika bekerja dengan dataset besar atau memerlukan banyak iterasi. Selain itu, kombinasi RAM yang cukup besar dan prosesor yang mumpuni memastikan bahwa ETAP dapat beroperasi optimal tanpa mengalami hambatan kinerja yang berarti.

Software yang digunakan dalam komparasi analisis aliran daya dengan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled dalam penyelesaian studi aliran daya adalah ETAP 19. ETAP 19 menawarkan berbagai fitur canggih yang memudahkan para peneliti dalam menyelesaikan masalah kompleks seperti analisis aliran daya. Dengan antarmuka pengguna yang intuitif dan alat simulasi yang kuat, ETAP 19 memungkinkan pengguna untuk memodelkan sistem tenaga dengan akurasi tinggi. Metode Newton Raphson dikenal karena konvergensinya yang cepat dalam analisis sistem yang besar dan kompleks, sementara metode Fast Decoupled menawarkan kecepatan komputasi yang lebih tinggi dengan sedikit pengorbanan pada akurasi. Kedua metode ini dapat diterapkan dalam ETAP untuk mendapatkan hasil yang cepat dan andal, menjadikannya alat yang sangat berharga dalam bidang teknik kelistrikan. Selain itu, ETAP 19 juga menyediakan fitur pelaporan yang komprehensif, yang mempermudah dalam penyajian data dan hasil analisis kepada pemangku kepentingan.

Dengan menggunakan ETAP, pengguna dapat dengan mudah memodelkan dan mensimulasikan skenario aliran daya yang berbeda, serta menganalisis hasilnya dengan visualisasi data yang komprehensif. Hal ini memberikan wawasan yang lebih mendalam dan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga.

### 3.2 Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data dari sistem kelistrikan Sumatera Utara, yang mencakup: data bus, kapasitas pembangkitan, tegangan (V), daya aktif (P), daya reaktif (Q), data beban, serta data impedansi saluran. Dengan memanfaatkan data tersebut, analisis performa sistem kelistrikan dapat dilakukan untuk mengidentifikasi potensi peningkatan efisiensi dan kelan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP yang memungkinkan pemodelan dan analisis aliran daya, stabilitas tegangan, serta keseluruhan kinerja jaringan.

Sistem transmisi Sumatera Utara pada tahun 2023 menggunakan sistem transmisi 150/275kV tetapi sebagian besar menggunakan sistem transmisi 150 kV. Sistem transmisi di Sumatera Utara tahun 2023 terdapat 58 Pembangkit, 58 Gardu Induk dan 109 saluran transmisi dengan total kapasitas pembangkit sebesar 7302.2 MW dengan 5 penambahan pembangkit baru diantaranya PLTP Sipoholon Ria-Ria, PLTA Batang Toru, PLTA Simonggo 2, PLTA Sibundong 4 dan PLTU Sumut 2 dengan total kapasitas penambahan pembangkit baru 1.295 MW.



Gambar 3. 1 Peta Jaringan Transmisi Sumatera Utara

### 3.2.1 Data Saluran Transmisi di Sumatera Utara

Data saluran transmisi sangat dibutuhkan saat menjalankan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled dalam menyelesaikan aliran daya. Data dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 3. 1 Data Saluran Transmisi di Sumatera Utara

ID	Panjang (m)	R	X
Aek Kanopan - R Prapat	50000,0	2,630000	2,660000
B Toru - NP Sidempuan	88000,0	1,410000	1,450000
Batu Gingging - Paya Geli	10000,0	1,300000	1,350000
Batu Gingging-GIS Listrik	5000,0	0,290000	0,300000
Belawan PLTGU - Binjai	34470,0	1,930000	1,970000
Belawan PLTU - P Pasir	6200,0	0,790000	0,800000
Binjai - Galang	90000,0	1,500000	1,530000
Binjai - Kuala	9000,0	0,520000	0,540000
Binjai - Paya Geli	13920,0	0,800000	0,840000
Binjai - T Pura	25000,0	1,440000	1,510000
Brastagi - Dairi	75000,0	13,730000	14,750000
Brastagi - Renun	50590,0	1,410000	1,450000
Brastagi - Sidikalang	63980,0	1,410000	1,450000
Denai - Sei Rotan	11440,0	2,090000	2,250000
Dolok Sanggul - Tarutung	63000,0	1,410000	1,450000
G Tua - Sibuhuan	124100,0	1,410000	1,450000
Galang - Simongkok	156000,0	0,340000	0,350000
Galang - Tanjung Morawa	156000,0	8,750000	8,890000
Gis Listrik - Titi Kuning	7930,0	0,460000	0,480000
Glugur - Helvetia	5000,0	0,290000	0,300000
Glugur - Paya Geli	11920,0	1,530000	1,570000
Gunung Para - P Siantar	24000,0	2,630000	2,660000
Hasang - Aek Kanopanaaaaa	25000,0	2,630000	2,660000
Inalum - Kisaran	109000,0	2,630000	2,660000
K Tanjung - T Tinggi	35750,0	2,630000	2,660000

