

ANALISIS HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH 20 KV (STUDI KASUS PADA PENYULANG LG 02 PT PLN (PERSERO) RAYON LHOKSEUMAWE) MENGGUNAKAN *SOFTWARE ETAP 12.6.0*

Leli Maisyarah ¹

¹ *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh*
E-mail : lelimaisyarah10@gmail.com

Abstrak—analisa gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Untuk menyelesaikan analisis gangguan hubung singkat, penulis menggunakan perhitungan gangguan hubung singkat secara manual dan *software ETAP 12.6.0* untuk mensimulasikan gangguan hubung singkat pada Penyulang LG 02. Adapun metode yang digunakan adalah metode jaringan urutan, maka dapat diketahui gangguan hubung singkat, gangguan hubung singkat 3 fasa di jarak penyulang 0% = 6351 A, 25% = 6411 A, 50% = 9763 A, 75% = 10631 A, 100% = 11544 A. Besar arus gangguan hubung singkat 2 fasa di jarak penyulang 0% = 6056 A, 25% = 6117 A, 50% = 9841 A, 75% = 11098 A, 100% = 12801 A. Besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa di jarak penyulang 0% = 4294 A, 25% = 4353 A, 50% = 8662 A, 75% = 10278 A, 100% = 12336 A. Dari hasil simulasi arus gangguan hubung singkat dengan *software ETAP 12.6.0* dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin dekat jarak titik gangguan maka semakin besar arus gangguan hubung singkatnya.

Keywords— arus, hubung singkat, ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat. Setiap kali terjadi gangguan hubung singkat di sisi penyulang, secara teknis akan terjadi penurunan tegangan 20 kV sampai beberapa persen dari nilai nominalnya.

Jaringan saluran kabel tegangan menengah (SKTM) relatif lebih pendek dan berada didalam kota dengan jumlah gangguan yang relatif sedikit. Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan dan akan menjadi gangguan permanen. Pada SKTM juga terdapat gardu distribusi untuk percabangan ke beban atau percabangan SKTM. [1]

Pada umumnya ada 3 (tiga) macam arus gangguan hubung singkat yang ada pada sistem tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa, arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Apabila gangguan ini sering terjadi dan tidak cepat diatasi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga seperti transformator, generator dan sebagainya.

Untuk saat ini, studi hubung singkat pada sistem tenaga listrik yang besar dan saling interkoneksi akan melibatkan perhitungan-perhitungan yang kompleks dan membutuhkan tingkat kecermatan yang tinggi. Oleh karena itu dalam analisis arus hubung singkat ini sebagai alat bantu dalam mensimulasikan arus hubung singkat maka digunakan perangkat lunak *software ETAP 12.6.0*.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba untuk menulis skripsi yang berjudul *Analisa Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV (Studi Kasus Pada Penyulang LG 02 PT. PLN (Persero) Rayon Lhokseumawe)*.

II. DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik. Sistem distribusi dikelompokkan kedalam dua bagian yaitu: sistem jaringan distribusi primer dan biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM), dan sistem jaringan distribusi sekunder dan biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR).[2]

Energi listrik yang dibangkitkan dipusat tenaga listrik sering harus disalurkan, atau ditransmisikan melalui jarak-jarak yang jauh kepusat-pusat pemakai tenaga listrik. Menyalurkan energi listrik melalui jarak-jarak yang jauh harus dilakukan dengan tegangan tinggi untuk memperkecil kerugian-kerugian yang terjadi, baik rugi-rugi energi maupun penurunan tegangan.[3]

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah.

