

Menentukan Lokasi Gangguan Dengan Metode *Simple Reactance* dan Takagi Pada Saluran Distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0

Yellyna Sari Agus, Edy Ervianto

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: yellynasa@gmail.com

ABSTRACT

Accurate estimation of fault location is essential for reliability of power system. For this purpose, fault location algorithms are studied and compared in this paper. This paper use two methods for fault location calculation by the short circuit faulted on the distribution line in Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia. The two methods used in this paper are simple reactance and takagi. To analyze both methods, various types of short circuit faults were modeled and simulated at various location on a distribution line using ETAP 12.6.0 program. Short circuit types that simulated in this paper are phase to ground (F-G), phase to phase (F-F), phase to phase to ground (F-F-G), and three-phase (F-F-F). Both methods using current and voltage data to calculate the fault distance on the distribution line that obtained from the simulated result data. The percentage error due to simple reactance method and takagi method of single phase to ground and phase to phase faulted were zero. But have a different results for phase to phase to ground (F-F-G) and three phase (F-F-F) faulted by using simple reactance had only one error and takagi obtained by 6 error and had the highest error of 1,2%. The results have shown that the simple reactance method more easier and accurately than takagi method to estimate the location of short circuit faulted on distribution line.

Keywords: Fault Location, Short Circuit Faults, Simple Reactance Method, Takagi Method, Software ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sebuah kebutuhan primer di zaman teknologi saat ini, termasuk di dalam dunia industri. Penyaluran tenaga listrik menuju ke beban akan melewati saluran distribusi. Saluran distribusi listrik rentan mengalami gangguan karena banyak faktor seperti sambaran petir saat badai, hewan, atau pohon tumbang. Maka untuk mempercepat pemulihan gangguan dan meningkatkan keandalan sistem, pendeteksian lokasi gangguan secara cepat dan akurat digunakan untuk menentukan lokasi gangguan di saluran distribusi.

Deteksi lokasi gangguan berbasis impedansi biasanya digunakan karena mudah

penerapannya dan menghasilkan perkiraan lokasi yang tepat. Nilai tegangan dan arus ketika gangguan ditangkap oleh perangkat elektronik cerdas seperti rele digital digunakan sebagai *input* dalam metode ini. Mengingat bahwa nilai impedansi dalam ohm/km sehingga untuk mengetahui lokasi gangguan dapat diperkirakan secara akurat. Pada sistem kelistrikan pendeteksian lokasi gangguan secara cepat akan membantu melindungi peralatan, menjaga sistem tetap stabil dan meminimalkan kerusakan jaringan serta kerugian ekonomis.

PT. Chevron Pacific Indonesia yang bergerak dibidang eksplorasi minyak bumi, sangat membutuhkan listrik dengan tingkat

kehandalan yang tinggi. Sehingga dengan penelitian untuk menentukan lokasi gangguan ini diharapkan menjadi solusi yang efisien.

Penelitian deteksi lokasi gangguan pada jaringan distribusi sangat bermanfaat sekali untuk membantu petugas dalam pemulihan jaringan saat gangguan terjadi secara cepat, gangguan yang paling banyak terjadi adalah gangguan *single line to ground*, dimana bisa mencapai 50% lebih dari total gangguan yang terjadi. Ada beberapa metode dalam analisis perhitungan lokasi gangguan ini, diantaranya yaitu metode *simple reactance* dan takagi yang digunakan dalam penelitian ini.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi menggunakan tegangan 13,8 kV dan beberapa lokasi ada yang menggunakan 4,16 kV, seperti di Dumai dan Rumbai. Untuk beban kantor dan perumahan menggunakan tegangan 110 V *fase to netral*. Sedangkan untuk memberikan suplai ke mesin-mesin industri menggunakan tegangan 13,8 kV yang akan diturunkan oleh trafo *step down* menjadi tegangan yang dibutuhkan mesin.

Saluran distribusi yang dimiliki oleh PT. Chevron Pacific Indonesia adalah:

- Saluran distribusi 13,8 kV sepanjang 1.742 Km
- Saluran distribusi 4,16 kV sepanjang 50 Km

Dalam sistem distribusi tenaga listrik di PT. Chevron Pacific Indonesia memiliki sekitar 8000 transformer.*

(*Sumber : Tim O&TC PGT 2006. Operator Technician Certification Modul-3. Departemen Power Generation & Transmission. Duri: PT.Chevron Pacific Indonesia.)

B. Gangguan Hubung Singkat

Ada dua jenis gangguan yang dapat terjadi pada setiap saluran distribusi, yaitu gangguan yang seimbang dan gangguan yang tidak seimbang yang juga dikenal masing-masing sebagai gangguan simetris dan asimetris.

Kebanyakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga yaitu gangguan yang tidak seimbang. Selain itu, gangguan bisa dikategorikan sebagai gangguan *shunt* dan gangguan seri. Gangguan seri adalah jenis gangguan yang terjadi pada impedansi dari saluran dan tidak melibatkan netral atau tanah, juga tidak melibatkan interkoneksi apapun antara fasa.

Dalam gangguan jenis ini ada peningkatan tegangan serta penurunan tingkat arus di fasa terganggu. Contoh: pemutusan satu atau dua saluran oleh pemutus sirkuit. Gangguan shunt adalah ketidakseimbangan antara fasa atau antara tanah dan fasa. Dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan gangguan shunt. Dalam gangguan jenis ini ada peningkatan arus serta penurunan tingkat tegangan di fasa terganggu. Gangguan shunt bisa diklasifikasikan menjadi empat jenis :

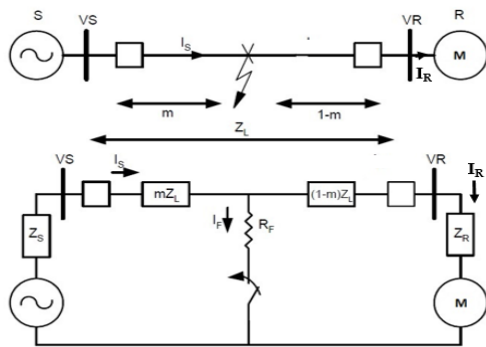
1. Gangguan Fasa Ke Tanah (F-G)
2. Gangguan Fasa Ke Fasa (F-F)
3. Gangguan Fasa Ke Fasa Ke Tanah (F-F-G)
4. Gangguan Tiga Fasa (F-F-F)

C. Metode Berbasis Impedansi

Metode berbasis impedansi menggunakan nilai dari fasor tegangan dan arus dari transduser seperti rele numerik dan perekam gangguan. Dengan teknik ini, fasor tegangan dan arus dapat diperoleh dari satu atau dua sumber di saluran distribusi. Pada penelitian ini dilakukan peninjauan prediksi lokasi gangguan berbasis impedansi dengan satu sumber. Metode berbasis impedansi banyak digunakan karena sederhana dan mudah penerapannya.

1. Metode *Simple Reactance*

Metode dengan tinjauan satu terminal ini membandingkan impedansi saluran terukur (Z_{1L}) dan impedansi yang dihitung ketika gangguan (V_s / I_s) untuk menentukan lokasi gangguan. Keakuratan metode ini tergantung pada sudut I_s yang sama dengan sudut I_f .



Gambar 1. Diagram segaris dan gambaran sirkuit dengan gangguan pada line
(Sumber : Karl Zimmerman and David Costello, 2004)

Dari gambar 1 di atas, jatuh tegangan dari ujung S pada *line* adalah :

$$V_s = m \cdot Z_{1L} \cdot I_s + R_f \cdot I_f \quad (1)$$

- V_s = Tegangan terminal S
- m = Jarak per unit menuju gangguan
- Z_{1L} = Impedansi urutan positif saluran
- I_s = Arus dari terminal S
- R_f = Resistansi gangguan
- I_f = Arus gangguan

Untuk gangguan fasa A ke *ground* adalah:

$$V_s = V_{a-g} \text{ dan } I_s = I_a + k \cdot 3 \cdot I_0 \quad (2)$$

Hal ini bertujuan untuk meminimalisir efek dari persamaan $R_f \cdot I_f$. Metode *simple reactance* ini membagi semua persamaan dengan I_s (I yang diukur pada gangguan yang akan ditentukan) dan me-*minimize* persamaan ($R_f \cdot I_f / I_s$). Untuk melakukan ini, menggunakan bagian imajiner dan untuk menyelesaikan m :

$$I_m \left(\frac{V_s}{I_s} \right) = I_m (m \cdot Z_{1L}) = m \cdot X_{1L} \quad (3)$$

$$m = \frac{I_m \left(\frac{V_s}{I_s} \right)}{X_{1L}} \quad (4)$$

Error sama dengan nol, jika $\angle I_s = \angle I_f$ atau $R_f = 0$

2. Metode Takagi

Metode Takagi ini membutuhkan data sebelum dan sesudah gangguan untuk perhitungannya. Untuk mendapatkan persamaan pada fasa dengan I_f , maka dibutuhkan arus superposisi (I_{sup}) :

$$I_{sup} = I_f - I_{pre} \quad (5)$$

I_f = Arus gangguan

I_{pre} = Arus sebelum gangguan

Drop tegangan dari bus S :

$$V_s = m \cdot Z_{1L} \cdot I_s + R_f \cdot I_f \quad (6)$$

Kalikan kedua sisi dari persamaan di atas dengan konjugat kompleks dari I_{sup} (I_{sup}^*) dan kecuali bagian imajiner, kemudian tentukan m :

$$I_m [V_s \cdot I_{sup}^*] = m \cdot I_m (Z_{1L} \cdot I_s \cdot I_{sup}^*) + R_f \cdot I_m (I_f \cdot I_{sup}^*) \quad (7)$$

$$m = \frac{I_m (V_s \cdot I_{sup}^*)}{I_m (Z_{1L} \cdot I_s \cdot I_{sup}^*)} \quad (8)$$

Sebelum menerapkan persamaan di atas, jenis gangguan, tegangan yang sesuai, dan arus yang dipilih dari kuantitas fasa harus ditentukan terlebih dahulu.

Kunci keberhasilan dari metode Takagi ini adalah bahwa sudut I_s sama dengan sudut I_f . Untuk sistem yang homogen yang ideal, sudut-sudut ini identik. Bilamana sudut antara I_s dan I_f meningkat, maka kesalahan dalam prediksi lokasi akan meningkat pula.

D. Persentase Error Jarak Lokasi Gangguan

Persamaan perentase *error* jarak lokasi gangguan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\%Error = \frac{Jarak_{aktual} - Jarak_{prediksi}}{Jarak_{total}} \quad (9)$$

Dimana :

$Jarak_{aktual}$ = Jarak aktual lokasi gangguan dalam simulasi (km)

$Jarak_{prediksi}$ = Jarak prediksi lokasi gangguan (km)

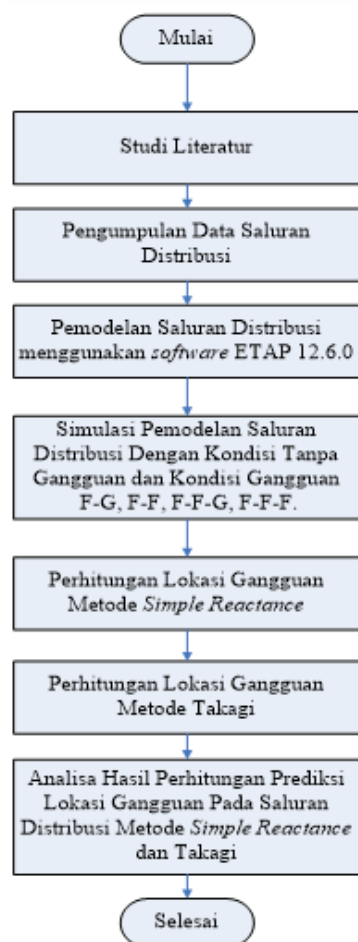
$Jarak_{total}$ = Jarak total saluran (km)

E. ETAP 12.6.0 (*Electrical Transient Analyzer Program*)

Pada penelitian ini ETAP *Power Station* digunakan untuk menganalisis hubung singkat, yaitu hubung singkat tiga fasa, hubung singkat fasa ke tanah, hubung singkat fasa ke fasa, dan hubung singkat fasa ke fasa ke tanah pada sistem distribusi. Pada penelitian ini ETAP akan mensimulasikan seluruh gangguan hubung singkat di salah satu bus saluran sehingga akan diperoleh *report load flow* dan *summary short circuit* yang selanjutnya menjadi *input* dalam algoritma perhitungan prediksi lokasi gangguan.

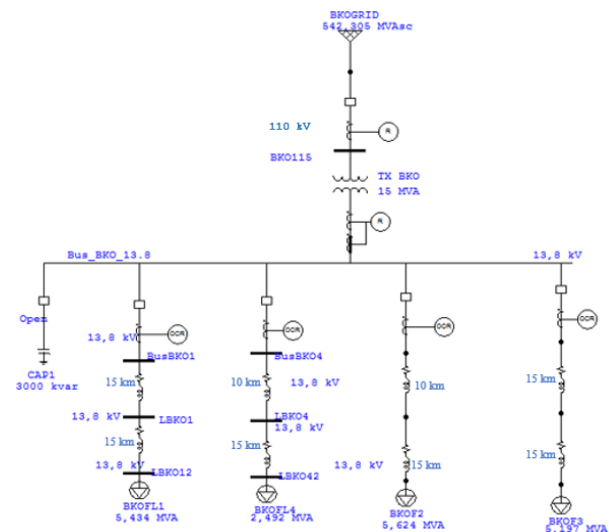
III. METODE PENELITIAN

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan untuk menentukan lokasi gangguan pada saluran distribusi :



Gambar 2. Flow chart penelitian

Pertama dilakukan pengambilan nilai-nilai parameter saluran yang dibutuhkan untuk pemodelan saluran distribusi listrik di Bangko, PT. Chevron Pacific Indonesia yang akan disimulasikan pada *software* ETAP 12.6.0. Gambaran umum sistem yang akan disimulasikan pada *software* ETAP 12.6.0 dapat dilihat pada gambar 3. Pada pemodelan tersebut berupa satu sistem distribusi listrik dengan 4 cabang saluran dengan masing-masing bebannya. Empat cabang saluran ini antara lain adalah BKO1, BKO2, BKO3, dan BKO4 dengan masing-masing panjang salurannya yaitu 30 km, 25 km, 25 km, dan 30 km. Pada saluran distribusi ini terdapat trafo *step down* dengan *rating* tegangan primer 110 kV sekunder 13,8 kV dan kapasitas trafo 28MVA dan terhubung dengan beban yang masing-masing sebesar 5,434 MVA, 2,492 MVA, 5,624 MVA, dan 5,197 MVA.



Gambar 3. Sistem Distribusi Pada ETAP 12.6.0

Lalu simulasi yang dilakukan adalah simulasi gangguan hubung singkat fasa ke tanah (F-G), fasa ke fasa (F-F), fasa ke fasa ke tanah (F-F-G), dan tiga fasa (F-F-F) dengan resistansi gangguan sama dengan nol dengan titik jarak gangguan yang bervariasi. Hasil keluaran berupa *magnitude* serta *angle* tegangan dan arus dari simulasi ETAP 12.6.0 akan digunakan sebagai *input* untuk perhitungan lokasi gangguan dengan metode

simple reactance dan metode takagi. Hasil prediksi lokasi gangguan yang dihitung dengan bantuan alat hitung yaitu Ms. Excel dari kedua metode kemudian dibandingkan dengan menghitung nilai persentase *error* nya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses simulasi gangguan hubung singkat dengan *software* ETAP 12.6.0 di enam titik gangguan yang ditentukan yaitu BKO1-LBKO12 dengan jarak 2 km dan 20 km, BKO4-LBKO42 dengan jarak 4,5 km dan 13 km, BKO2-LBKO2 dengan jarak 10 km, dan BKO3-LBKO32 dengan jarak 15 km dengan empat jenis gangguan yaitu F-G, F-F, F-F-G, dan F-F-F di masing-masing titik gangguan tersebut di saluran distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia. Pada proses simulasi ini maka diperoleh data *input* berupa *magnitude* tegangan dan arus sebelum dan saat gangguan.

Tabel 1. Data Tegangan dan Arus Hasil Simulasi ETAP 12.6.0

Jenis Gangguan	Lokasi Gangguan (km)	PF (%)	Arus Pra Gangguan (kA)		Arus Gangguan (kA)		Tegangan Gangguan (kV)	
			mag	angle	mag	angle	mag	angle
F-G	2	79,5	172,2	-4,63	0,383	-8,4	0,69	-64,6
					0	0	12,87	-153,5
					0	0	14,05	145,1
	20	83,4	172,5	-9,69	0,254	-36,2	4,57	36,8
					0	0	8,94	-154,2
					0	0	12,76	129,1
	4,5	99,1	113,7	-5,51	0,332	-13,0	1,42	60,3
					0,018	-15,2	12,26	-154,8
					0,018	-15,2	14,03	142,3
	13	99,7	113,7	-8,17	0,251	-24,9	3,32	48
					0,031	-32,5	10,42	-156,6
					0,031	-32,5	13,59	134,7
	10	78,6	184,2	-6,78	0,322	-23,7	2,9	49,4
					0	0	10,74	-156,4
					0	0	13,67	136
	15	82,8	168,2	-8,44	0,286	-30,7	3,86	42,4
					0	0	9,71	-155,8
					0	0	13,23	132
	2	79,5	172,2	-4,63	0	0	7,97	0
					3,07	-167,2	5,17	-150,1
					3,07	12,9	4,33	143,5
	20	83,4	172,5	-9,69	0	0	7,97	0
					0,696	-158,6	7,3	-125,5
					0,696	21,4	7,02	122,1
	4,5	99,1	113,7	-5,51	0	0	7,97	0
					2,031	-164,1	5,95	-139,4
					2,031	15,9	5,18	131,6
	13	99,7	113,7	-8,17	0	0	7,97	0
					0,983	-160	6,98	-128,6
					0,983	20	6,55	123,5
	10	78,6	184,2	-6,78	0	0	7,97	0
					1,22	-160,5	6,81	-130
					1,22	19,5	6,33	124,5
	15	82,8	168,2	-8,44	0	0	7,97	0
					0,887	-159,3	7,12	-127,1
					0,887	20,7	6,76	122,9

F-F-G	2	79,5	172,2	-4,63	0	0	11,84	-1,9
					3,16	-167,7	2,89	-101,8
					2,98	13,5	2,36	80,1
	20	83,4	172,5	-9,69	0	0	10,56	-8,1
					-7,43	-163,1	7,55	-102,9
					0,653	26,4	4,69	104,5
	4,5	99,1	113,7	-5,51	0,009	168,2	11,7	-3,2
					2,112	-165,2	4,47	-100
					1,950	17,0	3,36	84,8
	13	99,7	113,7	-8,17	0,017	151,8	11,12	-6,4
					1,041	-162,8	6,74	-100,5
					0,928	23,1	4,32	96,6
F-F-F	10	78,6	184,2	-6,78	0	0	11,3	-5,6
					1,29	-162,9	6,3	-99,6
					1,15	22,1	4,22	93,6
	15	82,8	168,2	-8,44	0	0	10,92	-7,2
					0,944	-162,8	7,08	-101,1
					0,833	24,6	4,48	99,6
	2	79,5	172,2	-4,63	3,543	-77,1	5,25	-10,9
					3,543	-197,1	5,25	-130,9
					3,543	42,9	5,25	109,1
	20	83,4	172,5	-9,69	0,803	-68,6	11,9	-2,5
					0,803	-188,6	11,9	-122,5
					0,803	51,4	11,9	117,5
	4,5	99,1	113,7	-5,51	2,345	-74,5	7,82	-7,9
					2,345	-194,5	7,82	-127,9
					2,345	45,5	7,82	112,1
	13	99,7	113,7	-8,17	1,135	-72,6	10,94	-3,8
					1,135	-192,6	10,94	-123,8
					1,135	47,4	10,94	116,2
	10	78,6	184,2	-6,78	1,41	-70,5	10,45	-4,3
					1,41	-190,5	10,45	-124,3
					1,41	49,5	10,45	115,7
	15	82,8	168,2	-8,44	1,024	-69,3	11,38	-3,1
					1,024	-189,3	11,38	-123,1
					1,024	50,7	11,38	116,9

Hasil simulasi ini kemudian digunakan sebagai parameter perhitungan prediksi lokasi gangguan dengan 2 metode yaitu metode *simple reactance* dengan menggunakan persamaan 4 dan takagi dengan menggunakan persamaan 8 . Hasil perhitungan prediksi lokasi gangguan dengan kedua metode ini kemudian akan dibandingkan dengan jarak lokasi gangguan sebenarnya yang telah ditetapkan sebelumnya ketika simulasi, kemudian dihitung persentase *error* dengan menggunakan persamaan 9.

Tabel 2. Persentase *Error* Prediksi Lokasi Gangguan Metode *Simple Reactance* dan Metode Takagi

Jenis Gangguan	Jarak Sebenarnya (km)	Jarak Prediksi Metode <i>Simple Reactance</i>	Jarak Prediksi Metode Takagi	%Error (Metode <i>Simple Reactance</i>)	%Error (Metode Takagi)
F-G	2	2	2	0	0
	20	20	20	0	0
	4,5	4,5	4,5	0	0
	13	13	13	0	0
	10	10	10	0	0
	15	15	15	0	0
F-F	2	2	2	0	0
	20	20	20	0	0
	4,5	4,5	4,5	0	0
	13	13	13	0	0
	10	10	10	0	0
	15	15	15	0	0
F-F-G	2	2	2	0	0
	20	20	20,3	0	1,0
	4,5	4,5	4,6	0	0,4
	13	13	13,2	0	0,8
	10	10	10,2	0	0,8
	15	15	15,2	0	0,6
F-F-F	2	2	2	0	0
	20	20	20	0	0
	4,5	4,5	4,5	0	0
	13	13,3	13,3	1,2	1,2
	10	10	10,0	0	0
	15	15	15	0	0

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa prediksi lokasi gangguan dengan metode *simple reactance* ada satu prediksi yang kurang tepat dan prediksi lokasi gangguan dengan metode takagi ada enam prediksi yang kurang tepat.

V. KESIMPULAN & SARAN

A. Kesimpulan

1. Untuk jenis gangguan hubung singkat fasa ke tanah (F-G) dan fasa ke fasa (F-F) di semua titik gangguan, kedua metode yaitu *simple reactance* dan takagi memperoleh hasil perhitungan jarak lokasi gangguan yang sama dengan nilai error 0 %.
2. Untuk jenis gangguan hubung singkat fasa ke fasa ke tanah (F-F-G) dan tiga fasa (F-F-F) terdapat beberapa prediksi yang berbeda dari dua metode tersebut di beberapa titik gangguan. Untuk metode *simple reactance* prediksi tersebut adalah pada saluran di Bus BKO4 – Bus LBKO42 sepanjang 13 km dengan jenis gangguan tiga fasa (F-F-F) dengan *error* yaitu sebesar 1,2%. Sedangkan untuk metode takagi adalah pada saluran :
 - a. Bus BKO1 – Bus LBKO12 sepanjang 20 km dengan jenis gangguan antar

fasa ke tanah (F-F -G) yang error nya sebesar 1,0%.

- b. Bus BKO4 – Bus LBKO42 sepanjang 4,5 km dengan jenis gangguan antar fasa ke tanah (F-F -G) yang error nya sebesar 0,4%.
 - c. Bus BKO4 – Bus LBKO42 sepanjang 13 km dengan jenis gangguan antar fasa ke tanah (F-F -G) yang error nya sebesar 0,8%.
 - d. Bus BKO4 – Bus LBKO42 sepanjang 13 km dengan jenis gangguan tiga fasa (F-F-F) yang error nya sebesar 1,2%.
 - e. Bus BKO2 – Bus LBKO22 sepanjang 10 km dengan jenis gangguan antar fasa ke tanah (F-F -G) yang error nya sebesar 0,8%.
 - f. Bus BKO3 – Bus LBKO32 sepanjang 15 km dengan jenis gangguan antar fasa ke tanah (F-F-G) yang error nya sebesar 0,6%.
3. Dari hasil analisa prediksi dan persen *error* perhitungan lokasi gangguan di enam titik gangguan hubung singkat di saluran distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia, metode *simple reactance* lebih mudah perhitungannya karena menggunakan persamaan-persamaan yang sederhana dan menghasilkan prediksi yang cukup tepat, di bandingkan prediksi lokasi gangguan dengan metode takagi.
 4. Akurasi ini berdasarkan kesesuaian hasil perhitungan prediksi lokasi gangguan dengan *input* titik lokasi gangguan pada simulasi.

B. Saran

1. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, Dapat melakukan perhitungan jarak lokasi gangguan dengan metode-metode lain yang berbeda agar menjadi pembanding keakuratan dalam menentukan prediksi lokasi gangguan.
2. Diharapkan penelitian lebih lanjut dapat melakukan simulasi dengan

software yang berbeda dengan variasi tinjauan yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Capar, A dan Basa Arsoy, A. (2015). "Evaluating Accuracy of Fault Location Algorithms Based on Terminal Current and Voltage Data". International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 3 No. 3 June 2015.
- Charles, K. (2010). "Lecture Notes on Fault Detection and Location in Distribution System". Source : www.mwfr.com
- Dr. Edmund O. Schweitzer, III. (1993). "A Review of Impedance-Based Fault Locating Experience" (revised Edition June 1993). Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Northwest Electric Light & Power Association Conference, April 1988.
- Ghimire S. (2014). "Analysis of Fault Location Methods on Transmission Lines". University of New Orleans, sghmirl@uno.edu.
<http://scholarworks.uno.edu/td>
- IEEE Power and Energy Society. (2014). "IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines". New York. IEEE Std C37.114™-2014 (Revision of IEEE Std C37.114-2004).
- Lzykowski, J. (2008). "Fault Location on Power Transmission Lines". Wroclaw : Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wroclawskiej. Zam. nr 907/2008.
- M.M. Saha, Lzykowski, J, dan Rosolowski, E. (2010). "Fault Location on Power Networks". Library of Congress Control Number: 2009940568. ISSN 1612-1287 e-ISSN 1860-4676 ISBN 978-1-84882-885-8 e-ISBN 978-1-84882-886-5 DOI 10.1007/978-1-84882-886-5 Springer London Dordrecht Heidelberg New York
- Swagata Das, Surya Santoso, Anish Gaikwad, dan Mahendra Patel. (2014). "Impedance-Based Fault Location in Transmission Networks : Theory and Application". IEEE Access practical innovations|open solutions Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2014.2323353.
- Syahputra R. (2014). "Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik". Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 17, No.2, 106-115, Nov 2014.
- Takagi, T. Et al. (1982). "Development of a New Type Fault Locator Using The One-Terminal Voltage and Current Data". Tokyo, Japan. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.8 Agustus 1982.
- Zimmerman, K dan Castello, D. (presented at TAMU 2005). "Impedance-Based Fault Location Experience". Pullman, WA. USA. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.