

Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (*Geographic Information System*)

Thoriq Aziz Al Qoyyimi, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: ontosep@ee.its.ac.id, ketut.aryani@elect-eng.its.ac.id

Abstrak—Dalam penyaluran energi listrik dari gardu ke pusat beban diperlukan saluran distribusi. Permasalahan yang sering terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat. Seringkali lokasi gangguan tidak dapat segera diketahui letak lokasinya, sehingga memperlambat proses penanganan gangguan. Dengan menggunakan metode berbasis impedansi, jarak lokasi gangguan dapat diperkirakan. Hasil perhitungan jarak lokasi kemudian diimplementasikan menggunakan GIS (*geographic information System*) aset pemetaan PLN di Surabaya, sehingga dapat memberikan visualisasi yang baik terhadap perkiraan lokasi gangguan yang terjadi. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, didapatkan besar nilai error untuk masing-masing tipe gangguan. Untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah nilai error terbesar adalah 1.091% dengan rata-rata selisih jarak 9.559 m, untuk gangguan fasa ke fasa 1.017% dengan rata-rata selisih jarak 9.04 m dan untuk gangguan tiga fasa adalah sebesar 1.031% dengan rata-rata selisih jarak 9m.

Kata Kunci – Gangguan Hubung Singkat, Metode Impedansi, GIS (*Geographic Information System*)

I. PENDAHULUAN

PENGEMBANGAN dari teknologi informasi dan penyediaan data sebuah sistem telah berkembang dengan pesat seperti *Geographic Information System (GIS)*. *GIS* adalah sistem informasi geografis yang memuat database tentang tata ruang umum yang menggunakan sistem koordinat sebagai referensinya. *GIS* membutuhkan input data (dari maps, satelite, survey dan sumber data lainnya), penyimpanan data jaringan, analisis, permodelan dan report data [1].

Distribusi tenaga listrik mempunyai peran penting karena terhubung langsung dengan penggunaan energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Pada sistem pendistribusian tenaga listrik biasanya sering terjadi gangguan (*fault*). Gangguan adalah penghalang dari suatu system yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan

sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan [2].

Menentukan lokasi gangguan merupakan hal yang penting dalam system distribusi energi listrik, sehingga gangguan dapat segera dihilangkan. Untuk itu lokasi gangguan sangat penting untuk dapat diketahui atau diperkirakan dengan akurasi yang cukup tinggi, sehingga dapat memungkinkan menghemat uang dan waktu untuk melakukan pemeriksaan dan perbaikan, serta untuk memberikan layanan yang lebih baik karena pemulihan listrik dapat dilakukan lebih cepat. Untuk gangguan sementara, gangguan dapat hilang dengan sendirinya dan tidak mempengaruhi secara permanen kontinuitas pasokan, namun dalam pencarian lokasi tersebut juga penting [3]. Penggabungan antara metode impedansi untuk estimasi lokasi gangguan pada sistem distribusi dengan *GIS* diharapkan dapat membantu untuk memudahkan untuk mengetahui letak dari *section* yang terjadi gangguan [4]-[7].

II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi Radial

Bentuk jaringan distribusi radial merupakan bentuk dasar, sederhana dan paling banyak digunakan. Jaringan distribusi radila banyak digunakan karena bentuknya yang sederhana dan biaya investasinya relatif murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani.

Kekurangan dari bentuk jaringan distribusi radial adalah kualitas pelayanan daya yang kurang baik dan kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin. Kualitas pelayanan daya yang kurang baik disebabkan karena besarnya nilai impedansi dan arus sehingga jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar. Dalam hal kuantinuitas pelayanan daya juga kurang terjamin karena antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran tidak ada alternatif lain sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka beban sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman secara total sampai gangguan teratasi.

