

SISTEM PENENTUAN LOKASI GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV GI GARUDA SAKTI PENYULANG PANAM DENGAN METODE IMPEDANSI

Hendri Agustin Sibarani¹⁾, Firdaus

¹⁾Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email:hendri.agustin@student.unri.ac.id; firdaus@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Short circuit fault that occur in the distribution network can breakdown of electricity services to consumers. Therefore, the distance of the fault location needs to be known quickly and precisely. The impedance method can be used to estimate the fault location. Short circuit was simulated by using Panam distribution network model with ETAP 12.6 by applying phase to ground, phase to phase and three phase short circuit fault. The fault location was modeled on bus 19, bus 28, bus 43, bus 81 and bus 133. The input data used is the current and impedance of buses and substations from the simulation. From fault location distance calculation resulted the largest error is 0.0851% with 21,207 meters average distance difference for phase to phase fault, 0.0843% with 21,016 meters average distance difference for phase to ground fault, 0.0215% with 5,356 meters average distance difference for three phase fault.

Keywords: distribution system, fault location distance, impedance method

1. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi memiliki peran penting dalam penyaluran energi listrik ke pusat-pusat beban tegangan menengah dan tegangan rendah. Jaringan distribusi sering mengalami gangguan, baik gangguan permanen maupun gangguan temporer (Suswanto, 2009). Untuk itu diperlukan peralatan proteksi guna menjamin kontinuitas penyaluran listrik (Sandesh, et al., 2016).

Waktu pemulihan gangguan pada jaringan distribusi sudah seharusnya handal karena jaringan distribusi berhubungan langsung ke beban/konsumen. Sebuah sistem yang dapat menentukan lokasi gangguan diperlukan sehingga penanganan gangguan dilakukan dengan cepat dan akurat tanpa harus mengecek jaringan distribusi pada sistem yang terkena gangguan (Agus, et al., 2016).

Pemasangan pengamanan pada setiap bagian penyulang membutuhkan biaya yang besar. Data pembacaan nilai arus dan tegangan saat terjadi gangguan yang dipantau dari gardu induk pada saat terjadi gangguan dapat digunakan sebagai parameter dalam penentuan lokasi gangguan (Al Qoyyimi, et al., 2017).

Studi yang dilakukan Thoriq Aziz Al Qoyyimi dkk pada tahun 2017 dengan melakukan

simulasi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi/penyulang Tegalsari menggunakan ETAP 12.6 didapatkan nilai arus dan impedansi saat gangguan. Persentase *error* tipe gangguan satu fasa ke tanah nilai persentasi *error* terbesar adalah 1.091% dengan rata-rata selisih jarak 9.559 m, untuk gangguan fasa ke fasa 1.071% dengan rata-rata selisih jarak 9.04 m dan untuk gangguan tiga fasa adalah sebesar 1.031% dengan rata-rata selisih jarak 9 m, kemudian hasil dari perhitungan jarak lokasi gangguan ini divisualisasikan menggunakan GIS untuk membantu dalam penanganan gangguan lebih cepat.

Studi yang dilakukan Yellyna Sari Agus & Edy Ervianto tahun 2016 melakukan simulasi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia menggunakan ETAP 12.6, didapatkan hasil berupa *magnitude* dan *angle* tegangan dan arus saat gangguan kemudian data tersebut diolah menggunakan metode *simple reactance* dan takagi. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa persentasi *error* pada gangguan hubung singkat F-F dan F-G adalah 0% sedangkan untuk gangguan F-F-G dan F-F-F untuk metode *simple reactance* memiliki satu *error* yaitu 1.2% dan untuk metode

takagi memiliki enam *error* dengan persentasi *error* tertinggi yaitu 1.2%.

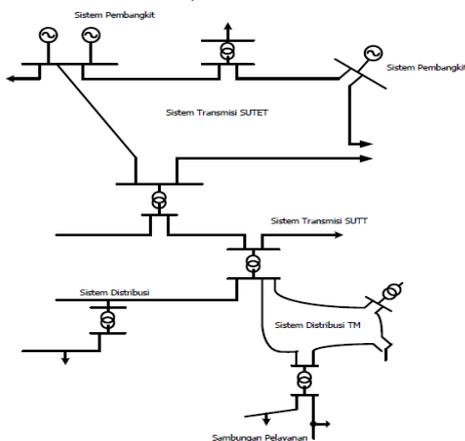
Berdasarkan studi terdahulu, pada studi ini metode impedansi akan diterapkan pada penyulang Panam untuk menentukan jarak lokasi gangguan. *Input* data yang digunakan didapatkan dari hasil simulasi gangguan hubung singkat menggunakan ETAP 12.6.