Generator sinkron di pusat pembangkit biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6 – 20kV yang kemudian, dengan bantuan transformator, tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150-500kV. Saluran tegangan tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima; disini tegangan diturunkan menjadi tegangan subtransmisi 70kV. Pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju trafo distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20kV. Melalui trafo distribusi yang tersebar di berbagai pusat beban, tegangan distribusi primer ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai

2.2 Struktur Jaringan Distribusi

Struktur jaringan distribusi terbagi atas beberapa bagian, sebagai berikut :

2.2.1 Gardu Induk

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terletak di pingiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.[2]

2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah semua perlengkapan termasuk gardu induk transmisi, jaringan transmisi, gardu induk distribusi dan transformator distribusi. Komponen-komponen dari GI transmisi hingga trafo distribusi memiliki fungsinya masing-masing antara lain:

1. GI Transmisi

Menerima energi listrik pembangkit melalui saluran transmisi dan saluran transmisi tegangan 500kV dan mengirimkannya pada gardu-gardu induk subtransmision.

2. Jaringan Transmisi

Menerima energi listrik GI transmisi dan tegangannya diturunkan menjadi 150kV-170kV. Tegangan tersebut kemudian dikirimkan ke distribusi substation untuk diturunkan.

3. GI Distribusi

Menerima energi listrik dari subtransmision dan tegangannya diturunkan menjadi 20kV dan 6kV. Kemudian tegangan tersebut dikirimkan pada trafo distribusi melalui feeder primer.

4. Transformator Distribusi

Menurunkan tegangan dari saluran primer menjadi 220 volt dan 380volt yang dapat dipakai konsumen.[2]

2.4 Struktur Jaringan Sistem Distribusi

Masalah utama dalam operasi sistem Distribusi adalah bagaimana mengatasi gangguan dengan cepat karena gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam sistem distribusi Jaringan Distribusi tegangan menengah atau juga disebut Jaringan Distribusi Primer. Gangguan pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) jumlah gangguannya lebih sedikit tetapi kebanyakan bersifat sementara.

Pemilihan dari masing-masing jaringan distribusi tersebut tergantung pada keperluan dan keandalan sistem yang diinginkan, seperti kontinuitas penyalur/pelayanan tenaga listrik, perkembangan beban dan faktor ekonomis yang diinginkan.

Jaringan Pada Sistem Distribusi menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi tiga model, yaitu Jaringan *Radial*, Jaringan *Spindel*, Jaringan *Ring (Loop)*.

2.5 Jenis-Jenis Saluran Tegangan Menengah

Jenis-jenis saluran menengah adalah sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi
2. Saluran Udara Tegangan Menengah
3. Saluran Udara Tegangan Rendah

2.6 Sifat-sifat dari penghantar

Suatu penghantar yang baik ialah memiliki sifat konduktifitas yang tinggi, dimana resistansi penghantar yang rendah dan juga sifat tarikan mekaniknya yang baik. Kabel penghantar sangat berpengaruh terhadap aplikasi tegangan yang optimal, rugi-rugi daya dan juga ke ekonomisannya. Pemilihan penghantar harus sesuai dengan aplikasi tegangan untuk mencegah terjadinya drop tegangan yang besar, dimana dilandasi dari besar kecilnya penampang dari kabel penghantar yang digunakan sesuai dengan peraturan listrik yang menurut standar internasional ataupun nasional.

Dalam bidang kelistrikan sekarang ada dua jenis penghantar yang digunakan, dimana kedua jenis penghantar tersebut memiliki kelebihan dan juga kekurangan dalam aplikasi dilapangan. Jenis-jenis penghantar yang banyak digunakan menurut standar internasional ialah tembaga dan aluminium.[4]

2.7 Kawat Penghantar

2.7.1. Kabel Udara (*Overhead Cabel*)

Kabel udara pada umumnya merupakan penghantar tanpa isolasi, terbuat dari logam tembaga, aluminium atau logam campuran yang disesuaikan dengan kebutuhan. Bentuknya ada yang bulat (*solid*), berlilit (*stranded*) atau berongga (*hollow*).

Berdasarkan bahan konduktornya, kabel udara ini dapat dibedakan atas :

1. Kawat dari bahan tembaga (ACC).

Konduktivitas tinggi tetapi kekuatan mekanis rendah dan harganya lebih mahal dari aluminium. Kebanyakan dipakai untuk tegangan rendah.

