

STUDI PENETAPAN NILAI PARAMETER RELE JARAK PROTEKSI SUTET 500 kV GARDU INDUK SURALAYA-BALARAJA

A. Junaedi¹⁾ dan A.Sofwan²⁾

¹⁾ Departemen Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah Cilegon
Email: junaedishiddiq@gmail.com.

²⁾ Program Studi Teknik Elektro ISTN Jakarta, E-mail: asofwan@istn.ac.id

Abstrak

Proses penetapan nilai parameter rele yang berupa arus, waktu atau impedansi suatu rele. Nilai parameter dalam penelitian ini adalah nilai impedansi Zone 1, impedansi Zone 2 dan nilai impedansi Zone 3 pada SUTET Suralaya – Balaraja – Gandul. Proses penetapan ini penting karena akan menentukan kinerja suatu rele dalam mengamankan perlengkapan dan peralatan listrik dari tegangan lebih atau arus lebih yang diakibatkan karena terjadinya gangguan hubungsingkat. Rele Jarak bekerja berdasarkan Impedansi yang merupakan perbandingan tegangan dan arus. Penelitian ini untuk mengetahui nilai parameter yang ditetapkan pada rele jarak guna mengamankan gangguan yang terjadi di Zone-1, Zone-2 dan Zone-3. Penelitian ini menggunakan metode Penelitian dengan mengadakan perhitungan dan pengujian. Hasil penetapan impedansi menggunakan dua aplikasi tersebut didapat dan ditetapkan sebagai berikut: Untuk SUTET GI Suralaya-Balaraja $Z_1=17,762 \angle 84,1^\circ \Omega$ dan $Z_0=54,14 \angle 78,065^\circ \Omega$. SUTET GI Balaraja- Gandul, $Z_1=14,389 \angle 84,1^\circ \Omega$ dan $Z_0=43,863 \Omega$, dengan sudut $78,066^\circ$ dan GI SUTET GI Gandul-Depok, $Z_1=1,676 \Omega \angle 84,084^\circ \Omega$, $Z_0=5,11 \angle 78,068^\circ \Omega$. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik rele jarak dapat bekerja dengan baik, sesuai dengan persyaratan proteksi dengan Impedance error tertinggi sebesar 0,375 %, pada Fasa R-N Zone 1, Fasa R-S Zone 1 dan Fasa R-T untuk semua Zone. Sedangkan dari waktu kerja rele jarak waktu terlama sebesar 1.623,2 ms terjadi pada Fasa T-N pada Zone 3. Sedangkan dari urutan waktu kerja rele sudah benar yaitu Zone1 < Zone 2, dan Zone2 < Zone 3. Kata kunci: Impedansi, Arus, Rele Jarak, SUTET, Zone pengamanan.

Abstract

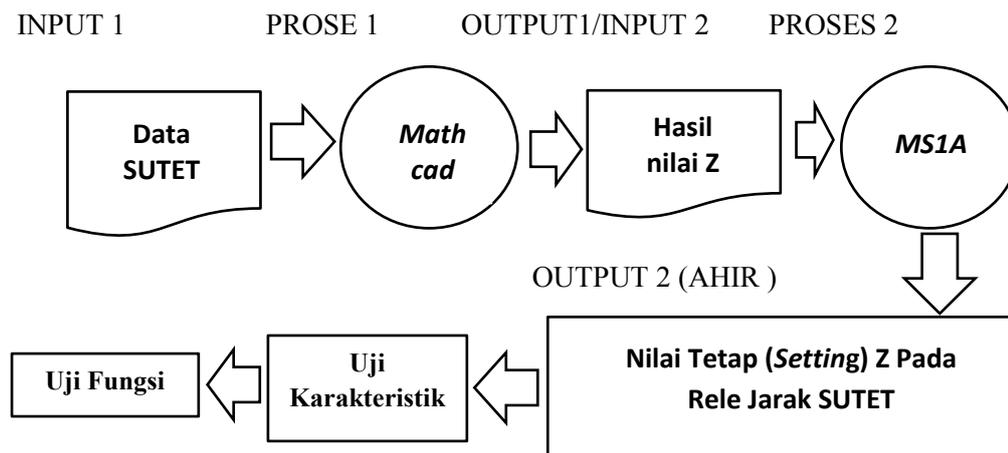
The assigning process of relay parameters are current, time or impedance of a relay. The parameter values in this research are Zone 1 Impedance, Zone 2 impedance and Zone 3 impedance value at SUTET Suralaya - Balaraja - Gandul. This determination is important because it will determine the performance of a relay in protecting the electrical equipment of the over voltage or overcurrent due to the occurrence of intermittent interference. Distance Relay is a working relation based on voltage and current comparisons or called Impedance. This research is to know the parameter value which is set at the relay distance to secure the fault that happened in Zone1, Zone 2. and Zone 3, SUTET Substation of Suralaya - Substation of Balaraja- Substandard Gandul. The result of the impedance determination using the two applications is obtained and defined as follows: For SUTET GI Suralaya-Balaraja $Z_1=17,762 \angle 84,1^\circ \Omega$ and $Z_0=54,14 \angle 78,065^\circ \Omega$. SUTET GI Balaraja - Gandul, $Z_1=14,389 \angle 84,1^\circ \Omega$ and $Z_0=43,863 \Omega$, with angle $\angle 78,066^\circ$ and GI SUTET GI Gandul-Depok, $Z_1=1,676 \Omega \angle 84,084^\circ \Omega$, $Z_0=5,11 \angle 78,068^\circ \Omega$. Based on test result that characteristic of Distance relay can operate well in accordance with the requirements of protection with the highest impedance error of 0.375% on Zone 1, Zone 2 and Zone 3. While the working time of the longest time distance releases of 1,623.2 ms occurs in T-N Phase in Zone 3. While the sequence of working time is correct releases are Zone1 < Zone 2, and Zone2 < Zone 3.

