

ANALISIS *SETTING* DAN KOORDINASI RELE JARAK PADA SALURAN 150 KV TANJUNG JATI - KUDUS

Berkat Surya Putra Hia^{*)}, Jaka Windarta, and Mochammad Facta

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}*E-mail: bethria4869@gmail.com*

Abstrak

Pada saluran transmisi, potensi gangguan yang terjadi adalah gangguan hubung singkat. Gardu induk pada sistem 150kV menggunakan rele jarak sebagai sistem proteksi utama. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis koordinasi rele jarak yang terdapat pada saluran 150kV Tanjung Jati – Kudus dalam mengatasi gangguan. Setting rele yang didapatkan dari PT. PLN disimulasikan menggunakan software DIGSILENT 14.1 untuk menganalisis jangkauan rele dan koordinasi antar rele. Standar yang digunakan adalah standar IEEE std C37.113.2015. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rele jarak pada saluran 150kV Tanjung Jati – Kudus memiliki nilai setting yang tidak sesuai dengan standar. Jangkauan zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati memiliki jangkauan sebesar 79,98% dan zona 1 rele Kudus arah Jepara memiliki jangkauan sebesar 71,02% dimana pada standar zona 1 seharusnya memiliki jangkauan sebesar 80%-90%. Gangguan pada sistem disimulasikan pada jarak 18,7%-20,3% dari total panjang saluran Tanjung Jati-Jepara dan pada jarak 18,7%-20,3% dari total panjang saluran Jepara-Kudus. Setelah dilakukan perhitungan ulang didapatkan nilai jangkauan yang baru untuk zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati sebesar 85,2% dan rele Kudus arah Jepara sebesar 85,06%. Setelah dilakukan perhitungan ulang rele bekerja sesuai standar.

Kata kunci: saluran transmisi, rele jarak, DIGSILENT 14.1

Abstract

In transmission line, there is a potential disturbance in form of short circuit. Transmission line 150kV uses distance relay as the primary protection system. This study aims to analyze coordination of distance relays that contained in 150kV Tanjung Jati - Kudus line for simulated faults. Setting of relays obtained from PT. PLN was simulated by using DIGSILENT 14.1 software to analyze reach of each relays and coordination among relays. This work based on IEEE standard C37.113.2015. Simulation result shows that distance relays on 150kV Tanjung Jati – Kudus transmission line have setting values which are not in accordance with standard. Reach of zone 1 Jepara to Tanjung Jati relay is 79,98% and Kudus to Jepara relay is 71,02% in wich according to standard the zone 1 have to reach of 80% -90% of the line. Faults in the system are simulated at distance of 18.7% -20.3% of the total length of Tanjung Jati-Jepara line and at distance of 18.7% -20.3% of the total length of Jepara-Kudus line. After re-calculation, the new reach value for zone 1 of Jepara to Tanjung Jati relay is 85.2% and Kudus to Jepara relay is 85.06%. After re-calculation all relays operate appropriately according to the standard.

Keywords: transmission system, distance relay, DIGSILENT 14.1

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik merupakan kebutuhan pokok untuk semua kalangan, mulai dari industri yang besar hingga masyarakat secara umum. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Saluran transmisi menjadi salah satu komponen yang penting dalam penyaluran tenaga listrik. Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terjadinya aliran arus disebut gangguan. Gangguan pada sistem transmisi dan distribusi dapat terjadi karena beberapa sebab diantaranya karena suhu, hewan, dan kegagalan peralatan. Gangguan

dapat menimbulkan kerusakan besar pada sistem tenaga [1], untuk itu dibutuhkan peralatan perlindungan untuk mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem.

