

ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) DI GI CIBINONG 150 KV MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP

Oleh:
Mochtar Yusuf Toguan¹, Didik Notosudjono², Bloko Budi Rijadi³

ABSTRAK

Analisis gangguan hubung singkat merupakan suatu hal yang penting untuk menentukan rating arus hubung singkat guna untuk melindungi perangkat dan peralatan dari efek yang ditimbulkan beban juga untuk menentukan setting pada peralatan proteksi, Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi, Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai dengan ANSI/IEEE Std. 100-1992. Dengan menggunakan *software* ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Hasil Penelitian diperoleh bahwa perbedaan hasil arus hubung singkat yang tidak signifikan antara perhitungan manual dan simulasi *software* ETAP *Power Station* 19.0.1 dalam tiga kondisi meliputi 2.664% untuk kondisi gangguan arus hubung singkat salah satu fasa ketanah, 5.606% untuk kondisi gangguan arus hubung singkat fasa ke fasa dan terakhir 5.606% untuk gangguan arus hubung singkat tiga fasa. Selanjutnya, hasil perhitungan arus hubung singkat tersebut akan digunakan sebagai indikator penentu kesesuaian kapasitas pemutus PMT (*Circuit Breaker*) GI Cibinong 150 kV, diperoleh bahwa perbandingan *rating* pemutus PMT yang terpasang (*existing*) lebih besar terhadap hasil pemilihan *rating* pemutus PMT berdasarkan perhitungan manual. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemutus tenaga yang terpasang pada di GI Cibinong 150 kV memiliki kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan dan masih layak untuk digunakan sebagai pemutus tenaga pada GI Cibinong 150 kV.

Kata Kunci: *Arus Hubung Singkat, Kapasitas pemutus tenaga (Circuit Breaker), Simulasi ETAP PowerStation19.0.1*

ABSTRACT

Short circuit fault analysis is an important thing to determine the short circuit current rating in order to protect devices and equipment from the effects caused by loads as well as to determine settings for protective equipment. A fault is almost always in the form of a direct circuit or through impedance. The term fault is synonymous with circuit. short, in accordance with ANSI/IEEE Std. 100-1992. By using ETAP (Electric Transient and Analysis Program) software, it is software that supports electric power systems. This device is capable of working offline for electric power simulation, online for real-time data management or used to control systems in real-time. The features contained in it also vary, including features used to analyze electric power generation, transmission systems and electric power distribution systems. The research results showed that the differences in short circuit current results were not significant between manual calculations and ETAP Power Station 19.0.1 software simulations in three conditions including 2.664% for the short circuit current fault condition of one of the phases to ground, 5.606% for the phase short circuit current fault condition. to phase and finally 5.606% for three-phase short circuit current faults. Furthermore, the results of the short circuit current calculation will be used as an indicator to determine the suitability of the GI Cibinong 150 kV PMT breaker capacity. So it can be concluded that the power breaker installed at the Cibinong 150 kV GI has a capacity that meets the needs and is still suitable for use as a power breaker at the Cibinong 150 kV GI

Keywords: *Short Circuit Current, Circuit Breaker Capacity, ETAP Power Station 19.0.1 Simulation*

1. PENDAHULUAN

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban umumnya terpisah dalam jarak yang cukup jauh yaitu ratusan bahkan ribuan kilometer. SUTET 500 kV dan SUTT 150 kV adalah perantara dalam penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban, agar energi listrik yang dikirim dari sisi kirim ke sisi terima tetap bisa maksimal. Namun dalam penyaluran energi listrik, terjadi hilangnya tegangan dan daya listrik yang diterima oleh pusat beban[2].

Analisis gangguan hubung singkat merupakan suatu hal yang penting untuk menentukan rating arus hubung singkat guna untuk melindungi perangkat dan peralatan dari efek yang ditimbulkan beban juga untuk menentukan setting pada peralatan proteksi, Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetris), Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri[1].

Analisis gangguan hubung singkat memeriksa kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mengalir setiap cabang *electric power system*. Secara gambaran umum analisis hubung singkat (*short circuit analysis*) dilakukan diwaktu sistem tenaga listrik (*electric power system*) baru dibangun atau dalam perencanaan, bermaksud dapat memahami Kapasitas beban yang dibutuhkan oleh setiap peralatan atau instrumen dalam jaringan. Akan tetapi analisis ini bisa dilaksanakan kembali pada *power system* yang ada, terutama berupa perubahan atau pengembangan pada sistem tenaga transmisi dan pengembangan beban yang sudah aktif. Berubahnya jaringan pada *electric power system* ini yang menuntut dilakukannya *short circuit analisis* lagi bertujuan yaitu menentukan sudahkah peralatan proteksi atau komponen pada *electric power system* masih mampu stabil atau optimal ketika terjadi gangguan *short circuit current*[3].

Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi, Istilah gangguan identik dengan hubung singkat,

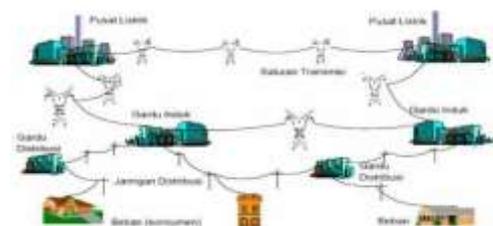
sesuai dengan ANSI/IEEE Std. 100-1992. Berdasarkan standar PUIL 2011 arus hubung singkat adalah arus lebih yang diakibatkan oleh gangguan impedansi yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif yang dalam kondisi operasi normal berbeda potensialnya (*short circuit current*). Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk/ bencana alam, seperti badai, hujan, gempa bumi, angin ribut, kecelakaan kendaraan, runtuhnya pohon, petir, aktifitas konstruksi, ulah manusia, dan lain-lain[4].

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik ini merupakan kebutuhan tenaga listrik yang bukan saja monopoli daerah perkotaan, tetapi sudah merambah ke desa-desa terpencil. Untuk melayani daerah perkotaan dan pedesaan perlu di tingkatkan pula pembangunan jaringan distribusi sehingga terjadi pemerataan pemakaian energi listrik. Mengingat pentingnya energi listrik bagi kehidupan masyarakat dan bagi pembangunan nasional, maka suatu sistem tenaga listrik harus bisa melayani pelanggan secara baik, dalam arti sistem tenaga listrik tersebut aman dan andal. Aman berarti bahwa sistem tenaga listrik tidak membahayakan manusia dan lingkungannya. Handal berarti sistem tenaga listrik dapat melayani pelanggan secara memuaskan misalnya dalam segi kontinuitas dan kualitas. Hal ini akan terwujud apabila proses perencanaan, pelaksanaan pembangunan, pengoperasian dan pemeliharaan suatu sistem tenaga listrik senantiasa mengikuti ketentuan standar teknik yang berlaku[5].

Pada gambar 1 dibawah ini memperlihatkan skema sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik terdiri dari banyak pusat listrik, gardu induk, saluran transmisi, gardu distribusi dan penyulang-penyulang distribusi yang terhubung secara kompleks[6].



Gambar 1. Skema Sistem Tenaga Listrik

2.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Secara umum gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi pada komponen utama sistem tenaga listrik, diantaranya pembangkit, jaringan transmisi dan distribusi. Penyebab gangguan yang terjadi diakibatkan oleh gangguan sistem dan gangguan non sistem. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya, Gangguan adalah peristiwa yang menyebabkan trip-nya PMT diluar kehendak operator (fault)[7].

2.2.1 Jenis-jenis Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan gangguan dalam pasokan listrik dan dapat terjadi di berbagai bagian sistem tenaga listrik. Berikut adalah beberapa jenis gangguan pada sistem tenaga listrik:[8]

1. Gangguan Beban Lebih
2. Gangguan Tegangan Lebih
3. Gangguan Hubung Singkat
4. Gangguan Frekuensi Jatuh

2.2.2 Faktor-faktor Penyebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik bisa disebabkan oleh berbagai faktor, Beberapa faktor penyebab utama gangguan pada sistem tenaga listrik antara lain:[9]

1. Faktor Manusia
2. Faktor Internal
3. Faktor Eksternal

2.3 Klasifikasi Jenis-jenis Gangguan Hubung Singkat

Klasifikasi jenis-jenis gangguan hubung singkat berdasarkan penyebabnya, meliputi Gangguan Hubung Singkat Akibat Gangguan Sistem ialah merupakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik seperti pada Generator, Transformator, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) dan lain sebagainya sedangkan Gangguan Non Sistem merupakan gangguan yang disebabkan bukan dari gangguan sistem. Gangguan ini antara lain diakibatkan oleh kerusakan komponen relai, kabel kontrol terhubung singkat dan interferensi atau induksi

pada kabel kontrol[10].

2.3.1 Gangguan Berdasarkan Lama Terjadi Gangguan

1. Gangguan hubung singkat yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen.
2. Gangguan hubung singkat temporer merupakan gangguan yang terjadi dalam waktu yang singkat saja dimana kemudian sistem kembali dalam keadaan normal.

2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Kesimetrisannya

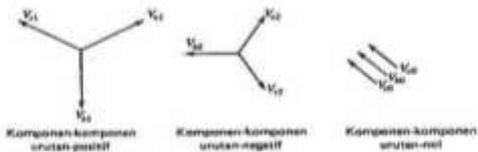
Gangguan ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu gangguan bersifat simetris atau seimbang yang merupakan gangguan yang terjadi pada ketiga fasanya yang mengakibatkan arus dan tegangan pada setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi dan gangguan tidak simetris berupa gangguan antar fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya tidak seimbang.

2.4 Persamaan Metode Komponen Simetris Untuk Analisis Gangguan Hubung Singkat

Dalam menganalisis gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik maka metode yang digunakan ialah metode hubung singkat seimbang (Simetris) dan tidak seimbang (Asimetris). Untuk menggunakan metode tersebut maka perlu mengetahui ilmu mengenai komponen simetris. Komponen simetris merupakan sebuah metode analisis hubung singkat yang dikembangkan oleh C.L. Fortescue pada tahun 1918. Metode ini merumuskan bahwa sistem tiga fasa yang tidak seimbang pada sistem tenaga listrik seolah-olah menjadi seimbang dengan dilakukannya superposisi.

