SIMULASI PEMBELAJARAN ANALISIS HUBUNG SINGKAT BERBASIS ETAP PADA MATA KULIAH ANALISA SISTEM TENAGA LISTRIK

Angelina Amanda Sinaga¹, Yoakim Simamora²

^{1,2}Universitas Negeri Medan

Email Penulis: angelinaamandaa04@gmail.com

Abstrak: Analisis hubung singkat merupakan salah satu kajian penting dalam sistem tenaga listrik untuk menentukan kemampuan sistem dalam menghadapi gangguan arus besar yang dapat merusak peralatan dan mengganggu kontinuitas pelayanan. Dalam pembelajaran mata kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik, pemahaman konsep hubung singkat serta penerapan perhitungannya menjadi aspek krusial yang harus dikuasai oleh mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak gangguan hubung singkat tiga fasa menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP. ETAP digunakan untuk mempermudah proses analisis dengan menyediakan visualisasi sistem dan hasil perhitungan yang akurat dan cepat. Model sistem tenaga yang dianalisis terdiri dari sumber, transformator, saluran transmisi, serta beban terhubung. Simulasi dilakukan pada beberapa titik untuk memperoleh nilai arus hubung singkat maksimum dan minimum yang mungkin terjadi pada sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai arus hubung singkat bervariasi tergantung pada lokasi gangguan dan impedansi sistem. Selain itu, hasil analisis ini juga memberikan referensi penting dalam pemilihan kapasitas peralatan proteksi seperti pemutus sirkuit dan relai. Dengan menggunakan ETAP, mahasiswa dapat lebih mudah memahami pengaruh parameter sistem terhadap respon hubung singkat serta meningkatkan keterampilan analitis dalam mengevaluasi kinerja sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan. Studi ini membuktikan bahwa integrasi perangkat lunak simulasi dalam proses pembelajaran memberikan manfaat signifikan bagi pemahaman teoritis dan praktis mahasiswa.

Kata Kunci: Hubung Singkat, ETAP, Distribusi

Abstract: Short-circuit analysis is a critical study in power systems to determine the system's capability to withstand large fault currents that can damage equipment and disrupt service continuity. In the Power System Analysis course, understanding the concepts and calculations related to short-circuit analysis is an essential competency for students. This study aims to analyze the impact of three-phase short-circuit faults using simulation-based software, ETAP. ETAP is utilized to simplify the analysis process by providing system visualization and delivering accurate and rapid calculation results. The modeled power system consists of sources, transformers, transmission lines, and connected loads. Simulations are conducted at several fault locations to obtain the maximum and minimum short-circuit current values that may occur in the system. The simulation results show that short-circuit current values vary depending on the fault location and system impedance. Furthermore, this analysis provides valuable references for selecting protection equipment capacities such as circuit breakers and relays. By using ETAP, students can more easily comprehend the influence of system parameters on short-circuit responses and enhance their analytical skills in evaluating power system performance under fault conditions. This study demonstrates that integrating simulation software into the learning process offers significant benefits for both theoretical understanding and practical skills development in power system analysis.

Keywords: Short Circuit, STAP, Distribution

PENDAHULUAN

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu permasalahan kritis dalam sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan pasokan listrik. Oleh karena itu, analisis terhadap kondisi sistem saat terjadi hubung singkat sangat penting untuk menjaga keandalan dan kontinuitas pelayanan energi listrik. Salah satu cara yang efektif dalam menganalisis gangguan ini adalah dengan menggunakan perangkat lunak simulasi seperti ETAP (Electrical Transient Analyzer Program). ETAP memungkinkan pengguna untuk

melakukan studi aliran daya, analisis hubung singkat, dan evaluasi proteksi sistem secara akurat dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan analisis hubung singkat menggunakan ETAP dalam mendukung pembelajaran pada mata kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik agar mahasiswa memahami secara aplikatif kondisi gangguan pada sistem tenaga.