ID	Panjang (m)	R	X
KIM - KIM II	5000,0	0,880000	0,910000
KIM - Mabar	23720,0	1,360000	1,400000
KIM II - Sei Rotan	25000,0	4,410000	4,530000
Kisaran - Aek Kanopan	50000,0	2,630000	2,660000
Kisaran - Kuala Tanjung	57150,0	2,630000	2,660000
Kisaran - Perdagangan	35000,0	2,630000	2,660000
Kota Pinang-R Prapat	4600,0	0,290000	0,300000
Kualanmu - T Morawa	13920,0	0,800000	0,840000
L Bilik - R Prapat	35000,0	0,290000	0,300000
Labuhan - Belawan PLTU	2950,0	1,360000	1,400000
Labuhan Angin - Sibolga	28800,0	1,410000	1,450000
Lamhotma - Belawan PLTU	7800,0	1,100000	1,180000
Lamhotma - Labuhan	3200,0	1,360000	1,400000
Namorambe - Galang	48000,0	2,690000	2,740000
Namorambe - Paya Geli	18490,0	3,340000	3,530000
Namorambe - Selayang	9000,0	0,520000	0,540000
Natal - Penyambungan	50000,0	1,410000	1,450000
Negri Dolok - Galang	11000,0	1,410000	1,450000
NP Sidempuan - P Sidempua	10000,0	1,410000	1,450000
NP Sidempuan - Penyambung	70000,0	1,410000	1,450000
P Brandan - Binjai	50810,0	2,930000	3,070000
P Brandan - Tf P Susu	10000,0	0,580000	0,600000
P Sidempuan - Martabe	500,0	1,410000	1,450000
P Sidempuan - R Prapat	167000,0	1,410000	1,450000
P Sidempuan-G Tua	124100,0	1,410000	1,450000
P Susu - Tf P Susu 3	69900,0	2,630000	2,660000
P. Brandan - T Pura	25000,0	1,440000	1,510000
P. Siantar - Porsea	72480,0	1,410000	1,450000
Pakkat - Dolok Sanggul	35000,0	1,410000	1,450000
Pancing - Denai	8000,0	1,410000	1,450000
Pancing - KIM II	20000,0	1,080000	1,090000

ID	Panjang (m)	R	X
Pancing - Sei Kera	8000,0	1,410000	1,450000
Parguguran - Tele	25000,0	1,410000	1,450000
Parlilitan-Dolok Sanggul	15000,0	1,410000	1,450000
Paya Geli - Helvetia	5000,0	0,290000	0,300000
Paya Geli - Selayang	9000,0	0,520000	0,540000
Paya Geli - Titi Kuning	30470,0	5,510000	5,810000
Paya Pasir - Mabar	5930,0	0,340000	0,350000
Paya Pasir - Paya Geli	21270,0	1,220000	1,260000
Perbaungan - Kualanamu	10000,0	0,580000	0,600000
Perbaungan - Sei Rotan	36510,0	6,680000	7,180000
Perbaungan-Tebing Tinggi	24000,0	2,630000	2,660000
Percut - KIM	17000,0	0,110000	0,110000
Percut - KIM II	2000,0	0,110000	0,110000
Percut - Pancing	10000,0	0,560000	0,570000
Percut - Sumbagut	23720,0	0,510000	0,510000
Perdagangan - K Tanjung	32000,0	2,630000	2,660000
Porsea - Tarutung	61690,0	1,410000	1,450000
R Prapat - G Tua	124100,0	1,410000	1,450000
S Merapi - Penyambungan	20000,0	1,410000	1,450000
Salak - Sidikalang	15000,0	1,410000	1,450000
Sei Kera - Denai	6800,0	1,410000	1,450000
Sei Kera - Teladan	4400,0	0,340000	0,350000
Sei Rotan - KIM	25000,0	5,280000	5,420000
Sei Rotan - Paya Pasir	28000,0	1,360000	1,400000
Sei Rotan - Percut	2000,0	0,110000	0,110000
Sei Rotan - PLTGU Belawan	26390,0	3,330000	3,380000
Sei Rotan - R Prapat	274000,0	0,290000	0,300000
Sei Rotan - T Morawa	7760,0	1,420000	1,530000
Sei Rotan - Tebing Tinggi	53490,0	2,630000	2,660000
Sei Rotan - Titi Kuning	27000,0	2,210000	2,270000
Sibolga - Martabe	500,0	1,410000	1,450000