2. Kawat dari bahan Aluminium (AAC).

Konduktivitas rendah, sehingga memerlukan ukuran yang lebih besar dari tembaga, untuk besar arus yang sama.

3. Kawat Aluminium dengan penguat baja (ACSR).

Dengan adanya penguat baja maka kekuatan mekanis menjadi 30% – 60% lebih kuat.

4. Kawat Aluminium campuran (AAAC).

Kekuatan mekanis hampir sama dengan ACRS, tetapi bahan lebih baik karena tidak mudah kena korosi lingkungan dan perlengkapan penyambungan lebih sederhana.

5. Kawat Aluminium campuran dengan penguat baja (AACSR).

Memiliki kekuatan mekanis 40% – 50% lebih kuat dari ACRS dan biasanya dipergunakan di daerah yang berangin kencang dan daerah pegunungan.[4]

2.8 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan yang mengakibatkan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi. Berikut ini akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat antara lain:

- Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan – peralatan yang lain.
- Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem – sistem pengamanan yang berbeda – beda

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik antara lain hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan satu fasa ke tanah.

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arusnya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z.

V= Tegangan sumber (Volt).

Z= Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ω/km).

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap komponen jaringan serta

bentuk konfigurasi jaringan di dalam sistem, maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus di atas.

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut:

Z untuk gangguan 3 fasa $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana,

Z_1 = Impedansi urutan positif 3 fasa

Z_2 = Impedansi urutan negatif 2 fasa

Z_0 = Impedansi urutan nol 1 fasa

2.8.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

Untuk menghitung arus hubung singkat, pertama – tama hitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus 150 kV , kedua menghitung reaktansi trafo tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang.[5]

2.8.1.1. Metode Jaringan Urutan

Metode yang paling umum digunakan dalam studi hubung-singkat adalah metode jaringan urutan. Dalam Metode ini, sistem 3 fasa *unbalanced* didekomposisikan dalam tiga jaringan urutan yaitu urutan nol, negatif dan positif kemudian matriks impedansi atau admitansinya dapat dibuat.

Secara umum langkah-langkah dari metode urutan adalah sbb:

Pembentukan Matriks Impedansi Sistem Z untuk tiap jaringan urutan, didefinisikan matriks impedansi Z dengan persamaan

$$V = Z.I$$

Dimana:

V adalah tegangan node.

I adalah arus node yang diinjeksikan.

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negative (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh urutan nol.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel data tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

1. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus:

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana:

- X_s = Impedansi sumber (ohm)
 kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)
 MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_s \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times X_s \text{ (sisi 150 kV)}$$

2. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus:

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana:

- X_t = Impedansi trafo tenaga (ohm)
 kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)
 MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu nilai reaktansi tenaganya:

- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan rumus:
 $X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)}$
- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo:

- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara $9 \text{ s/d } 14 \times X_{t1}$.

3. Perhitungan Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

- Urutan positif dan urutan negatif
 $Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \text{ (ohm)}$

Dimana:

- Z_1 = impedansi urutan positif (ohm)
 Z_2 = Impedansi urutan negative (ohm)

- Urutan Nol

$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \text{ (ohm)}$

Dimana:

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

4. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber.

Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.

Sehingga untuk impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

- Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang.}$$

Dimana:

- Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)
 Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negative (ohm)
 Z_{s1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)
 Z_{t1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negative (ohm).

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negative (ohm)

2. Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang.}$$

Dimana:

$$Z_{0eq} = \text{Impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)}$$

$$Z_{t0} = \text{Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)}$$

$$RN = \text{Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)}$$

$$Z_0 = \text{Impedansi urutan nol (ohm)}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{0eq} yang didapat juga pada lokasi tersebut.