Metode perhitungan dengan komponen simetris adalah suatu perangkat praktis yang dapat digunakan untuk mengerti dan menganalisis operasi sistem tenaga listrik dalam keadaan tidak seimbang. Pada komponen simetris terdapat tiga set komponen simetris meliputi:[11]

1. Komponen Urutan Positif
2. Komponen Urutan Negatif
3. Komponen Urutan Nol



Gambar 2. Tiga Himpunan Fasor Seimbang merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tak Seimbang

2.5 Perhitungan Secara Manual Dengan Metode Komponen Simetris

Perhitungan besaran dasar, Besaran dasar adalah besaran skalar sehingga bilangan fasor tidak diperlukan dalam persamaan dasar. Dengan demikian persamaan untuk harga besaran dasar sebagai berikut:[11]

2.5.1 Impedansi Sumber

Nilai yang digunakan dalam perhitungan impedansi sumber ialah nilai reaktansi yang menentukan besar arus hubung singkat sesaat setelah terjadi gangguan atau biasa disebut dengan reaktansi sub transien, dalam studi sistem tenaga tegangan dasar yang biasa digunakan adalah tegangan nominal dan kVA atau MVA sebagai daya dasar. Langkah untuk mencari besar nilai impedansi sumber ialah:

$$Z_{sumber} = \frac{KV^2 Base}{MVA_{SC\ 3\ Fasa}} \Omega \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan besar daya tiga fasa ialah:

$$MVA_{SC\ 3\ Fasa} = \sqrt{3} \times I_{SC\ 3\ fasa} \times kV \dots \dots \dots (2.2)$$

2.5.2 Impedansi Transformator

Nilai yang digunakan dalam perhitungan impedansi transformator ialah harga reaktansi. Langkah untuk mencari besar nilai reaktansi adalah dengan mencari nilai impedansi 100%, yaitu pada persamaan :

$$X_T(pada\ 100\%) = \frac{KV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.3)$$

Maka untuk reaktansi trafo urutan positif dan negatif adalah :

$$X_{t1} = X_{t2} = X_T(100\%) \cdot \%X \dots \dots \dots (2.4)$$

2.5.3 Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen terdiri atas ekuivalen urutan positif, ekuivalen urutan negatif dan ekuivalen urutan nol. Untuk menentukan besarnya impedansi ekuivalen dengan melihat titik sumber menuju titik gangguan, sehingga rumus impedansi ekuivalen tergantung terhadap titik gangguan yang terjadi. Berikut ini rumus secara umum untuk menghitung impedansi ekuivalen:

1. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif
 $Z_{1\ EKIV} = Z_S + X_{T1} + Z_{L1} \dots \dots \dots (2.5)$

2. Impedansi Ekuivalen Urutan Negatif
 $Z_{1\ EKIV} = Z_{2\ EKIV} \dots \dots \dots (2.6)$

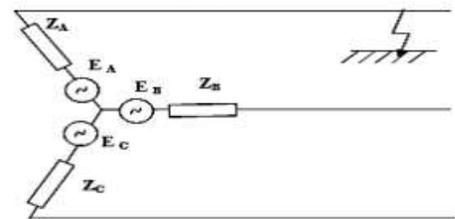
3. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol
 $Z_{0\ EKIV} = X_{T0} + 3 \cdot R_n + Z_{L(0)} \dots \dots \dots (2.7)$

2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Setelah menghitung besar impedansi masing-masing dari peralatan, maka dapat dilakukan menghitung besar gangguan arus hubung singkat, sebagai berikut:

2.6.1 Gangguan Hubung Singkat Salah Satu Fasa Ke Tanah

Untuk menentukan gangguan hubung singkat salah satu fasa ke tanah, maka harus diketahui rangkaian impedansi ekuivalen thevenin sistem pada suatu titik gangguan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini[12].



Gambar 3. Gangguan Salah Satu Fasa Ke Tanah-Ekuivalen Thevenin sistem di Titik Gangguan

Sehingga besar arus gangguan hubung singkat salah satu fasa ke tanah ialah :

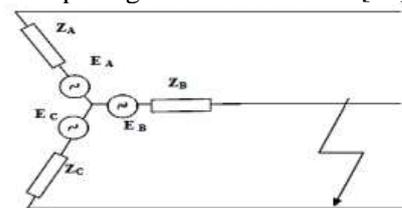
$$I_{a1} = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I_a = 3 \times I_{a1} = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.6.2 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Untuk menentukan gangguan hubung singkat fasa ke fasa maka harus diketahui rangkaian impedansi ekuivalen thevenin di suatu titik gangguan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini[12].



Gambar 4. Gangguan Fasa ke Fasa-Ekuivalen Thevenin sistem di Titik Gangguan

Sehingga persamaan arus gangguan fasa ke fasa ialah :

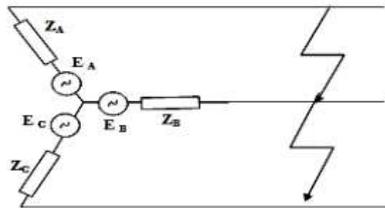
$$I_{a1} = \frac{E}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.6.3 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk menentukan gangguan hubung singkat tiga fasa, maka harus diketahui rangkaian impedansi ekivalen thevenin pada suatu titik gangguan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.[12]



Gambar 5. Gangguan Tiga Fasa-Ekivalen Thevenin sistem di Titik Gangguan

Maka untuk mencari gangguan arus hubung singkat pada tiga fasa, perhatikan persamaan dibawah ini:

$$I_a = \frac{E}{Z_1} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$I_a = I_{a1} = I_{sc} 3\phi \dots \dots \dots (2.15)$$

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.16)$$

2.7 ETAP Power Station 19.0.1

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik[13].