ID	Panjang (m)	R	X
Sibolga - P Sidempuan	70780,0	1,410000	1,450000
Sibundong - Tarutung	85000,0	1,410000	1,450000
Sidikalang - Renun	25290,0	1,410000	1,450000
Sidikalang - Tele	40350,0	1,410000	1,450000
Sidikalang-Dolok Sanggul	63000,0	1,410000	1,450000
Simongkok - Asahan 3	35000,0	0,340000	0,350000
Simongkok - Porsea	2320,0	0,340000	0,350000
Sipan 2 - Sibolga	7830,0	1,410000	1,450000
Sipan I - Sibolga	7830,0	1,410000	1,450000
Sipan I - Sipan 2	7830,0	1,410000	1,450000
Sorik Merapi - Natal	93000,0	0,330000	1,450000
Sumbagut - Galang	35000,0	1,320000	1,330000
Sumut - Perdagangan	5000,0	2,630000	2,660000
T Morawa - Denai	11150,0	2,040000	2,190000
T Tinggi - G Para	24000,0	2,630000	2,660000
Tanjung Balai - Kisaran	50000,0	2,630000	2,660000
Tarutung - Sibolga	49520,0	1,410000	1,450000
Teladan - Titi Kuning	4600,0	0,290000	0,300000
Tele - Tarutung	81540,0	1,410000	1,450000
Tf P Susu 2 - Sumbagut 1	80000,0	0,520000	0,540000
Tf Sarulla - Simongkok	90000,0	0,340000	0,350000
Tf Sarulla2 - R Prapat	209000,0	1,410000	1,450000
Tf Sarulla4 - Sarulla	79000,0	1,410000	1,450000
Tf Sarulla6 - NP Sdmpuan	115000,0	1,410000	1,450000
Titi Kuning - Brastagi	52300,0	3,020000	3,160000
Titi Kuning - Namorambe	12440,0	2,250000	2,370000
Wampu - Brastagi	40000,0	5,180000	5,380000

(Mahmudah et al., 2019)

### 3.2.2 Data Pembangkit Sumatera Utara tahun 2023

Pada Sistem kelistrikan Sumatera Utara tahun 2023 terdapat beban saat kondisi normal. Kondisi normal terdapat perbedaan kapasitas operasi generator, dapat dilihat pada tabel 3.2 yang juga diambil dalam penelitian (Rimbawati et al., 2025).

Tabel 3. 2 Data Pembangkit di Sumatera Utara

Pembangkit	Type	MW
PLTA Asahan 1	Swing	174
PLTA Asahan 2	Voltage Control	80
PLTA Asahan 3	Voltage Control	18
PLTA Asahan 4	Voltage Control	90
PLTA Asahan 5	Voltage Control	90
PLTA BT Toru	Swing	127,5
PLTA BT Toru2	Voltage Control	127,5
PLTA BT Toru3	Voltage Control	127,5
PLTA BT Toru4	Voltage Control	127,5
PLTA Hasang	Swing	40
PLTA Inalum	Swing	90
PLTA Renun	Voltage Control	41
PLTA Renun2	Voltage Control	41
PLTA Sibundong	Voltage Control	35
PLTA Sibundong 2	Voltage Control	75
PLTA Sibundong3	Swing	90
PLTA Sipan	Voltage Control	33
PLTA Sipan2	Swing	13,6
PLTA WAMPU	Swing	45
PLTD Glugur	Swing	32,7
PLTD Titi Kuning	Swing	24,84
PLTG Paya Pasir	Swing	26,5
PLTGU Belawan1	Swing	150
PLTGU Belawan2	Voltage Control	150
PLTGU Belawan3	Voltage Control	150

Pembangkit	Type	MW
PLTGU Belawan4	Voltage Control	150
PLTGU Belawan5	Voltage Control	150
PLTGU Sumbagut 1	Swing	27,807
PLTGU Sumbagut 2	Voltage Control	250
PLTGU Sumbagut 3	Voltage Control	250
PLTH Pakkat	Swing	29,8
PLTH Parlilitan	Swing	51,4
PLTH Salak	Swing	48
PLTMH Dairi	Swing	43,5
PLTP Ria-Ria	Swing	20
PLTP Sarulla	Swing	110
PLTP Sarulla2	Voltage Control	110
PLTP Sarulla4	Voltage Control	80
PLTP Sibayak	Swing	10
PLTP Sorik Merapi	Swing	240
PLTU Belawan 2	Voltage Control	55
PLTU Belawan 1	Swing	55
PLTU Belawan 3	Voltage Control	55
PLTU Lbhn Angin	Swing	115
PLTU Lbhn Angin2	Voltage Control	92
PLTU Pangkalan Susu 1	Swing	220
PLTU Pangkalan Susu 2	Swing	220
PLTU Pangkalan Susu 3	Swing	200
PLTU Pangkalan Susu 4	Swing	220
PLTU Sumut	Swing	150
PLTU Sumut2	Voltage Control	150
PLTU Sumut3	Voltage Control	300
PLTU Sumut4	Voltage Control	120

(Mahmudah et al., 2019)

### 3.2.3 Data Pembebanan Sumatera Utara tahun 2023

Data pembebanan ini adalah beban pada Sumatera Utara tahun 2023 saat kondisi normal dari masing-masing gardu induk. Data pembebanan dapat dilihat pada tabel tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Beban di Sumater Utara

NAMA	MW	MVAR
Aek Kanopan	11,029	6,835
Asahan 3	4,804	2,977
Batang Toru	28,733	17,807
Batu Gingging	91,029	56,415
Belawan PLTGU		
Belawan PLTU		
Binjai	60,526	37,511
Brastagi	58,517	36,266
Dairi	8,896	5,513
Denai	69,096	42,822
Dolok Sanggul	3,161	1,959
Galang	15,083	1,348
Gis Listrik	74,120	45,935
Glugur	105,613	65,453
Gunung Para	9,693	6,007
Gunung Tua	13,364	8,282
Hasang		
Helvetia	103,038	63,857
Inalum		
KIM	113,019	70,043
KIM II	117,958	73,104
Kisaran	49,342	30,580
Kota Pinang	13,931	8,633
Kuala	33,654	20,857
Kuala Tanjung	57,883	35,873