Sistem Tenaga Listrik

Secara umum suatu sistem tenaga listrik terdiri atas :

- Sistem Pembangkit
- Sistem Transmisi dan Gardu Induk
- Sistem Distribusi
- Sistem Sambungan Pelayanan

Sistem pembangkit atau disebut juga pusat tenaga listrik memiliki letak yang berjauhan dengan beban. Untuk pengiriman daya dari pusat tenaga listrik menggunakan saluran transmisi. Di Indonesia saluran transmisi mempunyai beberapa tingkatan tegangan, untuk tegangan 500 kV dikenal sebagai Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), tegangan 150 kV dikenal sebagai Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), untuk tegangan 70 kV disebut juga sub transmisi. Tegangan pada saluran transmisi diturunkan menjadi 20 kV yang dikenal dengan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau saluran distribusi primer di Gardu Induk melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*). Kemudian untuk penyalurannya ke konsumen menengah seperti industri tegangan disalurkan melalui SUTM dan untuk konsumen rumah tangga tegangan diturunkan menjadi 380/220 V melalui transformator distribusi (Wibowo, et al., 2010).



Gambar 1. Pola sistem tenaga listrik (PT PLN, 2010)

Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada konsumen. Tegangan distribusi primer atau tegangan menengah yang mempunyai tegangan kerja diatas 1 kV dan setinggi-tingginya 30 kV sedangkan untuk standar PLN sendiri yaitu 6 kV, 10 kV dan 20 kV. Tegangan distribusi primer disalurkan menuju gardu distribusi, pada gardu ini tegangan diturunkan lagi oleh transformator penurun tegangan dan disebut sebagai tegangan distribusi sekunder atau tegangan rendah yang mempunyai tegangan kerja maksimal 1 kV, standar PLN yaitu 220/380 V. Jaringan distribusi yang akan dibahas yaitu jaringan distribusi primer atau jaringan menengah. Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Ada dua macam saluran distribusi yaitu saluran distribusi udara dan saluran distribusi bawah tanah yang dipilih berdasarkan beberapa faktor antara lain biaya, estetika, kepentingan, tingkat kontinuitas pelayanan dan lainnya (Wibowo, et al., 2010).

Gangguan

Gangguan berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai fungsinya. Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda (Suswanto, 2009).

Dampak Gangguan

Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi memiliki dampak negatif. Dampak paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya merusak peralatan, melainkan dapat berimbas pada sistem dan mengakibatkan kegagalan pada seluruh sistem distribusi (*Black Out*).

Selain dampak gangguan diatas ada beberapa dampak gangguan lainnya seperti arus hubung singkat yang mengakibatkan pemanasan berlebih (*Overheating*) pada peralatan, tegangan kerja yang turun akan mengakibatkan kegagalan operasi peralatan sistem tenaga listrik hingga merugikan pelanggan.

Gangguan yang terjadi dapat mempengaruhi stabilitas sistem hingga

mengakibatkan pemadaman menyeluruh pada sistem distribusi (Suswanto, 2009).

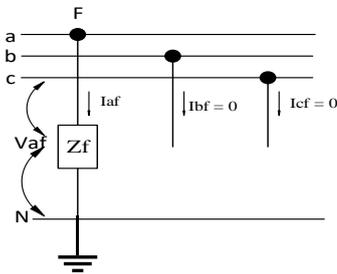
Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan yang terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tegangan lebih dimana suatu penghantar terhubung dengan penghantar lain atau ke tanah dan dapat menyebabkan terjadi arus yang sangat besar yang dapat merusak peralatan di sekitar titik gangguan (Suswanto, 2009).

Pada gangguan hubung singkat terdapat dua tipe gangguan yaitu gangguan simetris (gangguan tiga fasa) dan gangguan tidak simetris (gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan dua fasa ke tanah). Informasi yang didapat dari studi ini dapat digunakan untuk penentuan *setting* relai dan koordinasinya.