ETAP menawarkan serangkaian solusi perangkat lunak yang terintegrasi penuh termasuk Fungsionalitas modularnya dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan perusahaan mana pun mulai dari sistem tenaga listrik kecil hingga besar. ETAP menyediakan laporan kesalahan dan menyoroti kesalahan tersebut kepada pengguna dalam laporan singkat[14].

1. Analisa Aliran Daya
2. Analisa hubung singkat
3. Analisa starting motor
4. Analisa harmonisa
5. Analisa kestabilan transien
6. Koordinasi relay
7. Analisa daya optimal
8. Analisa aliran daya DC
9. Analisa hubung singkat DC
10. Ukuran baterai

2.8 Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) merupakan salah satu perangkat sistem proteksi berupa peralatan saklar yang berguna sebagai penghubung dan pemutus arus dalam sirkuit tenaga untuk melepas bagian sistem yang terganggu. Pemutus tenaga mampu menutup, mengalirkan dan memutuskan arus beban dalam kondisi normal atau dalam kondisi abnormal (*short circuit*). Ketika terjadi gangguan Pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) akan memutus rangkaian secara otomatis, untuk operasi ini pemutus tenaga dilengkapi dengan *relay-relay*. Fungsi dari masing-masing relay adalah mengaman sistem dari gangguan yang berbeda-beda.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus tenaga meliputi:[15]

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara kontinu.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan cepat agar arus hubung singkat tersebut tidak sampai merusak peralatan sistem, tidak membuat sistem kehilangan kestabilandan tidak merusak pemutus tenaga itu sendiri.



Gambar 6. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*) di GI cibinong

Guna menentukan kapasitas pemutus tenaga atau rating arus pemutus maka perhitungan harus dikalikan dengan faktor pengali tegangan. Untuk mengetahui faktor pengali yang digunakan, maka berikut ini tabel 1 faktor pengali pemutus tenaga

berdasarkan lama waktu *open* dan *close* alat pemutus tenaga [16].

Tabel 1. Faktor Pengali Pemutus Tenaga

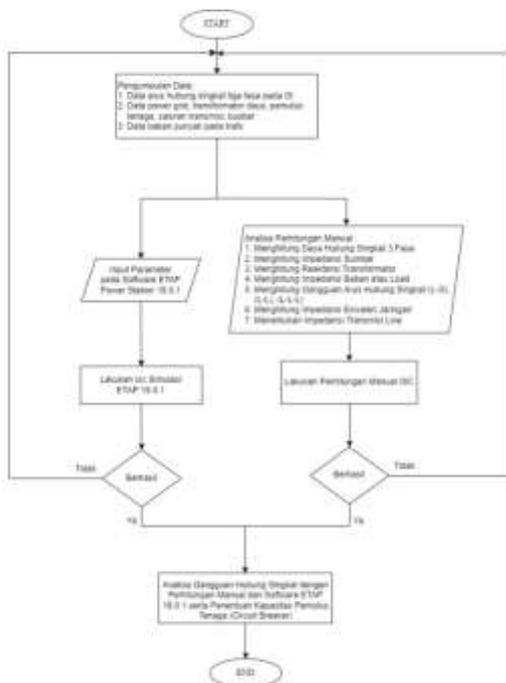
No	Waktu Open alat pemutus tenaga (<i>Circuit Breaker</i>)	Waktu (s)	Faktor Pengali
1.	8 cyle	0,16	1,0
2.	5 cycle	0,1	1,1
3.	3 cycle	0,06	1,2
4.	2 cycle	0,04	1,4
5.	Sesaat	1,6	1,6

Kapasitas arus pemutus tenaga :

$$I_{CB(ampere)} = I_{fault\ 3\phi(ampere)} \times \zeta \dots \dots \dots (2.17)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

3.2 Variabel Penelitian

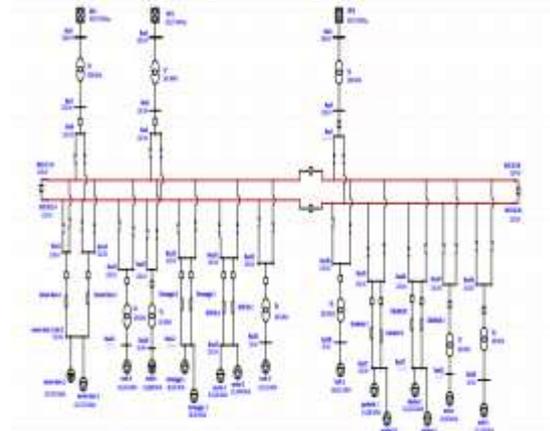
Variabel yang terkait dengan penelitian ini adalah menentukan besar arus gangguan hubung singkat terhadap salah satu fasa ke tanah (L-G), fasa ke fasa (L-L) dan tiga fasa (L-L-L), serta menentukan kapasitas pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) sesuai dengan hasil arus gangguan hubung singkat yang telah diperoleh. Selain itu variabel lainnya ialah besar arus gangguan hubung singkat dilakukan pada busbar yang telah ditentukan yaitu busbar 1

dan busbar 2 dengan tegangan nominal yaitu 150 kV.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Arus Hubung Singkat Pada ETAP Power Station 19.0.1