NAMA	MW	MVAR
Kualanamu	39,774	24,650
Labuhan	31,570	19,565
Labuhan Angin	4,439	2,751
Labuhan Bilik	21,040	13,039
Lamhotma	9,617	5,960
Mabar	37,449	23,209
Martabe	1,710	1,060
N.P Sidempuan		
Namorambe	62,447	38,701
Natal	1,720	1,066
Negri Dolok	4,314	2,673
Padang Sidempuan	66,818	41,410
Pakkat	4,640	2,876
Pancing	87,013	53,926
Pangkalan Brandan	30,224	18,731
Pangkalan Susu	36,771	22,789
Parguguran	8,925	5,531
Parlilitan	0,462	0,286
Paya Geli	108,831	67,447
Paya Pasir	27,217	16,868
Pematang Siantar	76,176	47,210
Penyambungan	14,248	8,830
Perbaungan	49,699	30,800
Percut		
Perdagangan	71,286	44,179
Porsea	9,733	6,032
Rantau Prapat	54,147	33,557
Renun		
Salak	2,190	1,358
Sarulla	28,733	17,807
Sei Kera	80,941	50,163

NAMA	MW	MVAR
Sei Rotan	88,290	54,717
Selayang	95,247	59,029
Sibolga	42,762	26,501
Sibuhuan	20,790	12,885
Sibundong		
Sidikalang	18,561	11,503
Simongkok		
Sipan 2		
Sipan I		
Sorik Merapi		
Sumbagut 1		
Sumut		
Tanjung Balai	57,288	35,504
Tanjung Morawa	69,096	42,822
Tanjung Pura	27,842	17,255
Tarutung	48,574	30,104
Tebing Tinggi	57,883	35,873
Teladan	108,303	67,120
Tele	1,067	0,661
Titi Kuning		
Wampu	99,810	61,856

(Mahmudah et al., 2019)

### 3.3 Alur Penelitian

Desain penelitian adalah suatu tahapan atau penggambaran yang akan dilakukan dalam penelitian, untuk memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian, maka diperlukan suatu alur penelitian. Langkah awal dari penelitian ini yaitu mencari studi literatur yang dimana studi literatur tersebut digunakan untuk mengetahui langkah setiap metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah analisa aliran daya dalam sistem tenaga listrik. Setelah mengetahui langkah pada setiap metode, maka peneliti dapat menyelesaikan masalah yang diangkat dalam penelitian ini.

Setelah selesai mengumpulkan studi literatur sebagai dasar pemilihan metode, selanjutnya adalah mempersiapkan segala data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan analisa aliran daya dan software (perangkat lunak) yang akan digunakan guna membantu dalam memecahkan permasalahan komputasi.

Dalam permasalahan analisa aliran daya peneliti akan membuat suatu rangkaian line diagram dengan menggunakan ETAP. Dalam permasalahan analisa aliran daya dibutuhkan data-data yang berhubungan dengan analisa aliran daya seperti data sistem tenaga listrik, dimana di dalamnya terdapat nilai bus nilai daya aktif dan reaktif.

Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data pada setiap komponen yang digunakan untuk dilakukan analisa aliran daya dalam menjalankan metode Newton Raphson dan Fast Decoupled pada ETAP lalu disimulasikan. Dimana Metode Newton Raphson dan Fast Decoupled akan mengiterasi dengan jumlah yang telah di atur nilai maksimalnya agar dapat mengeluarkan nilai daya yang digunakan untuk melakukan ranking pada analisa aliran daya.

Setelah rangkaian line diagram disimulasikan maka akan keluar hasil dari komputasi dari ETAP yang berupa data sebagai berikut:

1. Daya aktif
2. Daya reaktif
3. Tegangan

### **3.4 Langkah-langkah pengoperasian Perangkat Lunak**

Pengoperasian ETAP untuk analisis aliran daya dimulai dengan memastikan aplikasi ETAP telah terinstal dengan baik. Setelah membuka aplikasi, langkah pertama adalah membuat proyek baru atau membuka proyek yang telah ada sebelumnya. Dalam tahap persiapan ini, penting untuk mengatur working directory dan lokasi backup agar data proyek tersimpan dengan aman. Konfigurasi awal proyek dilakukan melalui menu "Edit → Preferences" kemudian memilih tab "Load Flow" untuk mengatur parameter dasar seperti voltage base dan power base sesuai dengan karakteristik sistem yang akan dianalisis. Pengaturan unit sistem juga perlu disesuaikan dengan standar yang digunakan, seperti kV, MVA dan MW.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan model sistem kelistrikan melalui single line diagram. Proses ini dimulai dengan membuat bus atau node dengan memilih "Bus" dari toolbar atau menu "AC → Bus", kemudian mengklik area kerja untuk menempatkan bus sesuai topologi sistem. Setiap bus perlu dikonfigurasi dengan double-click untuk mengatur properties seperti nominal kV, tipe bus (Swing, PV, atau PQ), serta initial voltage magnitude dan angle. Generator ditambahkan dengan memilih "Generator" dari toolbar dan menghubungkannya ke bus yang sesuai, diikuti dengan pengaturan parameter seperti rated MVA, kV, power factor, MW dan MVAR output, serta voltage regulation setting.