Gangguan hubung singkat terbagi atas empat, yaitu :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah



Gambar 2. Hubung Singkat Fasa ke Tanah (Saadat, 1999)

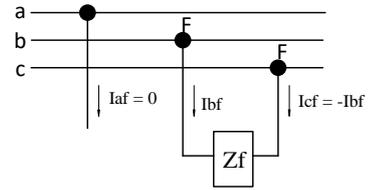
Gangguan ini terjadi apabila salah satu fasa pada saluran distribusi terhubung ke tanah. Persamaan arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yaitu

$$I_a^0 = I_a^1 = I_a^2 = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \quad (1)$$

Arus gangguan adalah :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} (F) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. Gangguan hubung singkat fasa ke fasa



Gambar 3. Hubung singkat fasa ke fasa (Saadat, 1999)

Arus komponen urutan nol adalah nol,
 $I_3^0 = 0$ (3)

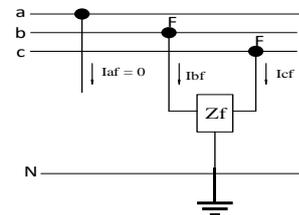
Persamaan arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa dari komponen urutan positif dan urutan negatif yaitu

$$I_a^1 = -I_a^2 = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (4)$$

arus gangguan sama dengan :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} (F) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ -I_a^1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah



Gambar 4. Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah (Saadat, 1999)

Persamaan arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah yaitu

$$I_a^1 = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + Z_f}} \quad (6)$$

$$I_a^2 = -\frac{V_{L-N} - Z_1 I_1}{Z_2} \quad (7)$$

$$I_a^0 = -\frac{V_{L-N} - Z_1 I_1}{Z_0 + 3Z_f} \quad (8)$$

dan arus fasa adalah :

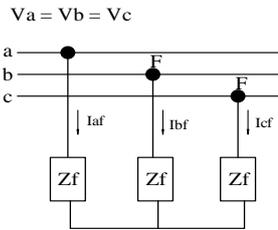
$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Didapatkan arus gangguan sama dengan

$$I(F) = I_b + I_c \quad (10)$$

4. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Tipe gangguan ini merupakan tipe gangguan hubung singkat yang jarang terjadi tetapi merupakan tipe gangguan yang paling parah karena pada setiap saluran arus gangguan sama besarnya. Gangguan jenis ini disebut juga gangguan simetris.



Gambar 5. Hubung Singkat Tiga Fasa (Saadat, 1999)

Persamaan arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat antar fasa yaitu

$$I(F) = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + Z_f} \quad (11)$$

Dimana :

V_{L-N} = Tegangan 1 fasa di titik gangguan sesaat sebelum terjadi gangguan (Volt)

I_{a1} = Arus gangguan fasa a urutan positif (Ampere)

I_{a2} = Arus gangguan fasa a urutan negatif (Ampere)

I_{a0} = Arus gangguan fasa a urutan nol (Ampere)

I_a = Arus gangguan fasa a (Ampere)

I_b = Arus gangguan fasa b (Ampere)

I_c = Arus gangguan fasa c (Ampere)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan (Ohm)

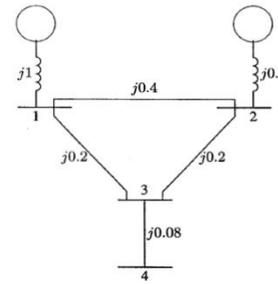
Z_1 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan (Ohm)

Z_2 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan (Ohm)

Impedansi Ekvivalen Bus dengan Matriks Admitansi

Metode yang banyak digunakan dalam menentukan impedansi ekivalen bus adalah matriks admitansi bus.

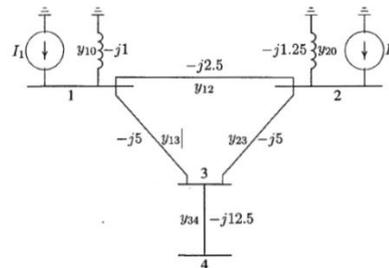
Dalam urutan untuk memperoleh persamaan tegangan-simpul, berdasarkan contoh sistem tenaga sederhana pada gambar dibawah ini,



Gambar 6. Diagram impedansi sistem sederhana (Saadat, 1999)

Berdasarkan Hukum Arus Kirchoff, impedansi diubah kedalam admitansi, yaitu :

$$y_{ij} = \frac{1}{r_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (12)$$



Gambar 7. Diagram admitansi (Sumber : 1999)

Gambar diatas adalah diagram admitansi dan perubahan sumber arus. Simpul 0 (dengan pentanahan normal) diambil sebagai referensi. Dengan menerapkan Hukum Arus Kirchoff antara simpul-simpul maka akan menghasilkan :

