

## Analisa Relay Jarak Pada Saluran Transmisi 150 Kv Pada Gardu Induk Sekarputih Ke Gardu Induk Balongbendo

Trisna Wati\*, Wahyu Setyo Pambudi, Titiek Suheta, Ridho Gustianto Singgih Warsono  
Fakultas Teknik Elektro dan Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: <sup>1,\*</sup>trisnaw@itats.ac.id, <sup>2</sup>wahyusp@itats.ac.id, <sup>3</sup>hita@itats.ac.id, <sup>4</sup>ridhogustianto0507@gmail.com

### INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel:

Submitted : Feb 21, 2024

Accepted : Mar 27, 2024

Published : Mar 27, 2024

### KORESPONDENSI

Email: trisnaw@itats.ac.id

### A B S T R A K

Dalam Sistem tenaga listrik tidak selalu berjalan dengan normal. Terdapat banyak gangguan ataupun anomali-anomali gangguan yang bisa mengganggu jalannya sistem. Salah satunya yaitu di Gardu Induk saluran Sekarputih dalam dua tahun terakhir mengalami gangguan hubung singkat sebanyak lima kali yang mengakibatkan penggantian relay jarak elektromagnetik ke relay jarak digital sudah dilengkapi dengan recloser yang berfungsi jika terjadi gangguan relay akan trip dan terhubung kembali secara otomatis. Gangguan terjadi karena kerusakan eksternal akibat gangguan cuaca yang tidak stabil. Secara tidak langsung nilai setting relay akan berubah dan tidak sesuai standart PLN yang sudah ditentukan. Maka, dilakukan penyettingan relay ulang dengan dua metode yaitu metode Fuzzy Mamdani dan metode ANFIS. Dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani hasil setting relay jarak zona 1 = 0,523  $\Omega$  ; zona 2 = 0,54  $\Omega$  ; zona 3 = 1,58  $\Omega$  ; untuk metode ANFIS hasil setting relay jarak zona 1 = 0,432  $\Omega$  ; zona 2 = 0,65  $\Omega$  ; zona 3 = 1,22  $\Omega$  ; sedangkan nilai setting relay jarak sebelumnya pada PLN yang dimana zona 1 = 0,587  $\Omega$  ; zona 2 = 1,046  $\Omega$  ; zona 3 = 1,766  $\Omega$ .

**Kata Kunci:** Relay Jarak; Fuzzy Mamdani; ANFIS

### A B S T R A C T

In the electric power system it does not always run normally. There are many disturbances or disturbance anomalies that can disrupt the operation of the system. One of them is at the Sekarputih main substation. last two years, the channel has experienced five short-circuit disruptions. As a result, electromagnetic distance relays must be replaced with digital distance relays equipped with reclosers. The reclosers will function when there is a relay disturbance on a trip and automatically reconnect. The disruptions may occur due to damage brought by unstable weather conditions. Indirectly, the value of relay settings will change and deviate from the PLN (state electricity company) standards. Therefore, relay re-setting was performed using two methods: the Fuzzy Mamdani and the ANFIS methods. Using the Fuzzy Mamdani method, the relay distance settings were as follows: Zone 1 = 0.523  $\Omega$ , Zone 2 = 0.54  $\Omega$ , and Zone 3 = 1.58  $\Omega$ . Meanwhile, the relay distance settings by the ANFIS method were: Zone 1 = 0.432  $\Omega$ , Zone 2 = 0.65  $\Omega$ , and Zone 3 = 1.22  $\Omega$ . The previous values of relay distance settings by PLN were Zone 1 = 0.587  $\Omega$ , Zone 2 = 1.046  $\Omega$ , and Zone 3 = 1.766  $\Omega$ .

**Keywords:** Distance Relay; Fuzzy Mamdani; ANFIS

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem antara pusat listrik (pembangkit) dan konsumen (beban) dimana keduanya saling berhubungan. Terdapat beberapa bagian diantaranya gardu induk, saluran transmisi, dan saluran distribusi sehingga peranan dari masing – masing sangatlah penting dalam pengoperasiannya. Gardu induk merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik yang tidak dapat dipisahkan dikarenakan fungsi dari gardu induk sendiri adalah untuk mentransformasikan daya listrik[1][2].

Setting relay jarak menggunakan Logika Fuzzy Mamdani pernah dilakukan, Dimana nilai setting relay jarak yang lama tidak sesuai dengan standart yang sudah ditentukan. Oleh karena itu perlu peninjauan ulang serta perbandingan nilai setting relay yang diaplikasikan melalui software DigSilent[1]. Penggantian relay jarak elektromagnetik ke relay jarak digital yang sudah dilengkapi recloser, dengan penggantian tersebut nilai setting menjadi berubah. Yang awalnya nilai setting masih menggunakan metode tradisional di implementasikan ke komputer kini peneliti mencoba menggunakan metode fuzzy untuk perbandingan setting relay yang setelah itu disimulasikan ke software DigSilent[3]. Relay konvensional tidak mampu memberikan perlindungan yang diperlukan untuk sistem

tenaga, mengakibatkan munculnya kecerdasan buatan seperti Adaptive Neuro Network (ANN), Fuzzy Logic dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Dengan adanya kecerdasan buatan maka dilakukan perbandingan kinerja relay jarak konvensional dengan kinerja relay jarak menggunakan metode ANN, Fuzzy Logic maupun ANFIS[4].