B. Gangguan pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga

listrik ke konsumen. Gangguan adalah suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan normal. 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. Hubung singkat ialah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

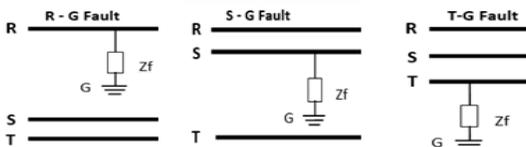
Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan dari peralatan pemutus beban. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon atau ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 2, yaitu

- a. Dari lama gangguan :
 1. Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki).
 2. Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya).
- b. Dari jenis gangguan :
 1. Gangguan satu fasa ke tanah
 2. Gangguan dua fasa ke tanah
 3. Gangguan fasa ke fasa
 4. Gangguan tiga fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan dapat menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar, sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. Dari jenis gangguannya :

1. Gangguan satu fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (*single line to ground*) merupakan hubung singkat yang terjadi karena hubung penghantar fasa dan tanah saling bersentuhan. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, prosentase dari gangguan ini sekitar 70% dari gangguan hubung singkat yang lain. Seperti pada gambar 1. Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan permanen di titik gangguan.



Gambar 1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Nilai impedansi total (Z_n) diperhitungkan dengan persamaan 1 berikut:

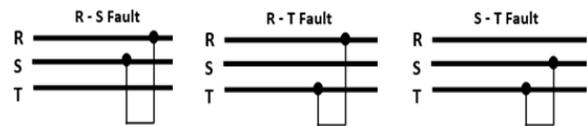
$$Z_n = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} \tag{1}$$

Dimana:

Z_1 adalah impedansi urutan positif, Z_2 adalah impedansi urutan negatif, dan Z_0 adalah impedansi urutan nol.

2. Gangguan fasa ke fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa (*line to line*) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan penghantar fasa yang lainnya, sehingga terjadi arus lebih (*over current*). Gangguan hubung singkat fasa ke fasa termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Dapat dilihat pada gambar 2. Gangguan *line to line* dapat diakibatkan bersentuhannya penghantar fasa karena terkena ranting pohon yang tertiuip oleh angin. Prosentase terjadi gangguan hubung singkat *line to line* adalah 15%.



Gambar 2. Gangguan fasa ke fasa

Nilai impedansi total (Z_n) diperhitungkan dengan persamaan 2 berikut:

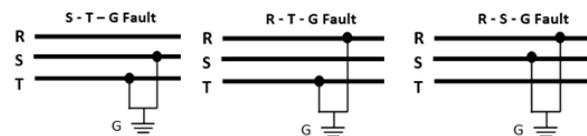
$$Z_n = \frac{Z_1 \times Z_2}{\sqrt{3}} \tag{2}$$

Dimana:

Z_1 adalah impedansi urutan positif, dan Z_2 adalah impedansi urutan negatif.

3. Gangguan dua fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (*line to line to ground*) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi bila dua fasa salurannya atau dua fasa penghantar terhubung ke tanah, gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Prosentase terjadi gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah adalah 10%. Gangguan Hubung singkat *line to line to ground* (LLG) dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Gangguan dua fasa ke tanah

Nilai impedansi total (Z_n) diperhitungkan dengan persamaan 3 berikut:

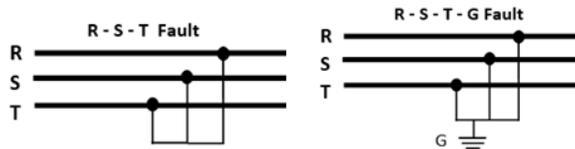
$$Z_n = \frac{Z_1 \times Z_0 \sqrt{3}}{Z_1 + Z_0} \tag{3}$$

Dimana:

Z_1 adalah impedansi urutan positif, Z_2 adalah impedansi urutan negatif, dan Z_0 adalah impedansi urutan nol.

4. Gangguan tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa (LLL) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya ketiga penghantar fasa, gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangya pohon yang kemudian menimpa kabel jaringan, sehingga memutus kabel fasa secara bersamaan. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat simetri. Prosentase untuk terjadi gangguan hubung singkat ini adalah 5%. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Nilai impedansi total (Z_n) diperhitungkan dengan persamaan 4 berikut:

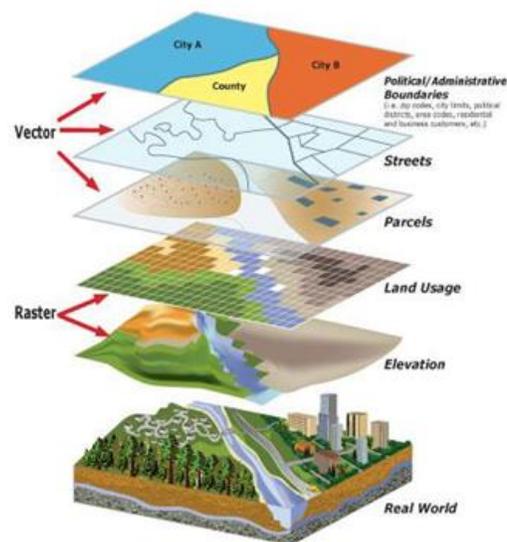
$$Z_n = Z_1 \tag{4}$$

Dimana:

Z_1 adalah impedansi urutan positif.