Setiap sistem penyaluran listrik dari generator hingga saluran distribusi dilindungi oleh peralatan proteksi. Pemilihan jenis peralatan proteksi tergantung pada beberapa aspek contohnya rating dari peralatan, kepentingan peralatan, lokasi, kemungkinan terjadinya kondisi abnormal, biaya, dan lain – lain [2]. Rele jarak biasanya digunakan pada saluran transmisi. Rele ini menghitung impedansi saluran dengan membandingkan

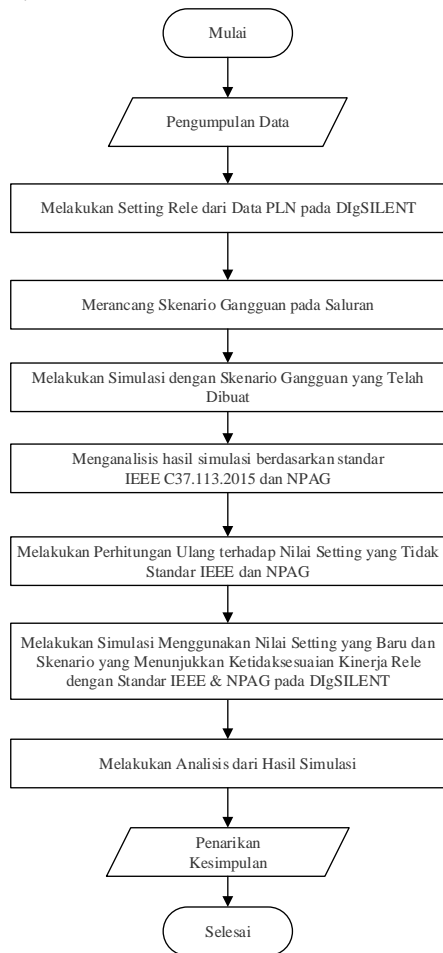
tegangan dan arus dengan menggunakan trafo arus dan trafo tegangan pada lokasi rele [3].

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah perhitungan dan analisis kinerja rele jarak pada subsistem 150kV secara manual [4],[5]. Penelitian yang lain [6], menyimpulkan bahwa koordinasi dan setting dari rele digital dapat dicek secara tepat oleh Software DIGSILENT Power Factory. Software ini dapat digunakan untuk melihat koordinasi rele antar jaringan dan menganalisis simulasi diagram r-x untuk berbagai macam gangguan. Koordinasi kerja antar rele jarak dan simulasi kinerja rele diperlukan untuk melihat kinerja tiap rele jarak pada masing – masing gardu induk. Simulasi dilakukan untuk melihat apakah seluruh sistem sudah terlindungi dengan baik atau belum. Hasil dari perhitungan dan simulasi setelah resetting dibandingkan dengan simulasi pada kondisi eksisting.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

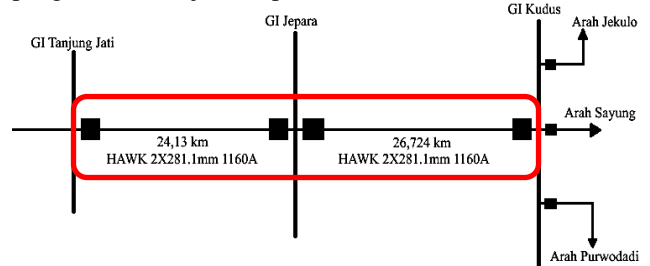
Metode penelitian dari penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Langkah Penelitian.

2.2. Data Penelitian

Data yang diperoleh berupa data *single line diagram* dan *setting* impedansi yang kemudian disimulasikan pada *software* DIGSILENT 14.1. Hasil dari simulasi menunjukkan jangkauan tiap rele yang disetting. Ilustrasi sistem ditampilkan pada Gambar 2. Data impedansi penghantar ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Saluran 150 kV Tanjung Jati-Kudus

No.	Penghantar	Tipe Penghantar	Konstanta Pht (Ohm/kM)			
			R1	X1	R0	X0
1	KUDUS-JEPARA 1	HAWK 2x281.1mm (1160A)	0.069	0.205	0.219	0.614
2	KUDUS-JEPARA 2	HAWK 2x281.1mm (1160A)	0.069	0.205	0.219	0.614
3	JEPARA-TANJUNG JATI 1	HAWK 2x281.1mm (1160A)	0.069	0.205	0.219	0.614
4	JEPARA-TANJUNG JATI 2	HAWK 2x281.1mm (1160A)	0.069	0.205	0.219	0.614

Gambar 3. Data Impedansi Penghantar

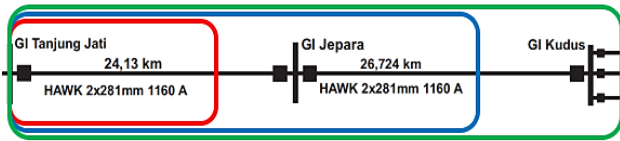
Tabel 1. Data Peralatan Proteksi Saluran