Keywords: Impedance, Current, Distance Relay, SUTET, Protection Zone.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya merupakan salah satu pembangkit terbesar di Indonesia dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 4.025MW untuk melayani kebutuhan tenaga listrik di Pulau Jawa, Madura dan Bali. Terdapat 4 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) yang menginterkoneksi pembangkitan Suralaya ke Jawa Bali yaitu penghantar Suralaya – Cilegon baru 1 dan 2 dengan panjang penghantar 12,48 kms serta jaringan transmisi Suralaya – Balaraja 1 dan 2 dengan panjang jaringan transmisi 62,759 kms. Dikarenakan sistem transmisi mempunyai jarak yang panjang maka sangat berpotensi terjadinya gangguan baik karena gangguan alam, *breakdown* isolasi, benda asing (pohon, layang layang). Untuk tetap menjaga keandalan sistem dari gangguan maka di perlukan sistem proteksi yang andal, selektif dan sensitif. Untuk mendapat sistem proteksi yang bersifat tersebut, antara lain perlu dipasang Rele Jarak dengan penetapan nilai parameter yang akurat, sehingga rele dapat bekerja sesuai dengan besar arus dan waktu yang

diinginkan. Untuk itu perlu dilakukan penetapan nilai parameter dari Rele Jarak tersebut. Nilai parameter yang dimaksud adalah nilai impedansi area 1, impedansi area 2 dan nilai impedansi area 3 pada Jaringan SUTET Suralaya – Balaraja – Gandul¹⁾. Dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa nilai parameter yang ditetapkan pada rele jarak untuk mengamankan gangguan yang terjadi di area 1, area 2 dan area 3, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi Gardu Induk Suralaya-Gardu Induk Balaraja-Gardu Induk Gandul. Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Mathcad* dan Aplikasi *Micom SI Agile (MSIA)*. Proses penelitian tersebut adalah sebagai berikut: Data SUTET diedit kedalam perangkat lunak *Mathcad*, keluarannya berupa Impedansi. Nilai impedansi tersebut kemudian diedit kedalam sebuah aplikasi *MSIA*, keluarannya adalah nilai parameter yang digunakan untuk rele jarak di sebuah SUTET. Untuk meyakinkan bahwa hasil penetapan parameter, maka dilakukan pengujian karakteristik dan uji fungsi. Proses penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Proses penelitian penetapan parameter Rele Jarak.

II. 1 Rele Jarak

Rele jarak banyak digunakan sebagai pengaman gangguan pada saluran transmisi. Sedangkan pengaman arus lebih biasanya hanya sebagai pengaman

cadangan. Rele jarak mempunyai kelebihan jika dibandingkan dengan rele arus lebih. Kelebihan tersebut adalah, rele jarak tidak begitu terpengaruh oleh besarnya arus gangguan, perubahan

sumber daya dan konfigurasi jaringan serta tidak tergantung kepada besar kecilnya impedansi sumber. Prinsip kerja rele jarak adalah dengan membandingkan antara hasil pengukuran besar tegangan dengan arus yang mengalir pada suatu saluran transmisi.