Pada software ETAP 7.5 perlu digunakan metode analisis dengan simulasi hubung singkat untuk menghitung setting impedansi relay jarak. Hasil pengaturan impedansi rele jarak setelah dilakukan pengujian diperoleh zona 1 memiliki waktu tunda 2,6057 detik, zona 2 memiliki waktu tunda 13,7056 detik, dan zona 3 memiliki waktu tunda 1,2 detik[5].

Membagi jarak zona relay dengan menggunakan metode analisis untuk menentukan nilai impedansi yang terdeteksi oleh relai jarak. Hasil untuk zona 1 dan 3 adalah sebagai berikut. Zona 1 memiliki jangkauan 36.3028 kilometer, zona 2 memiliki jangkauan 14.4564 kilometer, zona 3 memiliki jangkauan 24.9993 kilometer, dan zona 3 memiliki jangkauan 162.032 kilometer[6].

Penulis mengikuti metode yang melibatkan membaca literatur yang relevan, mengumpulkan data di gardu induk Wonosari, mengevaluasi data yang relevan, dan menentukan pengaturan relay. Zona satu memiliki nilai setting 0,26 dan waktu aktif 0 detik, zona dua memiliki nilai setting 0,81 dan waktu aktif 0,4 detik, dan zona tiga memiliki nilai setting 1,2 dan waktu aktif 1,2 detik[7].

Saluran Citra Habitat - GI Tigaraksa dan kemudian dilakukan komputasi numerik dengan tujuan untuk menentukan nilai impedansi dari wilayah kerja untuk daerah GI Citra Habitat - GI Tigaraksa berdasarkan zona 1, 2, dan 3. Zona 1 memiliki impedansi sebesar 1,388345, Zona 2 memiliki impedansi sebesar 2,49902, dan Zona 3 memiliki impedansi sebesar 4,165035. Penyesuaian impedansi dapat dikatakan ideal dan akurat karena perbedaan impedansi yang kecil antar zona, yaitu Zona 1 memiliki impedansi 0,001655, Zona 2 memiliki impedansi 0,01098, dan Zona 3 memiliki impedansi 0,014965[8][9].

Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 7.5, pengaturan impedansi relay jarak dihitung dalam penelitian ini. Impedansi saluran Ampenan - Jeranjang sepanjang 3,25 (7,543 km) adalah  $Z1pri = 2,6057$  (6,0345 km) dan  $t1 = 0$  detik;  $Z2pri$  sama dengan 13,7056 (31,7406 km), dan  $t2$  sama dengan 0,4 detik;  $Z3pri$  sama dengan 24,7209 (57,2508 km), dan  $t3$  sama dengan 1,2 detik[10][11].

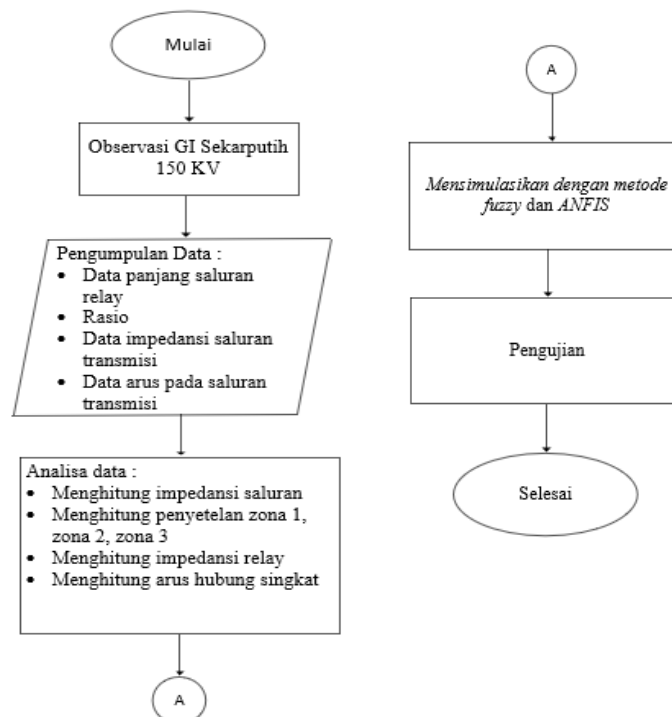
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian di PT. PLN (Persero) ULTG MOJOKERTO. Waktu penelitian mulai tanggal 22 Agustus – 22 September 2022. Sifat penelitian menggunakan data sekunder yang dilakukan dan bekerja sama antara pihak supervisor.