Saluran	Jenis CT	Jenis VT	Jenis Rele
Tanjung Jati 1 - Jepara 1	1200/1 A	154 kV/110V	MICOM P442
Tanjung Jati 2 - Jepara 2	1200/1 A	154 kV/110V	MICOM P442
Jepara 1 – Tanjung Jati 1	1600/1A	150 kV/100V	MICOM P442
Jepara 2 – Tanjung Jati 2	1600/1A	150 kV/100V	MICOM P442
Jepara 1 - Kudus 1	1600/1A	150 kV/100V	MICOM P442
Jepara 2 - Kudus 2	1600/1A	150 kV/100V	MICOM P442
Kudus 1 - Jepara 1	1600/1A	150 kV/100V	ABB REL 670
Kudus 2 - Jepara 2	1600/1A	150 kV/100V	ABB REL 670

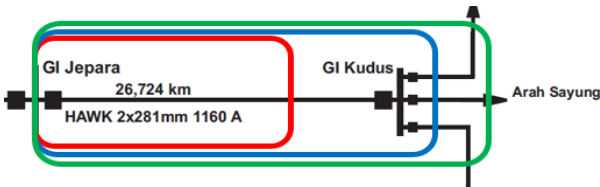
Pada Tabel 1 ditunjukkan data peralatan proteksi dan pada Gambar 3 ditunjukkan data impedansi penghantar yang dibutuhkan untuk menentukan nilai *setting* impedansi rele jarak yaitu rasio CT, rasio VT, dan impedansi saluran.

2.3. Zona Proteksi

Pada saluran 150 kV Tanjung Jati – Kudus terdapat 4 pasang rele jarak yang berfungsi untuk memproteksi saluran tersebut secara 2 arah. Adapun rele tersebut antara lain rele Tanjung Jati arah Jepara, rele Jepara arah Kudus, rele Jepara arah Tanjung Jati, dan rele Kudus arah Jepara. Masing-masing rele bekerja secara *forward* dimana rele hanya membaca gangguan yang terjadi didepannya. Untuk lebih jelasnya berikut adalah zona proteksi dari masing-masing rele:



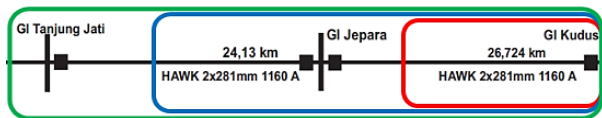
Gambar 4. Zona Proteksi Rele Tanjung Jati-Jepara



Gambar 5. Zona Proteksi Rele Jepara-Kudus



Gambar 6. Zona Proteksi Rele Jepara-Tanjung Jati



Gambar 7. Zona Proteksi Rele Kudus-Jepara

Tiap rele jarak memiliki 3 zona proteksi yaitu zona 1 sebagai proteksi utama, kemudian zona 2 dan zona 3 sebagai *backup*. Zona 1 diwakili kotak merah, zona 2 diwakili kotak biru, dan zona 3 diwakili kotak hijau. Yang masuk dalam lingkup proteksi adalah saluran dan busbar. Pada Tabel 2 akan ditunjukkan nilai *setting* impedansi dan jangkauan tiap rele.

Tabel 2. Nilai *Setting* Impedansi dan Jangkauan Rele Kondisi Eksisting

Rele	Zona	Z sekunder (ohm)	%Saluran
Tanjung Jati 1 arah Jepara 1	Zona 1	3.57	88.03%
	Zona 2	6.73	165.95%
	Zona 3	14.78	364.46%
Tanjung Jati 2 arah Jepara 2	Zona 1	3.57	88.03%
	Zona 2	6.73	165.95%
	Zona 3	14.78	364.46%
Jepara 1 arah Kudus 1	Zona 1	4.92	80.02%
	Zona 2	7.38	120.04%
	Zona 3	16.63	270.49%
Jepara 2 arah Kudus 2	Zona 1	4.92	80.02%
	Zona 2	7.38	120.04%
	Zona 3	16.63	270.49%
Kudus 1 arah Jepara 1	Zona 1	4.37	71.09%
	Zona 2	7.53	122.47%
	Zona 3	13.66	222.23%

Kudus 2 arah Jepara 2	Zona 1	4.92	71.09%
	Zona 2	7.53	122.47%
	Zona 3	13.66	222.23%
Jepara 1 arah Tanjung Jati 1	Zona 1	4.44	79.98%
	Zona 2	7.38	132.94%
	Zona 3	9.17	165.18%
Jepara 2 arah Tanjung Jati 2	Zona 1	4.44	79.98%
	Zona 2	7.38	132.18%
	Zona 3	9.17	165.18%

Data yang diperoleh dibandingkan dengan standar IEEE std C37.113.2015 *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*.

2.4. Perancangan Skenario Gangguan

Setelah dilakukan *setting* pada rele, maka dilakukan simulasi skenario gangguan untuk melihat kinerja tiap rele dalam mengatasi gangguan. Skenario gangguan ditunjukkan pada Tabel 3.

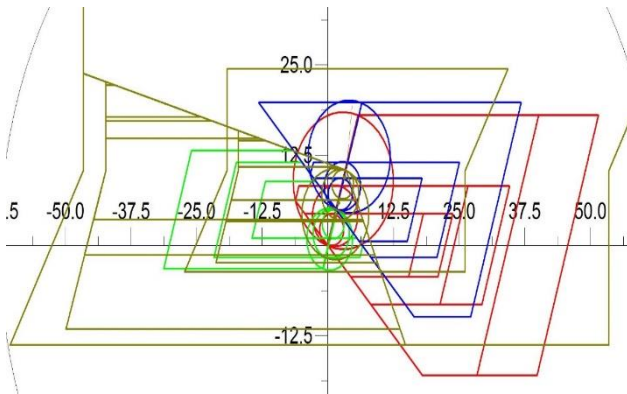
Tabel 3. Skenario Gangguan

Skenario	Jenis Gangguan	Lokasi Anomali	Letak Simulasi Gangguan	Saluran
Skenario 1	3 fasa	18,7% - 20,3%	18,75%	Tanjung Jati - Jepara
	1 fasa ke tanah	18,7% - 20,3%	19,25%	
	2 fasa	18,7% - 20,3%	19,75%	
	2 fasa ke tanah	18,7% - 20,3%	20,25%	
Skenario 2	3 fasa	18,7% - 20,3%	18,75%	Jepara - Kudus
	1 fasa ke tanah	18,7% - 20,3%	19,25%	
	2 fasa	18,7% - 20,3%	19,75%	
	2 fasa ke tanah	18,7% - 20,3%	20,25%	

Skenario 1 disimulasikan pada 18,75% - 20,3% dari total panjang saluran Tanjung Jati – Jepara dan skenario 2 disimulasikan pada 18,7% - 20,3% dari total panjang saluran Jepara – Kudus.

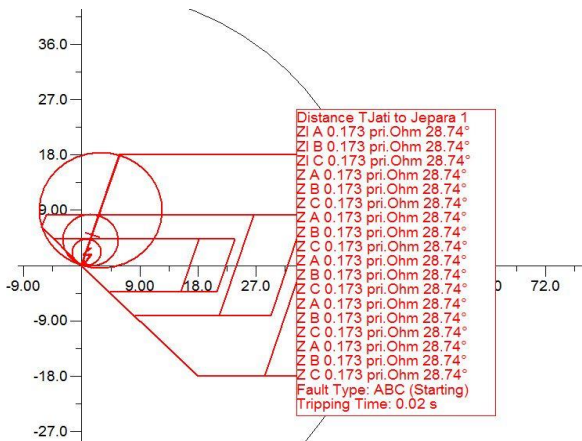
2.5. R-X Diagram

Diagram r-x merepresentasikan kinerja rele saat terjadi gangguan yaitu menunjukkan zona jangkauan rele dan waktu trip tiap rele. Berikut adalah r-x diagram rele jarak saluran 150 kV Tanjung Jati- Kudus.