C. Sistem Informasi Geografis

Geographic Information System (GIS) atau Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem informasi yang berdasar pada data keruangan dan merepresentasikan objek di bumi. Data dalam SIG terdiri atas dua komponen yaitu data spasial yang berhubungan dengan geometri bentuk keruangan dan data atribut yang memberikan informasi tentang bentuk keruangannya. Data spasial adalah data yang bereferensi geografis atas representasi objek di bumi seperti pada gambar 5 dibawah ini. Fungsi utama GIS adalah Kemampuan analisis jaringan elektrik meliputi pemetaan jaringan distribusi dan analisis topologis, analisis cakupan suplai daya pada jaringan distribusi pendetailan analisis region dan lain sebagainya



Gambar 5. Bentuk data sistem informasi geografis

III. PERMODELAN SISTEM

A. Hubung Singkat dengan Metode Direct Building [8]

Dalam analisis hubung singkat dengan menggunakan metode *direct building* diperlukan metode K-matriks dan Zbr. Dalam membentuk K-matriks dibutuhkan 2 matriks yaitu BIBC dan BCBV, dimana BIBC adalah matriks arus cabang dan BCBV adalah matriks tegangan tiap bus. Kemudian didapatkan persamaan dalam hubung singkat dengan menggunakan metode *direct building*. Terdapat tiga macam persamaan yaitu sebagai berikut:

1. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Untuk perhitungan arus satu fasa ke tanah menggunakan persamaan seperti berikut:

$$I_{if}^a = ([BCBV_i^a][BIBC_i^a] + Z_f)^{-1} (V_{i,0}^a) \tag{5}$$

$$I_{if}^a = ([Z_{SC}^a]) (V_{i,0}^a)$$

Dimana:

$[BIBC_i^a]$ adalah vector kolom matrik $[BIBC]$ di bus i fasa a

$[BCBV_i^a]$ adalah vector kolom matrik $[BCBV]$ di bus i fasa a

$[Z_{SC}^a]$ adalah matrik 1 x 1 pada bus yang terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

2. Hubung singkat fasa ke fasa

Untuk perhitungan arus hubung singkat fasa ke fasa menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} V_{i,0}^a \\ V_{i,0}^b \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \end{bmatrix} = 0.866 ([Z_{SC}^{ab}])^{-1} \begin{bmatrix} \Delta V_{i,0}^a \\ \Delta V_{i,0}^b \end{bmatrix} \tag{7}$$

Dimana: $[Z_{SC}^{ab}]$ adalah matrik 2 x 2 pada bus yang terjadi gangguan dua fasa.

3. Hubung singkat tiga fasa

Untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \\ I_{if}^c \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \\ BCBV_i^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \\ BIBC_i^c \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} Z_f & Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f & Z_f \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} V_{i,0}^a \\ V_{i,0}^b \\ V_{i,0}^c \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \\ I_{if}^c \end{bmatrix} = ([Z_{SC}^{abc}])^{-1} \begin{bmatrix} \Delta V_{i,0}^a \\ \Delta V_{i,0}^b \\ \Delta V_{i,0}^c \end{bmatrix} \tag{9}$$

Dimana:

$[Z_{SC}^{abc}]$ adalah matrik 3 x 3 pada bus yang terjadi gangguan tiga fasa ke tanah.