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3) \\ I_2 &= y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3) \\ 0 &= y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 + V_1) + \\ &\quad y_{34}(V_2 + V_4) \\ 0 &= y_{34}(V_4 - V_3) \end{aligned} \quad (13)$$

dengan menyusun persamaan diatas didapatkan

$$\begin{aligned} I_1 &= (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3 \\ I_2 &= -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3 \\ 0 &= -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{33})V_3 \\ &\quad - y_{34}V_4 \\ 0 &= -y_{34}V_3 + y_{34}V_4 \end{aligned} \quad (14)$$

dengan :

$$\begin{aligned} Y_{11} &= y_{10} + y_{12} + y_{13} \\ Y_{22} &= y_{20} + y_{12} + y_{23} \\ Y_{33} &= y_{13} + y_{23} + y_{34} \\ Y_{44} &= y_{34} \\ Y_{12} &= Y_{21} = -y_{12} \\ Y_{13} &= Y_{31} = -y_{13} \\ Y_{23} &= Y_{32} = -y_{23} \\ Y_{34} &= Y_{43} = -y_{34} \end{aligned} \quad (15)$$

Persamaan arus pada simpul adalah :

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{14}V_4 \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4 \\ I_3 &= Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + Y_{34}V_4 \\ I_4 &= Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 + Y_{44}V_4 \end{aligned} \quad (16)$$

dalam rangkaian diatas, tidak ada hubungan antara bus 1 dan bus 4, maka $Y_{14} = Y_{41} = 0$, sama halnya dengan $Y_{24} = Y_{42} = 0$.

Untuk sistem n bus, persamaan arus pada simpul dalam bentuk matriks adalah :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (17)$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (18)$$

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

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (19)$$

sedangkan elemen diagonal antar simpul-simpul adalah sama dengan admitansi yang dihubungkan padanya dengan tanda negatif, dan dikenal sebagai admitansi bersama, dengan persamaan :

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (20)$$

jika arus bus diketahui, persamaan (17) dapat diselesaikan untuk tegangan n bus yaitu :

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (21)$$

Inverse dari matriks admitansi bus disebut sebagai matriks impedansi bus Z_{bus} .

Komponen-komponen yang digunakan dalam perhitungan impedansi ekivalen yaitu impedansi sumber dan impedansi saluran (Saadat, 1999).

Impedansi Sumber

Impedansi sumber dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Z_S = Z_B \times Z_{p.u} \quad (22)$$

dengan Z_S adalah nilai impedansi sumber, Z_B adalah impedansi dasar dan $Z_{P.U.}$ untuk mendapatkan nilai $Z_{P.U}$ menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Z_{p.u} = \frac{V_{p.u}^2}{MVA_{p.u}} \quad (23)$$

dan nilai Z_B dengan persamaan dibawah ini,

$$Z_B = \frac{V_B^2}{MVA_B} \quad (24)$$

dengan Z_S adalah impedansi sumber, V_{L-L} adalah tegangan nominal sumber dan MVA_{SC} daya maksimal yang mampu diinjeksikan sumber ke sistem saat terjadi gangguan hubung singkat. Jika pada parameter sumber X/R diketahui, nilai masing-masing R (resistansi) dan X (reaktansi) sumber dapat ditentukan dengan persamaan :

$$X = \frac{Z}{\sqrt{1 + \frac{1}{X^2/R}}} \quad R = \frac{Z}{X/R} \quad (25)$$

Impedansi Saluran

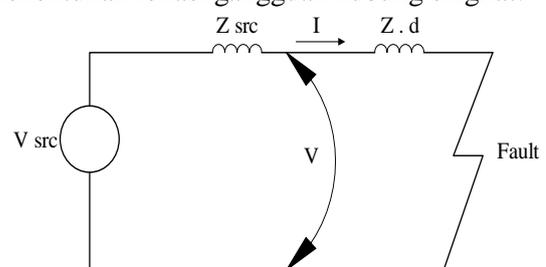
Impedansi saluran biasanya sudah tertera pada masing-masing saluran untuk masing-masing impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Nilai impedansi ini biasanya dalam Ohm/km. Nilai impedansi saluran pada keadaan sesungguhnya perlu didapat dengan persamaan :

$$Z_L = Z \times l \quad (26)$$

dengan Z_L adalah impedansi saluran sesungguhnya, Z adalah nilai impedansi yang tertera dalam Ohm/km dan l adalah panjang saluran antar bus.

Identifikasi Lokasi Gangguan

Metode impedansi dalam menentukan lokasi gangguan pengukuran arus dan tegangan pada gardu induk. Berdasarkan hukum ohm, tegangan dan arus dari *node* dapat digunakan untuk menentukan lokasi gangguan hubung singkat.



Gambar 8. Metode penentuan lokasi gangguan dengan impedansi (Al Qoyyimi, et al., 2017)

dengan V_{src} adalah tegangan sumber dan Z_{src} adalah impedansi sumber.

