

Teknik Pengujian Kinerja Algoritme *Relay* Jarak Menggunakan DIgSILENT

(*The Technique of Distance Relay Algorithm Performance Testing Using DIgSILENT*)

Nanang Rohadi¹, Nendi Suhendi², Liu Kin Men³

Abstract—This paper presents a novel technique of testing to evaluate the performance of the transmission line protection relay algorithms (model SEL-421 distance relay) using DIgSILENT. The purpose of this publication is to provide an understanding of using DIgSILENT software for testing protection relays. The accuracy of the fault impedance measurement algorithm due to the influence of the system uncertainty factor can be simultaneously observed and tested automatically. The effects of the fault resistance and the power flow angle are considered as uncertainty factors. In the proposed method, the fault simulation on the transmission line is carried out at a number of different fault locations with factors are varied based on the value of the sample parameter and changed simultaneously to see the effect of relay performance. A random sample of parameters is generated over a certain range of values. Automatic testing has been applied through an algorithm developed with DIgSILENT's DPL (DIgSILENT Programming Language). The examples presented in this publication explaining the proposed methods of testing which can also be used to their practical use. In this publication, the method for testing distance relay has been successfully implemented through a combination of DIgSILENT and MATLAB.

Intisari—Makalah ini menyajikan teknik orisinal pengujian untuk mengevaluasi kinerja algoritme *relay* proteksi saluran transmisi (*relay* jarak model SEL-421) menggunakan DIgSILENT. Tujuan yang diharapkan dari publikasi ini adalah untuk memberikan pemahaman tentang penggunaan *software* DIgSILENT untuk pengujian *relay* proteksi. Akurasi dari algoritme pengukuran impedans kegagalan yang diakibatkan oleh pengaruh faktor ketidakpastian sistem dapat diamati secara bersamaan dan dilakukan pengujian secara otomatis. Misalnya, pengaruh dari resistans kegagalan dan sudut aliran daya adalah dianggap sebagai faktor ketidakpastian. Pada metode pengujian yang ditawarkan, simulasi gangguan pada saluran transmisi dilakukan pada sejumlah lokasi gangguan yang berbeda dengan perubahan nilai dari parameter ketidakpastian berdasarkan nilai sampel parameter dan diubah secara serentak untuk melihat pengaruh terhadap kinerja *relay*. Sampel parameter ketidakpastian yang digunakan dibangkitkan secara acak pada rentang nilai tertentu. Pengujian otomatis telah diaplikasikan melalui algoritme yang dikembangkan dengan *DIgSILENT Programming Language* (DPL) pada DIgSILENT. Contoh yang disajikan pada publikasi ini menjelaskan tentang metode pengujian yang ditawarkan dapat juga digunakan untuk

mendemonstrasikan kegunaannya secara praktis. Pada makalah ini, metode untuk pengujian *relay* jarak telah berhasil diimplementasikan melalui kombinasi *software* DIgSILENT dan MATLAB.

Kata Kunci—*Relay* Jarak, Saluran Transmisi, Pengujian *Relay*, Parameter Ketidakpastian.

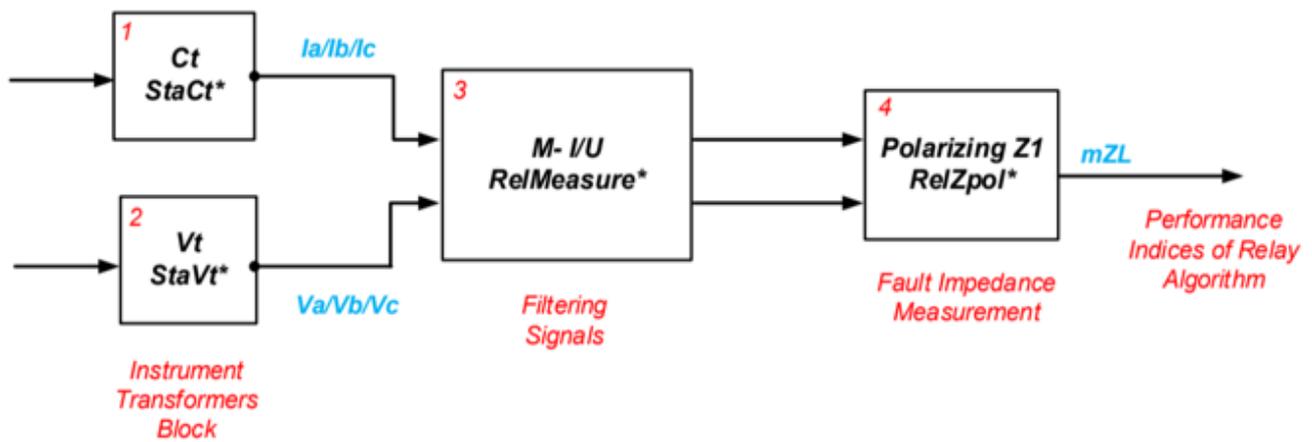
I. PENDAHULUAN

Tujuan dari penggunaan proteksi *relay* jarak pada sistem tenaga listrik adalah untuk mendeteksi gangguan yang mengindikasikan terjadinya gangguan pada sistem saluran transmisi. Selanjutnya, tindakan untuk mengisolasi gangguan dilakukan agar kondisi abnormal tidak menyebar ke bagian lain dari sistem. Seiring dengan meningkatnya tingkat kompleksitas sistem tenaga, yang ditandai dengan saluran transmisi yang cukup panjang dan penyaluran daya melalui saluran transmisi yang semakin meningkat karena keterbatasan saluran, *relay* proteksi yang bekerja secara analog sudah tidak mampu lagi untuk memenuhi persyaratan kinerja yang baik sebagai *relay* proteksi saluran.

Oleh karena itu, penggunaan *relay* digital yang jauh lebih andal dalam mengatasi masalah dalam hal perlindungan terhadap gangguan perlu dilakukan, terutama karena kelebihan pada kecepatan dan akurasi [1]-[4]. Dalam hal ini, saat ini masih dikembangkan cara untuk meningkatkan kinerja *relay* proteksi digital. Untuk mengembangkan kinerja *relay*, tentu diperlukan laboratorium yang digunakan untuk keperluan pengujian *relay* atau bisa juga digunakan dengan melakukan pemodelan dan dilakukan pengujian dengan simulasi terhadap sejumlah gangguan melalui alat bantu *software* aplikasi DIgSILENT PowerFactory [5]. Dalam melakukan studi terhadap kinerja algoritme *relay* jarak SEL-421 [6], ada dua tahap yang perlu dilakukan, yaitu: 1) menentukan data percobaan gangguan untuk sejumlah skenario gangguan; dan 2) menguji algoritme *relay* dengan sejumlah data gangguan melalui model sistem yang dikembangkan. Simulasi pengujian melalui kombinasi kedua tahapan tersebut dapat dilakukan secara bersamaan dengan melakukan otomatisasi melalui algoritme yang dikembangkan menggunakan *DIgSILENT Program Language* (DPL) yang difasilitasi oleh DIgSILENT. Model sistem pengujian yang dikembangkan dengan DIgSILENT memungkinkan terjadinya interaksi antara model sistem daya dengan sejumlah variasi gangguan dan model dari *relay* jarak SEL-421. Pada makalah ini, integrasi kerja antara model *relay* dan model dari sistem daya untuk pengujian dijalankan secara otomatis melalui algoritme yang

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran, Kampus Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, 45364 (tlp: 0812-9082 0565; e-mail: nanang.rohadi@unpad.ac.id)

³ Jurusan Teknik Fisika Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran, Kampus Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, 45364



Gbr. 2 Blok sistem untuk perhitungan impedans gangguan.

4). Blok ini mengandung algoritme untuk fungsi pengukuran impedans gangguan yang akan diamati kinerjanya.

Fungsi blok CT dan VT yang dinyatakan dengan nomor 1 dan 2 dihubungkan dengan saluran yang terdapat pada model sistem daya (Gbr. 1). Kedua trafo instrumen ini berfungsi untuk mengubah nilai nyata pada sistem daya menjadi nilai sekunder yang dijadikan masukan *relay* proteksi (*relay* jarak). Selanjutnya, dilakukan proses perhitungan impedans gangguan.

Fungsi blok yang dinyatakan dengan nomor 3 adalah sebagai blok “*RelMeasure*”. Dalam blok ini, fungsi transformasi *Analog-to-Digital Converter* (ADC), *anti-aliasing low pass filters*, *digital low pass filters*, *Discrete Cosine Transform* (DCT), dan *Discrete Forier Transform* (DFT) dilakukan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal diskret dan selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *phasor* terhadap arus dan tegangan gangguan yang diperlukan oleh elemen proteksi dan fungsi pengukuran pada blok berikutnya. Blok 4 melakukan perhitungan impedans gangguan berdasarkan nilai *phasor* tegangan dan arus yang dihasilkan oleh fungsi DFT. Pada blok ini diperlukan pengaturan sejumlah nilai parameter, misalnya faktor koreksi urutan nol, k_0 .

C. Otomasi Simulasi Gangguan

Simulasi gangguan dapat dilakukan secara otomatis melalui algoritme yang dikembangkan dalam skrip program di DPL. Dalam hal ini, program DPL dapat berfungsi sebagai antarmuka yang disediakan oleh DIGSILENT untuk proses simulasi gangguan secara otomatis. DPL adalah *syntax* yang mirip bahasa C yang mendukung akses tidak terbatas ke objek PowerFactory, parameter, dan fungsinya. Cakupan fungsi DPL dapat diperluas melalui *C-interface* sehingga memungkinkan akses ke data dan aplikasi eksternal. Pada proyek ini, sejumlah nilai faktor ketidakpastian sistem, yang diindikasikan dengan simbol merah pada Gbr. 1, dapat diimplementasikan secara bersamaan melalui proses pembacaan data melalui sampel data ketidakpastian yang sudah dibangkitkan melalui *software* SIMLAB dan selanjutnya menjalankan simulasi gangguan dengan melakukan perubahan faktor ketidakpastian secara bersamaan melalui perintah pada algoritme yang dikembangkan menggunakan DPL sebagai berikut.

```

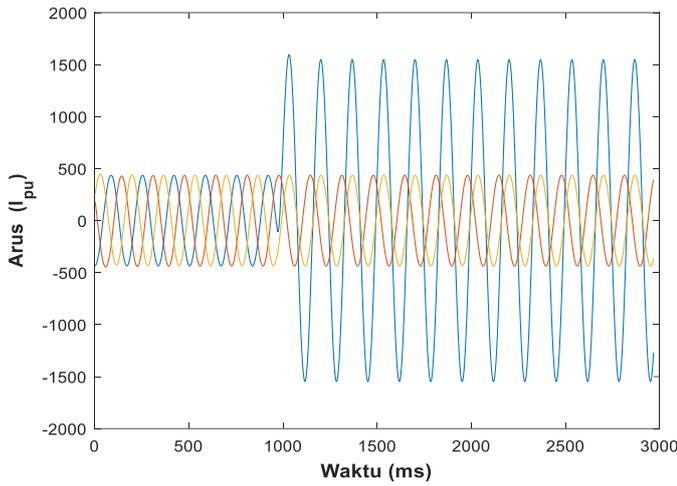
Var. & Const. declaration
INPUT ... .. % declare input file from sample data to the model system

OUTPUT ... .. % declare output and save to file
Start
Looping control ... .. (k>N); % N is a number of sample data
{
    ... read a sample data
    ... Access data base
    ... Setting variable of model
    ... run initial value
    ... run simulation
    {
        looping control
        ... calculating fault impedance
    }
    ... print result
}
close
    
```

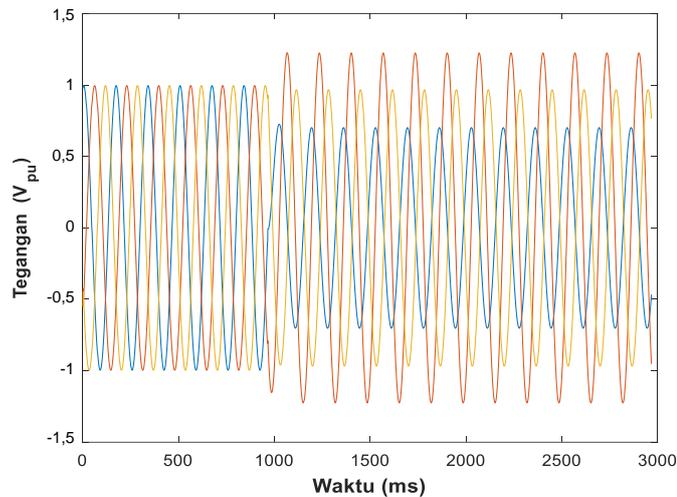
Dalam melakukan otomasi simulasi gangguan, perintah dalam DPL digunakan sebagai elemen pusat yang menghubungkan antara masukan (misalnya parameter yang telah didefinisikan sebelumnya, variabel dalam sekumpulan objek) ke sejumlah fungsi (internal elemen) dari *relay* dan ke keluaran (hasil) atau dalam bentuk perubahan nilai parameter.

Skrip program dengan DPL adalah contoh sebagian struktur algoritme yang dikembangkan dalam DPL untuk melakukan otomasi proses simulasi gangguan. Dalam struktur algoritme tersebut, urutan proses pekerjaan otomasi dan simulasi untuk pengujian dapat dilakukan. Perhitungan impedans gangguan dilakukan melalui proses simulasi gangguan dan dapat meliputi urutan: pembacaan data melalui sampel data dalam sebuah *file*, proses aktivasi fungsi-fungsi tertentu untuk melakukan perubahan parameter dalam *database*, fungsi perintah pengulangan sejumlah simulasi, dan perintah pengambilan hasil perhitungan impedans gangguan secara otomatis yang dilakukan pada *relay* jarak model SEL-421.

Dalam proses pengujian *relay*, skrip program pada DPL digunakan sebagai program utama untuk melakukan otomasi pengujian *relay* jarak SEL-421. Tingkat fleksibilitas yang tinggi dari DPL membuat algoritme yang dikembangkan tidak hanya dapat memberikan perintah memulai simulasi tetapi juga dapat digunakan untuk menghitung indeks kinerja dari algoritme *relay* secara bersamaan.



(a)



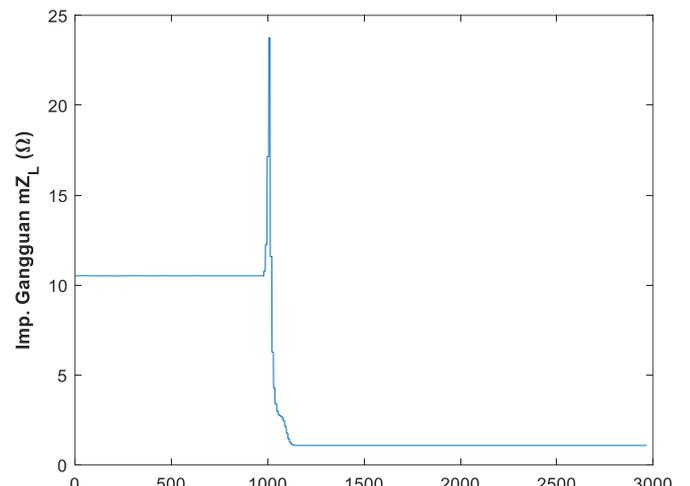
(b)

Gbr. 3 Keluaran dari CT dan VT pada kondisi gangguan, (a) arus 3-fase kondisi gangguan fase A-G, (b) tegangan 3-fase pada kondisi gangguan fase A-G.

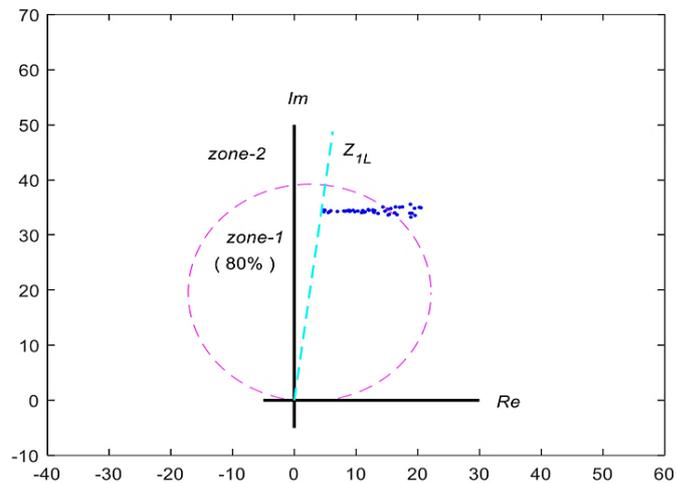
III. EVALUASI KINERJA ALGORITME RELAY

A. Penurunan Rumus Perhitungan Impedans Gangguan

Untuk mendemonstrasikan aplikasi dari nilai parameter ketidakpasitan sistem (seperti diindikasikan dengan warna merah pada Gbr. 1), model sistem saluran transmisi dengan gangguan telah dibuat menggunakan DIGSILENT. Sistem eksternal yang dihubungkan pada terminal M dan N adalah model dari rangkaian ekuivalen Thevenin dengan sumber tegangan dan impedans sumber dinyatakan dengan masing-masing \underline{E}_{AM} , \underline{E}_{AN} dan \underline{Z}_{SM} , \underline{Z}_{SN} . Gangguan disimulasikan untuk jenis kegagalan pada satu fase A ke tanah yang terjadi pada titik gangguan F dan nilai resistans tanah sebesar R_F . Dalam perhitungan impedans gangguan mZ_L , arus gangguan fase dikompensasi dengan arus urutan nol I_o menggunakan faktor koreksi urutan nol k_o , sedangkan m adalah jarak antara lokasi relay di sisi M ke titik gangguan F [10]. Nilai k_o dipengaruhi oleh impedans urutan nol \underline{Z}_{oL} yang tidak diketahui nilainya,



(a)



(b)

Gbr. 4 Pengukuran impedans gangguan, (a) impedans gangguan (b) pengukuran impedans dengan nilai $R_F = 0 - 10\Omega$, $\delta_F: -10; 10$ deg secara acak pada gangguan di 70%.

sehingga dapat dinyatakan bahwa k_o dapat dianggap sebagai faktor ketidakpastian.

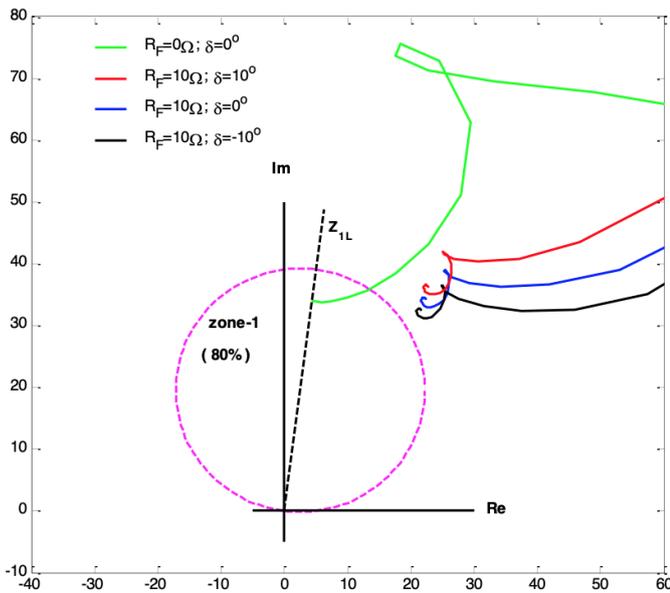
Untuk mengamati nilai impedans gangguan yang dihitung oleh algoritme relay terhadap gangguan di fase A ke tanah, seperti ditunjukkan pada Gbr. 1, dan selanjutnya hubungan urutan tegangan positif \underline{V}_1 , tegangan negative \underline{V}_2 , dan urutan tegangan nol \underline{V}_0 dan arus pada sisi M untuk gangguan di titik F , dinyatakan dengan (1).

$$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_0 = 3R_F I_F \tag{1}$$

Dari (1) dapat diturunkan lebih detail urutan arus dan tegangan dilihat dari posisi relay dipasang (sisi M) sebagai berikut.

$$\underline{V}_{1AM} - mZ_{1L}I_{1SM} + \underline{V}_{2AM} - mZ_{2L}I_{2SM} + \underline{V}_{0AM} - mZ_{oL}I_{oSM} = 3R_F I_F \tag{2}$$

$$\underline{V}_{AM} = mZ_{1L}I_{AM}^c + 3R_F I_F \tag{3}$$



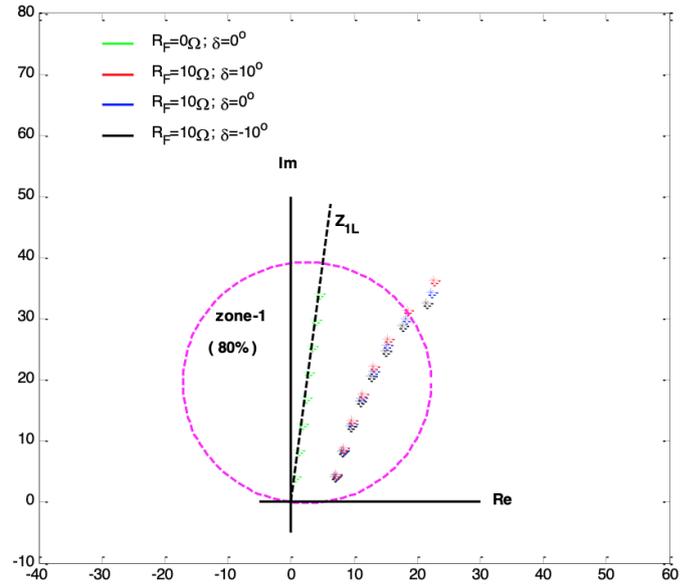
Gbr. 5 Tracking impedans gangguan untuk sejumlah skenario, $F = 70\%$.

Kompensasi arus gangguan fase A ke tanah dinyatakan dengan $I_{AM}^c = I_{AM} + k_0 I_{0SM}$ dan faktor koreksi terhadap arus urutan nol adalah $k_0 = (Z_{0L} - Z_{1L})/Z_{1L}$. Dari (1) sampai (3), selanjutnya impedans gangguan yang diestimasi oleh relay proteksi (model SEL-421) dapat dinyatakan dengan $Z_m = \underline{V}_{AM}/I_{AM}^c$, yang dapat dipengaruhi oleh faktor ketidakpastian sistem, yaitu faktor koreksi urutan nol k_0 , resistans gangguan R_F , dan sudut aliran beban δ_F [11].

B. Efek Faktor Ketidakpastian terhadap Kinerja Algoritme

Untuk mengilustrasikan pengaruh faktor ketidakpastian sistem, percobaan terhadap sejumlah skenario dilakukan untuk melihat kinerja dari algoritme relay. Percobaan simulasi untuk gangguan fase A ke tanah seperti pada Gbr. 1 dilakukan untuk kondisi sistem yang sama [9] sebagai berikut: $\underline{E}_{AM}, \underline{E}_{AN} = 230 \angle \delta_F$; $Z_{1SM}, Z_{1SN} = 1,56 + j10,21 \Omega$; $Z_{0SM}, Z_{0SN} = 4,68 + j30,64 \Omega$; dan $Z_{1L} = 6,25 + j48,82 \frac{\Omega}{km}$.

Gbr. 3(a) dan Gbr. 4(b) masing-masing mengilustrasikan arus dan tegangan gangguan untuk kegagalan pada fase A ke tanah di titik gangguan $F = 70\%$. Pada kondisi gangguan, arus pada fase A naik secara signifikan, sementara pada tegangan terjadi sebaliknya, yaitu terjadi drop pada tegangan fase A, dibandingkan kedua fase yang tidak terganggu, yaitu fase B dan fase C. Gbr. 4 masing-masing menampilkan tracking hasil pengukuran impedansi pada gangguan di 70% yang dilakukan oleh algoritme relay jarak dan variasi nilai impedans pada lokasi gangguan yang sama dengan variasi nilai secara acak R_F dan δ_F . Karakteristik pengukuran impedans seperti Gbr. 5 adalah hasil simulasi pada gangguan di $F = 70\%$ dengan variasi pada nilai resistans R_F dan sudut fase tegangan sumber δ_F . Dalam simulasi terlihat bahwa pengaruh R_F sangat dominan terhadap nilai pengukuran impedans sedangkan sudut tegangan memengaruhi nilai reaktans. Pada gangguan di $F = 70\%$, yaitu gangguan persis mendekati garis border zone-1 (80%), yaitu



Gbr. 6 Tracking impedans untuk variasi lokasi gangguan $F = 10\% - 80\%$.

terjadi maloperasi dari relay karena relay membaca gangguan seolah terjadi di luar zone-1 (terbaca di zone-2), padahal gangguan masih di zone-1 perbatasan (80%), sehingga proses isolasi gangguan oleh relay tertunda karena seolah gangguan terjadi di zone-2. Efek dari nilai R_F akan memengaruhi nilai riil impedans gangguan yang mengakibatkan pengukuran impedans tergeser ke kanan, sedangkan δ_F akan memengaruhi nilai imajiner dari impedans. Lebih lanjut, pada Gbr. 6 diperlihatkan perubahan nilai impedans gangguan yang dihitung berdasarkan fungsi perubahan pada lokasi gangguan dari 10%–80%. Terlihat dari hasil perhitungan impedans oleh relay bahwa pengukuran impedans cenderung menjauh dari nilai aktualnya (garis lurus diagonal) untuk gangguan yang semakin menjauh dari lokasi relay (sisi M).

IV. KESIMPULAN

Makalah ini menyajikan model pembelajaran dengan menggunakan DIGSILENT untuk studi kinerja dari relay proteksi saluran transmisi (relay jarak model SEL-421). Software DIGSILENT sangat fleksibel digunakan dalam keperluan studi sistem proteksi, yaitu integrasi dengan software MATLAB dapat dilakukan dan ketersediaan DPL program dapat membantu keperluan otomasi simulasi dan analisis. Dari sejumlah percobaan dapat ditunjukkan bahwa pengaruh resistans gangguan R_F dan sudut aliran beban δ_F dapat memengaruhi kinerja relay, terutama terjadinya maloperasi pada gangguan di lokasi dekat 80% (perbatasan zone-1) dari panjang saluran. Kombinasi resistans gangguan dan sudut tegangan sumber (aliran beban) juga akan menambah ketidakakuratan kerja algoritme relay, yaitu berpengaruh terhadap pembacaan nilai resistans dan reaktans untuk perhitungan impedans gangguan. Sebagai kesimpulan, metode yang telah dikembangkan dengan alat bantu DIGSILENT dapat membantu para praktisi atau siswa dalam mempelajari kerja relay.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan untuk Universitas Padjadjaran dan FMIPA Unpad yang telah membantu memberikan dana dan dukungan lain pada pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A.G. Padike dan J.S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*, Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc., 1993.
- [2] R.K. Aggarwal, D.V. Coury, A.T. Johns, dan A. Kalam, "A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders," *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, hal. 874-883, Jul. 1993.
- [3] A.A. Girgis dan C.M. Fallon, "Fault Location Techniques for Radial and Loop Transmission Systems Using Digital Fault Recorded Data," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 7, No. 4, hal. 1936-1945, Okt. 1992.
- [4] T.S. Sidhu, H. Singh, dan M.S. Sachdev, "Design, Implementation and Testing of an Artificial Neural Network Based Fault Direction Discriminator for Protecting Transmission Lines," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No.2, hal. 697-706, Apr. 1995.
- [5] (2008) "PowerFactory User' Manual," [Online] <http://www.digsilent.de>, tanggal akses: 1-Des-2020.
- [6] (2007) "SEL-421 Relay Protection and Automation System User's Guide," [Online] <http://www.selinc.com>, tanggal akses: 17-Okt-2020.
- [7] (2020) "MATLAB," [Online] <http://www.mathworks.com>, tanggal akses: 7-Des-2020.
- [8] G.E. Alexander dan J.G. Andrichak, "Grounding Distance Relaying: Problems and Principles," *Nineteenth Annual Western Protective Relaying Conference*, Spokane, Washington, October, 1991.
- [9] N. Rohadi dan R. Zivanovic, "Sensitivity Analysis of Impedance Measurement Algorithms Used in Distance Protection," *TENCON 2011 - IEEE Region 10 Conference*, 2011, hal. 995-998.
- [10] L. Hulka, U. Klapper, M. Putter, dan W. Wurzer, "Measurement of Line Impedance and Mutual Coupling of Parallel Lines to Improve the Protection System," *20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED)*, 2009, hal. 1-4.
- [11] A.T. Funk dan O.P. Malik, "Impedance Estimation Including Ground Fault Resistance Error Correction for Distance Protection," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 22, No. 1, hal. 59-66, 2000.