B. Identifikasi Lokasi Gangguan

Dalam metode penghitungan estimasi jarak lokasi gangguan menggunakan metode impedansi, diperlukan nilai arus, tegangan dan impedansi ketika terjadi gangguan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung estimasi jarak lokasi gangguan secara sederhana dituliskan pada persamaan berikut:

$$d = \frac{V}{Z \times I} \tag{10}$$

Dimana:

d adalah estimasi jarak lokasi gangguan, V adalah tegangan saat terjadi gangguan, Z adalah impedansi saat terjadi gangguan dan I adalah arus saat terjadi gangguan. Tetapi nilai impedansi yang didapatkan harus diproses lebih terprinci di dalam penentuan estimasi lokasi gangguan untuk berbagai jenis gangguan, sehingga didapatkan hasil yang akurat. Impedansi jaringan merupakan hasil dari perkalian jarak gangguan dengan impedansi kawat satuan ohm/km. seperti pada persamaan 11 berikut:

$$Z_f = Z_p + (Z_n \times J_n) + R_f \tag{11}$$

Z_f (Ω) adalah impedansi saat terjadi gangguan, Z_p adalah impedansi pada gardu, Z_n (Ω/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 12 sebagai berikut:

$$J_n = \frac{Z_f - Z_p - R_f}{Z_n} \tag{12}$$

Dengan mengabaikan nilai R_f (resistansi gangguan) maka, persamaan 12 dapat ditulis menjadi persamaan 13 sebagai berikut:

$$J_n = \frac{\left(\frac{V}{I_{fn}}\right) - \left(\frac{V}{I_{asc}}\right)}{Z_n} \tag{13}$$

Dimana J_n adalah jarak dalam 1/1000 meter, V adalah tegangan satu fasa, I_{fn} adalah arus saat terjadi gangguan pada bus ke-n, I_{asc} adalah nilai arus gangguan pada gardu induk dan Z_n adalah impedansi total. Z_n untuk masing masing tipe gangguan memiliki persamaan yang berbeda-beda seperti pada persamaan (1), (2), (3), dan (4) di atas.

Untuk perhitungan nilai error atau besarnya nilai kesalahan dari hasil yang didapatkan dalam percobaan, padat diperoleh dengan menggunakan persamaan 14 sebagai berikut.

$$error = \frac{|J_{est} - J_{act}|}{J} \times 100 \% \tag{14}$$

Dimana nilai *error* yang didapatkan dalam persen, J_{est} atau J_n merupakan jarak estimasi dalam satuan meter yang didapatkan dari persamaan 13, J_{act} merupakan jarak sebenarnya atau jarak actual dan J merupakan panjang atau jarak keseluruhan *section* atau bagian dari gardu induk ke titik terakhir dalam saluran distribusi.

C. GIS Penyulang Tegalsari

Pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak GIS *Smallworld* PLN Area Distribusi Jawa Timur yaitu software aplikasi yang menyediakan pengelolaan aset geospasial utilitas listrik untuk mendukung perencanaan jaringan, desain, pemeliharaan dan operasi pada PT. PLN Area Distribusi Jawa Timur, dan topologi penyulang tegalsari seperti pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Topologi penyulang Tegalsari

Data saluran panjang dan nomor gardu pada GIS penyulang tegalsari dapat dilihat pada Tabel 1. Data pembebanan tiap fasa pada GIS penyulang tegalsari dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 1.
Data saluran panjang dan nomor gardu penyulang Tegalsari

Dari Bus	Ke Bus	panjang (m)	No Bus	No Gardu	Impedansi Saluran (R)	(X)
1	2	83,23	2	AF137	0.02205	0.01082
2	3	123,39	3	AF138	0.03269	0.01604
3	4	46,46	4	AF139	0.01231	0.00604
4	5	27,32	5	AF140	0.00724	0.00355
4	6	57,68	6	AF142	0.01528	0.00749
6	7	63,41	7	AF657	0.0168	0.00824
7	8	33,41	8	AF143	0.00885	0.00434
8	9	64,61	9	AF730	0.01712	0.00839
9	10	123,68	10	AF144	0.03277	0.01607
10	11	11,46	11	AF718	0.00303	0.00148
11	12	89,69	12	AF668	0.02376	0.01166
12	13	118,24	13	AF714	0.03133	0.01537
12	14	81	14	AF145	0.02146	0.01053
14	15	254	15	AF147	0.06731	0.03302
14	16	178,58	16	AF146	0.04732	0.02321
14	17	223,7	17	AF148	0.06792	0.03332
17	18	81	18	AF149	0.05926	0.02907
18	19	18,1	19	AF150	0.00479	0.00235
19	20	195,5	20	AF151	0.05178	0.0254
19	21	192	21	AF152	0.05194	0.02548
19	22	200	22	AF153	0.053	0.026
22	23	32,66	23	AF154	0.00865	0.00424
23	24	71,26	24	AF156	0.01888	0.00926
24	25	21,36	25	AF158	0.00566	0.00277