### 2.2 Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 berikut merupakan tahapan dari Penelitian yang penulis lakukan.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 2.3 Pengumpulan Data

### 2.3.1 Data Penghantar

Data yang diperoleh merupakan data ULTG yang terpasang di GI Sekarputih, data setting relay penghantar GI. Sekarputih, data arus hubung singkat.

**Tabel 1.** Data Penghantar

No	Penghantar	L (km)	Jenis	Q $mm^2$	Impedansi/km Urutan positif		Impedansi/Km Urutan nol	
					R	X	R	X
1	Sekarputih – Balbendo	12,21	ACSR AW	2x34 0	0,0028	0,0239	0,0104	0,0357
2	Balbendo – Srbya barat	11,89	ACSR AW	2x34 0	0,0028	0,0239	0,0104	0,0357
3	Srbya - Sawahan	16,08	ACSR AW	2x34 0	0,0028	0,0239	0,0104	0,0357

Tabel 1. Merupakan data penghantar yang digunakan pada salah satu gardu induk saluran transmisi yang berada di ULTG Mojokerto. Jenis penghantar dikatakan sama karena memiliki satu jalur yang diawali dari Gardu Induk Sekarputih.

### 2.3.2 Data Rasio CT dan PT

Tabel 2 berikut merupakan data Rasio CT dan PT yang dimana data yang berasal dari saluran transmisi antar gardu induk pasti memiliki data arus dan tegangan pada trafo.

**Tabel 2.** Data Rasio CT dan PT

CT (Trafo arus)	1600 : 5
PT (Trafo tegangan)	50.000 : 110

### 2.3.2 Data Setting Relay

Tabel 3 berikut merupakan data setting relay jarak yaitu data yang sudah ditentukan melalui perhitungan dan dibandingkan dengan ketentuan dari standart PLN.

**Tabel 3.** Data Setting Relay Jarak

Setting Relay Jarak			
	Zona	Impedansi (Ohm)	Detik(t)
1	Zona 1	0,587	0
2	Zona 2	1,046	0,4
3	Zona 3	1,766	1,2
4	Zona 3 reverse	0,074	1,2

## 2.4 Analisa Data

### a. Menghitung Impedansi Saluran

Untuk menghitung impedansi saluran 1, 2, dan 3 menggunakan persamaan 1 – 3

$$ZL_1 = Z \times L_1 \quad (1)$$

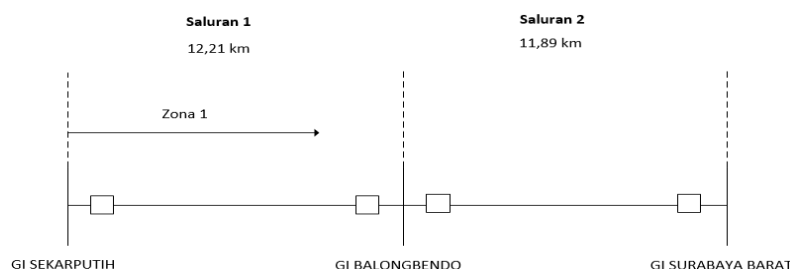
$$ZL_2 = Z \times L_2 \quad (2)$$

$$ZL_3 = Z \times L_3 \quad (3)$$

### b. Melakukan penyetelan zona pada relay jarak

Penyetelan zona relay jarak dibagi menjadi tiga daerah pengamanannya, penyetelan zona 1 dengan waktu kerja relay  $t_1$ , zona 2 dengan waktu kerja relay  $t_2$  dan zona 3 dengan waktu kerja relay  $t_3$

#### 1. Penyetelan Zona 1

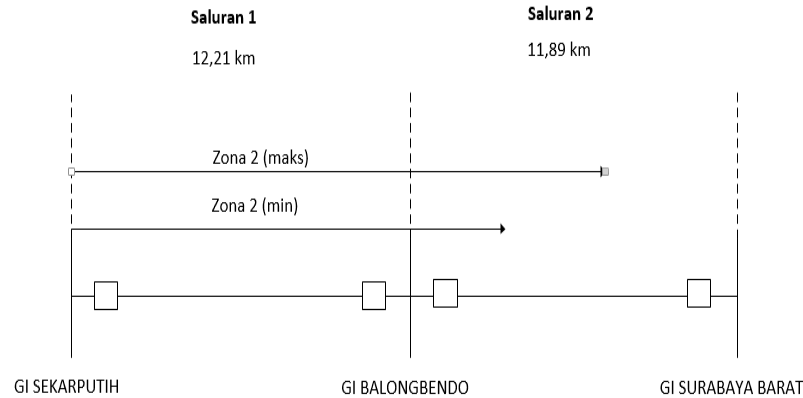


**Gambar 2.** Jangkauan Zona 1

Dengan adanya pertimbangan kesalahan dari data CT , PT, dan peralatan penunjang lain sebesar 10 – 15 %, zona 1 menjangkau sebesar 85% dari panjang saluran yang di proteksi dengan menggunakan persamaan 4.

$$\text{Zona 1} = 0,85 \times ZL_1 \quad (4)$$

## 2. Penyetelan Zona 2



**Gambar 3. Jangkauan Zona 2**

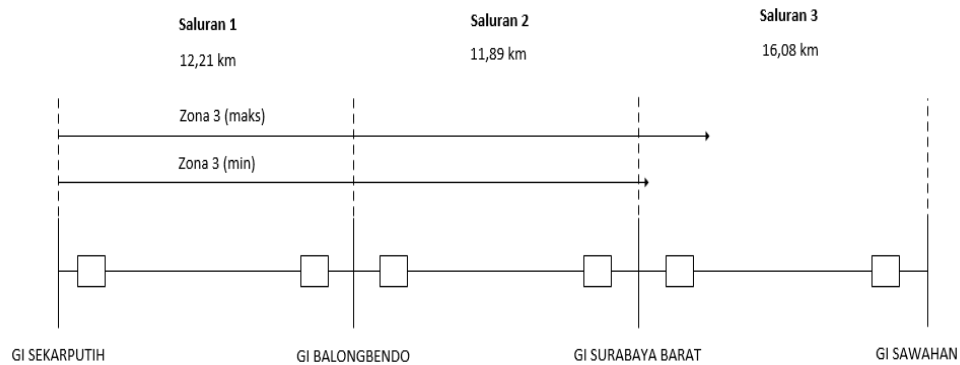
Penyetelan zona 2 berdasarkan pertimbangan yang ada menggunakan persamaan 5 - 7

$$Z_{2 \min} = 1.25 \times ZL_1 \quad (5)$$

$$Z_{2 \max} = 0,85 \times (ZL_1 + 0,85 \cdot ZL_2) \quad (6)$$

$$Z_{2 \text{ trafa}} = 0,85 \times (ZL_1 + 0,5X_T) \quad (7)$$

## 3. Penyetelan Zona 3



**Gambar 4. Jangkauan Zona 3**

Prinsip penyetelan zona 3 berdasarkan pertimbangan menggunakan persamaan 8 - 11

$$Z_{3 \min} = 1.23 \times (ZL_1 + 0,85 \cdot ZL_2) \quad (8)$$

$$Z_{3 \max 1} = 0,85 \times (ZL_1 + k \cdot Z_{TR}) \quad (9)$$

$$Z_{3 \max 2} = 0,85 \times (ZL_1 + 0,85X_T) \quad (10)$$

$$Z_{3 \text{ trafa}} = 0,85 \times (ZL_1 + 0,85X_T) \quad (11)$$

## 4. Penyetelan Zona 3 Reverse

Pada penyetelan zona 3 reverse dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 12 – 13

$$\text{Jika } Z_3 \text{ reverse memberi sinyal trip. Maka zona 3 reverse} = 1,5 \times (Z_2 - ZL_1) \quad (12)$$

$$\text{Jika } Z_3 \text{ reverse tidak memberi sinyal trip. Maka zona 3 reverse} = 2 \times (Z_2 - ZL_1) \quad (13)$$

## c. Perhitungan Impedansi yang terlihat oleh relay

Perhitungan nilai impedansi pada Zona 1, Zona 2, Zona 3 yang terbaca oleh relay pada persamaan 15 – 18

### 1. Zona 1

$$Z_s \text{ relay} = \text{Zona 1} \times \frac{CT}{PT} \quad (15)$$

### 2. Zona 2

$$Z_s \text{ relay} = \text{zona 2} \times \frac{CT}{PT} \quad (16)$$

**3. Zona 3**

$$Z_s \text{ Relay} = \text{zona 3} \times \frac{CT}{PT} \quad (17)$$

**4. Zona 3 Reverse**

$$Z_s \text{ Relay} = \text{zona 3 Reverse} \times \frac{CT}{PT} \quad (18)$$

**d. Pengukuran impedansi gangguan oleh relay jarak**

Berdasarkan jenis gangguan hubung singkat ada tiga yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 19 - 21

**1. Tiga Fasa**

$$I_{sc} = \frac{Kv}{\sqrt{3} Z_1} \quad (19)$$

**2. Dua Fasa**

$$I_{sc} = \frac{Kv}{\sqrt{3} Z_1 + Z_2} \quad (20)$$

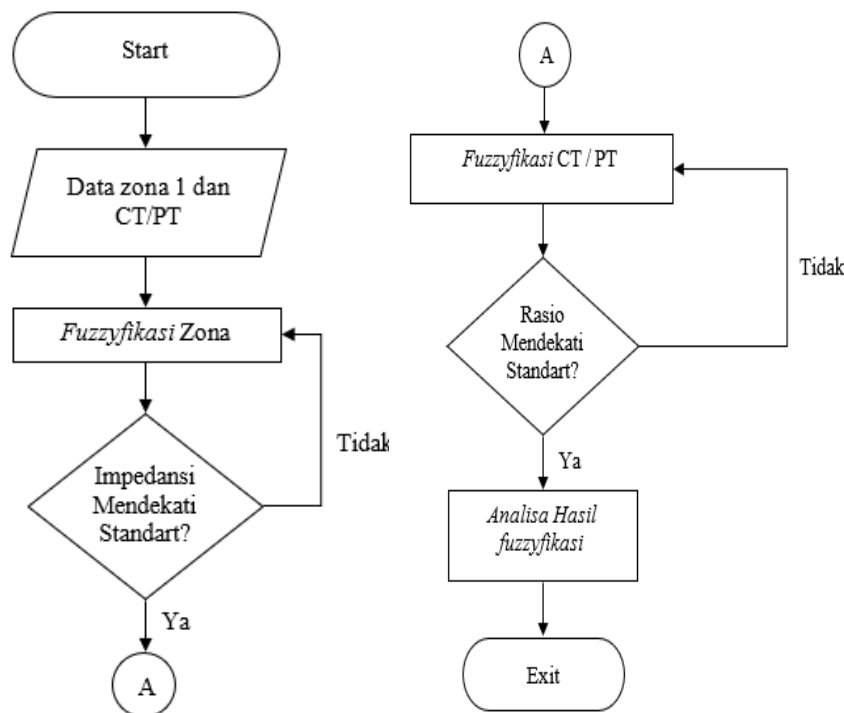
**3. Satu Fasa ke tanah**

$$I_{sc} = \frac{Kv}{\sqrt{3} Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad (21)$$

**2.5 Simulasi**

**a. Fuzzy Mamdhani**

Berikut gambar 1 merupakan flowchart penerapan fuzzy Mamdhani pada perangkat



**Gambar 5.** Diagram Alir Fuzzy Mamdhani[12]

**Tabel 4.** Input Fuzzy di Setiap Zona 1,2 dan 3

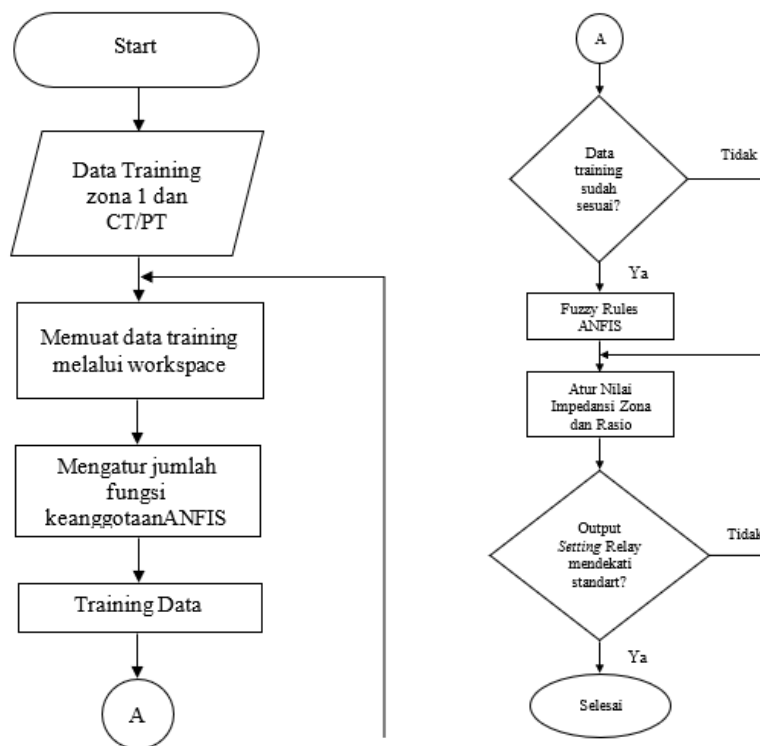
	Output	Kecil	Sedang	Besar
Input	Minimum	TS	TS	TS
	Normal	S	S	S
	Maksimum	O	O	O

Keterangan: TS = Tidak Sesuai, S = Sesuai, O = Over

Tabel 4. Input Fuzzy dari zona 1, 2 dan 3 yang dimana pada metode tersebut memiliki batas – batas dalam kriteria input[13]. Aturan – aturan tersebut sudah sesuai dengan ketentuan metode dan ditentukan melalui banyaknya inputan.

**b. ANFIS**

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) menggabungkan prinsip kerja Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan Fuzzy Inference System (FIS). Dengan menggabungkan ANFIS denang JST diharapkan dapat meminimalisir kelemahan masing-masing metode. Kedua metode tetap menggunakan prinsip machine learning.

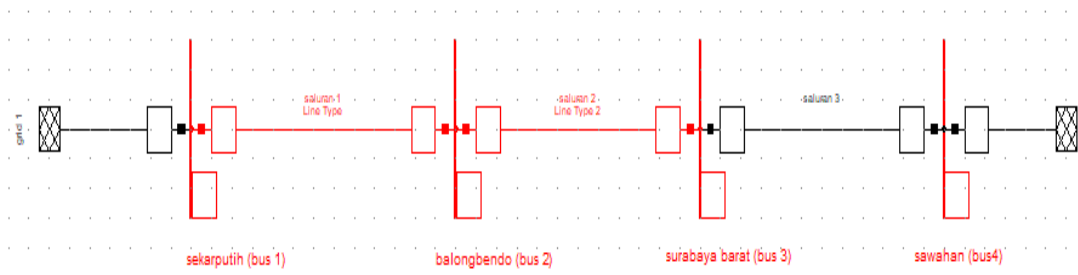


Gambar 6. Diagram Alir ANFIS[14]

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Pemodelan Diagram Satu Garis Pada Software Digsilent**

Setelah mendapatkan nilai impedansi pada masing-masing saluran , dapat diimplementasikan ke software Digsilent dengan diagram garis sebagai berikut.



Gambar 7. Single Line Diagram Gardu Induk Sekarputih - Gardu Induk Balongbendo

Gambar 7 merupakan penyederhanaan dari saluran transmisi 1 garis yang terbagi menjadi 3 saluran yaitu saluran pertama GI Sekarputih - GI Balongbendo dengan Panjang 12,21 km. Lalu dilanjutkan ke saluran kedua GI Balongbendo - GI Surabaya Barat dengan panjang 11,89 km dan saluran ketiga GI Surabaya Barat - GI Sawahan dengan panjang 16,08 km.

**3.2 Hasil Perbandingan Nilai Setting Relay Lama, Fuzzy Mamdhani dan ANFIS**

Setelah melakukan Langkah – Langkah sesuai dengan diagram alir dari tiap metode didapatkan hasil nilai setting sebagai berikut[15].

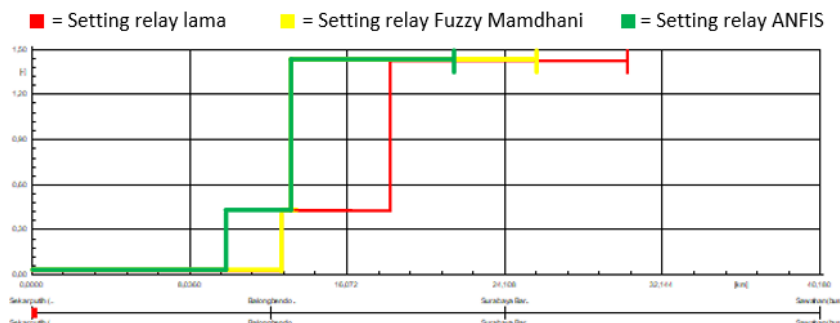
Tabel 5. Hasil perbandingan nilai setting relay

Zona	PLN	ANFIS	Fuzzy
1	0,587	0,432	0,523
2	1,046	0,65	0,54
3	1,766	1,22	1,58

Tabel 5. Hasil perbandingan setting relay jarak dari masing – masing metode yang digunakan. Dilihat dari hasil tersebut mengalami sedikit perbandingan nilai setting nya. Yang dimana setting dari PLN lebih besar dari kedua setting dari metode yaitu ANFIS dan Fuzzy.

### 3.3 Penerapan Nilai Setting Relay Lama, Fuzzy Mamdhani dan ANFIS

Penerapan nilai setting ini dilakukan setelah mendapatkan nilai setting dari masing – masing metode . maka mendapatkan hasil grafik sebagai berikut[16].

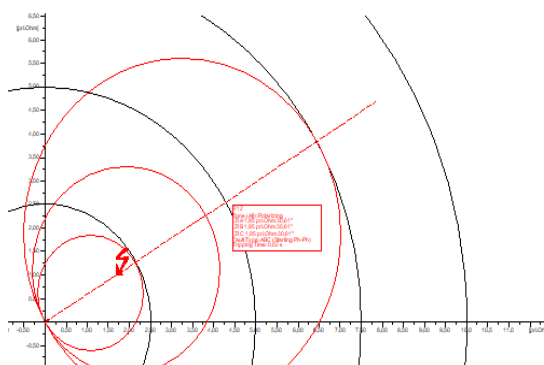


**Gambar 8.** Grafik Nilai Setting Relay Lama, Fuzzy Mamdhani dan ANFIS

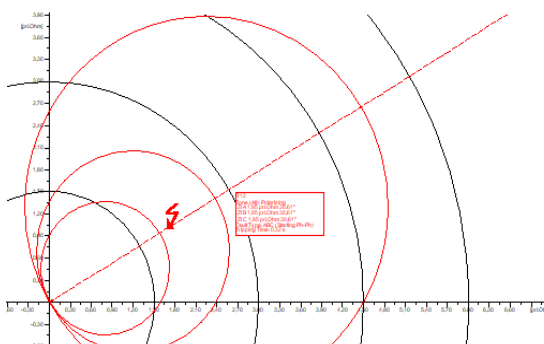
Berdasarkan dari Tabel 5 hasil nilai pengaturan relay jarak. Hal ini memiliki perbedaan nilai pengaturan dari masing – masing metode yang dimana pada nilai setting dari PLN untuk zona 1 sebesar 0,587 dengan jangkauan 109,03% , zona 2 sebesar 1,046 dengan jangkauan 194,30% dan juga zona 3 sebesar 1,766 jangkauannya sebesar 328,04%. Dari metode ANFIS untuk zona 1 mendapati nilai sebesar 0,432 dengan persentase jangkauan sebesar 80,24% , zona 2 dengan nilai 0,65 dengan jangkauan 120,74% dan zona 3 dengan nilai 1,22 jangkauan sebesar 226,62% dan yang terakhir dari metode Fuzzy dimana nilai zona 1 sebesar 0,523 dengan jangkauan 97,15% , zona 2 dengan nilai 0,54 yang dimana mendapati jangkauan 100,30% serta zona 3 sebesar 1,58 dengan jangkauan 293,49%. Jika dilihat hasil nilai setting dari 3 metode diatas yang mendekati standar nilai setting relay jarak adalah nilai setting relay dari metode ANFIS. Dimana standar untuk zona 1 antara mencakup 80% - 85% dari saluran 1 , dilanjutkan untuk zona 2 yaitu sebesar 120% dan zona 3 sebesar 200% dilanjut dari jangkauan yang tidak terproteksi oleh zona 2.

### 3.4 Simulasi Hubung Singkat

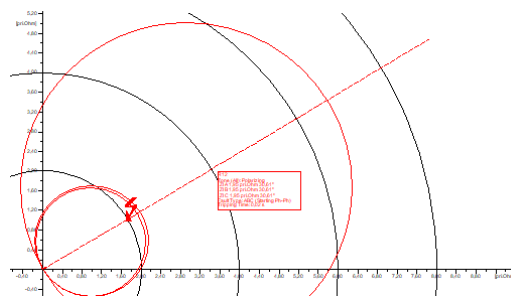
Simulasi gangguan hubung singkat dalam hal ini diperlukan karena untuk mengetahui kinerja dari relay tersebut dalam pembacaan. Selain itu, simulasi gangguan hubung singkat untuk mengetahui potensi besarnya masalah dari masing – masing setting relay dengan metode yang digunakan. Simulasi gangguan hubung singkat ini dilakukan dengan menggunakan software DigSilent PowerFactory dengan gangguan hubung singkat 3 fasa[17].



**Gambar 9.** Setting Relay Lama Gangguan 85% Saluran



**Gambar 10.** Setting Relay ANFIS Gangguan 85% Saluran



Gambar 11. Setting Relay Fuzzy Mamdani 85% Saluran

Pada gambar 9, 10, dan 11 menunjukkan kinerja dari setting relay lama. Untuk parameternya ada garis vertikal mewakili dari tahanan (X) dan garis horizontal mewakili reaktansi (R). Dari ketiga setting relay menunjukkan nilai gangguan yang sama terletak pada 85% dari panjang saluran ditunjukkan oleh simbol gangguan yang diselesaikan dengan waktu seketika oleh zona 1 karena nilai gangguan karena nilai gangguan 1,95  $\Omega$ . Ada perbedaan dari ketiga setting yaitu fuzzy di zona 1 dengan waktu trip sebesar 0,02 detik sedangkan ANFIS berada di zona 2 dengan waktu trip sebesar 0,42 detik.

#### 4. KESIMPULAN

Terdapat hasil perbandingan nilai pengaturan relay untuk zona 1, zona 2 dan zona 3 yaitu dari pengaturan PLN mendapati 0,587  $\Omega$  ; 109,03% , 1,046  $\Omega$  ; 194,30% , 1,766  $\Omega$  ; 328,04% . Pengaturan ANFIS 0,432  $\Omega$  ; 80,24% , 0,65  $\Omega$  ; 120,74% , 1,22  $\Omega$  ; 226,62% . dan pengaturan Fuzzy 0,523  $\Omega$  ; 97,15% , 0,54  $\Omega$  ; 100,30% , 1,58  $\Omega$  ; 293,49%. Untuk nilai gangguan 3 fasa di saluran Gardu Induk Sekarputih – Gardu Induk Balongbendo dengan menggunakan nilai pengaturan dari masing – masing metode mendapatkan nilai sebesar 1,95  $\Omega$  di titik 85% dari panjang saluran. Namun yang membedakan dari gangguan 3 fasa dari ketiga pengaturan tersebut adalah titik gangguan yang dimana untuk relay jarak PLN dan Fuzzy itu berada di zona 1 dengan waktu 0,02 detik. Sedangkan relay jarak ANFIS berada di zona 2 dengan waktu 0,42 detik.

#### REFERENCES

- [1] Y. Maula, "Analisa Relay Jarak Pada Saluran Transmisi 150KV Gardu Induk Bangil ke Gardu Induk Lawang," pp. 219–224, 2021.
- [2] M. M. Almomani and S. F. Algharaibeh, "Modelling and Testing of a Numerical Pilot Distance Relay for Compensated Transmission Lines," *Int. J. Sci. Res. Eng. Dev.*, vol. 3, no. December, pp. 776–786, 2020.
- [3] I. N. Ifan, "Analisa Koordinasi Proteksi Relay Jarak Dengan Software Digsilent Pada Gi Sukolilo Ke Gi Kenjeran Menggunakan Metode Fuzzy," *BEEES Bull. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 14–22, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.seminar-id.com/index.php/bees/article/view/3150>
- [4] M. R. Javed, U. S. Virk, A. Waleed, and M. Y. Jamal, "The performance comparison of artificial intelligence based distance relays for the protection of transmission lines," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 1177–1185, 2022, doi: 10.11591/eei.v11i3.3305.
- [5] R. A. Wahyuningsih, A. B. Muljono, and S. Supriyatna, "Proteksi Rele Jarak (Distance Relay) Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 Kv Sistem Kelistrikan Lombok," *Dielektrika*, vol. 7, no. 1, pp. 15–24, 2020, [Online]. Available: <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/230>
- [6] A. Srinaldi, Muliadi, Syukri, M. R. Azmi, and Husaini, "Proteksi Jaringan Transmisi Saluran Udara dengan Menggunakan Relay Jarak," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–11, 2021.
- [7] A. D. Suryadipraja, "STUDI ANALISA KERJA RELE JARAK PADA SALURAN TRANSMISI GARDU INDUK WONOSARI-GARDU INDUK SOLO BARU 150 kV," pp. 1–12, 2018.
- [8] B. Dhinari and A. Devi, "Evaluasi Kinerja Relai Jarak Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Di Gardu Induk Citra Habitat – Tigaraksa," 2021.
- [9] T. Ridzwansyah and T. Wati, "Studi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan di PT . Terminal Teluk Lamong Menggunakan Metode Neural Network," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. X*, pp. 1–7, 2022.
- [10] M. A. Alawan, "Design of intelligent distance relay for cascaded transmission lines fault detection based on fuzzy logic system," *Period. Eng. Nat. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 1075–1082, 2020.
- [11] D. Eko Rofianto, E. Arfah Zuliari, and T. Wati, "Analisa Perencanaan Pemasangan Differential Relay Pada PT. Bramindo Niaga Pratama," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VII - Inst. Teknol. Adhi Tama Surabaya*, pp. 723–728, 2019.
- [12] M. F. Al-Kababjje, "A Fuzzy Logic Distance Relay," *Am. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 3, no. 5, p. 95, 2014, doi: 10.11648/j.epe.20140305.12.
- [13] I. Eker and Y. Torun, "Fuzzy logic control to be conventional method," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 4, pp. 377–394, 2006, doi: 10.1016/j.enconman.2005.05.008.
- [14] S. A. S. Al Kazzaz, I. Ismael, and K. K. Mohammed, "Fault detection and location of power transmission lines using intelligent distance relay," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 726–734, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i2.pp726-734.
- [15] T. Hassan, "On-line trained adaptive neuro-fuzzy inference system for distance relay of transmission line protection," *Online J. Electron. ...*, no. January 2009, 2009, [Online]. Available:

- [https://www.researchgate.net/profile/Tamer\\_Kamel/publication/239523806\\_On-Line\\_Trained\\_Adaptive\\_Neuro-Fuzzy\\_Inference\\_System\\_for\\_Distance\\_Relay\\_of\\_Transmission\\_line\\_Protection/links/53ebfd740cf24f241f1558be.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tamer_Kamel/publication/239523806_On-Line_Trained_Adaptive_Neuro-Fuzzy_Inference_System_for_Distance_Relay_of_Transmission_line_Protection/links/53ebfd740cf24f241f1558be.pdf)
- [16] M. Shadaei, M. A. Jarrahi, A. A. Bagheri, and H. Samet, "A comprehensive investigation on performance of distance relays in transmission lines connected to wind farms," *2020 15th Int. Conf. Prot. Autom. Power Syst. IPAPS 2020*, no. December, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/IPAPS52181.2020.9375545.
- [17] V. H. Makwana and B. R. Bhalja, "A new digital distance relaying scheme for series-compensated double-circuit line during open conductor and ground fault," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 27, no. 2, pp. 910–917, 2012, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2178438.