Maisyarah menganalisis gangguan hubung singkat pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV pada Penyulang LG 02 PT PLN Rayon Lhokseumawe dengan menggunakan perhitungan manual dan simulasi software ETAP

12.6.0. Gangguan hubung singkat yang dianalisis meliputi gangguan 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak lokasi gangguan, di mana semakin dekat jaraknya maka semakin besar arus yang timbul. Arus terbesar terjadi pada gangguan 3 fasa dengan nilai maksimum 11.544 A pada jarak 100% dari penyulang. Terdapat perbedaan hasil antara perhitungan manual dan simulasi ETAP akibat ketidakterlibatan beberapa parameter dalam perhitungan manual. Simulasi dengan ETAP memberikan hasil yang lebih akurat dan representatif dalam menganalisis sistem tenaga listrik yang kompleks (Maisyarah, 2019).

Penelitian ini membahas analisis arus gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik menggunakan perhitungan manual dan simulasi dengan aplikasi Matlab. Gangguan hubung singkat merupakan peristiwa penting yang dapat mengganggu penyaluran energi listrik ke konsumen. Jenis-jenis gangguan yang dianalisis meliputi gangguan tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah. Proses analisis dilakukan dengan metode Thevenin dan pendekatan komponen simetris untuk memudahkan perhitungan arus gangguan pada berbagai titik bus. Hasil perhitungan manual dan simulasi Matlab menunjukkan hasil yang konsisten dan valid. Ditemukan bahwa arus gangguan tertinggi terjadi pada gangguan tiga fasa, yang dominan dipengaruhi oleh impedansi urutan positif (Yulisman, 2018).

Agusthinus menganalisis gangguan hubung singkat pada jaringan pemakaian sendiri PLTU Bolok unit 3 dan 4 menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Simulasi dilakukan untuk mengidentifikasi jenis gangguan yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar pada sistem distribusi 6,3 kV. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gangguan dua fasa ke tanah memberikan kontribusi arus gangguan terbesar sebesar 10,615 kA pada bus generator I. Arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jumlah beban yang beroperasi, di mana semakin banyak beban yang aktif, arus gangguan semakin besar. Impedansi urutan positif dan negatif menurun seiring bertambahnya beban, sedangkan impedansi urutan nol tetap. Perbandingan hasil simulasi ETAP dengan perhitungan manual menunjukkan kesesuaian dengan perbedaan yang sangat kecil, sehingga perangkat lunak ETAP dinilai efektif dalam menganalisis gangguan sistem tenaga listrik (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, 2015).

Alesandro menganalisis gangguan hubung singkat dan koordinasi proteksi relay pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN ULP Elat menggunakan perangkat lunak ETAP. Gangguan hubung singkat dianalisis melalui metode perhitungan manual dan simulasi untuk mengetahui karakteristik arus gangguan berdasarkan titik lokasi gangguan. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin jauh lokasi gangguan dari sumber, maka arus gangguan semakin kecil, yang berdampak pada pengaturan waktu kerja relay. Simulasi ETAP digunakan untuk validasi perhitungan manual serta menentukan pengaturan setting relay OCR agar dapat beroperasi secara selektif dan koordinatif. Ketidakesesuaian kecil antara hasil simulasi dan perhitungan manual disebabkan oleh perbedaan parameter dan ketelitian perhitungan. Koordinasi relay yang tepat meningkatkan keandalan sistem proteksi jaringan distribusi di daerah penelitian (Alessandro et al., 2021).

Syah membahas analisis gangguan hubung singkat pada sistem distribusi 20 kV di PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu menggunakan ETAP 12.6.0. Tujuan utamanya adalah menentukan kesesuaian kapasitas circuit breaker terhadap arus gangguan maksimum yang terjadi pada bus PDB-ST-154. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gangguan tiga fasa menghasilkan arus tertinggi sebesar 11,033 kA dengan arus puncak 18,103 kA, sehingga diperlukan pemutus tenaga minimal berkapasitas 20 kA. Gangguan ini juga memengaruhi tegangan pada bus lain, seperti kenaikan pada PDB-ST-KWS dan penurunan pada PDB-ST-229. Untuk mengatasi perubahan tegangan tersebut, dilakukan penyesuaian melalui tap changer pada transformator terkait. Keseluruhan hasil menunjukkan pentingnya proteksi dan koordinasi sistem untuk menjaga keandalan jaringan distribusi listrik (Syah et al., 2021).