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

A. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, impedansi ekivalen mana yang dimasukkan kedalam rumus dasar tersebut adalah jenis hubung singkat tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ketanah. Sehingga formula yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ketanah berbeda.

1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertikal. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.[5]

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$$

Dimana:

$$I_{3fasa} = \text{Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)}$$

$$V_{ph} = \text{Tegangan fasa - netral sistem } 20\text{kV} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ (V)}$$

$$Z_{1eq} = \text{Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)}$$

2. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{2eq}}$$

Dimana:

$$I_{2fasa} = \text{Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)}$$

$$V_{ph-ph} = \text{Tegangan fasa-fasa sistem } 20\text{kV} = 20.000 \text{ (V)}$$

$$Z_{1eq} = \text{Impedansi urutan positif (ohm)}$$

3. Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Kemungkinan terjadinya arus gangguan satu fasa ke tanah adalah back *flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi / distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.

Rumus gangguan yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah juga dengan rumus:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{1fasa} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka:

$$I_{1fasa} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq} + Z_{0eq}}$$

Dimana:

$$I_{1fasa} = \text{Arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah (A)}$$

$$V_{ph} = \text{Tegangan fasa - netral sistem } 20 \text{ kV} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ (V)}$$

$$Z_{1eq} = \text{Impedansi urutan positif (ohm)}$$

$$Z_{0eq} = \text{Impedansi urutan nol (ohm)}$$

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Arus Gangguan ubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Perhitungan gangguan hubung singkat ini dihitung besarnya berdasarkan panjang penyulang, yaitu di asumsikan terjadi di 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

4.1.1 Penentuan Impedansi Sumber

Data hubung singkat di bus sisi primer (150 kV) di Gardu Induk Bayu adalah sebesar 1,134 MVA. Maka impedansi sumber (XS) adalah:

$$X_{s(sisi\ 150\ kV)} = \frac{kV(sisi\ primer\ trafo)^2}{MVA\ hubung\ singkat\ di\ bus\ sisi\ primer}$$

$$= \frac{150^2}{1,134} = 19,84\ \text{ohm}$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka:

$$X_{s(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV(sisi\ sekunder\ trafo)^2}{kV(sisi\ primer\ trafo)^2} \times X_{s(sisi\ primer)}\ \text{Ohm}$$

$$X_{s(sisi\ 20\ kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times 19,84 = 0,3527\ \text{Ohm}$$

4.1.2 Penentuan Reaktansi Trafo

Besarnya reaktansi trafo tenaga satu di Gardu Induk Bayu adalah 4%, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100% nya. Besarnya nilai ohm pada 100% yaitu:

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{20^2}{2} = 200\ \text{Ohm}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga:

1. Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)
 $X_t = 4\% \times 200 = 8\ \text{Ohm}$
2. Reaktansi urutan nol (X_{t0})
3. Karena trafo daya yang mensuplai penyulang KH 09 mempunyai hubungan Ynyno yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d 14. X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10. X_{t1} jadi $X_{t0} = 10 \times 8 = 80\ \text{Ohm}$.

4.1.3 Penentuan Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang LG 02 menggunakan tipe kabel A3C 150 mm² dan XLPE 240 mm² (terdapat pada lampiran). Panjang Penyulang = 2,0 km, dengan panjang penghantar A3C 150 mm² = 2,0 km.

$$Z_1 = Z_2\ (\text{A3C } 150) = (0,2162 + j0,3305)\ \Omega/\text{km} \times 0 = 0\ \text{Ohm.}$$

$$Z_0\ (\text{A3C } 150) = (0,3631 + j1,6180)\ \Omega/\text{km} \times 0 = 0\ \text{Ohm.}$$

Panjang penghantar A3C 150 mm² = 0,5 km.

$$Z_1 = Z_2\ (\text{A3C } 150) = (0,2162 + j0,3305)\ \Omega/\text{km} \times 0,5 = 0,1081 + j0,1652\ \text{Ohm.}$$

$$Z_0\ (\text{A3C } 150) = (0,3631 + j1,6180)\ \Omega/\text{km} \times 0,5 = 0,1815 + j0,809\ \text{Ohm.}$$