Berikut ini gambaran kecil mengenai hasil simulasi arus hubung singkat pada ETAP Power Station 19.0.1 yang telah dijalankan:



Gambar 8. Hasil Arus Hubung Singkat Pada Busbar 1 dan 2 GI Cibinong 150 kV Pada ETAP Power Station 19.0.1

4.2 Daya Hubung Singkat 3 Fasa

Daya hubung singkat 3 fasa merupakan daya maksimal yang terpasang ketika dalam keadaan hubung singkat 3 fasa. Perhitungan daya hubung singkat 3 fasa berguna sebagai data masukan dalam simulasi *software* ETAP Power Station 19.0.1 dan sebagai data perhitungan manual untuk mencari besar impedansi sumber. Perhitungan daya hubung singkat 3 fasa dilakukan pada dua sistem jaringan yaitu pada GITET cibinong 500 kV yang digunakan sebagai data masukan simulasi *software* ETAP Power Station 19.0.1 dan pada GI Cibinong 150 kV sebagai data perhitungan manual.

Tabel 2. Kapasitas Daya Hubung Singkat 3 Fasa

No	GITET/GI	Tegangan (Kv)	Arus Hubung Singkat 3 Fasa (kA)	Kapasitas Daya Hubung Singkat 3 fasa (MVA _{SC3})
1	GITET Cibinong 500 kV	500	45.18	39127.027
2	GI Cibinong 150 kV	150	32.46	8433.355

4.3 Impedansi Sumber

Untuk dapat menentukan impedansi sumber (MVA_{SC 3 fasa}) dapat memakai persamaan 2.1

Tabel 3. Impedansi Sumber Pada Sisi 150 kV

No	GI	Tegangan (kV)	Kapasitas Daya Hubung Singkat 3 Fasa (MVA _{3 fasa}) (MVA)	Impedansi Sumber (Z_s) (Ω)
1	GI Cibinong 150 kV	150	8433.355382	2.667977214

4.4 Perhitungan Reaktansi Interbus Transformator (IBT) 500 kV

Pada GITET Cibinong terdapat 3 Interbus Transformator (IBT) yaitu IBT 1, IBT 2, dan IBT 3. Setiap IBT memiliki spesifikasi kapasitas yang berbeda-beda sehingga menghasilkan besar impedansi yang berbeda-beda pula untuk dapat menentukan impedansi (Reaktansi) pada transformator.

Tabel 4. Reaktansi Transformator IBT 500 kV

No	Trafo	Tegangan (kV)	Reaktansi Positif (Ω)	Reaktansi Negatif (Ω)	Reaktansi Nol (Ω)
1	IBT 1	500/150	j 6.12	j 6.12	j 6.12
2	IBT 2	500/150	j 5.94 j	j 5.94	j 5.94
3	IBT 3	500/150	j 6.03	j 6.03	j 6.03

4.5 Perhitungan Reaktansi Transformator Daya 150 kV

pada GI Cibinong 150 kV terdapat 6 transformator daya yaitu trafo 1, trafo 2, trafo 3, trafo 4, trafo 5 dan trafo 6. Setiap Trafo memiliki spesifikasi kapasitas yang berbeda-beda sehingga menghasilkan besar impedansi yang berbeda-beda pula untuk dapat menentukan impedansi (Reaktansi) pada transformator.

Tabel 5. Reaktansi Transformator Daya 150 kV

No	Trafo	Tegangan (kV)	Reaktansi Positif (Ω)	Reaktansi Negatif (Ω)	Reaktansi Nol (Ω)
1	Trafo 1	150/70	j 29.25	j 29.25	j 87.75
2	Trafo 2	150/20	j 45.75	j 45.75	j 137.25
3	Trafo 3	150/20	46.488	46.488	139.466
4	Trafo 4	150/70	j 27.675	j 27.675	j 83.025
5	Trafo 5	150/20	j 35.50	j 35.50	j 106.50
6	Trafo 6	150/20	46.875	46.875	140.625

4.6 Perhitungan Impedansi Beban

Pada GI Cibinong 150 kV terdapat 6 transformator daya dengan tegangan yaitu 150/70 kV dan 150/20 kV. Tiap transformator memiliki kemampuan kapasitas daya yang berbeda-beda dan penggunaan beban yang berbeda. Pada tiap trafo biasanya beban terdiri atas beban motor dan beban statis. Dalam penelitian ini karena membahas arus hubung singkat maka peneliti mengambil beban yang tertinggi pada tiap trafo dalam periode waktu juli 2023. Hal ini bertujuan untuk mengetahui arus hubung singkat dengan kondisi beban maksimal. Kemudian untuk mengetahui besar impedansi *load* pada tiap trafo maka peneliti mengambil data dari hasil *report* simulasi *software* ETAP Power Station 19.0.1 yaitu %X sebesar j16.58 pu untuk

hasil *report* data beban transformator daya kemudian mengubah satuan *per-unit* (pu) menjadi ohm (Ω).