Penambahan beban dilakukan dengan memilih "Load" dari toolbar dan menghubungkannya ke bus beban yang telah ditentukan. Data beban yang perlu diinput meliputi MW dan MVAR demand, model beban (constant power, impedance, atau current), serta kategori dan prioritas beban. Saluran transmisi dibuat dengan memilih "Transmission Line" dari toolbar dan menghubungkannya antara dua bus, kemudian memasukkan parameter saluran seperti positive sequence R, X, B (dalam pu atau ohm), panjang saluran, voltage rating, dan current rating. Transformator ditambahkan dengan memilih "2-Winding Transformer" atau "3-Winding Transformer" sesuai kebutuhan, diikuti pengaturan parameter MVA rating, voltage ratio, impedance (%R, %X), tap setting dan tap range, serta tipe koneksi (Wye atau Delta).

Setelah model sistem selesai dibuat, langkah berikutnya adalah mengkonfigurasi studi aliran daya dengan membuat study case baru melalui klik kanan pada "AC Load Flow" di Study toolbar, kemudian memilih "New Study Case". Study case dapat diberi nama sesuai metode yang akan digunakan, misalnya "Newton-Raphson" atau "Fast-Decoupled". Pemilihan metode solusi dilakukan dengan double-click pada study case yang telah dibuat, masuk ke tab "Load Flow", kemudian memilih "Solution Method" yang diinginkan. ETAP menyediakan beberapa pilihan metode termasuk Newton-Raphson untuk metode Newton-Raphson standar, Fast Decoupled untuk metode Fast Decoupled, dan Decoupled Newton-Raphson sebagai variasi lainnya.

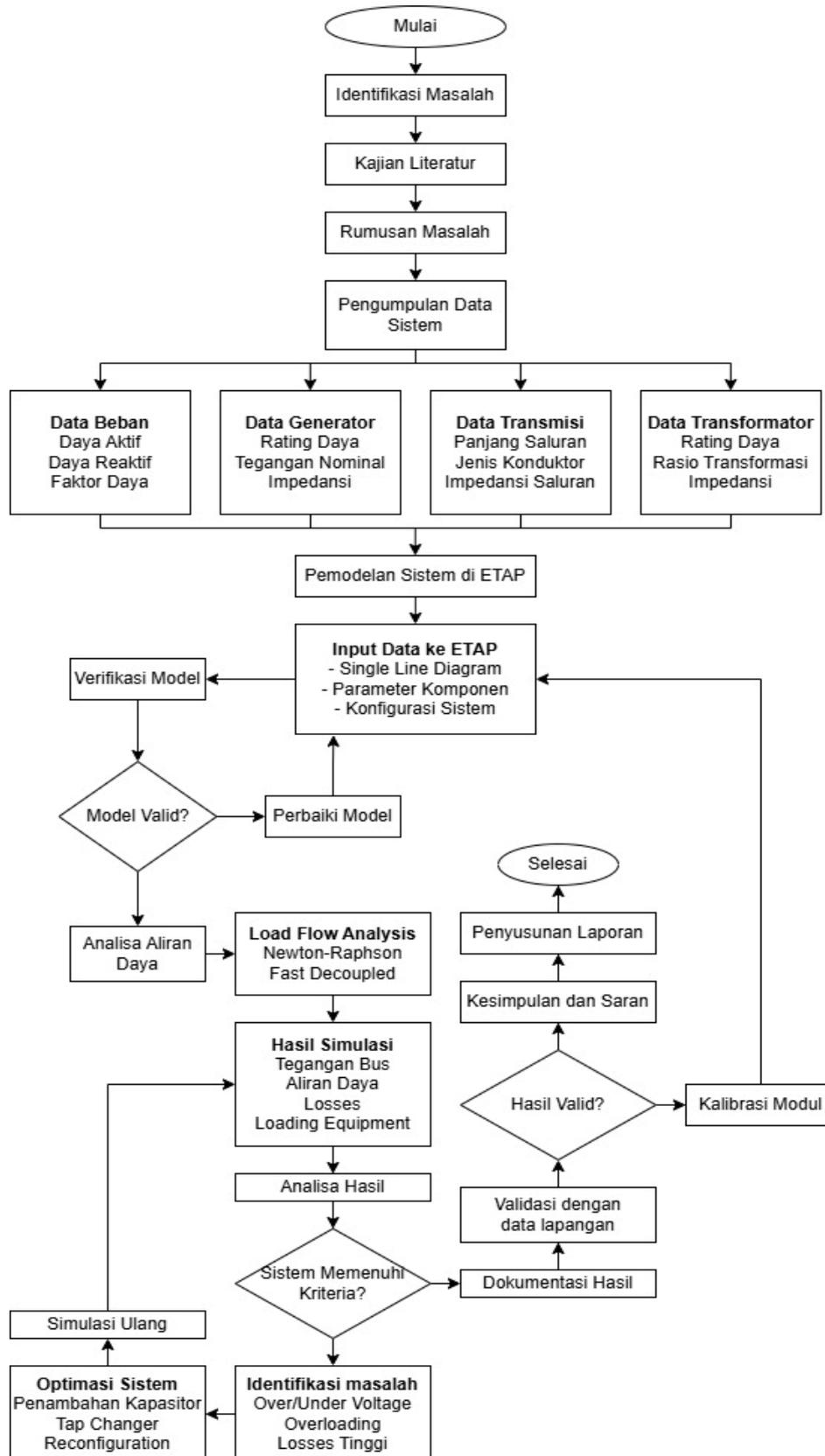
Pengaturan parameter konvergensi sangat penting untuk memastikan akurasi dan efisiensi perhitungan. Parameter yang perlu diatur meliputi "Max Iteration"