Dari gambar diatas didapatkan persamaan untuk menentukan lokasi gangguan sebagai berikut :

$$d = \frac{V}{Z \times I} \quad (27)$$

Dimana V adalah tegangan gangguan (volt), I adalah arus gangguan (ampere), Z adalah impedansi saat terjadi gangguan dan d adalah jarak gangguan dalam satuan meter. Nilai impedansi yang didapatkan harus diproses lagi agar didapatkan hasil estimasi yang lebih akurat.

Nilai impedansi gangguan (Z_f) dapat dicari dengan persamaan :

$$Z_f = Z_p + (Z_n \times J_n) + R_f \quad (28)$$

Dengan nilai Z_p adalah impedansi pada gardu, Z_n (ohm/km) adalah impedansi saluran pada bus ke-n, J_n adalah jarak gangguan pada bus ke -n. Untuk mencari jarak gangguan pada bus ke-n, maka didapatkan persamaan berikut :

$$J_n = \frac{Z_f - Z_p - R_f}{Z_n} \quad (29)$$

Dengan nilai R_f diabaikan, maka persamaan 29 diatas menjadi :

$$J_n = \frac{V_{L-N} - V_{L-N}}{I_{fn} \times Z_n} \times 1000 \quad (30)$$

Dengan J_n adalah jarak lokasi gangguan dengan satuan meter, V_{L-N} adalah tegangan satu fasa yang dapat dihitung jika nilai tegangan tiga fasa (V_{L-L}) diketahui sebagai berikut :

$$V_{L-N} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (31)$$

I_{fn} adalah arus gangguan pada bus ke-n, I_{asc} adalah nilai arus gangguan gardu induk dan Z_n adalah impedansi total. Z_n untuk masing-masing jenis gangguan memiliki persamaan yang berbeda-beda. Z_n untuk jenis gangguan satu fasa ke tanah dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$Z_n = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} \quad (32)$$

Sedangkan untuk jenis gangguan antar fasa nilai Z_n dapat diperoleh dengan persamaan dibawah ini :

$$Z_n = \frac{Z_1 \times 2}{\sqrt{3}} \quad (33)$$

Nilai Z_n untuk jenis gangguan tiga fasa dapat dicari dengan persamaan :

$$Z_n = Z_1 \quad (34)$$

Dimana Z_1 adalah impedansi urutan positif, Z_2 impedansi urutan negatif dan Z_0 impedansi urutan nol. Nilai impedansi masing-masing urutan yang akan digunakan dalam menentukan Z_n (impedansi total) harus diproses

terlebih dahulu karena adanya impedansi gardu induk pada sistem distribusi. Nilai impedansi urutan positif dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_1 = \frac{Z_{1_{eki}} - Z_{1_{gardu}}}{p} \times 1000 \quad (35)$$

$Z_{1_{eki}}$ adalah impedansi urutan positif ekuivalen pada bus saat gangguan, $Z_{1_{gardu}}$ adalah impedansi pada gardu induk saat terjadi gangguan atau nilai impedansi pada bus referensi (bus terdekat gardu), p adalah panjang saluran antar sebelum bus gangguan dan bus gangguan. Nilai pengali 1000 digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi masing-masing urutan dalam satuan Ω/km .

Untuk perhitungan *error* atau kesalahan hasil yang didapatkan dalam percobaan, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{d - d_{exact}}{l} \right| \times 100\% \quad (36)$$