Jika torsi kerja sebanding dengan besarnya arus dan torsi *restraining* sebanding dengan tegangan, maka kedua torsi sama besar, sehingga rele dalam keadaan seimbang dan tidak kerja. Dalam kondisi torsi arus lebih besar dari torsi tegangan, maka rele akan bekerja. Prinsip tersebut dijelaskan pada gambar 2 berikut ini. V adalah tegangan dari sistem tenaga listrik. Titik R adalah lokasi rele, sedangkan I_R dan V_R adalah arus dan tegangan yang diukur dan dirasakan oleh rele. Impedansi Z_S dan Z_L digambarkan sebagai impedansi sumber dan impedansi saluran sesuai posisi mereka terhadap lokasi rele. Rasio impedansi sumber dengan impedansi saluran adalah $\frac{Z_S}{Z_L}$. Hal tersebut dinyatakan dalam rumus:

$$V_R = I_R \cdot Z_L \dots\dots\dots [1]$$

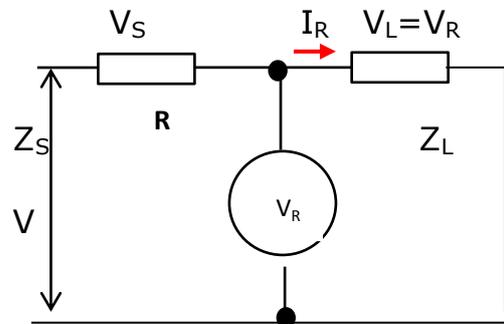
$$I_R = \frac{V}{Z_S + Z_L}, [A]$$

$$V_R = \frac{V}{Z_S + Z_L} Z_L$$

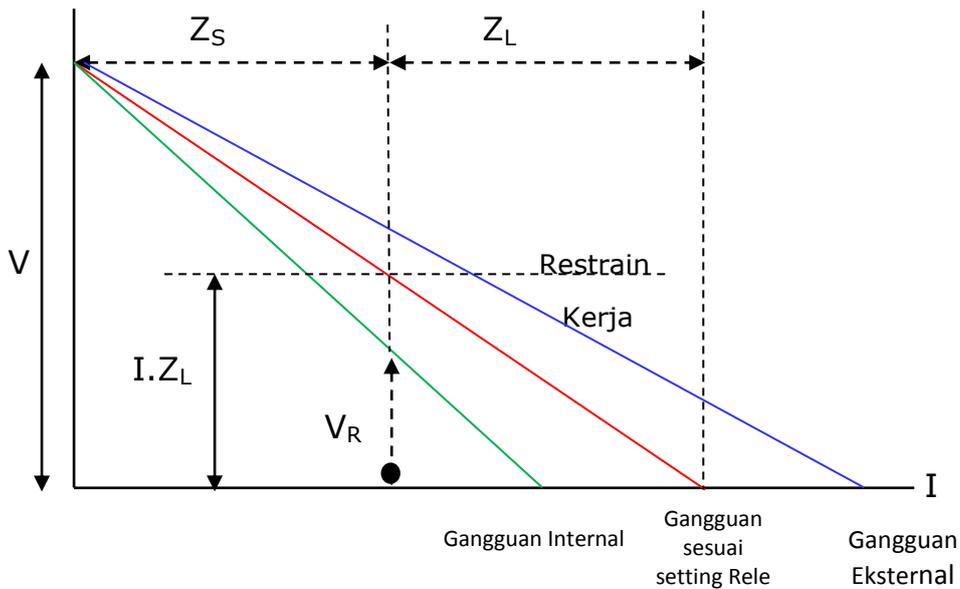
$$V_R = \frac{1}{\left(\frac{Z_S}{Z_L}\right) + 1} V \dots\dots\dots [2]$$

Variasi tegangan Rele terhadap rasio impedansi sumber dengan impedansi saluran (karakteristik kerja rele jarak) diperlihatkan pada gambar 3. Dari gambar 3 terdapat tiga lokasi gangguan yaitu:

- 1) Gangguan di luar daerah proteksi/ perlindungan,
- 2) gangguan dilokasi setting rele,
- dan 3) gangguan didalam daerah proteksi.



Gambar 2. Konfigurasi Impedansi sumber (Z_S) dan Impedansi saluran (Z_L)



Gambar 3. Variasi V_R terhadap rasio Z_S dengan Z_L , $\frac{Z_S}{Z_L} = 1$

$$V_R = \frac{1}{\left(\frac{Z_S}{Z_L}\right)+1} V_p - p \dots\dots\dots 3$$

V_{p-p} = Tegangan fasa ke fasa dari sumber, [Volt]

Untuk gangguan fasa – tanah, V adalah tegangan sumber fasa – netral, dan $\frac{Z_S}{Z_L}$ adalah rasio gabungan impedansi urutan positif dan urutan Nol. V_R adalah tegangan rele fasa-netral dan I_R adalah arus rele untuk fasa-fasa yang mengalami gangguan.