dengan nilai default 20-30 iterasi, "Precision" tolerance dengan nilai default 0.001 pu, dan "Acceleration Factor" untuk mempercepat konvergensi. Pengaturan lanjutan mencakup "Voltage Limits" untuk menentukan batas minimum dan maksimum tegangan.

Untuk menjalankan analisis dengan metode Newton-Raphson, pertama dibuat study case baru dengan nama "Load Flow - Newton Raphson" dan method di-set ke "Newton-Raphson". Parameter konvergensi perlu disesuaikan dengan max iterations 100, precision 0.000001. Analisis dijalankan dengan mengklik tombol "Run Load Flow" atau menekan F5, kemudian memantau progress di "Run Status" window dan memeriksa "Convergence Information". Setelah selesai, hasil dapat direview melalui "Alert View" untuk warning atau error, "Study Report" untuk hasil detail, serta mencatat jumlah iterasi dan waktu komputasi yang diperlukan.

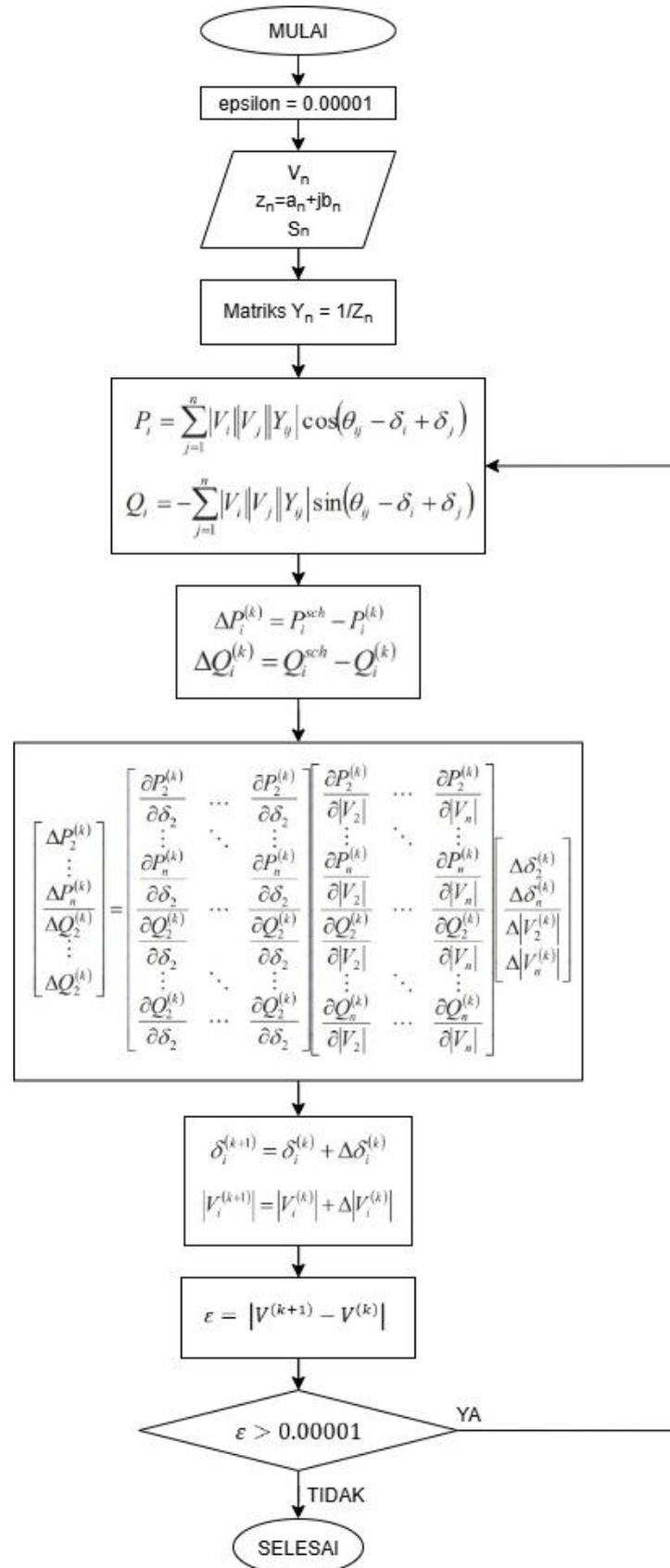
Untuk metode Fast Decoupled, prosedur serupa dilakukan dengan membuat study case baru bernama "Load Flow - Fast Decoupled" dan mengatur method ke "Fast Decoupled". Parameter konvergensi disesuaikan dengan max iterations 100, precision 0.00001. Setelah menjalankan analisis, hasil perlu dibandingkan dengan hasil Newton-Raphson untuk mendokumentasikan perbedaan yang terjadi. Kedua metode ini dapat dijalankan secara berulang dengan berbagai kondisi operasi untuk mendapatkan data yang komprehensif untuk analisis komparasi.