Gambar 9. Report Hasil Impedansi Beban Dalam Simulasi ETAP Power Station 19.0.1

4.7 Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Untuk menentukan besarnya impedansi ekuivalen dengan melihat titik sumber menuju titik gangguan, impedansi ekuivalen tergantung terhadap titik gangguan yang terjadi.

Tabel 6. Impedansi Ekuivalen Pada Tiap Bay (Baris) Penghantar GI Cibinong 150 kV

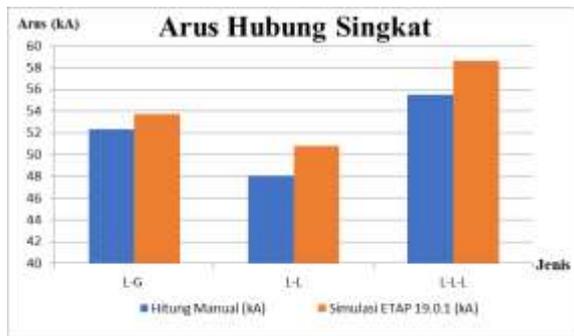
No	Bay (Baris) Penghantar	Tegangan (kV)	Reaktansi Positif (Ω)	Reaktansi Negatif (Ω)	Reaktansi Nol (Ω)
1	IBT 1	500/150	j 8.787977214	j 8.787977214	j 7.62
2	IBT 2	500/150	j 8.607977214	j 8.607977214	j 7.44
3	IBT 3	500/150	j 8.697977214	j 8.697977214	j 7.53
4	Trafo 1	150/70	j 75.252977214	j 75.252977214	j 167.085
5	Trafo 2	150/20	j 116.622977214	j 116.622977214	j 117.93
6	Trafo 3	150/20	j 113.011522981	j 113.011522981	j 240.6532383
7	Trafo 4	150/70	j 69.328522981	j 69.328522981	j 159.3443283
8	Trafo 5	150/20	j 126.372977214	j 126.372977214	j 120.85
9	Trafo 6	150/20	j 113.398522981	j 113.398522981	j 241.8143283
10	Semen Baru 1 dan 2	150	0.15867 + j18.161154012	0.15867 + j18.161154012	0.77367 + j41.438041373
11	Seunil 1 dan 2	150	1.3092 + j20.156684012	1.3092 + j20.156684012	3.1092 + j47.424630373
12	Cimanggis 1 dan 2	150	0.38670 + j18.840464012	0.38670 + j18.840464012	1.37670 + j43.475971373
13	Cihuhur 1 dan 2	150	0.45621 + j25.321137895	0.45621 + j25.321137895	2.12121 + j16.2932074284
14	Gandaria 1 dan 2	150	2.5665 + j26.767597893	2.5665 + j26.767597893	4.3365 + j20.6325874284

4.8 Perbandingan Hasil Arus Hubung Singkat Pada Busbar 1 dan 2 150 kV Dengan Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP 19.0.1

Hasil perhitungan manual arus hubung singkat pada busbar 1 dan 2 akan dibandingkan dengan hasil simulasi dengan menggunakan ETAP 19.0.1. untuk hasilnya dapat dilihat pada tabel dan disertai dengan gambar grafik yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini maka diperoleh hasil selisih perhitungan arus hubung singkat dengan perhitungan manual dan simulasi ETAP secara keseluruhan baik dalam bentuk satuan kA maupun persentase.

Tabel 7. Persentase Hasil Perbandingan Arus Hubung Singkat Antara Hitungan Manual dan Simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 Pada Busbar 1 dan 2 150 kV.

No	Jenis Arus Hubung Singkat	Metode Perhitungan		Selisih	
		Hitungan Manual (kA)	Simulasi ETAP (kA)	(kA)	(%)
1	1 Fasa Ke Tanah	52.356	53.751	1.395	2.664
2	Fasa Ke Fasa	48.083	50.779	2.696	5.606
3	Tiga Fasa	55.521	58.634	3.113	5.606



Gambar 10. Grafik Hasil Perbandingan Arus Hubung Singkat Meliputi 3 Kondisi (L-G), (L-L) dan (L-L-L) dengan Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1

Kemudian dengan mengingat tujuan dari penelitian ini ialah untuk menentukan kapasitas pemutus tenaga, maka peneliti memilih untuk menggunakan nilai arus gangguan hubung singkat dengan perhitungan manual sebagai indikator penentu kapasitas pemutus tenaga serta menjadikan hasil perhitungan manual sebagai patokan untuk memperoleh besar perbedaan arus hubung singkat baik dengan perhitungan manual dan simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 dalam bentuk persentase. Sehingga diperoleh besar perbedaan arus hubung singkat antara perhitungan manual dan simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 dalam bentuk persentase ialah kurang dari 6% pada tiap jenis hubung singkat.

Perbedaan hasil perhitungan arus hubung singkat baik dalam satuan kA maupun persentase yang tidak signifikan tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 valid dan perhitungan yang dilakukan telah benar berdasarkan rumus, dan spesifikasi peralatan dilapangan yang di masukan untuk parameter di ETAP berbeda dengan yang ada dilapangan.