Panjang penghantar A3C 150 mm² = 1 km.

$$Z_1 = Z_2\ (\text{A3C } 150) = (0,2162 + j0,3305)\ \Omega/\text{km} \times 1 = 0,2162 + j0,3305\ \text{Ohm.}$$

$$Z_0\ (\text{A3C } 150) = (0,3631 + j1,6180)\ \Omega/\text{km} \times 1 = 0,3631 + j1,6180\ \text{Ohm.}$$

Panjang penghantar A3C 150 mm² = 1,5 km.

$$Z_1 = Z_2\ (\text{A3C } 150) = (0,2162 + j0,3305)\ \Omega/\text{km} \times 1,5 = 0,3243 + j0,4957\ \text{Ohm.}$$

$$Z_0\ (\text{A3C } 150) = (0,3631 + j1,6180)\ \Omega/\text{km} \times 1,5 = 0,5446 + j2,427\ \text{Ohm.}$$

Panjang penghantar A3C 150 mm² = 2 km.

$$Z_1 = Z_2\ (\text{A3C } 150) = (0,2162 + j0,3305)\ \Omega/\text{km} \times 2 = 0,4324 + j0,661\ \text{Ohm.}$$

$$Z_0\ (\text{A3C } 150) = (0,3631 + j1,6180)\ \Omega/\text{km} \times 2 = 0,7262 + j3,236\ \text{Ohm.}$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut:

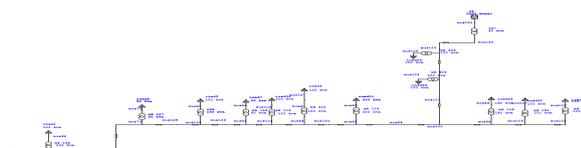
4.1. Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Panjang Penyulang (%)	Jarak (km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
0	0	1382,42	1197,21	355,52
25	0,5	1374,92	1191,39	354,41
50	1	1355,52	1173,90	351,23
75	1,5	1323,02	1145,77	346,05
100	2	1279,58	1108,14	209,89

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Selain itu dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa.

4.2 Analisa Hubung Singkat Dengan Simulasi ETAP 12.6.0

Analisis hubung singkat dengan bantuan ETAP 12.6.0 pada penyulang LG 02 dapat kita lihat hasil running program *Short Circuit Analysis* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Untuk memudahkan dalam melihat secara keseluruhan untuk arus hubung singkat di penyulang LG 02 dengan berbagai lokasi gangguan 3 fasa, 2 fasa dan 1 Fasa ke tanah, hasil simulasi arus hubung singkat dengan menggunakan ETAP 12.6.0 dibuat tabel seperti berikut ini.

Tabel. 4.2 Hasil Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat Dengan *Software* ETAP 12.6.0

Panjang Penyulang (%)	Jarak(km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
0	Bus 68	6351	6056	4294
25	Bus 70	6411	6117	4353