### 3.5 Diagram Alur Penelitian (Flowchart)

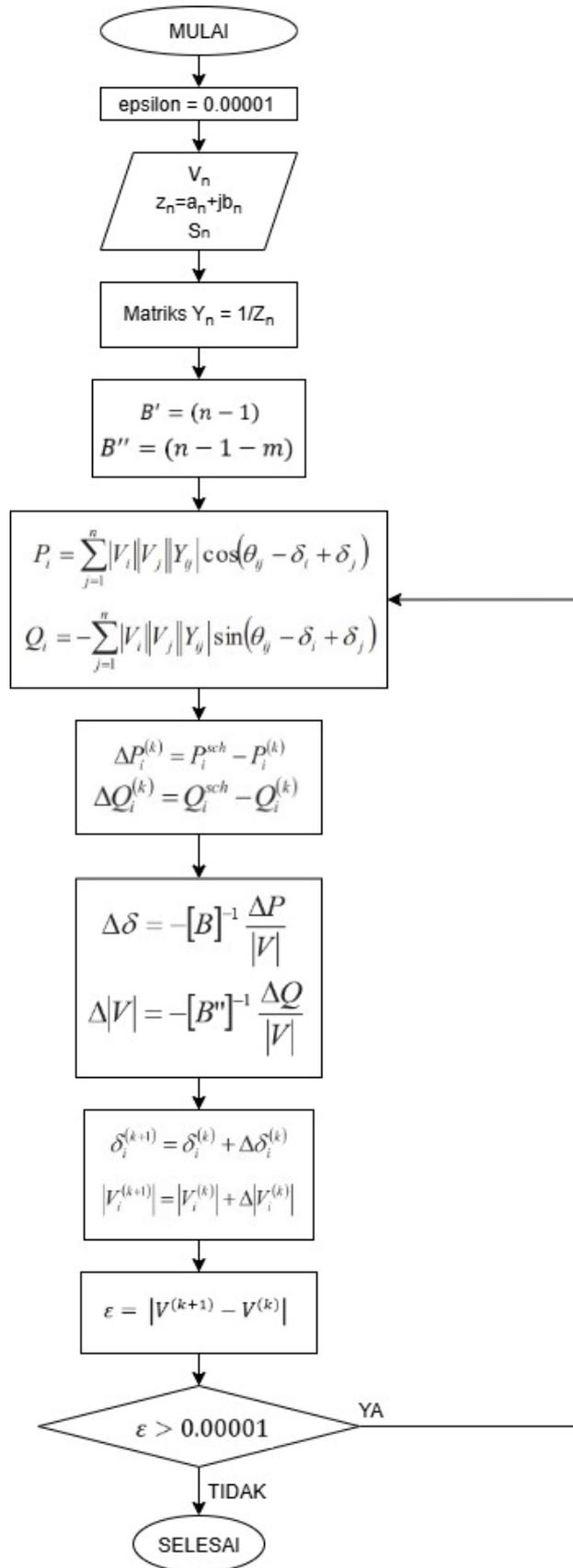


Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian dengan Menggunakan Aplikasi ETAP

### 3.6 Diagram Alur Perhitungan Manual Metode Newton Raphson (Flowchart)



### 3.7 Diagram Alur Perhitungan Manual Metode Fast Decoupled (Flowchart)



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H. K. (2022). Ac power flow analysis using fast decoupled Newton-Raphson algorithm compared with Gaussian-Seidel approach. *Journal of Optoelectronics Laser*, 41(3), 2022.
- Akinbulire, T., Oluseyi, P., Udoakam, G., & Babatunde, O. (2019). Comparative Load Flow Analysis of UNILAG Power Distribution Network using Newton Raphson and Gauss Seidel Methods. *Nigerian Research Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 4(1), 268–281.
- Alnabi, Lubna A., Dhaher, A. K., & Essa, M. B. (2022). Optimal Allocation of Distributed Generation with Reconfiguration by Genetic Algorithm Using Both Newton Raphson and Gauss Seidel Methods for Power Losses Minimizing. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 15(1), 464–476. <https://doi.org/10.22266/IJIES2022.0228.42>
- Ambriz-Pérez, H., Acha, E., & Fuerte-Esquivel, C. R. (2000). Advanced SVC models for Newton-Raphson load flow and Newton optimal power flow studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(1), 129–136. <https://doi.org/10.1109/59.852111>
- Das, J. C. (2017). Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics, Second Edition. In *Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/b11021>
- Dubey, A. (2016). *LOAD FLOW ANALYSIS OF POWER SYSTEMS*. May 2016, 79–84.
- Eltamaly, A. M., Sayed, Y., & Elghaffar, A. N. A. (2018). Optimum Power Flow Analysis By Newton Raphson. *International Journal of Engineering*, 4, 51–58. [https://www.researchgate.net/publication/329391039\\_Optimum\\_Power\\_Flow\\_Analysis\\_by\\_Newton\\_Raphson\\_Method\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/329391039_Optimum_Power_Flow_Analysis_by_Newton_Raphson_Method_A_Case_Study)
- Fardo, S. W., & Patrick, D. R. (2013). Electrical Power Systems Technology 3 ed. In *CRC press* (Vol. 84). <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Ghore, V., Akkewar, S., Ganvir, S., Gaurkar, R., & Gedam, S. (2019). Comparative Study Between Newton-Raphson And Gauss-Seidel Method For Power Flow

