

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan suatu rangkaian pengelolaan energi listrik yang dimulai dari proses pembangkitan, kemudian dialirkan melalui jaringan transmisi untuk mendapatkan tingkat energi listrik yang sesuai, dan akhirnya diatur dalam sistem distribusi guna memenuhi kebutuhan sektor industri maupun konsumen rumah tangga [1]. Jaringan distribusi memiliki karakteristik operasional dengan level tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan jaringan transmisi, hal ini dimaksudkan untuk menyesuaikan tingkat tegangan agar sesuai dengan spesifikasi peralatan yang digunakan oleh konsumen akhir. [2]. Dalam konteks penyediaan energi listrik, sistem distribusi tenaga listrik memiliki fungsi yang sangat vital dalam memastikan pasokan energi kepada pelanggan dengan tetap memperhatikan aspek aliran daya dan meminimalkan kehilangan daya (*losses*) sehingga penyaluran energi dapat berlangsung secara aman dan efisien [1].

Analisis aliran daya pada sistem ketenagalistrikan merupakan suatu kajian yang bertujuan untuk mengkaji performa dan karakteristik sistem tenaga listrik, termasuk distribusi daya aktif dan reaktif pada kondisi operasi tertentu saat sistem sedang beroperasi. Permasalahan yang kerap muncul dalam aliran daya meliputi penurunan tegangan (*drop voltage*) yang terjadi pada setiap fase *bus* saluran, serta kehilangan daya (*losses*) yang disebabkan oleh pengaruh karakteristik konduktor terkait dengan konsep resistansi dan reaktansi saluran [3]. Terdapat berbagai metode yang dapat diterapkan dalam analisis aliran daya, dimana masing-masing memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri, seperti metode *Newton-Raphson*, *Gauss-Seidel*, dan *Fast Decoupled* [4]. Untuk meminimalisir gangguan lain seperti gangguan hubung singkat, dilakukan analisis lebih dalam hubung singkat untuk memenuhi daya yang disalurkan kepada konsumen aman [1].

Hubung singkat merupakan arus yang timbul akibat timbulnya gangguan dimana impedansi pada suatu saluran/sistem mendekati atau sama dengan nol. Hubung singkat dapat terjadi karena adanya gangguan yang menimbulkan

terhubungnya antar fasa saluran ke saluran, fasa ke tanah pada suatu sistem tenaga listrik [5]. Dampak dari hubung singkat pada jaringan distribusi sangatlah besar, contohnya mengakibatkan kerusakan, kerugian konsumen, membahayakan keselamatan masyarakat, fluktuasi tegangan dan arus serta mengakibatkan busur api [6].

Metode *Newton-Raphson* merupakan metode iterasi untuk memecahkan persamaan suatu variable dengan diasumsikan mempunyai turunan kontinu. Secara geometri menggunakan garis singgung sebagai hampiran fungsi pada suatu selang [4]. Metode *Newton-Raphson* menutup kelemahan dari metode *Gauss-Seidel* yaitu tingkat ketelitiannya lebih baik, kemudian membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit dan mampu menghitung dengan waktu yang lebih cepat. Dalam ETAP untuk melakukan kalkulasi aliran daya ada satu lagi metode tambahan yaitu metode *Fast Decoupled*. Kelebihan serta kelemahan dari metode ini yaitu baik untuk sistem jaringan radian dan jaringan yang panjang serta cepat dalam penghitungan akan tetapi memiliki tingkat presisi yang kurang [7].

Analisis aliran daya pada penelitian ini menggunakan metode *Newton-Raphson*. Metode *Newton-Raphson* dipilih karena lebih praktis dan efisien (waktu komputasi yang lebih cepat serta akurat) dalam menganalisis sistem tenaga listrik yang besar dengan hasil perhitungan yang lebih baik serta iterasi yang lebih sedikit dibandingkan metode *Fast-Decoupled* [4].

PT PLN (Persero) UP3 kota Bandung bergerak dalam bidang ketenagalistrikan. PLN UP3 Bandung bergerak di bidang distribusi serta pelayanan terhadap pelanggan dalam permasalahan tenaga listrik [8]. Jaringan distribusi PLN UP3 Bandung berperan dalam memasok daya kepada pelanggan [8]. Dalam prosesnya daya yang dipasok kepada pelanggan harus melalui standar mutu agar terhindar dari rugi-rugi daya pada jaringan. Rugi-rugi daya pada sistem distribusi tenaga listrik dapat mempengaruhi mutu dan keandalan pada sistem. Rugi-rugi daya diakibatkan oleh arus yang mengalir melalui penghantar tersebut [9].