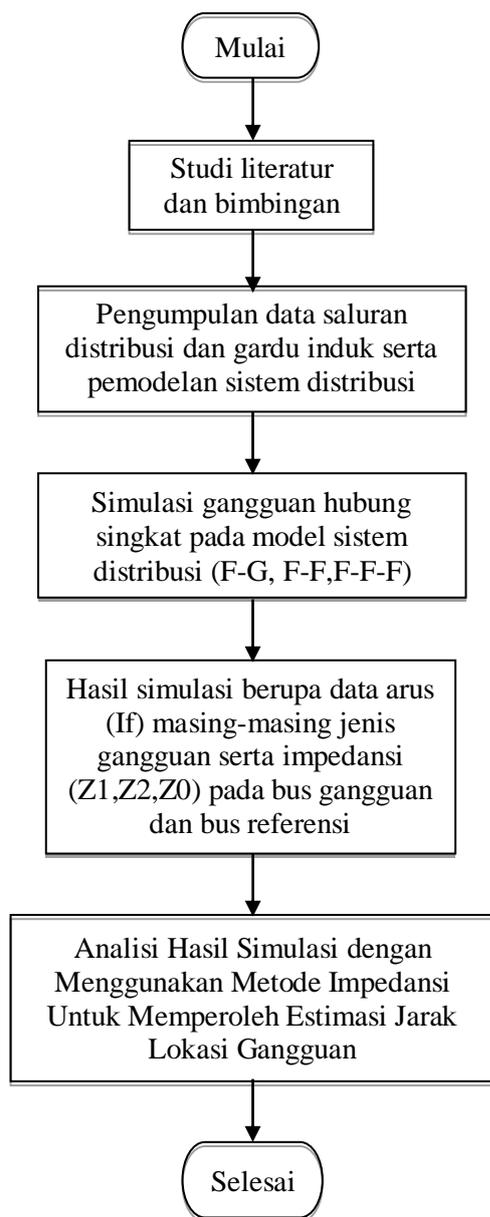
Dengan nilai d merupakan jarak estimasi, d_{exact} adalah jarak sebenarnya dan l adalah panjang total saluran (Al Qoyyimi, et al., 2017).

2. METODE PENELITIAN

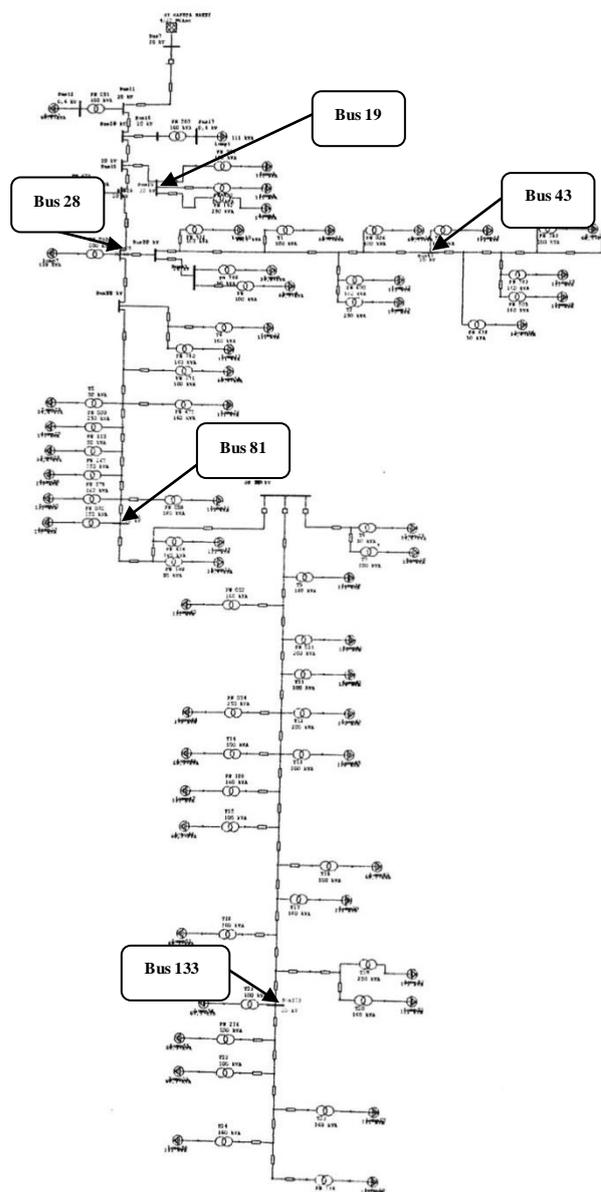
Studi yang dilakukan yaitu dengan mensimulasikan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, fasa ke fasa dan tiga fasa pada *single line diagram* jaringan distribusi penyulang Panam menggunakan *software* ETAP 12.6. Hasil simulasi yang didapatkan dianalisa dengan metode impedansi untuk menentukan lokasi gangguan. *Input* data yang digunakan dalam menentukan jarak lokasi gangguan yaitu arus gangguan hubung singkat, impedansi (urutan positif, negatif dan nol) serta tegangan sistem pada masing-masing bus yang mengalami gangguan hubung singkat dan pada gardu .

Flowchart Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat pada *flowchart* berikut :



Gambar 9. Flowchart prosedur penelitian



Gambar 10. Gambaran sistem distribusi Penyulang Panam pada ETAP 12.6

Rancangan Sistem Distribusi Penyulang Panam

Pemodelan saluran distribusi listrik pada penyulang Panam akan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6. Penyulang panam memiliki satu sumber, 84 saluran, 57 beban, 57 transformator distribusi, 141 bus yang terdiri dari 84 bus tegangan menengah 57 bus tegangan rendah dan 4 *circuit breaker* tegangan menengah.