- Analysis. *International Journal of Engineering and Creative Science*, 2(8), 18–22.
- H. Abaali, T. Talbi, R. S. (2018). Comparison of Newton-Raphson and Gauss-Seidel Methods for Power Flow Analysis. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 12(9), 627–633.
- Idoniboyeobu, D. C., Braide, S. L., & Ayala, E. E. (2020). *Load Flow Analysis of Ordinance Area Trans-Amadi Port Harcourt using Gauss Seidel Technique for Improvement*. January 2020. <https://www.researchgate.net/publication/358579694>
- Isa, M. S. B. M. (2014). *Power Flow Analysis Software Using Matlab*. 1–24.
- J. Conejo, A., & Canizares, C. (2009). Electric Energy Systems Analysis and Operation. In *Electric Energy Systems: Analysis and Operation*. <https://doi.org/10.1201/9781420007275>
- Jadi Ate, H. (2022). Perbandingan Hasil Iterasi Aliran Daya (Load Flow) Menggunakan Metode Newton Raphson dan Metode Fast-Decoupled Dengan Software ETAP. *Electrician*, 16(3), 295–300. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n3.2317>
- Kirtley, J. L. (2010). Load Flow ANALYSIS (LFA). *Electric Power Principles*, 219–234. <https://doi.org/10.1002/9781119994404.ch11>
- Laksono, H. D. (2014). Perbandingan Metoda Newton Raphson Dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV). *Universitas Andalas*, 3(27), 1–10.
- Mahmudah, N., Pembimbing Ir Ontoseno Penangsang, D., & Imam Robandi, E. (2019). *Analisis Stabilitas Transient dengan Mempertimbangkan Respon Stabil dari Sudut Rotor, Frekuensi dan Tegangan di Sistem Sumatera Utara 150kV/275kV Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Tahun 2023*.
- Operation Technology, I. (2008). Etap 19 User Guide. *SQL Server, Windows*, 7(10002889).
- Pangloli, K. M., Thaha, S., & Gaffar, H. A. (2020). Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Fast Decoupled Pada Sisi Tegangan 6.3 KV PT. Semen Tonasa V. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika*

(*SNTEI*), 8–14.

- Putri, S. M., Maizana, D., & Bahri, Z. (2021). Analysis of smart grid power flow system with Gauss-Seidel method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 753(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/753/1/012005>
- Rimbawati, Ambarita, H., Sitorus, T. B., & Irwanto, M. (2025). Artificial Neural Network (ANN) Backpropagation for Forecasting 100% Renewable Energy in North Sumatera. *Environmental Research, Engineering and Management*, 81(1), 87–101. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.81.1.37767>
- Rimbawati, Mahendra, Y. I., Riandra, J., & Harahap, P. (2023). Analisis Aliran Daya Pembangkit Hybrid (Photovoltaic/Diesel) Pada Menara Mercusuar Di Pulau Pandang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(2), 171–175. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i2.14224>
- Rimbawati, Zayad, M., Harahap, P., & Evalina, N. (2015). *ANALISA SISTEM TENAGA*.
- Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2015). *Power System Stability Modelling Analysis and Control*.
- Samburi, N., & Nor, A. F. M. (2025). *A Comparative Study of Gauss-Seidel and Newton-Raphson Methods in Power Flow Analysis*. 6(2), 89–95.
- Seifi, H., & Sepasian, M. S. (2011). Electric Power System Planning. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- Syafi'i, A. M., Pradikatama, I., Nur, M. I., & Rizqullah, R. (2021). Analisis Aliran Daya Dan Hubung Singkat Modifikasi Sistem 30 Bus IEEE Menggunakan Metode Fast Decoupled. *PoliGrid*, 2(2), 56. <https://doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.731>
- Ukut Uwem Isong, Okpura Nseobong, & Tim Umoette. (2023). Comparison Of Load Flow Analysis On IEEE 33 Bus System Based On Newton Raphson And Fast Decoupled Methods. *Science and Technology Publishing (SCI & TECH)*,

7(2), 1438–1449. <https://www.researchgate.net/publication/372190079>

Wang, X.-F., Song, Y., & Irving, M. (2008). Modern Power System Analysis. In *Proceedings of the IEEE* (Vol. 70, Issue 6). <https://doi.org/10.1109/proc.1982.12368>

Wibowo, S. S. (2018). Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga - Sigi Syah Wibowo. In *POLINEMA PRESS, Politeknik Negeri Malang*.