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, analisis aliran daya pada jaringan distribusi PLN UP3 Bandung menggunakan metode *Newton-Raphson* dan

perangkat lunak ETAP. *Electric Transient and Analysis Program* (ETAP) mendukung analisis aliran daya dan hubung singkat pada tiap tiap saluran untuk menentukan nilai daya aktif, reaktif, nilai tegangan, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, faktor daya dan hubung singkat yang terjadi pada sistem

1.2. Tinjauan Penelitian Sejenis

Tinjauan penelitian sejenis merupakan suatu argumentasi terhadap keaslian dari penelitian yang dibuat dan memaparkan perbandingan penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam menyusun proposal penelitian. Tabel 1.1 merupakan cakupan referensi pada penelitian terdahulu yang dijadikan acuan penelitian ini.

Tabel 1. 1 Tinjauan penelitian sejenis.

No	Judul	Peneliti	Tahun
1	<i>Load Flow and Short Circuit Analysis in Central Part of Nepal Using ETAP</i> [10].	Sangita Rijal, Suwashana Acharya, Dipti Kandel, Alisha Thapa, Aliya Sharma	2025
2	Simulasi Aliran Daya Berbasis ETAP Menggunakan Metode <i>Newton-Raphson</i> pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Lateri 2 dan Lateri 3 [11].	Marceau A F Haurissa	2023
3	<i>Load Flow and Short Circuit Analysis Using ETAP</i> [12].	Govindrajan Ramalingan, Samikannu Prabakaran, Ashokkumar Nagarajan	2023
4	Perbandingan Hasil Iterasi Aliran Daya (<i>Load Flow</i>) Menggunakan Metode <i>Newton-Raphson</i> dan Metode <i>Fast-Decoupled</i> dengan <i>Software</i> ETAP [13].	Hendry Jadi Ate, Gabriel Sumampouw, Misbahul Munir, Heri Irawan, Muhammad Ali	2022

No	Judul	Peneliti	Tahun
		Dermawan, Moh Haikal, Restu Mukti Utomo	
5	<i>AC Power Flow Analysis Using Fast-Decoupled Newton-Raphson Algorithm Compared With Gaussian-Seidel Approach</i> [14]	Hussain Kassim Ahmad	2022
6	Analisis Aliran Daya dan Hubung Singkat Modifikasi Sistem 30 Bus IEEE Menggunakan Metode <i>Fast-Decoupled</i> [15].	Andi Muhammad Syafi'i, Irfan Pradikatama, Muhammad Iqbal Nur, Rifqi Rizqullah	2021
7	<i>Power Flow Solution Combining Newton-Raphson and Fast-Decoupled Methods</i> [16].	W. P Guaman, G. N. Pesantez, X. A. Proano, E. M. Perez dan W. V. Tigse	2021

Paper [10] berfokus pada analisis aliran daya dan hubung singkat pada segmen sistem tenaga listrik di bagian tengah Nepal dengan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk membangun dan memodelkan sistem, melakukan studi aliran daya, serta menganalisis skenario hubung singkat pada kedua model, yaitu sistem *5-bus* IEEE dan bagian tengah jaringan Nepal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tenaga Nepal sedang menghadapi tantangan signifikan, seperti sering terjadinya pemadaman, infrastruktur yang menua, dan permintaan listrik yang terus meningkat. *Bus* Parwanipur 2 sangat sensitif terhadap kegagalan dalam hal arus listrik, sementara *bus* Dhalkebar rentan terhadap fluktuasi tegangan. Hasil ini menunjukkan bahwa komponen sistem yang rentan perlu ditingkatkan, termasuk instalasi perangkat perlindungan lonjakan, penambahan dan pembaruan saluran transmisi, *substation*, serta *transformer*.