$$V_R = \frac{1}{\left(\frac{Z_S}{Z_L}\right)\left(\frac{2+p}{2+q}\right)+1} V_{L-N} \dots\dots\dots 4$$

$$Z_S = 2Z_{S1} + Z_{S0} = Z_{S1} (2 + p).$$

$$Z_L = 2Z_{L1} + Z_{L0} = Z_{L1} (2 + q).$$

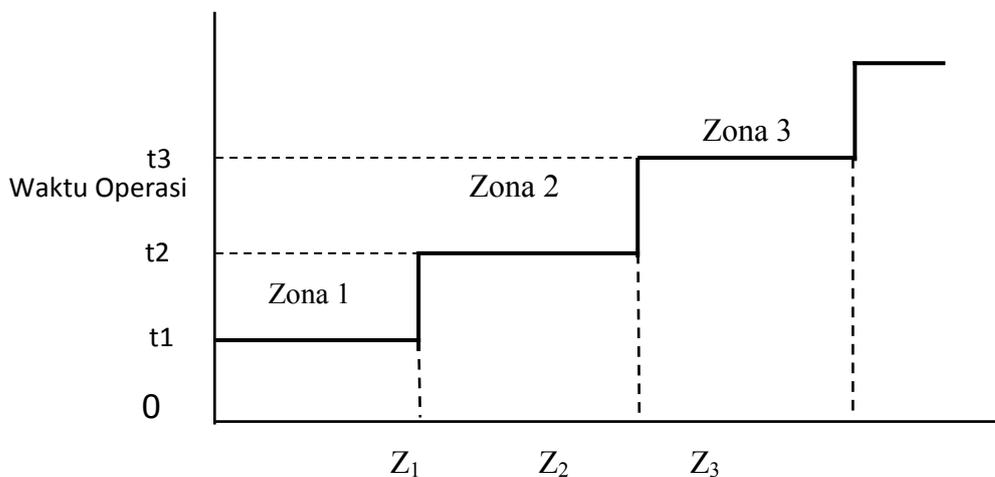
$$p = \frac{Z_{S0}}{Z_{S1}} \quad q = \frac{Z_{L0}}{Z_{L1}}$$

P= Rasio antara impedansi sumber urutan nol dengan impedansi sumber urutan positif. q= Rasio antara impedansi

saluran urutan nol dengan impedansi saluran urutan positif.

Dalam menggunakan rele jarak, selain penetapan Z_1 dan Z_0 saluran transmisi, juga sangat penting dilakukannya penetapan waktu kerja rele untuk berbagai wilayah (*Zone*) yang dilindunginya, agar rele satu dengan lainnya dapat bekerja berurutan sesuai *zone* yang dilindunginya. Hal tersebut diperjelas melalui gambar 4 berikut ini.

Pada gambar tersebut terdapat 3 wilayah perlindungan (*Zona proteksi*) yaitu zona 1, zona 2 dan zona 3. Zona 1 adalah daerah proteksi rele jarak yang paling penting dan kritis dibandingkan dengan Zona lain. Mengingat pentingnya maka akurasi dan pengukuran terhadap daerah proteksi Zona 1 sepanjang saluran harus dilakukan dengan tingkat ketelitian dan kecepatan yang tinggi, sehingga rele bekerja sesuai dengan fungsinya.



Gambar 4. Waktu Operasi Zona Proteksi

II.2. METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini adalah Penelitian dan Pengembangan. Data SUTET GI Suralaya-Balaraja–Gandul yang didapat oleh peneliti, kemudian diedit dan diolah menggunakan perangkat lunak bernama *Mathcad*, keluarannya berupa nilai impedansi. Impedansi tersebut diedit kembali kedalam program aplikasi yang bernama *Micom S1 Agile (MSIA)*, keluarannya berupa Impedansi yang nilainya dijadikan sebagai dasar untuk penetapan nilai parameter

impedansi yang digunakan. Setelah impedansi tersebut digunakan sebagai nilai penetapan kemudian dilakukan pengujian yaitu uji karakteristik dan uji fungsi. Berdasarkan hasil kedua pengujian itulah penetapan nilai parameter (Z_1 dan Z_0) saluran SUTET GI Suralaya-Balaraja, SUTET GI Balaraja-Gandul dan SUTET GI Gandul-Depok dinyatakan benar. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, observasi dan studi dokumentasi. Teknik analisis dilakukan dengan menggunakan kedua aplikasi

tersebut diatas. Untuk melakukan pembahasan dalam penelitian ini diperlukan data-data sebagai berikut:

- a. Spesifikasi saluran yang meliputi: jenis, ukuran, kemampuan, panjang, dan impedansi penghantar SUTET.

Hal tersebut dijelaskan dalam tabel 1 berikut:

TABEL 1
SPESIFIKASI SALURAN UDARA
TEGANGAN EKSTRA TINGGI (SUTET)

N O	SUTET	JENIS KONDU KTOR	L km	IMP (Z) (Ω /kms)
1	Suralaya - Balaraja	ACSR – DOVE 4 x 327,9 mm ² , 1980 A	62	$Z_1=0,0293$ $+j0,2815$ $Z_0=0,179+$ $j0,844$
2	Balaraja - Gandul	ACSR – DOVE 4 x 327,9 mm ² , 1980 A	50, 84	$Z_1=0,0293$ $+j0,2815$ $Z_0= 0,179+$ $j0,844$
3	Gandu l- Depok	ACSR – DOVE 4 x 327,9 mm ² , 1980A	5,9 23	$Z_1=0,0293$ $+j0,2815$ $Z_0= 0,179+$ $j0,844$

- B. Data tegangan Inter Bus di GITET Balaraja dan Suralaya. Hal tersebut ditunjukkan pada tabel 2 dan tabel 3 berikut ini:

TABEL 2 DATA INTERBUS
TRANSFORMER DI GITET BALARAJA

NO	BESARAN	RATING
1	Tegangan Operasi (kV)	500/150
2	Daya MVA	500
3	Impedansi Transformator (%)	14,19

TABEL 3: DATA PENGUKURAN GI
SURALAYA

No.	BESARAN	RASIO
1.	Transformator Arus (CT)	2000/1 Amper
2.	Transformator Tegangan(VT)	500.000/100 Volt

III. Proses Analisis Parameter Rele

Dalam penetapan nilai nilai parameter dari suatu rele jarak dilakukan hal-hal yang akan dijabarkan sebagai berikut:

III.1. Proses Penetapan Z_1 dan Z_0 Saluran Transmisi

Keluaran dari aplikasi mathcad ini belum merupakan hasil akhir, tetapi masih perlu diproses lebih lanjut menggunakan aplikasi *Micom SI Agile (MSIA)* sebagai suatu proses lanjutan. Data data yang telah disiapkan kemudian di inputkan ke aplikasi *Mathcad*. Untuk SUTET Suralaya-Balaraja didapat nilai Impedansi saluran Transmisi urutan positif (Z_1) dan urutan nol (Z_0) sebagaimana terlihat pada gambar 5 di bawah ini. Pada gambar 5 tersebut akan tampak Tampilan monitor hasil proses dengan bantuan *Mathcad* yang didasari rumus rumus terkait di gambar 5.

Dari perhitungan hasil menggunakan aplikasi *Mathcad* diatas didapat nilai Z_1 dari jaringan transmisi tersebut adalah $17.762 \Omega \angle 84,1^\circ$ dan $Z_0= 54,147\Omega \angle 78.065^\circ$, semua nilai diatas dalam besaran primer.

Melalui cara yang sama dengan memasukan data saluran SUTET Balaraja-Gandul, maka didapat $Z_1=14,389 \Omega \angle 84,1^\circ$ dan $Z_0=43,863 \Omega \angle 78.066^\circ$, semua nilai diatas dalam besaran primer. Begitu juga dengan cara yang sama dengan diatas Z_1 dan Z_0 saluran transmisi SUTET Gandul-Depok didapat $Z_1= 1,676\Omega \angle 84,084^\circ$ dan $Z_0= 5,11\Omega \angle 78.068^\circ$, semua nilai diatas dalam besaran primer.

III.2. Proses Penetapan Z dan Waktu Tunda Zona 1, Zona 2 dan Zona 3

Untuk penetapan parameter (Z) Zona 1 diambil 80% dari impedansi saluran transmisi Suralaya-Balaraja. Di ambil nilai 80% dari panjang jaringan transmisi untuk mengakomodir nilai kesalahan dari peralatan seperti current transformer error dan potensial transformer error serta pembacaan rele.

Berdasarkan aplikasi Mathcab Impedansi Zona 1 sebesar $5.684 \times 80\% = 4.547,2 \Omega$. Untuk impedansi Zona 2, meliputi Z saluran Suralaya-Balaraja, Z Balaraja-Gandul dan Z Trafo GI TET Balaraja. Besarnya impedansi tersebut adalah 23.419Ω atau pada nilai impedansi sisi sekundernya adalah 9.367Ω . Untuk impedansi Zona 3, meliputi Z jaringan transmisi Suralaya arah Balaraja, Z jaringan transmisi Balaraja arah Gandul, Z jaringan transmisi Gandul arah Depok dan Z interbus transformer di Gardu Induk Ekstra tinggi Balaraja. Berdasarkan perhitungan menggunakan aplikasi Mathcad didapat nilai $Z = 38.581 \Omega$ atau pada nilai Z sisi sekundernya adalah 15.432Ω .