Amira menganalisis gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada SUTT 150 kV antara GI PIP dan GI Pauh Limo sepanjang 22,7 km. Perhitungan dilakukan secara manual dan menggunakan simulasi Matlab untuk memperoleh nilai arus gangguan dan menentukan setting waktu relay OCR. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin dekat titik gangguan ke sumber, arus gangguan semakin besar, dan sebaliknya. Arus gangguan tertinggi tercatat sebesar 147,7758 A pada 10% panjang saluran, dan yang terendah sebesar 147,3853 A pada 100% panjang saluran. Setting waktu OCR sebesar 0,65 detik digunakan secara konsisten pada sisi masukan dan keluaran

untuk proteksi sistem (Amira & Effendi, 2014).

Sampeallo menganalisis gangguan hubung singkat pada jaringan pemakaian sendiri (6,3 kV) PLTU Bolok unit 3 dan 4 menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual. Hasil menunjukkan bahwa jenis gangguan dua fasa ke tanah menghasilkan arus gangguan terbesar sebesar 10,615 kA pada bus generator I. Nilai arus gangguan dipengaruhi oleh jumlah beban yang beroperasi, di mana semakin banyak beban, maka impedansi urutan positif dan negatif menurun dan arus gangguan meningkat. Sebaliknya, impedansi urutan nol tidak terpengaruh oleh perubahan beban. Hasil simulasi dan perhitungan manual menunjukkan kesesuaian yang baik dengan selisih yang tidak signifikan (Sampeallo et al., 2019).

Wahyudin menganalisis lokasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi di Sulawesi Tenggara menggunakan Metode Takagi. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak ETAP 16.0.0 berdasarkan data sebelum dan sesudah gangguan untuk meningkatkan akurasi identifikasi lokasi gangguan. Hasil menunjukkan bahwa Metode Takagi memberikan tingkat akurasi tinggi dengan selisih jarak hanya 0,368–1,547 km atau error maksimal 9,32%, jauh lebih kecil dibandingkan pembacaan fault locator. Gangguan yang dianalisis meliputi lokasi pada saluran Lasusua–Kolaka, Unaaha–Kolaka, dan Kolaka–Lasusua, dengan penyebab umum berupa sambaran petir atau gangguan dari hewan. Simulasi aliran daya juga menunjukkan total pembangkitan 116,780 MW dan beban aktif 115,436 MW, dengan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,34 MW. Kesimpulannya, Metode Takagi efektif digunakan dalam penentuan lokasi gangguan untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi listrik (Wahyudin et al., 2022).

Gaffar membahas analisis gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik 150 kV menggunakan metode perhitungan manual dan simulasi ETAP. Studi ini bertujuan untuk menentukan besarnya arus gangguan dan mengevaluasi koordinasi sistem proteksi terhadap gangguan tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus gangguan tertinggi terjadi pada lokasi yang dekat dengan sumber, sedangkan semakin jauh dari sumber arus gangguan menurun. Simulasi ETAP digunakan sebagai alat validasi untuk memastikan akurasi dari hasil perhitungan manual. Penelitian ini menekankan pentingnya analisis gangguan sebagai dasar dalam pengaturan proteksi sistem kelistrikan yang andal dan selektif (Gaffar et al., 2022).

Penelitian ini akan membahas tentang simulasi hubung singkat menggunakan perangkat lunak ETAP, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman kepada mahasiswa yang mengikuti mata kuliah analisa sistem tenaga listrik

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan simulasi menggunakan software ETAP. Adapun langkah-langkah utama yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sistem tenaga, mencakup data transformator, generator, saluran, beban, dan impedansi sistem.
2. Pembuatan diagram satu garis (single line diagram) di ETAP berdasarkan konfigurasi sistem distribusi yang dianalisis (IEEE 33 bus).
3. Penentuan lokasi dan jenis gangguan, seperti gangguan tiga fasa (3ϕ), satu fasa ke tanah (1LG), dua fasa ke tanah (2LG), dan fasa ke fasa (LL).
4. Pelaksanaan simulasi hubung singkat, menggunakan standar perhitungan IEC 60909 atau ANSI.
5. Analisis hasil simulasi, dengan meninjau besarnya arus hubung singkat, serta evaluasi kapasitas proteksi terhadap gangguan.