4.9 Perhitungan Kapasitas Pemutus Tenaga (Circuit Breaker)

Dengan diperolehnya nilai arus hubung singkat maksimum yang diperoleh dari penjumlahan seluruh arus hubung singkat pada tiap bay penghantar maka kapasitas pemutus circuit breaker dapat ditentukan.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kapasitas Pemutus Tenaga PMT 150 kV Pada Gardu Induk Cibinong

No	Bay Penghantar	Arus Gangguan Maksimum Perhitungan Manual ($I_{scL-L-L}$)	Kapasitas Pemutus Tenaga ($I_{scL-L-L} \times 1.6$)
		(kA)	(kA)
1	IBT 1	9.854	15.767
2	IBT 2	10.060	16.097
3	IBT 3	9.956	15.930
4	Trafo 1	1.150	1.841
5	Trafo 2	0.742	1.188
6	Trafo 3	0.766	1.226
7	Trafo 4	1.249	1.998
8	Trafo 5	0.885	1.096
9	Trafo 6	0.763	1.221
10	TL Semen Baru 1 dan 2	4.768	7.629
11	TL Sentul 1 dan 2	4.287	6.859
12	TL Cimanggis 1 dan 2	4.595	7.353
13	TL Cibubur 1 dan 2	3.419	5.471
14	TL Gandaria 1 dan 2	3.220	5.152

Rating PMT dengan tegangan 150 kV meliputi 20 kA, 25 kA, 35 kA dan 40 kA. Berdasarkan rating PMT dipasaran dan dengan memperhatikan kapasitas pemutus hasil perhitung manual dengan nilai paling besar ialah 16.097 kA dapat dilihat pada tabel 8, maka dalam penelitian ini dipilih PMT dengan rating 20 kA sebagai rating pemutus tenaga berdasarkan hasil perhitungan manual ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Pemilihan Rating Pemutus Tenaga Berdasarkan Hasil Perhitungan Manual.

No	Bay Penghantar	Kapasitas Pemutus Tenaga ($I_{scL-L-L} \times 1.6$)	Rating PMT Berdasarkan Hasil Perhitungan Dengan Melihat Rating PMT di Pasaran
		(kA)	(kA)
1	IBT 1	15.767	20
2	IBT 2	16.097	20
3	IBT 3	15.930	20
4	Trafo 1	1.841	20
5	Trafo 2	1.188	20
6	Trafo 3	1.226	20
7	Trafo 4	1.998	20
8	Trafo 5	1.096	20
9	Trafo 6	1.221	20
10	TL Semen Baru 1 dan 2	7.629	20
11	TL Sentul 1 dan 2	6.859	20
12	TL Cimanggis 1 dan 2	7.353	20
13	TL Cibubur 1 dan 2	5.471	20
14	TL Gandaria 1 dan 2	5.152	20

Kesesuaian kapasitas pemutus tenaga pada GI Cibinong 150 kV ialah dengan membandingkan rating PMT yang terpasang (*existing*) dengan rating PMT hasil perhitungan manual terdapat pada tabel 9. sehingga diperoleh kondisi kesesuaian kapasitas pemutus tenaga yang terpasang di GI Cibinong 150 kV pada tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Rating Pemutus PMT yang Terpasang (*Existing*) di GI Cibinong dengan Rating Pemutus PMT Hasil Perhitungan Manual.

No	Nama Pemutus	Rating Pemutus PMT Hasil Perhitungan	Rating Pemutus PMT Terpasang (<i>Existing</i>)	Kondisi Kapasitas Pemutus PMT GI Cibinong 150 kV
		(kA)	(kA)	Sesuai /Tidak Sesuai
1	IBT 1	20	63	Sesuai
2	IBT 2	20	50	Sesuai
3	IBT 3	20	50	Sesuai
4	Trafo 1	20	40	Sesuai
5	Trafo 2	20	40	Sesuai
6	Trafo 3	20	40	Sesuai
7	Trafo 4	20	50	Sesuai
8	Trafo 5	20	40	Sesuai
9	Trafo 6	20	40	Sesuai
10	TL Semen Baru 1 dan 2	20	50	Sesuai
11	TL Sentul 1 dan 2	20	50	Sesuai
12	TL Cimanggis 1 dan 2	20	40	Sesuai
13	TL Cibubur 1 dan 2	20	40	Sesuai
14	TL Gandaria 1 dan 2	20	50	Sesuai