Paper [11] melakukan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik, khususnya jaringan distribusi 20 kV yang berfokus pada penyulang Lateri 2 dan

Lateri 3 disuplai dari gardu induk Passo. Hasil analisis menunjukkan bahwa jatuh tegangan pada penyulang Lateri 3 dapat melebihi batas toleransi, dipengaruhi oleh panjang dan luas penampang kabel, sementara rugi daya berbanding lurus dengan panjang saluran serta dipengaruhi oleh faktor daya dan penggunaan beban induktif. Penelitian ini memberikan wawasan penting tentang pengaruh kondisi jaringan distribusi terhadap kestabilan sistem, serta pentingnya pengaturan daya reaktif untuk menjaga stabilitas tegangan di setiap *bus*.

Paper [12] mengkaji sistem tenaga listrik yang dilakukan pada jaringan listrik Ghazaouet 220/63/30 KV menggunakan perangkat lunak ETAP untuk melakukan analisis aliran daya (*load flow*) dan analisis hubung singkat (*short circuit*). Dalam sistem ini terdapat tiga transformator daya dengan spesifikasi yang berbeda transformator pertama berkapasitas 220/63 KV dengan daya 120 MVA, transformator kedua 220/63 KV dengan daya 12 MVA, dan transformator ketiga 63/30 KV dengan kapasitas 30 MVA. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi N-1 ketika *feeder* U1 terputus, terjadi beberapa dampak signifikan yaitu *bus* 32 mengalami *undervoltage* yang berarti, saluran 1-7 mengalami gangguan berat, dan transformator T1-T7 mengalami penurunan daya yang besar. Sementara pada analisis hubung singkat *bus* 9 mengalami arus hubung singkat komponen simetris sebesar 36.944 KA, 95.756 KA, dan 35.539 KA, dan *bus* 13 juga mengalami kondisi darurat dengan level arus hubung singkat yang serupa.

Paper [13] melakukan analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik dengan membandingkan dua metode, yaitu metode *Newton-Raphson* dan metode *Fast-Decoupled*, menggunakan *software* ETAP. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa metode *Newton-Raphson* mencapai nilai optimum pada iterasi ke-2, sedangkan metode *Fast-Decoupled* baru mencapai nilai optimum pada iterasi ke-12. Meskipun terdapat perbedaan hasil yang tidak signifikan dalam daya reaktif di *bus* 14 (93189,9 kVAR untuk *Newton-Raphson* dan 93189,8 kVAR untuk *Fast-Decoupled*). Perbedaan jumlah iterasi ini menunjukkan bahwa metode *Newton-Raphson* lebih cepat dan lebih efisien dalam mencapai hasil yang diinginkan. Metode *Newton-*

Raphson lebih unggul dalam hal kecepatan konvergensi dan akurasi dalam hasil aliran daya.

Paper [14] melakukan analisis aliran daya AC menggunakan algoritma *Fast-Decoupled Newton-Raphson* dibandingkan dengan pendekatan *Gauss-Seidel*, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemodelan sistem tenaga listrik pada sistem IEEE 6 bus. Hasilnya, algoritma *Fast-Decoupled Newton-Raphson* mampu mencapai konvergensi lebih cepat dengan jumlah iterasi yang lebih sedikit daripada metode *Gauss-Seidel* dan metode *Newton-Raphson* standar.

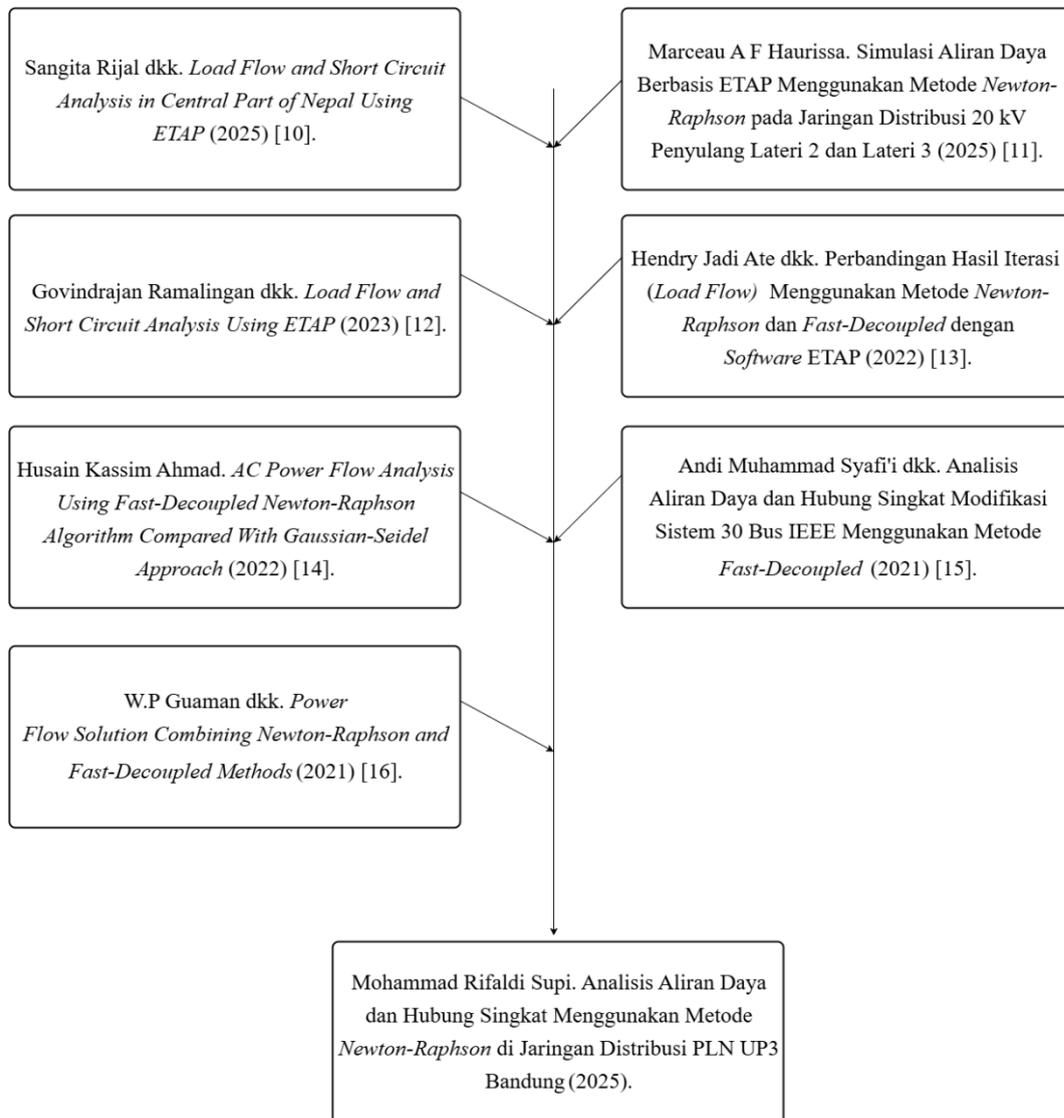
Paper [15] melakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Fast Decoupled*, diperoleh total iterasi sebanyak 30 kali dengan ketidaksesuaian kinerja maksimum $8.27968e-05$. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mengalami undervoltage pada bus 24, 25, 26, 27, 29, dan 30 karena memiliki nilai tegangan di bawah 0.95 pu, sementara bus 1 dan 11 mengalami *overvoltage* karena melebihi batas tegangan maksimum sebesar 1.060 dan 1.082 pu. Total rugi daya saluran yang diperoleh sebesar 11.891 MW dan 30.298 MVAR. *Drop* tegangan terbesar terjadi pada saluran bus 11 ke 9 sebesar 7.6% dan saluran bus 1 ke 3 sebesar 7%, yang melebihi batas standar PLN yaitu +5%. Untuk analisis hubung singkat, simulasi dilakukan pada bus 8 yang dipilih secara acak. Hasil menunjukkan bahwa ketika terjadi hubung singkat pada bus 8, tegangan pada bus tersebut menjadi 0 dengan total arus hubung singkat sebesar 131.0093 pu. Nilai tegangan terbesar saat gangguan berada pada bus 1 yaitu 0.9908 pu. Berdasarkan hasil simulasi keseluruhan sistem, nilai arus gangguan hubung singkat tertinggi terdapat pada bus 1 dan 8, sedangkan nilai terendah terdapat pada bus 26 dan 30.

Paper [16] membahas pengembangan metode baru untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya (*power flow*) dengan mengkombinasikan metode *Newton-Raphson* (NR) dan *Fast Decoupled Load Flow* (FDLF). Metode kombinasi (CM) yang diusulkan menggunakan hasil iterasi awal dari FDLF sebagai kondisi awal untuk perhitungan NR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kombinasi berhasil mengurangi jumlah iterasi dibandingkan dengan metode NR murni. Saat menggunakan hasil dari dua atau tiga iterasi FDLF sebagai kondisi awal,

pengurangan jumlah iterasi menjadi lebih signifikan. Waktu komputasi antara metode NR dan CM untuk semua kasus yang dievaluasi menunjukkan perbedaan hanya dalam hitungan persepuluh detik, yang praktis dapat diabaikan. Metode kombinasi yang diusulkan dapat menjadi alternatif yang efisien untuk perhitungan aliran daya pada sistem tenaga listrik yang memenuhi persyaratan rasio R/X yang ditentukan.

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa aliran daya dapat dianalisis dari berbagai metode, seperti menggunakan metode *Newton-Raphson* dan *Fast-Decoupled*. Hubung singkat bisa dianalisis melalui perangkat lunak ETAP beserta aliran dayanya. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yakni analisis dilakukan pada aliran daya dan arus hubung singkat menggunakan metode *Newton-Raphson* dan *Fast-Decoupled*. Gambar 1.1 merupakan hubungan penelitian sejenis.





Gambar 1. 1 Hubungan penelitian sejenis.

1.3. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana hasil aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* yang mencakup daya aktif, daya reaktif, faktor daya, rugi-rugi daya, jatuh tegangan dan besar tegangan pada jaringan distribusi PLN UP3 Bandung?
2. Bagaimana hasil hubung singkat pada jaringan distribusi PLN UP3 Bandung?

1.4. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dan manfaat diperlukan untuk hasil penelitian yang dilakukan.

1.4.1. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dipaparkan maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* yang mencakup daya aktif, daya reaktif, faktor daya, rugi rugi daya, jatuh tegangan dan besar tegangan pada jaringan distribusi PLN UP3 Bandung
2. Menganalisis hasil hubung singkat pada jaringan distribusi PLN UP3 Bandung.

1.4.2. Manfaat

Manfaat penelitian ini diharapkan bisa bermanfaat oleh bidang akademis maupun bidang praktis dalam aspek akademik maupun umum.

1. Manfaat penelitian di bidang akademis adalah untuk menambah suatu rujukan dalam bidang sistem tenaga listrik dalam pembahasan mengenai aliran daya, hubung singkat tidak seimbang dan juga penggunaan metode numerik yaitu *Newton-Raphson* di sistem distribusi.
2. Manfaat praktis yang diharapkan dicapai dari penelitian ini adalah membantu menganalisis sistem tenaga listrik sebelum didistribusikan melalui analisis aliran daya dan suatu analisis tambahan hubung singkat dalam sistem distribusi guna menghasilkan daya yang efisien dan aman diterima konsumen.