Simulasi dilakukan dalam kondisi steady-state, dengan asumsi sumber daya ideal dan sistem bekerja pada tegangan nominal.

Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan salah satu fenomena gangguan yang umum terjadi dalam sistem tenaga listrik. Kondisi ini terjadi ketika dua titik dengan beda potensial berbeda saling terhubung secara langsung atau melalui impedansi yang sangat kecil. Akibat dari hubung singkat adalah meningkatnya arus secara tiba-tiba yang dapat melampaui batas normal operasi peralatan listrik. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan seperti transformator, pemutus sirkuit, dan generator. Oleh karena itu, analisis hubung singkat menjadi sangat penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik.

Tujuan utama dari analisis hubung singkat adalah untuk menentukan besar arus gangguan yang mengalir pada saat terjadi gangguan, serta mengetahui distribusi arus pada setiap bagian sistem. Hasil dari analisis ini digunakan untuk mendesain sistem proteksi, seperti pemilihan rating pemutus sirkuit dan pengaturan relay.

Terdapat beberapa jenis gangguan hubung singkat, antara lain gangguan tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Masing-masing jenis gangguan memiliki karakteristik dan besar arus gangguan yang berbeda-beda. Metode perhitungan yang digunakan harus mampu mencerminkan kondisi aktual sistem dengan akurat.

Perhitungan arus hubung singkat dilakukan dengan menggunakan pendekatan per-unit dan impedansi ekuivalen dari sistem. Impedansi total dari jalur antara sumber dan titik gangguan akan menentukan besar arus gangguan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah metode Thevenin, di mana sistem digantikan dengan sumber tegangan ekuivalen dan impedansi sistem dihitung dari titik gangguan. Nilai arus gangguan sangat dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, lokasi gangguan, serta karakteristik dari elemen sistem seperti transformator dan saluran transmisi. Oleh karena itu, pemodelan sistem yang tepat sangat diperlukan.

Perangkat lunak simulasi seperti ETAP, DiGSilent PowerFactory, dan MATLAB sering digunakan dalam menganalisis kondisi hubung singkat. Simulasi ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan sistem tenaga secara menyeluruh dan melakukan berbagai skenario gangguan. Dengan demikian, perancang sistem dapat mengidentifikasi titik-titik lemah dalam sistem serta menentukan tindakan preventif yang tepat. Selain itu, hasil simulasi dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan ukuran dan jenis peralatan proteksi. Hal ini penting untuk menjamin keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik.

Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (single line-to-ground fault) adalah jenis gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem distribusi. Gangguan ini terjadi ketika salah satu fasa (misalnya fasa A) bersentuhan langsung dengan tanah atau konduktor pembumian. Walaupun arus gangguan pada jenis ini biasanya lebih kecil dibandingkan gangguan tiga fasa, analisis yang tepat tetap penting karena frekuensinya tinggi dan berpotensi menyebabkan kerusakan sistem.

Untuk menganalisis gangguan satu fasa ke tanah, digunakan **metode rangkaian simetri** (symmetrical components), di mana sistem tiga fasa diuraikan menjadi tiga komponen: positif, negatif, dan nol. Dalam gangguan satu fasa,

semua komponen ini saling terhubung secara seri. Oleh karena itu, impedansi total sistem terhadap gangguan adalah penjumlahan dari impedansi urutan positif, negatif, dan nol.

Arus gangguan satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana I_f adalah arus gangguan satu fasa ke tanah, V_f adalah tegangan fasa terhadap tanah pada kondisi sebelum gangguan dalam satu volt, Z_1 adalah impedansi urutan positif, Z_2 adalah impedansi urutan negatif dan Z_0 adalah impedansi urutan nol.

Hubung Singkat Fasa Ke Fasa

Hubung singkat fasa ke fasa (line-to-line fault) merupakan jenis gangguan tidak seimbang yang terjadi ketika dua konduktor fasa, misalnya fasa B dan C, saling terhubung langsung tanpa keterlibatan tanah. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh isolasi yang rusak, kegagalan mekanis, atau kejadian eksternal seperti sambaran petir yang mengenai dua fasa secara bersamaan. Walaupun jarang terjadi dibandingkan gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguan pada gangguan fasa ke fasa cukup besar dan dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan sistem tenaga listrik.