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan tentang tentang arus hubung singkat pada sistem tenaga listrik PT.PLN (Persero) di GI Cibinong sisi 150 kV dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Simulasi gangguan arus hubung singkat dengan ETAP Power Station 19.0.1 pada sistem jaringan transmisi Gardu Induk Cibinong sisi 150 kV dijalankan sesuai kondisi real dengan data masukan berupa data spesifikasi nameplate pada tiap peralatan dan data logger atau data perekam dalam periode waktu juli 2023. Hasil selisih perhitungan arus hubung singkat antara perhitungan manual dengan hasil simulasi ETAP Power Station 19.0.1 yaitu kurang dari 6% pada tiap jenis hubung singkat meliputi 2.664% untuk selisih nilai arus gangguan hubung singkat salah satu fasa ke tanah ($I_{SC\ L-G}$), 5.606% untuk selisih nilai arus gangguan hubung singkat fasa ke fasa ($I_{SC\ L-L}$) dan terakhir 5.606% untuk selisih nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa ($I_{SC\ L-L-L}$).
2. Berdasarkan nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa ($I_{SC\ L-L-L}$) pada busbar 150 kV lebih tinggi dibandingkan arus hubung singkat salah satu fasa ke tanah dan arus hubung singkat fasa ke fasa maka dapat ditentukan kapasitas pemutus PMT pada tiap bay penghantar dengan pemilihan rating PMT yang tersedia dipasaran sebesar 20 kA sehingga arus hubung singkat tiga fasa dapat dikatakan sebagai arus maksimal yang merupakan indikator penentu kapasitas pemutus tenaga.

3. Perbandingan rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (*existing*) lebih besar terhadap hasil pemilihan rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan perhitungan manual, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemutus tenaga PMT yang terpasang di GI Cibinong sisi 150 kV memiliki kapasitas yang masih sesuai dengan kebutuhan dan layak digunakan.
4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa besar arus hubung singkat berpengaruh terhadap kapasitas pemutus tenaga, Impilkasi penelitian ini adalah semakin besar arus hubung singkat yang terjadi pada suatu titik maka semakin besar pula kapasitas pemutus tenaga yang harus digunakan. Hal ini disebabkan oleh rumus mencari kapasitas pemutus tenaga ialah arus hubung singkat maksimal dikali dengan faktor pengali

$$I_{CB} = I_{SC\ Maksimal} \times \text{Faktor pengali}$$

5.2 Saran

1. Hasil nilai arus hubung singkat dalam tugas akhir ini digunakan sebagai penentu kapasitas rating pemutus tenaga (PMT) dan mengevaluasi rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (*existing*) pada GI Cibinong sisi 150 kV. Diharapkan hasil arus hubung singkat dapat digunakan untuk menentukan rating peralatan proteksi lainnya.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih detail kepada hasil arus hubung singkat dan pemutus tenaga baik itu data maupun menggunakan metode yang berbeda sehingga dapat dibandingkan hasil yang didapatkan dan akan mendapatkan keakuratan yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. S. J. I. D. Wellem F Galla, "ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN UDARA 20 KV DI PENYULANG NAIONI PT. PLN (PERSERO) ULP KUPANG UNTUK MENENTUKAN KAPASITAS PEMUTUSAN FUSE CUT OUT MENGGUNAKAN ETAP 12.6," Jurnal Media Elektro, vol. IX, pp. 101-111, 2020.
- [2] S. B. U. M. H. Rifal, "Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi," Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering, pp. 234-243, 2020.
- [3] S. I. H. U. T. K. Saifudin, "Analisis Perbandingan Perhitungan Short Circuit Pada Gardu Induk," Jurnal Teknik Elektro, vol. 10 Nomer 02, pp. 507-515, 2021.

- [4] P. L. Destiani, “Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik Di PT.Pertamina Refinery Unit (RU) VI Balongan Menggunakan Software ETAP 7.50,” 2014.
- [5] A. Afandi, Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem dan Pengendalian., MALANG: UNIVERSITAS NEGERI MALANG, 2005.
- [6] P. P. (Persero), PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN.
- [7] D. Marsudi, Pembangkitan Energi Listrik, Jakarta: Erlangga, 2005.
- [8] D. Ajiatmo, I. Robandi, M. Ali dan B. A. Suroya, “Analisis Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali 500 kV Menggunakan Power World Simulator,” JURNAL PENELITIAN ILMU TEKNIK DAN TERAPAN, vol. 10 No.1, pp. 35-41, 2019.
- [9] E. Z. P. a. A. H. Syahputra, “Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Berbasis Matlab,” Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, vol. 2.2, 2018.
- [10] A. S. N. N. a. P. J. F. Sampeallo, “Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok PT. Smse (Ipp) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6. 0.,” Media Elektro, pp. 76-85, 2019.
- [11] B. Pandjaitan, Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik., Yogyakarta: Andi Offset, 2012.
- [12] B. P. (Persero), Analisa Sistem Tenaga Listrik APP Bogor.
- [13] M. B. NUGRAHA, “ANALISIS SKALA PRIORITAS MANUVER PEMBEBASAN TEGANGAN PENYULANG BESI DENGAN SOFTWARE ETAP 19.0.1 TERHADAP TEGANGAN UJUNG.,” Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021.
- [14] S. S. Sneha Kulkarni, “Power System Analysis of a Microgrid using,” International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME), vol. X, no. 10, pp. 1-6, 2017.
- [15] B. L. Tobing, Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Ketiga, Jakarta: Erlangga, 2019.
- [16] N. Siringoringo, “STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA PADA GARDU INDUK BINJAI 150/20 KV.,”2019.

BIODATA PENULIS

- 1) **Mochtar Yusuf Toguan, S.T.** Alumni (2024) Program Studi Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Pakuan. Email : myusuftgn@gmail.com
- 2) **Prof. Dr. rer. pol. Ir. Didik Notosudjono, M.sc. IPU. Asean Eng.** Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan.
- 3) **Bloko Budi Rijadi, S.T. M.T.** Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan.