

Analisis Relai Jarak Sebagai Proteksi Pada Jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Randu Garut – Weleri

Lutfi Andreansyah¹, Gunawan², Budi Sukoco³

^{1,2,3} Universitas Islam Sultan Agung Semarang

^{1,2,3} Jl. Raya Kaligawe.4 Semarang

¹lutfiandreansyah67@gmail.com

Abstrak – Energi listrik merupakan energi penunjang bagi seluruh sarana yang dibutuhkan untuk kegiatan manusia. Saluran transmisi digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit agar bisa digunakan oleh konsumen, maka pengaman dalam saluran transmisi harus diperhatikan dalam perencanaannya. Sistem transmisi tenaga listrik terdapat suatu alat proteksi pada suatu jaringan transmisi tersebut, yaitu relai jarak (*distance relay*) yang digunakan sebagai pengaman. Prinsip kerja relai jarak yaitu dengan mengukur impedansi pada saluran transmisi yang dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu zone 1, zone 2, zone 3. Metode yang digunakan untuk menentukan pengaturan relai jarak pada sistem jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI Randu Garut – GI Weleri yaitu dengan mencari data parameter penghantar dan transformator. Perhitungan nilai setting relai diterapkan pada rangkaian dan di analisis, apakah dapat bekerja dengan baik dan tepat. Hasil perhitungan impedansi jangkauan sesuai data kabel penghantar didapatkan sebagai berikut : zone 1 : $(1.1 + j 3.3687) \Omega$, zone 2 : $(3.0247 + j 8,942) \Omega$, zone 3 : $(5.259 + j 15.499) \Omega$.

Kata kunci: Impedansi, saluran transmisi, relai jarak

Abstract – Electrical energy is supporting energy for all facilities needed for human activities. The transmission line is used to channel electrical energy from the plant so that it can be used by consumers, so the safety in the transmission line must be considered in its planning. Electric power transmission system there is a protection device on a transmission network, namely distance relay which is used as a security. The principle of distance relay works by measuring the impedance of the transmission line which is divided into several coverage areas, namely zone 1, zone 2, zone 3. The method used to determine the distance relay settings in the 150 kV substation High Voltage Garut Randu network system - substation Weleri that is by looking for conduit and transformer parameter data. The calculation of the relay setting values is applied to the circuit and analyzed, whether it can work properly and precisely. The calculation results of the range impedance according to the conductor cable data are as follows: zone 1: $(1.1 + j 3.3687) \Omega$, zone 2: $(3.0247 + j 8,942) \Omega$, zone 3: $(5.259 + j 15,499) \Omega$.

Key words: Impedance, transmission line, distance relay

I. PENDAHULUAN

Saluran udara tegangan tinggi merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik berperan sangat penting dalam menjaga kualitas dan keandalan untuk menyalurkan listrik berkapasitas sangat besar. Saluran udara tegangan tinggi berfungsi untuk menyalurkan listrik dari pembangkit ke gardu induk atau di gunakan untuk menghubungkan gardu induk satu ke gardu induk yang lain. Dalam penyaluran tenaga listrik sering mengalami gangguan dari dalam maupun luar. Gangguan tersebut bisa beban lebih, sambaran petir, badai, hubung singkat dan lainnya. Gangguan tersebut bisa menyebabkan terjadinya gangguan kelangsungan operasi maupun kerusakan peralatan pada system transmisi tenaga listrik. Sehingga dalam meminimalisir kerusakan peralatan dan kerugian yang ditimbulkan oleh gangguan, maka perlukan adanya sistem proteksi.

Pada umumnya relai yang di gunakan untuk mengamankan saluran transmisi tersebut yaitu relai jarak yang berfungsi sebagai proteksi utama pada saluran transmisi. Relai jarak dapat di gunakan untuk menentukan letak lokasi gangguan dengan menggunakan perhitungan – perhitungan yang dipengaruhi nantinya oleh nilai impedansi pada saluran itu, dengan melakukan perhitungan ini kita bisa menentukan dimana lokasi gangguan. Sehingga relai jarak yang terpasang dapat terjamin keandalannya.

Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 Kv yang menghubungkan antara gardu induk (GI) Randu Garut sampai gardu induk (GI) Weleri memiliki panjang saluran 32,811 KM. Dengan jarak yang cukup jauh tersebut, kemungkinan akan mengalami arus gangguan dan tegangan gangguan 1 fasa, 2 fasa dan 3 fasa ke tanah pada gardu induk Randu Garut – Weleri 150 KV. Relai jarak memiliki 3 daerah pengamanan (zona) proteksi yang tujuannya adalah apabila terjadi

gangguan pada saluran transmisi dan salah satu zona proteksinya (misal zona 1) gagal maka zona yang berikutnya akan membackup gangguan tersebut. Penelitian Tugas Akhir ini penulis akan menghitung arus gangguan dan tegangan gangguan 1 fasa, 2 fasa dan 3 fasa ke tanah, serta mengetahui jarak gangguan dari relai berdasarkan impedansi gangguan yang telah disetting pada gardu induk Randu Garut – Weluri 150 KV.

A. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah:

1. Belum di ketahui cara menentukan arus gangguan dan tegangan gangguan 1 fasa, 2 fasa dan 3 fasa ke tanah pada gardu induk Randu Garut – Weluri 150 kV.
2. Cara mengetahui jarak gangguan dari relai berdasarkan impedansi gangguan yang telah disetting pada gardu induk Randu Garut – weluri 150 kV.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung arus gangguan dan tegangan gangguan 1 fasa, 2 fasa dan 3 fasa ke tanah pada gardu induk Randu Garut – Weluri 150 Kv.
2. Mengetahui jarak gangguan dari relai berdasarkan impedansi gangguan yang telah disetting pada gardu induk Randu Garut – Weluri 150 Kv.

C. Pembatasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan, dalam Tugas Akhir ini dibatasi oleh asumsi sebagai berikut :

1. Penelitian tidak membahas mengetahui perhitungan settingan waktu relai pada gardu induk Randu Garut – Weluri 150 kV.
2. Penelitian dilakukan di sistem saluran tegangan tinggi 150 kv gardu induk Randu Garut - Weluri.
3. Tidak membahas OCR dan GFR.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Relai Proteksi

Relai merupakan suatu alat yang apabila diberikan energi oleh besaran sistem yang tepat maka dapat mengetahui informasi suatu keadaan dalam kondisi tidak normal. Jika kontak relai tertutup, pada rangkaian akan PMT akan trip yang mendapatkan suatu energi maka kontak *breaker* akan membuka, dan mengisolasi sebagian yang terkena gangguan dari sistem.

B. Relai Jarak

Pada sistem proteksi saluran udara tegangan tinggi, relai jarak digunakan sebagai pengaman utama sekaligus sebagai pengaman cadangan untuk saluran transmisi yang berdekatan jaraknya. Karena berdasarkan bahwa impedansi saluran transmisi berbanding lurus dengan jaraknya sehingga sangat memungkinkan dilakukan pengukuran impedansi berdasarkan panjang saluran. Untuk prinsip dasar dari relai jarak adalah berdasarkan rasio perbandingan antara tegangan dan arus gangguan yang terukur pada lokasi relai terpasang (*apparent impedance*). Guna menentukan apakah gangguan yang terjadi berada dalam atau di luar zona yang diproteksi. Relai jarak hanya bekerja untuk gangguan yang terjadi antara lokasi relai dan batas jangkauan (*reach setting*) yang telah di tentukan sebelumnya. Relai jarak juga dapat bekerja untuk mendeteksi gangguan antara fasa (*phase fault*) maupun gangguan ke tanah (*ground fault*).

C. Prinsip Kerja Relai Jarak

Relai jarak akan bekerja mengukur tegangan dan arus gangguan yang terlihat pada relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus. Maka dengan itu nilai impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (1)$$

Relai jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting, dengan ketentuan : bila impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai ($Z_f < Z_R$) maka relai akan bekerja, dan bila impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting relai ($Z_f > Z_R$) maka relai tidak akan bekerja.

D. Pengaturan Relai Jarak

Setelan relai jarak didasarkan pada *zone* dari saluran udara tegangan tinggi yang akan terproteksi. Dalam *zone* ini digambarkan berapa panjang saluran yang akan terproteksi relai jarak. Umumnya, *zone* proteksi relai jarak dibagi menjadi tiga *zone* sebagai berikut:

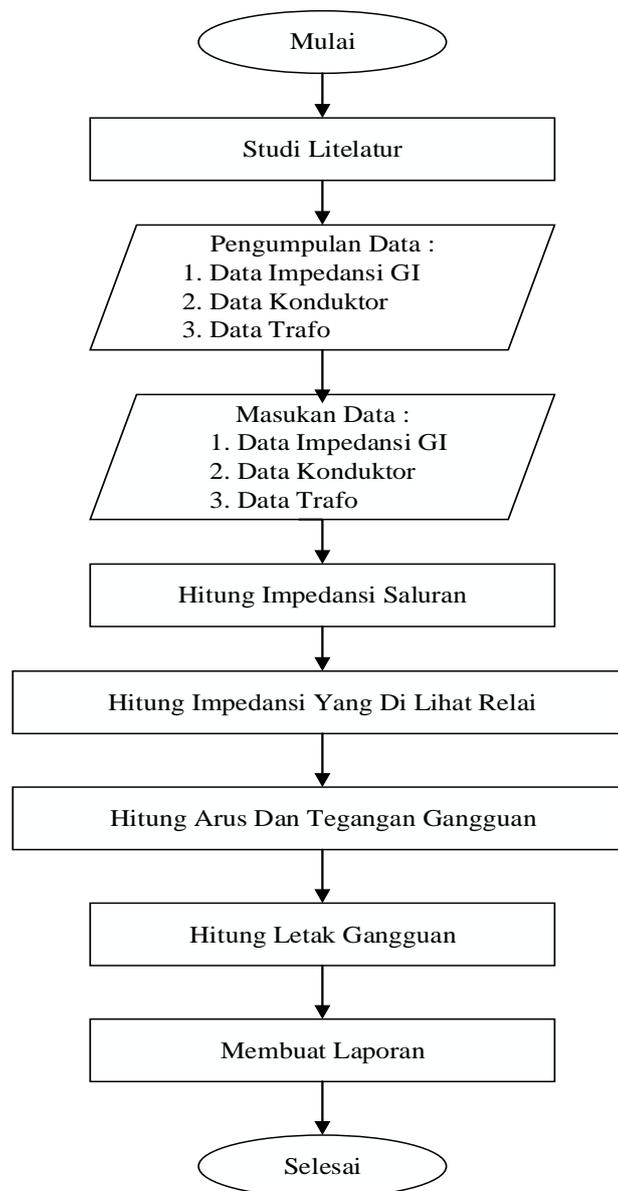
- *Zone 1* : pengaman saluran udara tegangan tinggi yang di proteksi, untuk pengaturan yaitu 80-85% impedansi jaringan transmisi yang terproteksi.
- *Zone 2* : pengaman saluran transmisi yang terproteksi serta saluran di sampingnya, untuk pengaturan yaitu 115-120% impedansi jaringan transmisi yang terproteksi.

- *Zone 3* : mengamankan saluran transmisi disampingnya dan untuk pengaturannya yaitu jaringan yang terproteksi di tambah 115-120% dari jaringan di sampingnya.

Ada hal yang perlu dilakukan koordinasi pada pengaturan relai jarak sebagai berikut:

- Mengkoordinasikan antar relai satu dengan relai lainnya pada satu saluran yang telah dilakukan pengamanan. Sehingga relai pada salah satu saluran yang telah diamankan akan kerja dengan seketika, sehingga relai pada yang lain akan kerja dengan seketika pada waktu itu juga.
- Koordinasi antar relai dengan relai seksi selanjutnya, jadi tidak akan tumpang tindih (*overlapping*) dengan pengamanan seksi selanjutnya atau yang bukan pada zona pengamanannya.

III. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Impedansi Saluran

Nilai impedansi Gardu Induk Randu Garut – Kaliwungu

$$Z_{L1} = \text{panjang saluran} \times Z_{\text{saluran}} / \text{km} \quad (2)$$

$$Z_{L1} = 10.861 \times (0.1266 + j 0.3877)$$

$$Z_{L1} = 1.3750 + j 4.2109 \Omega$$

Nilai impedansi Gardu Induk Kaliwungu – weleri

$$Z_{L2} = \text{panjang saluran} \times Z_{\text{saluran}} / \text{km} \quad (3)$$

$$Z_{L2} = 21.95 \times (0.137 + j 0.3966)$$

$$Z_{L2} = 3.0072 + j 8.7054 \Omega$$

Perhitungan nilai impedansi masing- masing zone berdasarkan persamaan diatas adalah

$$\text{Zone 1} = 0.8 \cdot Z_{L1} \quad (4)$$

$$\text{Zone 1} = 0.8 \times (1.3750 + j 4.2109)$$

$$\text{Zone 1} = (1.1 + j 3.3687) \text{ ohm}$$

Dengan jangkauan $0.8 \times 10.861 = 8.6888 \text{ km}$

Zone 1 bekerja secara instan

T1= 0 detik.

$$\text{Zone 2 Max} = 0.8 (Z_{L1} + 0.8 Z_{L2}) \quad (5)$$

$$\text{Zone 2 Max} = 0.8 \times ((1.3750 + j 4.2109) + (0.8 \times (3.0072 + j 8.7054)))$$

$$\text{Zone 2 Max} = (3.0247 + j 8,942) \text{ ohm}$$

Pada jangkauan $0.8 \times (10.861 + (0.8 \times 21.95)) = 22.7368 \text{ KM}$

T2= 0.8 detik.

$$\text{Zone 3 Max} = 1.2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (6)$$

$$\text{Zone 3 Max} = 1.2 \times ((1.3750 + j 4.2109) + (3.0072 + j 8.7054))$$

$$\text{Zone 3 Max} = (5.259 + j 15.499) \text{ ohm}$$

Pada jangkauan $1.2 \times (10.861 + 21.95) = 39.3732 \text{ KM}$

Zone 3 akan kerja pada waktu paling lama dibandingkan zone 1 serta zone 2.

T 3 = 1.2 detlk.