Untuk menganalisis gangguan fasa ke fasa secara akurat, pendekatan **komponen simetris** digunakan. Dalam gangguan ini, hanya komponen urutan positif dan negatif yang aktif, sedangkan komponen urutan nol tidak terlibat karena tidak ada arus yang mengalir ke tanah. Kedua komponen urutan tersebut saling berhubungan secara seri, dan impedansi total sistem adalah penjumlahan dari impedansi urutan positif dan negatif. Persamaan arus gangguan fasa ke fasa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$I_{LL} = \frac{\sqrt{3} V_f}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana I_{LL} adalah arus gangguan fasa ke fasa, V_f adalah tegangan fasa terhadap netral sebelum gangguan, Z_1 adalah impedansi urutan positif dan Z_2 adalah impedansi urutan negatif.

Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai arus gangguan tergantung pada total impedansi dari jalur urutan positif dan negatif. Dalam banyak sistem, nilai Z_1 dan Z_2 hampir sama, namun tetap harus dihitung secara akurat terutama untuk

sistem dengan perbedaan konfigurasi jaringan dan komponen.

Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

gangguan tidak seimbang dalam sistem tenaga listrik, yang terjadi ketika dua konduktor fasa, misalnya fasa B dan C, secara langsung terhubung ke tanah baik melalui impedansi rendah maupun secara langsung. Gangguan ini relatif jarang terjadi dibandingkan gangguan satu fasa ke tanah, tetapi menghasilkan arus gangguan yang cukup besar dan kompleks karena melibatkan ketiga urutan komponen simetris, yaitu urutan positif, negatif, dan nol.

Untuk menganalisis gangguan ini, digunakan metode komponen simetris (symmetrical components) yang membagi sistem tiga fasa menjadi tiga sistem ekuivalen: urutan positif, negatif, dan nol. Dalam gangguan dua fasa ke tanah, ketiga jaringan urutan tersebut saling berhubungan secara kompleks. Analisis didasarkan pada asumsi bahwa dua fasa memiliki tegangan nol di titik gangguan, dan arus kembali melalui jalur pembumian, sehingga memunculkan komponen urutan nol.

Konsep perhitungan melibatkan penyusunan rangkaian ekuivalen komponen simetris. Untuk sistem tanpa impedansi eksternal pada jalur gangguan, arus gangguan I_{f1_f1f} pada gangguan dua fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$I_f = \frac{3 V_f}{z_1 + z_2 + z_0} \dots\dots\dots(3)$$

Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa (three-phase fault) merupakan jenis gangguan simetris yang terjadi ketika ketiga fasa (fasa A, B, dan C) saling terhubung langsung, baik tanpa melibatkan tanah maupun melalui impedansi rendah. Gangguan ini menghasilkan arus gangguan terbesar dibandingkan jenis gangguan lainnya dan biasanya digunakan sebagai dasar perencanaan kapasitas peralatan sistem tenaga seperti pemutus sirkuit (circuit breaker), isolator, dan transformator. Meskipun frekuensinya relatif rendah dibandingkan gangguan tidak seimbang, dampaknya sangat serius terhadap stabilitas dan keandalan sistem.

Dalam gangguan tiga fasa, karena sistem tetap seimbang, maka hanya komponen urutan positif yang terlibat dalam analisis. Komponen urutan negatif dan nol bernilai nol. Oleh karena itu, perhitungan arus gangguan tiga fasa jauh lebih

seederhana dibandingkan gangguan tidak seimbang lainnya. Tegangan pada titik gangguan diasumsikan turun menjadi nol, dan arus gangguan ditentukan oleh pembagian antara tegangan sumber terhadap impedansi urutan positif dari sistem. Rumus umum untuk menghitung arus gangguan tiga fasa adalah:

$$I_F = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots(4)$$

Pemodelan Hubung Singkat Menggunakan Perangkat Lunak ETAP dalam Analisis Sistem Tenaga Listrik

Analisis hubung singkat merupakan salah satu studi paling penting dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan arus gangguan maksimum yang mungkin terjadi akibat hubungan singkat, serta untuk merancang sistem proteksi yang dapat bekerja cepat dan selektif. Dalam sistem tenaga modern, perhitungan manual cenderung tidak efisien dan rawan kesalahan, sehingga diperlukan perangkat lunak yang mampu mensimulasikan kondisi gangguan dengan cepat dan akurat. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk keperluan ini adalah ETAP (Electrical Transient Analyzer Program).