Penetapan waktu tunda kerja suatu rele protekski zona, PLN menetapkan dari 0,4 sampai dengan 0,8 detik. Untuk rele pengaman zona 2, waktu tundanya ditetapkan 0,4 detik, karena nilai setting impedansi zone 1 di GI depannya lebih besar dari nilai impedansi jaringan transmisi Suralaya – Balaraja, Sedangkan untuk zone 3 waktu tundanya ditetapkan sebesar 1,6 detik.

III.3. Perhitungan Nilai Resistan.

Untuk menentukan pembatasan nilai jangkauan impedansi agar tidak masuk ke beban maka diperlukan perhitungan impedansi resistif, dengan data yang diperlukan adalah berupa kemampuan hantar nominal konduktor untuk dilalui arus, tegangan operasi dan rasio current transformer serta potensial transformer untuk menjadikan impedansi primer menjadi impedansi sekunder. Setting impedansi resistif juga dipakai untuk mendeteksi gangguan impedansi tinggi seperti pohon yang konstantanya di sepakati oleh PLN sebesar 20Ω .

Dari hasil perhitungan tersebut diatas akan didapat suatu nilai penyetelan resistive reach setting untuk:
 Impedansi zone 1 (Z1) sebesar 19.13 Ohm , Impedansi zone 2 (Z2) sebesar 21.26 ohm dan Impedansi zone 3 (Z3) sebesar $23,62 \text{ ohm}$ (nilai sekunder).

III.4. Perhitungan Residual Kompensasi.

Residual kompensasi dipakai untuk memperbesar jangkauan impedansi gangguan phase ke tanah dengan data setting yang dibutuhkan impedansi urutan nol dikurangi impedansi urutan positif dibagi 3. impedansi urutan positif secara fektor, Dengan perhitungan menggunakan aplikasi *mathcad* ditampilkan pada gambar 6, dimana gambar ini menampilkan perhitungan *Resistive Reach* menggunakan aplikasi *Mathcad*.

III.5. Data Parameter Yang Diperlukan Rele Jarak P443.

Rele jarak Alstom P443 adalah rele yang digunakan dalam penelitian. Setelah semuanya perhitungan selesai dihitung maka untuk mempermudah memasukan hasil perhitungan kedalam parameter yang dibutuhkan rele jarak merek Alstom P443, maka dibuatkan persamaan parameter dengan menggunakan aplikasi *Mathcad* sebagai berikut. Parameter yang dimaksud adalah impedansi zona 1, zona 2, dan zona 3. Untuk mempermudah memasukan data parameter hasil hitungan diperlukan aplikasi yang sudah disediakan oleh pabrikan.

Data-data yang dimasukan kedalam aplikasi *Micom SI Agile* secara berurutan:

- a. PMT atau *Circuit Breaker*,
- b. Tanggal dan waktu pengisian data,
- c. Konfigurasi rele yang digunakan.
- d. Perbandingan CT dan VT, *Record Control* dan *Distribution Recorder*,
- e. Pemilihan *Measure't Setup*,
- f. Pemilihan *Commission Tests, CB Monitor Setup, Opto Config, Ctrl I/P Labels*.

- g. Pengisian Parameter Group 1.
- h. *Group 1 Line Parameters*, 2) *Group 1 Distance Setup*. 3) *Group 1 Dist. Elemen*. 4) *Group 1 Directional FN*. 5) *Group 1 Scheme Logic*. 6) *Group 1 Earth Fault*.

Adapun hasil uji fungsi autoreclose ditampilkan dalam lembar lampiran-1.

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan tersebut diatas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan perhitungan dengan bantuan menggunakan perangkat lunak aplikasi *Mathcad*, ditetapkan nilai parameter rele jarak sebagai berikut:

a. Untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi Suralaya – Balaraja :

1) Impedansi Mutlak Urutan Positif

$$(Z1) = 17,762 \Omega \angle 84,1^\circ$$

2) Impedansi Mutlak Urutan Nol

$$(Z0) = 54,147 \Omega \angle 78,065^\circ$$

b. Untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi Balaraja – Gandul :

1) Impedansi Mutlak Urutan Positif

$$(Z1) = 14,389 \Omega \angle 84,1^\circ$$

2) Impedansi Mutlak Urutan Nol

$$(Z0) = 43,863 \Omega \angle 78,066^\circ$$

c. Untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi Gandul - Depok :

1) Impedansi Mutlak Urutan Positif

$$(Z1) = 1,676 \Omega \angle 84,084^\circ$$

2) Impedansi Mutlak Urutan Nol

$$(Z0) = 5,11 \Omega \angle 78,068^\circ$$

2. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik menggunakan alat pengujian impedansi, jangkaun kerja dan waktu operasi rele, dapat disimpulkan bahwa rele jarak dapat bekerja dengan baik, sesuai dengan persyaratan proteksi, Impedance error tertinggi sebesar 0,375 %, pada Fasa R-N Zone 1, Fasa R-S Zone 1 dan Fasa R-T untuk semua Zone. Sedangkan dari waktu kerja rele jarak waktu terlama sebesar 1.623,2 ms terjadi pada Fasa T-N pada Zone 3. Sedangkan dari urutan waktu kerja rele sudah benar yaitu yaitu Zone1 < Zone 2, dan Zone2 < Zone 3.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, M. (2004). *Practical Power System Protection*. Peth Australia: IDC Technologies.
2. Titarenko, M. I. And Noskov-Dukelsky. (1969). *Protective Relaying In Electric Power*. Moscow: Peace Publishers.
3. Madhava Rao, T,S (2008). *Power System Protection Static Relays*. New Delhi : Tata, McGraw-Hill Publishing Company Limited.
4. Panjaitan, B. (2012) *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogya: Andi
5. Pusklat PLN, Modul Diklat (2013). *Pemeliharaan Proteksi SUTT*, Jakarta.
6. P3BJB PLN (2013). *Pedoman Dan Petunjuk Sistem Proteksi Trasmisi Dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta.
7. Pusklat PLN (2013). *Perhitungan Setting Proteksi Penghantar Tegangan Tinggi* Jakarta: PLN Press.
8. T PLN (persero). (2009). *Petunjuk Batasan Operasi Dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik - Trafo Arus*. Jakarta: PLN Press.
9. PT PLN (Persero). (2009). *Petunjuk Batasan Operasi Dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik-Trafo Tegangan*, Jakarta: PLN Press.
10. PT.PLN (persero), (2009). *Petunjuk Batasan Operasi Dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik AC/DC Suply*. Jakarta: PLN Press.
11. Pusklat PT PLN (Persero). (2009) *Pembacaan Gambar Wiring Diagram*”, Jakarta: PLN Press.
12. Areva Ltd. (2009) *Manual Book Relay Areva Micomho P443 And P445 Distance Relay*. Italy: Areva Press.

Lampiran-1:

SURALAYA - BALARAJA

KETETAPAN $j := \sqrt{-1}$ $kt := \frac{180}{3.14}$ +

Jenis penghantar **DOVE 4x327.9 mm², CCC = 1980 A** $L1 := 62.759$ km

$R11 := 0.0293$ $X11 := 0.2815$ Ω /km $CCC1 := 1980$

$RL10 := 0.179$ $XL10 := 0.844$ $Vn := 500000$

∞

Imp. urutan positif

$RL11 := R11 \cdot L1$ $XL11 := X11 \cdot L1$ Ω

$ZL11 := (RL11 + j \cdot XL11)$ $ZL11 = 1.839 + 17.667i$ Ω

$R1 := 1.839$ $X1 := 17.667$

$ZL11 := \sqrt{R1^2 + X1^2}$ $|ZL11| = 17.762$ Ω

$\theta_{ph1} := \text{atan}\left(\frac{X1}{R1}\right) \cdot kt$ $\theta_{ph1} = 84.1$ deg

Imp. urutan nol

$RL10 := 0.179$ $XL10 := 0.844$ Ω /km

$ZL10 := (RL10 + j \cdot XL10) \cdot L1$ $ZL10 = 11.234 + 52.969i$

$R10 := 11.234$ $X10 := 52.969$

$ZL10 := \sqrt{R10^2 + X10^2}$ $|ZL10| = 54.147$ Ω

$\theta_{ph10} := \text{atan}\left(\frac{X10}{R10}\right) \cdot kt$ $\theta_{ph10} = 78.065$ deg

Gambar 5. Tampilan *Mathcad* Perhitungan Impedansi Suralaya-Balaraja.

RESISTIVE REACH CALCULATION

Tegangan operasi $Vn = 5 \times 10^5$ Volt +

Impedance

$CCC1 = 1.98 \times 10^3$

a. Load impedance $Zld = \frac{\sqrt{3}}{CCC1} \cdot Vn$ $Zld = 58.318$ Ω (secondary)

Minimum and Maximum Resistive Reach

$Zloadmin = Zld \cdot 0.5$ $Zloadmin = 29.159$ Ω sekunder

$Z1safety := 0.45 \cdot Zld$ $Z1safety = 26.243$ Ω (sekunder)

Resistive reach max : $Rgmax := Z1safety$ $Rgmax = 26.243$ Ω sekunder

Resistive reach min : $Rgmin := 20 \cdot n1$ $Rgmin = 8$ Ω sekunder

A.1.3.2. Resistive Reach Setting for

a. Zone 3 $R3g := Rgmax \cdot 0.9$ $R3g = 23.62$ Ω sekunder

b. Zone 2 $R2g := 0.9 \cdot R3g$ $R2g = 21.26$ Ω sekunder

c. Zone 1 $R1g := 0.9 \cdot R2g$ $R1g = 19.13$ Ω sekunder

Gambar 6. Perhitungan Resistive Reach Dengan Aplikasi *Mathcad*.

Compensation

a. Residual Compensation

$$kZN = \frac{ZL10 - ZL11}{3 \cdot ZL11} \quad kZN = 0.683 \quad |kZN| = 0.683$$

KN range 0.25 - 4, step 0.01 choose $kZN = 0.69$

b. Residual Compensation Angle

$$\theta kZN = \arg\left(\frac{ZL10 - ZL11}{3 \cdot ZL11}\right) \cdot k^{-1} \quad \theta kZN = 0 \quad \text{deg}$$

θkN range $-45^\circ - 45^\circ$ step 1° choose $\theta kZN = -9$ deg

Gambar 7. Perhitungan Residual Kompensasi Dengan Aplikasi *Mathcad*.

kZN = Nilai residual kompensasi, [Ω], θkZN = Sudut residual kompensasi.

PT. PLN (PERSERO) PSB JB
AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN
CILEGON

PENGUJIAN RELE JARAK MEREK MICOM TYPE P443 (LPA)
NO. SERI : 2749355/08/07

LOKASI : GITET SURALAYA PROTEKSI : 500 KV BALARAJA 1
RATIO CT : 2000/1 A ALAT UJI : DOBLE / F650
RATIO PT : 600 / 0.1 KV TANGGAL : 29 DESEMBER 2013

5,68 Ω	R1Ph	12,19 Ω	R1G	19,13 Ω	T1	INST	s	KZ1	0,69	Ko1Ang	-9 °
9,37 Ω	R2Ph	15,24 Ω	R2G	21,6 Ω	T2	0,4	s	KZ2	0,69	Ko2Ang	-9 °
- Ω	RPPh	- Ω	RPG	- Ω	TP	-	s	KZP	-	KZPAng	- °
15,43 Ω	R3Ph	19,05 Ω	R3G	23,62 Ω	T3	1,6	s	KZ3	0,69	Ko3Ang	-9 °
- Ω					T4	-	s	KZ4	-	Ko4Ang	- °

Line Ang 84 deg

PENGUJIAN JANGKAUAN KERJA DAN OPERATION TIME

Phase	R-N	Nominal (Ω)	Z (Ω)	Φ (°)	Err. abs.	Err %	t (ms)	OK/Fail
Phase	1	5,68	5,701	84°	0,021	0,375	34,8	OK
	2	9,37	9,379	84°	0,009	0,094	415,3	OK
	3	15,43	15,444	84°	0,014	0,094	1622,8	OK
Phase	1	5,68	5,685	84°	0,005	0,094	33	OK
	2	9,37	9,379	84°	0,009	0,094	424,5	OK
	3	15,43	15,425	84°	0,014	0,094	1618,4	OK
Phase	1	5,68	5,685	84°	0,005	0,094	33	OK
	2	9,37	9,379	84°	0,009	0,094	425,2	OK
	3	15,43	15,471	84°	0,014	0,094	1622,2	OK
Phase	1	5,68	5,701	84°	0,021	0,375	33,8	OK
	2	9,37	9,405	84°	0,035	0,375	415,3	OK
	3	15,43	15,488	84°	0,058	0,375	1623,2	OK
Phase	1	5,68	5,685	84°	0,021	0,375	33,7	OK
	2	9,37	9,379	84°	0,035	0,375	422	OK
	3	15,43	15,488	84°	0,058	0,375	1616,3	OK

Disiapkan oleh BG SURALAYA

MASRUDIN GUNAWAN
MUBAND
MUSLIM ISLAKHUDIN

Supervisor
HARPRO BG SURALAYA
(YENI DWI ARIYANTO)

Gambar 8. Lembar hasil uji Karakteristik