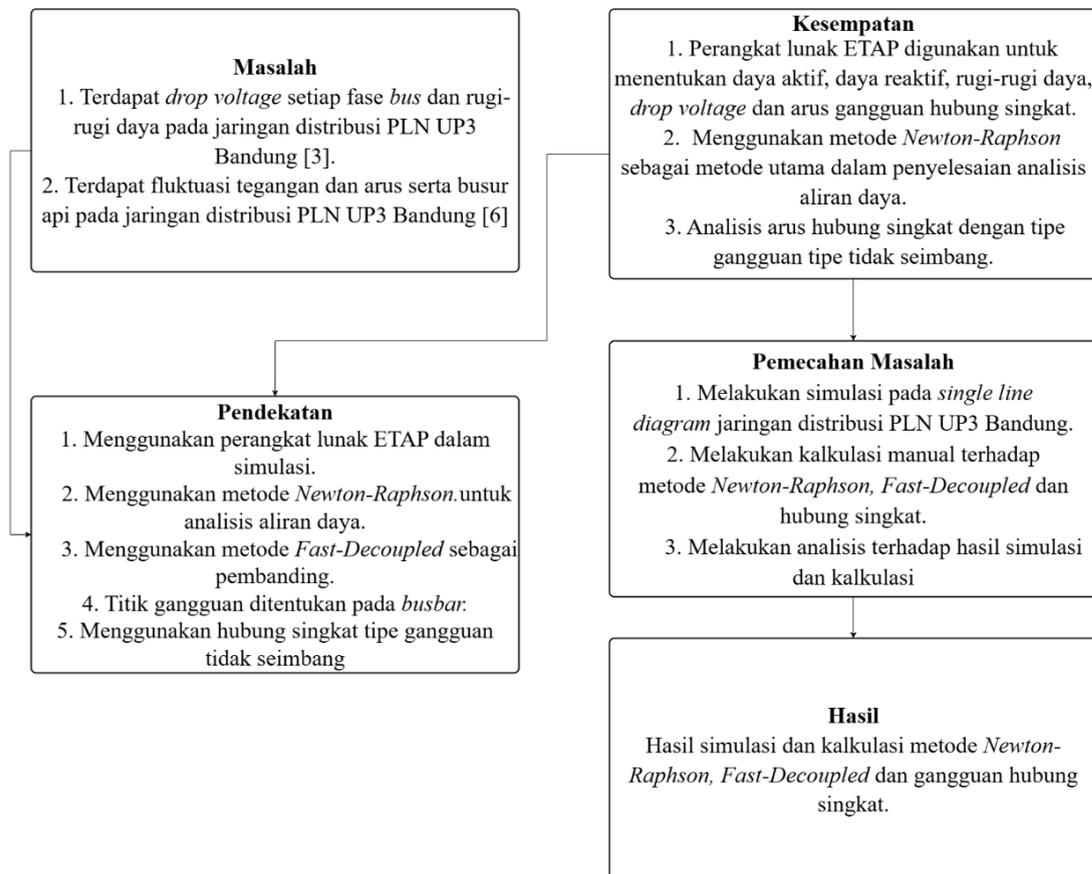
1.5. Batasan Masalah

Masalah penelitian ini begitu luas, sehingga perlu diperhatikan batasan agar hasil penelitian spesifik kepada yang dikaji. Batasan diperlukan untuk menciptakan penelitian yang spesifik dan tidak umum untuk dikaji dengan kompleksitas yang tinggi dalam penelitian. Batasan-batasan tersebut diperlukan dalam pengembangan penelitian yang akan dikembangkan kembali jikalau terdapat kekurangan dalam penelitian. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Analisis aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP untuk menghitung daya aktif, daya reaktif, faktor daya, rugi rugi daya, jatuh tegangan dan besar tegangan.
2. Tidak menggunakan nilai beban *real* pada pelanggan.
3. Spesifikasi transformator distribusi terbatas.
4. Hubung singkat terjadi pada *busbar* dan mengabaikan status *circuit breaker*
5. Hubung singkat hanya menggunakan gangguan tidak seimbang.
6. Hanya menganalisis gangguan *single line to ground* dan *double line to ground*
7. Metode *Fast-Decoupled* digunakan sebagai pembanding hasil analisis aliran daya.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir berisi pemikiran secara sistematis terhadap beberapa tahapan atas penelitian dan beberapa pendekatan yang dianggap mendukung penelitian. Kerangka berpikir meliputi sebuah masalah yang terjadi dan akan dikaji dalam penelitian dengan menggunakan beberapa pendekatan yang digunakan dalam penelitian berupa hal yang dapat digunakan dalam penelitian dan memperhatikan kesempatan yang terdapat dalam melakukan penelitian. Pemecahan masalah dari kerangka berpikir disusun secara sistematis dengan aspek yang sesuai dengan penelitian dan hasilnya digunakan untuk analisis lebih lanjut dengan memanfaatkan masalah yang terjadi dengan pendekatan yang digunakan. Gambar 1.2 merupakan kerangka berpikir penelitian yang dibuat untuk memperjelas pemikiran secara sistematis.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.

1.7. Sistematika Penulisan

Penyusunan penulisan tugas akhir dibuat secara sistematis yang terdiri atas 6 bab, masing-masing bab memuat suatu hal yang berbeda. Berikut ringkasan dari setiap bab:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TEORI DASAR

Bab ini memberikan suatu penjelasan mengenai setiap hal hal yang mendasar yang diperlukan untuk menunjang suatu argumentasi pada penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metodologi penelitian, perancangan penelitian dan teknik analisis yang digunakan.

BAB IV PERANCANGAN DAN SIMULASI

Bab ini menjelaskan perancangan sistem dan menjalankan simulasi sistem dalam bentuk *single line diagram*.

BAB V HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan tentang hasil dari perancangan serta simulasi dan analisis lebih lanjut mengenai data yang didapatkan.

BAB VI KESIMPULAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang dapat ditentukan dari data hasil dan analisis serta perancangan.