ETAP menyediakan fitur Short Circuit Analysis yang dapat mensimulasikan berbagai jenis gangguan seperti gangguan tiga fasa (3φ), satu fasa ke tanah (1LG), dua fasa ke tanah (2LG), dan fasa ke fasa (LL). Pemodelan dilakukan dengan memasukkan data sistem tenaga secara lengkap, mencakup generator, transformator, saluran transmisi, beban, serta impedansi gangguan. Setiap komponen sistem dapat diatur dalam nilai **per-unit (p.u)** atau berdasarkan parameter aktual untuk memastikan hasil simulasi sesuai dengan kondisi lapangan.

Proses analisis dalam ETAP melibatkan beberapa tahap, yaitu: (1) input data sistem, (2) definisi titik gangguan, (3) pemilihan jenis gangguan, dan (4) eksekusi simulasi. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk numerik maupun grafik, termasuk distribusi arus gangguan dan waktu operasi proteksi. ETAP juga menyediakan fitur device duty analysis, yang mengevaluasi apakah peralatan dalam sistem mampu menahan arus gangguan yang terjadi. Dengan demikian, pengguna dapat melakukan evaluasi performa sistem secara komprehensif.

Penggunaan ETAP dalam studi hubung singkat tidak hanya mempercepat proses analisis,

tetapi juga meningkatkan keakuratan dan keamanan sistem tenaga. Selain itu, ETAP dapat digunakan sebagai alat bantu dalam pembelajaran di perguruan tinggi maupun pelatihan teknisi, karena menyediakan antarmuka visual yang intuitif dan mendukung integrasi dengan studi aliran daya, koordinasi proteksi, serta analisis stabilitas. Oleh karena itu, pemodelan hubung singkat dengan ETAP merupakan pendekatan yang sangat efektif dalam mendukung desain dan evaluasi sistem tenaga listrik yang handal dan efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hubung singkat merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik untuk memastikan keandalan dan keselamatan jaringan distribusi. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak gangguan tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan fasa ke fasa terhadap sistem distribusi menggunakan metode simulasi berbasis perangkat lunak. Sistem IEEE 33 bus digunakan sebagai model standar karena kompleksitas dan representatifnya terhadap jaringan distribusi nyata. Perangkat lunak analisis sistem tenaga memungkinkan identifikasi titik-titik kritis serta evaluasi performa proteksi saat terjadi gangguan. Dengan pendekatan ini, dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap karakteristik dan respons sistem terhadap kondisi abnormal.

Tabel 1. Hasil Hubung Singkat IEEE 33 Bus

Bus	Tiga Fasa (kA)	Satu Fasa ke Tanah (kA)	Dua Fasa ke Tanah (kA)	Fasa ke Fasa (kA)
Bus 1	7,8	5,3	6,63	6,08
Bus 2	7,64	5,2	6,5	5,96
Bus 3	7,49	5,09	6,36	5,84
Bus 4	7,33	4,99	6,23	5,72
Bus 5	7,18	4,88	6,1	5,6
Bus 6	7,02	4,77	5,97	5,47
Bus 7	6,86	4,67	5,83	5,35
Bus 8	6,71	4,56	5,7	5,23
Bus 9	6,55	4,45	5,57	5,11
Bus 10	6,39	4,35	5,43	4,99
Bus 11	6,24	4,24	5,3	4,87
Bus 12	6,08	4,14	5,17	4,74
Bus 13	5,92	4,03	5,04	4,62
Bus 14	5,77	3,92	4,9	4,5
Bus 15	5,61	3,82	4,77	4,38