50	Bus 91	9763	9841	8662
75	Bus 100	10631	11098	10278
100	Bus 104	11544	12801	12336

Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa hasil dari simulasi ETAP hampir sama, antara 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah. Jadi, pada panjang penyulang 0% pada jarak bus 2 terjadi arus hubung singkat 3 fasa ke tanah sebesar 6351 A, arus hubung singkat 2 fasa ke tanah 6056 A dan arus hubung singkat 1 fasa ketanah sebesar 4294 A. Pada panjang penyulang 25% pada jarak bus 70 terjadi arus hubung singkat 3 fasa ke tanah sebesar 6411 A, arus hubung singkat 2 fasa ke tanah 6117 A dan arus hubung singkat 1 fasa ketanah sebesar 4353 A. Pada panjang penyulang 50% pada jarak bus 91 terjadi arus hubung singkat 3 fasa ke tanah sebesar 9763 A, arus hubung singkat 2 fasa ke tanah 9841 A dan arus hubung singkat 1 fasa ketanah sebesar 8662 A. Pada panjang penyulang 75% pada jarak bus 100 terjadi arus hubung singkat 3 fasa ke tanah sebesar 10631 A, arus hubung singkat 2 fasa ke tanah 11098 A dan arus hubung singkat 1 fasa ketanah sebesar 10278 A. Pada panjang penyulang 100% pada jarak bus 104 terjadi arus hubung singkat 3 fasa ke tanah sebesar 11544 A, arus hubung singkat 2 fasa ke tanah 12801 A dan arus hubung singkat 1 fasa ketanah sebesar 12336 A. Maka semakin dekat jarak lokasi penyulang maka semakin besar arus gangguannya

4.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat dan Simulasi *Software* Etap 12.6.0

Dari tabel perhitungan arus gangguan hubung singkat dengan hubung singkat dengan simulasi ETAO 12.6.0 terlihat adanya perbedaan antara hasil perhitungan dan dengan simulasi Program ETAP hal ini dikarenakan adanya sistem perhitungan yang berbeda, maka arus hubung singkat hasil perhitungan lebih besar dibandingkan dengan arus hubung singkat hasil simulasi ETAP. karena perhitungan manual tidak melibatkan beberapa parameter tertentu sehingga hasilnya menjadi beda.

IV. KESIMPULAN

1. Untuk gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan PT. PLN Rayon Lhokseumawe LG 02 dengan simulasi ETAP maka terjadi gangguan hubung singkat pada masing-masing bus. Jadi, besar arus gangguan 3 fasa pada bus 68 = 6351 A, bus 70 = 6411, bus 91 = 9763 A, bus 100 = 10631 A, bus 104 = 11544 A. Besar arus gangguan 2 fasa pada bus 68 = 6056 A, bus 70 = 6117 A, bus 91 = 9841 A, bus 100 = 11098 A, bus 104 = 12801 A. Besar gangguan 1 fasa ke tanah pada bus 68 = 4294 A, bus 70 = 4353 A, bus 91 = 8662 A, bus 100 = 10278 A, bus 104 = 12336 A..
2. Dari hasil perhitungan manual dan simulasi ETAP dilihat dari besarnya arus gangguan hubung singkat tidak sama, karena perhitungan manual tidak melibatkan beberapa parameter tertentu sehingga hasilnya menjadi beda.
3. Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin

dekat jarak titik gangguan maka semakin besar arus gangguan hubung singkatnya.

V. REFERENSI

- [1] Hendriyadi, "Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi di kota pontianak," *J. Artic.*, vol. 3, 2010
- [2] B. Hasan, S. Distribusi, D. Listrik, and J. Istin, "68 DAFTAR PUSTAKA Basri Hasan. 1997.," vol. 13, no. 3, pp. 68–70, 2017
- [3] Kadir, Abdul. 2000. Distribusi utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta. UI-Press
- [4] Abdul, Kadir. (2006). Transmisi Tenaga Listrik. Universitas Indonesia
- [5] Budiono, Ismail. (1983). Analisa Sistem Tenaga. Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya Malang.
- [6] T, S. Hutahuruk, Prof. Ir. MSc., "Transmisi Daya Listrik" Erlangga, Jakarta, 1985.
- [7] Sirait, Bonar. 2012. Diktat Kuliah Sistem Distribusi. Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
- [8] Masykur, SJ "Analisa Gangguan Hubung Singkat TigaFasa Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Thevenin", *Jurnal Sistem Teknik Elektro* Vol. 6, No. 3, Juli 2005.
- [9] Stevenson, Jr, W.D., "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Edisi ke (4) empat, Erlangga, Jakarta, 1983.
- [10] Kertsting H, William., "Distribution System Modelling and Analysis", CRC Press, New Mexico, 2002.