Simulasi gangguan yang dilakukan adalah simulasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (F-G), fasa ke fasa (F-F) dan tiga fasa (F-F-F) dengan titik gangguan yang bervariasi.

Pada penelitian ini simulasi gangguan hubung singkat dilakukan pada lima (5) titik gangguan yaitu pada bus 18, bus 28, bus 43, bus 81 dan bus 133.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada model jaringan distribusi yang sudah dilakukan analisis hubung dengan menggunakan ETAP 12.6 didapatkan nilai arus dan impedansi pada bus gangguan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi gangguan

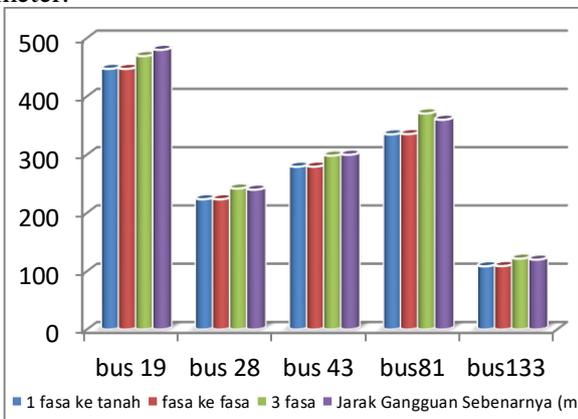
Bus ID	Arus gangguan (kA)			Impedansi (ohm)		
	1 fasa ke tanah	Fasa ke fasa	3 fasa	Z1	Z2	Z0
bus 7 (ref)	4,029	103,678	119,056	0,10610	0,10610	9,24550
bus 19	2,514	9,989	11,037	1,10124	1,10124	12,95425
bus 28	2,325	8,551	9,177	1,28647	1,28647	13,81525
bus 43	1,987	6,237	6,769	1,76354	1,76354	15,65639
bus 81	1,680	4,797	5,031	2,29327	2,29327	18,11369
bus 133	1,141	2,756	2,859	4,09037	4,09037	25,91590

Nilai yang didapatkan dianalisa dengan persamaan pada metode impedansi. Hasil perhitungan estimasi jarak lokasi gangguan untuk masing-masing bus gangguan berdasarkan jenis gangguan dapat dilihat secara keseluruhan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan lokasi gangguan

Bus Gangguan	Estimasi Jarak Gangguan (m)			Jarak Gangguan Sebenarnya (m)
	1 fasa ke tanah	Fasa ke fasa	3 fasa	
bus 19	465,28	447,26	469,3	480
bus 28	231,06	223,62	242,02	240
bus 43	285,95	279,57	298,49	300
bus 81	340,79	335,43	370,86	360
bus133	109,68	109,04	121,69	120

Dapat dilihat selisih estimasi jarak gangguan yang didapatkan menggunakan metode impedansi dan jarak sebenarnya terjadi gangguan pada Tabel 2 dan Gambar 11. Diketahui selisih jarak terbesar terdapat pada bus 19 dengan gangguan fasa ke fasa yaitu sebesar 32,74 meter sedangkan selisih jarak terkecil terdapat pada bus 43 dengan gangguan tiga fasa yaitu sebesar 1,51 meter.



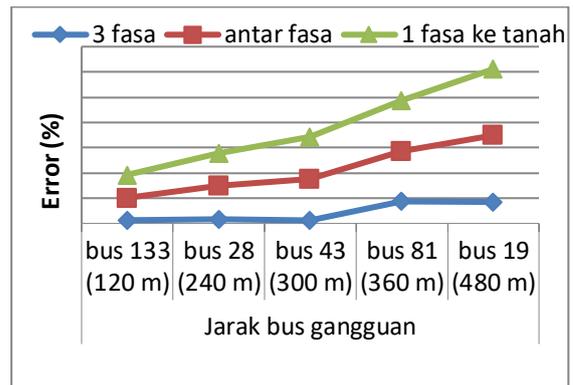
Gambar 11. Grafik perhitungan jarak gangguan dan jarak gangguan sebenarnya

Hasil perhitungan *error* didapatkan seperti pada tabel dibawah.

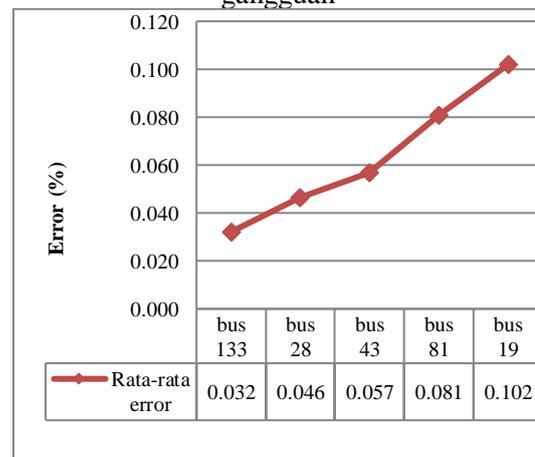
Tabel 3. Error perhitungan jarak gangguan

Bus gangguan	Error (%)			Jarak gangguan (m)
	1 fasa ke tanah	fasa ke fasa	3 fasa	
bus 133	0,04559	0,04399	0,00678	120
bus 28	0,06552	0,06572	0,0081	240
bus 43	0,08280	0,08199	0,00606	300
bus 81	0,10039	0,0986	0,04357	360
bus 19	0,13120	0,13138	0,04295	480

Dari tabel diatas di ketahui bahwa *error* terbesar terdapat pada gangguan antar fasa dengan persentase *error* 0,13138 %. Sedangkan perbandingan antara *error* perhitungan dan jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik *error* perhitungan jarak gangguan



Gambar 13. Kurva rata-rata *error* perhitungan dan jarak bus gangguan

Berdasarkan kurva rata-rata *error* perhitungan dan jarak gangguan diketahui bahwa *error* perhitungan berbanding lurus dengan jarak gangguan, semakin panjang/jauh jarak gangguan semakin besar *error* perhitungan jarak gangguan menggunakan metode impedansi. Sedangkan untuk rata-rata *error* perhitungan untuk masing-masing jenis gangguan pada semua bus gangguan yang disimulasikan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata rata *error*

Jenis gangguan	Rata-rata <i>error</i> (%)	Rata-rata jarak (m)
1 fasa ke tanah	0,0851	21,207
Fasa ke fasa	0,0843	21,016
3 fasa	0,0215	5,356

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa perhitungan jarak lokasi gangguan menggunakan metode impedansi masih memiliki *error*. Jarak yang panjang pada sistem distribusi mengharuskan ketelitian yang tinggi dalam menghitung dan memasukkan parameter yang digunakan dalam perhitungan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa menunjukkan bahwa penentuan jarak lokasi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi dapat dilakukan menggunakan metode impedansi. Rata-rata *error* dan jarak gangguan hubung singkat terbesar yaitu pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa yang memiliki persentase *error* 0,0851 % dengan jarak 21,207 meter kemudian gangguan hubung singkat fasa ke tanah memiliki persentase *error* 0,0843 % dengan jarak 21,016 meter, terakhir gangguan hubung singkat tiga fasa memiliki persentase *error* 0,0215 % dengan jarak 5,356 meter. *Trend* rata-rata *error* hasil perhitungan berbanding lurus dengan jarak gangguan. Semakin jauh jarak gangguan semakin besar *error* perhitungan dan sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, Y. S., & Ervianto, E. (2016). Menentukan Lokasi Gangguan Dengan Metode Simple Reactance dan Takagi pada Saluran Distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia Menggunakan Software ETAP 12.6.0. *Jom FTEKNIK*, 3 (2), 1-4.

Al Qoyyimi, T. A., Penangsang, O., & Ni, K. A. (2017). Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System). *JURNAL TEKNIK ITS*, 6 (1), B66-B68.

Harison, T. (2017). *Analisa Rekonfigurasi pada Feeder Sibuk Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan ETAP 12.6*. Pekanbaru, Riau: Fakultas Teknik, Universitas Riau.

Saadat, H. (1999). *power system analysis*. newyork: Milwaukee School of Engineering.

Sandesh, A., Ravi, S., Nischal, T., & Jha, S. K. (2016). Coordination of Overcurrent Relay for Radial and Parallel Feeder Networks. *Research Journal of Engineering Sciences*, 5 (5), 1.

Suswanto, D. (2009). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.

Waluyo, Iqbally, M., & Arfianto, T. (2016). Studi Hubung Singkat Simetris Penyulang UZB, UZM, UZU 20 kV di Gardu Induk Ujung Berung. *Jurnal Reka Elkomika*, 4 (2), 108-121.

Wibowo, R., Siswanto, W., Samosir, P., Nugroho, H., Azis, A. B., Subagio, A., et al. (2010). *Kriteria Desain Enjinereng Konstruksi Jaringan Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).