Tabel 2.
Data pembebanan tiap fasa pada GIS penyulang Tegalsari

BUS	DAYA					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
AF137	65.075	62.7	61.75	21.389	20.608	20.296
AF138	62.7	66.12	60.8	20.608	21.733	19.984
AF139	38.95	40.85	41.705	12.802	13.427	13.708
AF140	37.81	39.9	36	12.428	13.114	11.834
AF142	11.4	9.5	17.1	3.747	3.122	5.62
AF657	12.825	11.4	13.775	4.215	3.747	4.528
AF143	53.77	52.345	45.505	17.673	17.205	14.957
AF730	26.6	24.98	24.41	8.743	8.212	8.025
AF144	23.75	28.5	23.75	7.806	9.367	7.806
AF718	39.9	42.75	38.95	13.114	14.051	12.802
AF668	40.85	40.48	39.9	13.427	13.427	13.114
AF714	402	323	225	132	106	73
AF145	23.75	17.575	15.675	7.806	5.777	5.152
AF147	132	153	133	43.403	50.272	43.715
AF146	92.72	94.525	75.05	30.476	31.069	24.668
AF148	40.185	42.465	39.235	13.208	13.958	12.896
AF149	38	28.5	28.5	12.49	9.367	9.367
AF150	7.6	4.75	6.65	2.498	1.561	2.186
AF151	142	137	143	46.526	44.964	47.15
AF152	74.1	65.55	42.75	24.355	21.545	14.051
AF153	57	52.25	42.75	18.735	17.174	14.051
AF154	49.4	55.1	47.5	16.237	18.11	15.612
AF156	62.7	65.36	61.75	20.608	21.483	20.296
AF158	8.74	7.41	8.17	2.873	2.436	2.685

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi dan analisis terhadap sistem distribusi pada GIS penyulang Tegalsari. Simulasi terlebih dahulu dilakukan dengan membuat diagram segaris (*Single Line Diagram*) dari peta GIS distribusi listrik sesuai dengan jumlah titik gardu. Analisis Short Circuit dijalankan untuk mengetahui nilai arus dan impedansi dari penyulang. Terdapat 4 kasus yang berbeda, yaitu:

- Kasus A menampilkan sebagian hasil dari arus yang didapatkan dan divalidasikan dengan ETAP
- Kasus B Perhitungan penentuan estimasi lokasi jarak gangguan untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah yang didapatkan hasil dari ETAP dan menampilkan hasil dari perhitungan menggunakan algoritma *direct building* yang digabung dengan metode impedansi, beserta contoh pengujian di GIS.
- Kasus C Perhitungan penentuan estimasi lokasi jarak gangguan untuk tipe gangguan tiga fasa beserta contoh pengujian di GIS.

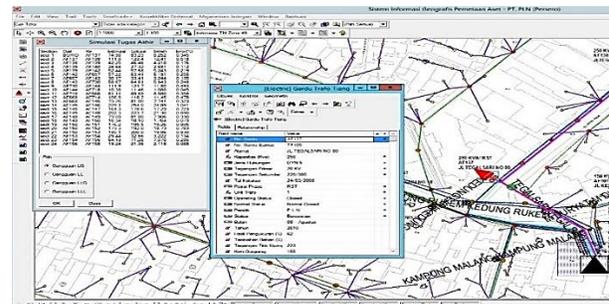
Hasil validasi dapat dilihat pada tabel 3, hasil pengujian di lihat pada tabel 4, tabel 5, dan tabel 6, sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 sebagai berikut:

Tabel 3.
Hasil validasi metode *direct building* dengan ETAP

BUS	SLG			LL			LLL		
	Magik	Etap	error %	Magik	Etap	error %	Magik	Etap	error %
2	4.295	4.302	0.172	6.165	6.204	0.637	7.119	7.164	0.629
3	4.243	4.262	0.435	6.103	6.136	0.546	7.024	7.086	0.870
4	4.224	4.246	0.523	6.081	6.111	0.489	6.99	7.056	0.936
5	4.212	4.237	0.595	6.068	6.096	0.456	6.97	7.039	0.975
6	4.2	4.227	0.643	6.053	6.079	0.428	6.947	7.019	1.031
7	4.174	4.210	0.847	6.024	6.050	0.423	6.902	6.985	1.193
8	4.161	4.199	0.898	6.008	6.031	0.384	6.878	6.964	1.236
9	4.135	4.178	1.019	5.979	5.996	0.276	6.833	6.923	1.300
10	4.086	4.137	1.239	5.924	5.927	0.052	6.748	6.844	1.402
11	4.082	4.134	1.247	5.919	5.921	0.030	6.74	6.837	1.415

Tabel 4.
Hasil pengujian pada kasus B

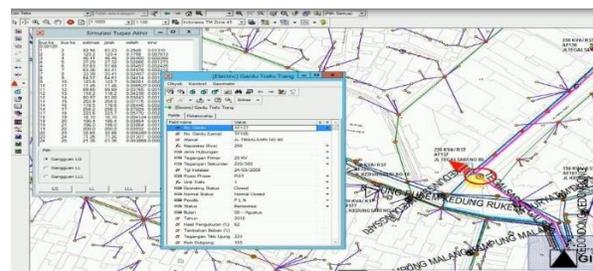
Section	BUS	Estimasi (m)	Lokasi (m)	Selisih (m)	Error (%)
1	GRID AF137	76.68	83.23	6.55	0.29
2	AF137 AF138	111.1	123.4	12.33	0.547
3	AF138 AF139	42.21	46.46	4.248	0.188
4	AF139 AF140	24.82	27.32	2.503	0.111



Gambar 7. Hasil simulasi pada GIS untuk kasus B

Tabel 5.
Hasil pengujian pada kasus B dengan *direct building* dan impedansi

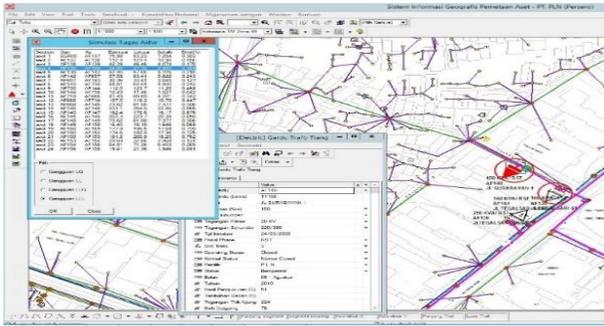
Section	BUS	Estimasi (m)	Lokasi (m)	Selisih (m)	Error (%)
1	BGRID AF137	82.94	83.23	0.2948	0.0131
2	AF137 AF138	123.2	123.4	0.1758	0.0078
3	AF138 AF139	46.41	46.46	0.054	0.0023
4	AF139 AF140	27.29	27.32	0.0286	0.0012



Gambar 8. Hasil simulasi pada GIS dengan *direct building* dan impedansi

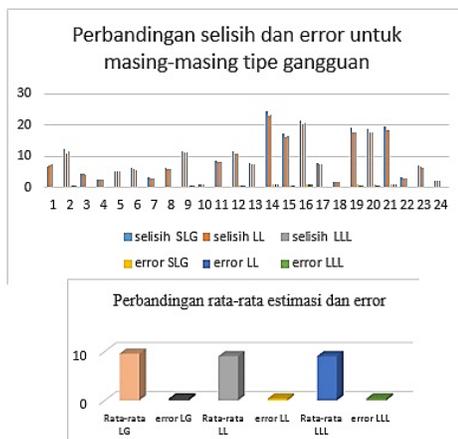
Tabel 6
Hasil pengujian pada kasus C

Section	BUS		Estimasi (m)	Lokasi (m)	Selisih (m)	Error (%)
19	AF150	AF151	177.8	195.5	17.68	0.739
20	AF150	AF152	174.6	192	17.36	0.725
21	AF150	AF153	181.8	200	18.25	0.762
22	AF153	AF154	29.69	32.66	2.968	0.124
23	AF154	AF156	64.81	71.26	6.453	0.269



Gambar 9. Hasil simulasi pada GIS untuk kasus C

Dari proses perhitungan dan simulasi hubung singkat menghasilkan nilai arus pada bus ketika terjadi gangguan, beserta nilai dari impedansi urutan nol, impedansi urutan positif, dan impedansi urutan negatif. Setiap nilai yang didapatkan digunakan untuk perhitungan estimasi lokasi gangguan dengan metode Impedansi. Untuk gangguan pada kasus B, dan kasus C, pada berbagai section yang diujikan didapatkan nilai estimasi lokasi yang mendekati nilai jarak yang sebenarnya yang diujikan. Bagitu pula dengan hasil simulasi dengan menggunakan GIS, dimana segitiga merah menandakan bus yang diujikan untuk terjadi gangguan dan titik berwarna hijau menunjukkan letak dari hasil perhitungan estimasi lokasi gangguan yang hasilnya mendekati jarak dari lokasi yang diujikan. Dapat dilihat pada gambar 10 di bawah ini grafik tentang perbandingan rata-rata selisih jarak dan error dari estimasi lokasi gangguan.



Gambar 10. Rata-rata error dan selisih jarak estimasi lokasi gangguan

Dari gambar 10 di atas dari keseluruhan sistem yang di ujikan didapatkan rata-rata error untuk gangguan tipe satu fasa

ke tanah sebesar 0.424 % dengan selisih jarak rata-ratanya adalah 9.559 m, gangguan yang lain seperti gangguan hubung singkat *line to line* didapat saat pengujian adalah 0.401% dan 9.04 m, dan gangguan tiga fasa didapatkan selisih jarak rata-rata sebesar 9 m, 0.4% untuk perhitungan prosentase kesalahannya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan estimasi lokasi gangguan hubung singkat tergantung pada nilai pembagi yang didapatkan dari kombinasi nilai impedansi positif, impedansi negatif, dan impedansi nol pada saat gangguan terjadi.
2. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa identifikasi lokasi jarak gangguan hubung singkat dengan menggunakan metode berbasis impedansi dapat digunakan untuk menentukan estimasi lokasi jarak gangguan hubung singkat.
3. Hasil simulasi yang diujikan pada GIS (*Geographic Information System*) dapat memperlihatkan visualisasi lokasi titik estimasi jarak gangguan yang sebenarnya pada penyulang yang terjadi gangguan.
4. Hasil estimasi lokasi jarak gangguan dengan menggunakan metode berbasis impedansi memiliki error terbesar sebesar 1.091%, 9.68 m dan 0.424% untuk rata-rata estimasi dan error, pada tipe gangguan satu fasa ke tanah, pada tipe gangguan antar fasa sebesar 1.017%, 9.04 m dan 0.4% untuk rata-rata error dan estimasi, pada tipe gangguan tiga fasa sebesar 1.031%. 9 m dan 0.4% untuk nilai error dan estimasi lokasi jarak gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghasem Derakshan, Karim ROSHAN MILANI Amir ETEMAD Heidarali SHAYANFAR and Usef Sarafraz, 2013, “*Management and Operation of Electricity Distribution networks on Geographic Information system*”, Stockholm, CIRED. 2013
- [2] Christophe Prévé, “*Protection of Electrical Networks*”, Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, pp 77-111, 2006
- [3] Saha, M.M., Izykowski J., Rosolowski E., “*Fault Location on Power Network*”, Sringre, Sweden, 2010
- [4] H.Mokhlis, L.J.Awalin et al, “*Three Phase Fault Algorithm in Distribution System by Using Database Approach and Impedance Based Method*” IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, 2012
- [5] R. Das “*Determining The Locations of Fault in Distribution Systems*” Ph.D Thesis. College of Graduate Studies and Research, University of Savkochrwatr, Saskatchewan, 1998.
- [6] Friska Luvia Narulita, “*Prediksi Lokasi Gangguan jaring Distribusi Listrik Berbasis Peta Google Earth dan Single Line Diagram*”, Jurnal Teknik POMITS Vol.10, No.1, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2012.
- [7] Joko Wigati Katresnan, “*Penggunaan Substation Automation System untuk Managemen Gangguan dan Analisis Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Sistem Jaringan Distribusi 20kV Kota surabaya*”, Penelitian Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2014.
- [8] Teng Jen-Hao, *Systematic Short-circuit Analysis Method for Unbalanced Distribution Systems*, IEE, Proc.-Gener. Transm. Distrib, Vol 152, No. 4, July 2005.