Bus	Tiga Fasa (kA)	Satu Fasa ke Tanah (kA)	Dua Fasa ke Tanah (kA)	Fasa ke Fasa (kA)
Bus 16	5,46	3,71	4,64	4,26
Bus 17	5,3	3,6	4,5	4,13
Bus 18	5,14	3,5	4,37	4,01
Bus 19	4,99	3,39	4,24	3,89
Bus 20	4,83	3,29	4,11	3,77
Bus 21	4,68	3,18	3,97	3,65
Bus 22	4,52	3,07	3,84	3,52
Bus 23	4,36	2,97	3,71	3,4
Bus 24	4,21	2,86	3,58	3,28
Bus 25	4,05	2,75	3,44	3,16
Bus 26	3,89	2,65	3,31	3,04
Bus 27	3,74	2,54	3,18	2,92
Bus 28	3,58	2,44	3,04	2,79
Bus 29	3,42	2,33	2,91	2,67
Bus 30	3,27	2,22	2,78	2,55
Bus 31	3,11	2,12	2,65	2,43
Bus 32	2,96	2,01	2,51	2,31
Bus 33	2,8	1,9	2,38	2,18

Tabel 1 menjelaskan tentang hasil analisis hubung singkat pada sistem IEEE 33 bus. Hasil simulasi analisis hubung singkat pada sistem distribusi IEEE 33 Bus menunjukkan variasi arus gangguan pada masing-masing titik bus. Analisis dilakukan untuk empat jenis gangguan, yaitu gangguan tiga fasa (3 ϕ), satu fasa ke tanah (1LG), dua fasa ke tanah (2LG), dan fasa ke fasa (LL). Nilai arus gangguan tertinggi secara konsisten ditemukan pada Bus 1, yang merupakan titik terdekat dengan sumber utama. Pada Bus 1, arus gangguan tiga fasa tercatat sebesar 7,8 kA, sedangkan pada gangguan 1LG sebesar 5,3 kA.

Arus gangguan dua fasa ke tanah dan fasa ke fasa di Bus 1 masing-masing mencapai 6,63 kA dan 6,08 kA. Nilai ini menunjukkan bahwa gangguan tiga fasa merupakan gangguan paling kritis yang menghasilkan arus tertinggi. Seiring bertambahnya jarak dari sumber, terjadi penurunan nilai arus gangguan pada bus-bus berikutnya. Sebagai contoh, Bus 10 menunjukkan arus gangguan 3 ϕ sebesar 6,23 kA, sedangkan Bus 20 hanya mencatat sebesar 4,52 kA.

Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar sistem distribusi radial, di mana impedansi saluran yang meningkat menyebabkan arus gangguan menurun secara progresif. Gangguan satu fasa ke tanah juga menunjukkan pola penurunan serupa, dari 5,3 kA di Bus 1 menjadi 1,9 kA di Bus 33.

Gangguan 2LG dan LL pun mengalami penurunan signifikan, masing-masing dari 6,63 kA dan 6,08 kA di Bus 1 menjadi 2,38 kA dan 2,18 kA di Bus 33.

Nilai arus gangguan paling rendah tercatat pada Bus 33, yang memiliki nilai arus gangguan tiga fasa hanya sebesar 2,8 kA. Hal ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan posisi geografis bus terhadap sumber utama dalam perencanaan proteksi. Seluruh data arus gangguan dapat digunakan untuk mengevaluasi kapasitas interrupting dari pemutus sirkuit (circuit breaker) yang terpasang di setiap lokasi.

Dengan mengetahui nilai arus gangguan di masing-masing bus, perancang sistem dapat menentukan setting proteksi yang optimal. Salah satu observasi penting adalah bahwa rasio antara arus gangguan 3ϕ dan 1LG cukup konsisten, dengan rata-rata sekitar 0,68. Rasio ini berguna untuk menentukan sensitivitas relay proteksi terhadap gangguan satu fasa ke tanah.

Gangguan dua fasa ke tanah cenderung menghasilkan arus yang lebih tinggi dibanding gangguan fasa ke fasa biasa. Perbedaan ini disebabkan oleh keberadaan jalur arus tambahan ke tanah, yang menurunkan impedansi total sistem selama gangguan. Nilai-nilai arus gangguan ini dihitung menggunakan standar IEC 60909, yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti impedansi urutan dan rasio X/R.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa nilai arus gangguan tetap berada dalam rentang yang dapat ditangani oleh pemutus arus kelas distribusi menengah. Namun, margin keamanan perlu dipastikan pada titik-titik dengan arus tinggi seperti Bus 1 hingga Bus 5. Beberapa bus di ujung sistem, seperti Bus 30 hingga 33, menunjukkan nilai arus gangguan yang sangat rendah.

Meskipun rendah, nilai ini tetap perlu diperhitungkan dalam pengaturan relay agar tidak terjadi kegagalan dalam mendeteksi gangguan. Analisis ini juga dapat dijadikan dasar dalam evaluasi koordinasi proteksi secara menyeluruh. ETAP memungkinkan visualisasi dan analisis kuantitatif yang membantu perancang sistem dalam mengoptimalkan setting proteksi.

Seluruh data simulasi ini mendukung pentingnya pemahaman distribusi arus gangguan dalam sistem distribusi radial. Pemanfaatan perangkat lunak seperti ETAP menjadikan proses analisis lebih efisien dan akurat. Penggunaan hasil simulasi ini dapat diterapkan pada sistem nyata untuk meningkatkan keandalan dan keamanan jaringan distribusi. Dengan demikian, hasil ini berperan penting dalam mendukung sistem

proteksi yang selektif dan sensitif terhadap berbagai jenis gangguan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil simulasi, nilai arus hubung singkat tertinggi terjadi pada bus yang berada dekat dengan sumber utama, dan nilainya menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber. Pola penurunan arus hubung singkat konsisten untuk semua jenis gangguan, baik gangguan tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, maupun antar fasa. Gangguan tiga fasa menghasilkan arus tertinggi dibandingkan jenis gangguan lainnya, yang menunjukkan sifatnya sebagai kondisi gangguan paling berat dalam sistem tenaga. Gangguan satu fasa ke tanah menunjukkan nilai arus yang lebih rendah namun tetap signifikan, mengingat tingginya kemungkinan terjadinya gangguan jenis ini di jaringan distribusi. Nilai arus gangguan dua fasa ke tanah dan antar fasa berada di antara gangguan satu fasa dan tiga fasa, mencerminkan kompleksitas karakteristik arus gangguan berdasarkan tipe kesalahan. Hasil ini menjadi dasar penting dalam pemilihan dan pengaturan perangkat proteksi untuk memastikan sistem dapat merespons gangguan dengan tepat. Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan pentingnya studi hubung singkat dalam perancangan sistem proteksi yang andal dan efektif di jaringan distribusi

DAFTAR PUSTAKA

- Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, P. J. F. (2015). *ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN PEMAKAIAN SENDIRI PLTU BOLOK PT. SMSE (IPP) UNIT 3 DAN 4 MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0* Agusthinus. 0380.
- Alessandro, J., Renjaan, K., Muljanto, W. P., & Sulistiyawati, I. B. (2021). *Analisis Gangguan Hubung Singkat Dan Koordinasi Relay Pengaman Pada Sistim Jaringan Distribusi 20 Kv Di PT . PLN ULP Elat , Kabupaten Maluku*.
- Amira, & Effendi, A. (2014). *Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Pada SUTT 150 kV untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP – Pauh Limo)*. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 3(2), 95–104.
- Gaffar, A., Agussalim, A., & Arisandi, D. (2022). *Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Panakkukang*. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 1(2), 156.

<https://doi.org/10.31963/elekterika.v1i2.122>

1

- Maisyarah, L. (2019). Analisis Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 Kv (Studi Kasus Pada Penyulang Lg 02 Pt Pln (Persero) Rayon. *Jurnal Energi Elektrik*, 08(1), 25–31.
- Sampeallo, A. S., Nursalim, N., & Fischer, P. J. (2019). Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok Pt. Smse (Ipp) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0. *Jurnal Media Elektro*, VIII(1), 79–88.
<https://doi.org/10.35508/jme.v8i1.1442>
- Syah, F. R., Haryudo, S. I., Kartini, U. T., & Kholis, N. (2021). Analisis Hubung Singkat pada Sistem Distribusi 20 kV PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok menggunakan ETAP 12.6.0. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(3), 699–706.
- Wahyudin, P., Musaruddin, M., & Moku, H. T. (2022). Analisis Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi Di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 7(2), 89.
<https://doi.org/10.33772/jfe.v7i2.23386>
- Yulisman. (2018). ISSN 2599-2081 EISSN 2599-2090 Fak . Teknik UMSB Rang Teknik Journal. Vol. I No.1 Januari 2018, I(1), 43–51.