B. Impedansi Yang Di Lihat Relai

$$Z_{\text{relai}} = \frac{PT}{CT} \times Z_{\text{zona}} \quad (7)$$

$$\text{Rasio PT} = 1500 : 1$$

$$\text{Rasio CT} = 600 : 1$$

$$n = \frac{1/1500}{1/600} = 0.399$$

Zone 1

$$Z_1 \text{ sekunder} = n \times \text{Impedansi zone 1} \quad (8)$$

$$Z_1 \text{ sekunder} = 0.399 \times (1.1 + j 3.3687)$$

$$Z_1 \text{ sekunder} = 0.4389 + j 1.3442 \Omega$$

Zone 2

$$Z_2 \text{ sekunder} = n \times \text{Impedansi zone 2} \tag{9}$$

$$Z_2 \text{ sekunder} = 0.399 \times (5.259 + j 15.499)$$

$$Z_2 \text{ sekunder} = 1.2059 + j 3.5679 \Omega$$

Zone 3

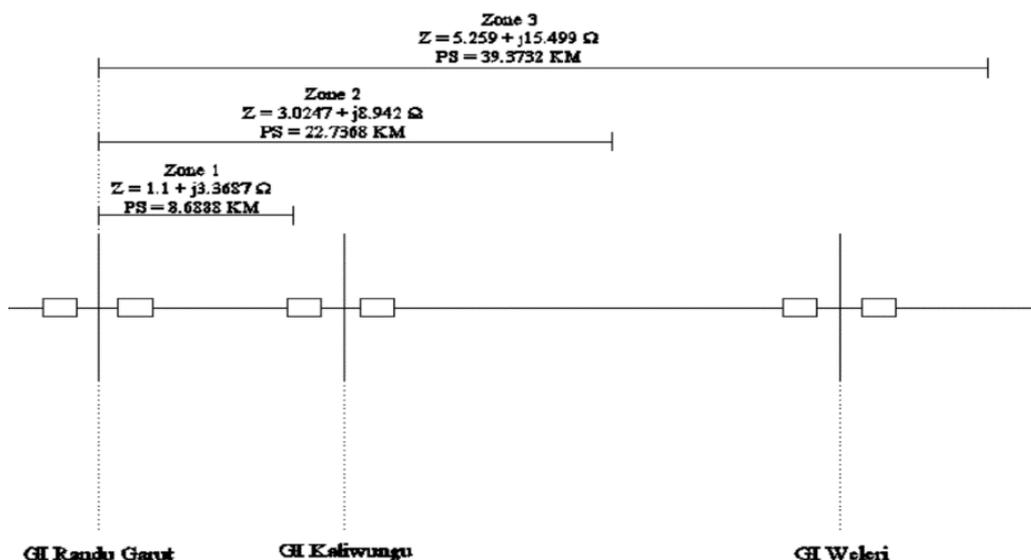
$$Z_3 \text{ sekunder} = n \times \text{Impedansi zone 3} \tag{10}$$

$$Z_3 \text{ sekunder} = 0.399 \times (5.259 + j 15.499)$$

$$Z_3 \text{ sekunder} = 2.0983 + j 6.1841 \Omega$$

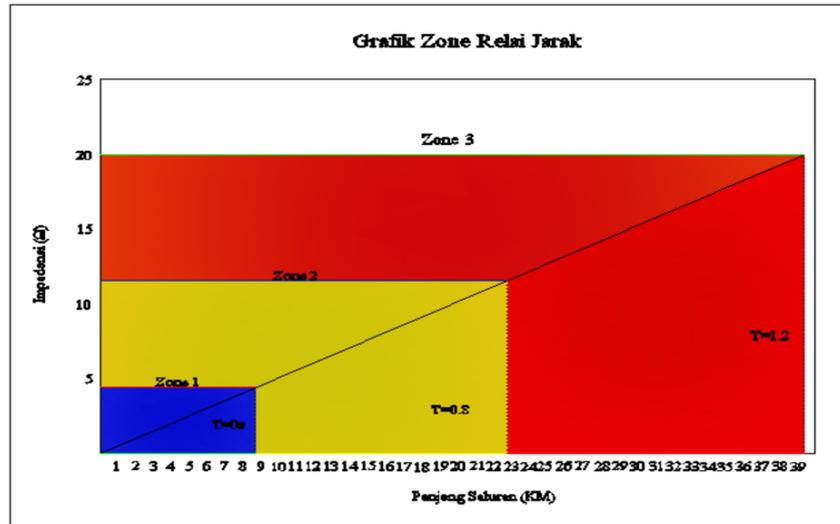
C. Blok dan Grafik Relai Jarak

Untuk gambar 4.1 di bawah ini adalah blok dari relai jarak yang dibuat dengan tujuan agar dapat mengetahui jangkauan relai jarak serta nilai impedansi saluran transmisi pada tiap *zone* relai jarak tersebut. Pada Penelitian tidak melakukan simulasi menggunakan *software power system*, maka dengan membuat blok relai jarak ini bisa menjadikan sebagai gambaran wilayah kerja relai jarak yang bisa dilakukan oleh relai jarak untuk melakukan proteksi dari gangguan yang mungkin bisa terjadi untuk saluran udara tegangan tinggi (SUTT) Gardu induk Randu Garut - Weleri.



Gambar 2. Blok Jangkauan Relai Jarak

Gambar 4.2 di bawah ini adalah grafik dari 3 zone relai jarak yang bertujuan untuk membaca pada data nilai impedansi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) gardu induk (GI) Randu Garut – Weleri, serta jarak jangkauan dari tiap *zone* relai jarak yang sudah diketahui sebelumnya dari data tiap nilai impedansi yang sudah dilakukan perhitungan. Grafik *zone* relai jarak bisa mengetahui langsung kerja dari relai jarak, pada saat salah 1 *zone* tidak dapat melakukan pengamanan saluran transmisi yang diproteksi berdasarkan pada waktu tunda yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3. Grafik Zona Relai Jarak

Pada grafik *zone* relai jarak bisa mengetahui bahwa Jangkauan dari kerja relai *zone* 1 yang blok dengan warna biru akan bekerja secara instan atau tanpa waktu tunda lagi. Apabila ada gangguan namun *zone* 1 tidak dapat mengamankan gangguan itu, maka *zone* 2 yang mempunyai waktu tunda (*time delayed*) 0,8 detik akan kerja langsung, serta memback up pengaman *zone* 1 dan *zone* 3 untuk cadangan *zone* 2. Jika gagal mengamankan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) yang memiliki waktu tunda 1.2 detik. Untuk *zone* 2 serta *zone* 3 akan mulai bekerja secara instan, apabila terjadi gangguan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) yang merupakan jangkauan wilayah dari *zone* itu.

D. Arus dan Tegangan Gangguan

1. Gangguan 1 fasa ke tanah :

Arus

$$I_f = 3 \times \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (11)$$

$$I_f = 3 \times \frac{150000/\sqrt{3}}{(0.016 + j0.067) + (0.015 + j0.062) + (0.036 + 0.123) + (3 \times 15)}$$

$$I_f = 3 \times \frac{86602.54}{(45.067 + j 0.252)}$$

$$I_f = 5.764 - j32,234 \text{ A}$$

$$I_f = 5.764 \text{ Ampere}$$

Tegangan

$$V_f = I_f \times Z_1$$

$$V_f = (5.764) \times (0.016 + J 0.067)$$

$$V_f = 0,092 + j0,386 \text{ V}$$

$$V_f = 92,22 \text{ Volt}$$

2. Gangguan 2 Fasa

Arus

$$I_f = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (12)$$

$$I_f = \frac{150000/\sqrt{3}}{(0.016 + j0.067) + (0.015 + j0.062) + 15}$$

$$I_f = \frac{86602.54}{(15.031 + j 0.129)}$$

$$I_f = 5.761,17 - J43,64$$

$$I_f = 5.761,17 \text{ Ampere}$$

Tegangan

$$V_f = I_f \times Z_1$$

$$V_f = (5.761,17) \times (0.016 + J 0.067)$$

$$V_f = 92,18 + J385,9$$

$$V_f = 92,18 \text{ Volt}$$

3. Gangguan tiga Fasa

Arus

$$I_f = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1} \quad (13)$$

$$I_f = \frac{150000/\sqrt{3}}{(0.016 + j0.067)}$$

$$I_f = \frac{86602.54}{(0.016 + j0.067)}$$

$$I_f = 1.385,64 - j823,147 \text{ A}$$

$$I_f = 1.385,64 \text{ Ampere}$$

Tegangan

$$V_f = I_f \times Z_1$$

$$V_f = (1.385,64) \times (0.016 + j0.067)$$

$$V_f = 22,17 + j92,83 \text{ V}$$

$$V_f = 22,17 \text{ Volt}$$

E. Letak Gangguan

Relai jarak akan mengamankan zona tertentu dari gangguan berdasarkan besar jarak gangguan dari tempat relai berada.

Tabel 1. Jarak gangguan relai jarak 1 Ω sampai 15 Ω

Impedansi Gangguan	Jarak Gangguan
1 Ω	1.902 km
2 Ω	2.837 km
3 Ω	5.707 km
4 Ω	7.610 km
5 Ω	9.513 km
6 Ω	11.415 km
7 Ω	13.318 km
8 Ω	14.548 km
9 Ω	17.123 km
10 Ω	19.026 km
11 Ω	20.929 km
12 Ω	22.831 km
13 Ω	24.734 km
14 Ω	26.637 km
15 Ω	28.539 km

V. SIMPULAN

Pada penelitian relai jarak saluran udara tegangan tinggi (SUTT) Gardu Induk (GI) Randu Garut – Gardu Induk (GI) Weleri didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Relai perhitungan arus dan tegangan gangguan untuk impedansi terbesar yaitu 15 ohm diperoleh gangguan sebagai berikut:
 - 1 fasa ke tanah diperoleh arus gangguan I_f 5.764 A dan tegangan gangguan V_f 92,22 V.
 - 2 fasa diperoleh arus gangguan I_f 5.761,17 A dan tegangan gangguan V_f 92,18 V.
 - 3 fasa diperoleh arus gangguan I_f 1.385,64 A dan tegangan gangguan $V_f = 22,17$ V.
- Nilai Jarak gangguan dari relai berdasarkan impedansi gangguan yang telah di *setting* adalah berikut :
 - Pada impedansi 5 ohm diperoleh jarak gangguan 9.513 Km.
 - Pada impedansi 10 ohm diperoleh jarak gangguan 19.026 Km.
 - Pada impedansi 15 ohm diperoleh jarak gangguan 28.539 Km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak - pihak yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir sebagai berikut :

1. Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya dari memulai sampai menyelesaikan laporan dapat diperlancar.
2. Nabi Muhammad SAW, karena syafaatnya penulis mampu mengerjakan laporan tugas akhir ini.
3. Kedua orangtua, yang selalu memberi dukungan dan memberi kebutuhan selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Kakak, atas segala doa dan dukungannya.
5. Gunawan, ST, MT dan Ir. Budi Sukoco, MT Sebagai dosen pembimbing yang sudah memberi ilmu, semangat, dan saran hingga berakhirnya tugas akhir ini.
6. Dosen teknik elektro yang telah ikut membantu dalam memberi saran.
7. Teman – Teman seperjuangan Elektro'12 Hady, Shady, Zayid, Uni, ali, Agil, Iza, Niqo, Jack arab syarif, Rifal, Gandhi, Danis, Wahyu suneo yang membantu dalam berdiskusi dan sharing masalah ilmu elektro.
8. Femi Nur Apriliani yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] bandri, s. (2016). Studi Settingan Distance Relay Pada Saluran Transmisi 150 KV Di GI Payakumbuh Menggunakan Software Matlab. Padang: FTI, Institut Teknologi Padang.
- [2] catur, p. a. (2014). Scanning Setting Rele Jarak (Distance Relay) Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Gardu Induk Drajat-Garut-Tasik-Tasik Baru. Semarang: fakultas teknik, universitas diponegoro.
- [3] Cekdin, c., & Barlian, t. (2013). Transmisi Daya Listrik. Yogyakarta: ANDI.
- [4] Mardensyah, A. (2008). Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama - Pulomas. Depok: Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- [5] Marsudi, D. (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Naek Halomoan Tobing, C. (2008). Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi. Depok: Departemen Elektro, Universitas Indonesia.
- [7] Sanusi, Muhammad. (2017). Analisa Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Gardu Induk Rembang Baru ke Gardu Induk Pati. Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [8] Candra Ainul Kharim, M. (2017). Analisis Koordinasi Zona Proteksi Sebagai Pengaman Saluran Transmisi Menggunakan Relai Jarak Antara Gardu Induk 150 KV Pandean Lamper - Sronol - Krapyak. Semarang: Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
- [9] Rahmanto, Arief. (2017). Analisa Akurasi Pengukuran Resistansi, Kapasitansi Serta Impedansi Dengan Metode Bridge Feedback Tk2941a Di Laboratorium Listrik Dan Otomasi Sistem Perkapalan. Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [10] Ariyanto, Andri. (2016). Studi Pengaruh Tensile Stress Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar. Jember: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.