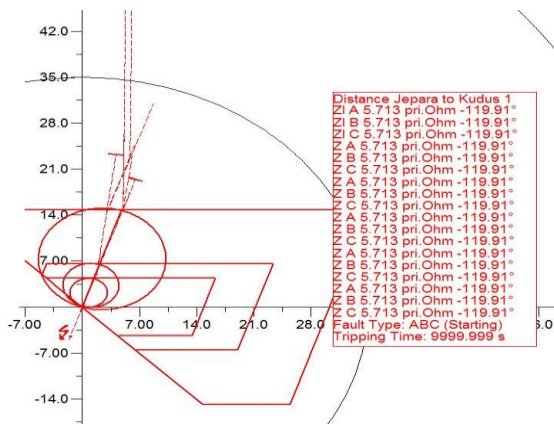


Gambar 8. Diagram R-X Rele Jarak pada Saluran 150 kV Tanjung Jati – Kudus

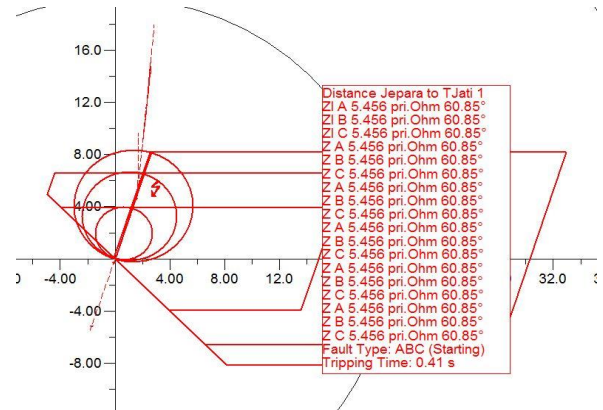
Gambar 8 menunjukkan kinerja rele Tanjung Jati arah Jepara yang diwakili diagram warna merah, rele Jepara arah Kudus yang diwakili diagram warna biru, rele Jepara arah Tanjung Jati yang diwakili diagram warna hijau, dan rele Kudus arah Jepara yang diwakili diagram warna olive green. Berikut adalah r-x diagram tiap rele:



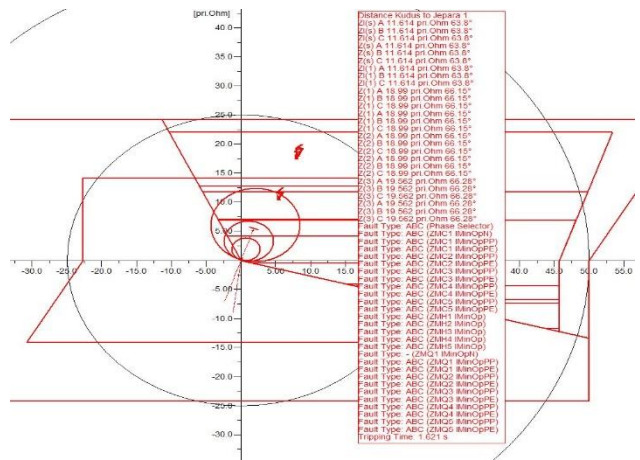
Gambar 9. Diagram R-X Rele Tanjung Jati Arah Jepara.



Gambar 10. Diagram R-X Rele Jepara Arah Kudus.



Gambar 11. Diagram R-X Rele Jepara Arah Tanjung Jati.



Gambar 12. Diagram R-X Rele Kudus Arah Jepara.

Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12 menunjukkan kinerja (waktu trip) tiap rele yang terdapat pada saluran 150 kV Tanjung Jati-Kudus saat terjadi gangguan.

2.6. Standar Setting Rele Jarak

Standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah IEEE C37.113.2015 tentang aplikasi rele proteksi pada saluran transmisi [7], dan NPAG dari Alstom [16]. Rangkuman standar yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar Setting Rele Jarak

Zona	Standar Setting
Zona 1	85% dari panjang saluran
Zona 2	120 - 150% dari panjang saluran
Zona 3	120% dari panjang saluran 1 + panjang saluran 2

Dari Tabel 4 dapat dibandingkan dengan nilai jangkauan yang diperoleh dari setting eksisting dari PT.PLN. Perbandingan jangkauan rele dalam kondisi eksisting dengan standar ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Jangkauan Rele dengan Standar

No.	Rele	Zona	Menurut Standar	Nilai Jangkauan	Keterangan
1	Tanjung Jati - Jebara	Zona 1	80-90% L_1	88,03%	Baik
		Zona 2	120%- L_1	165,95%	Baik
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	364,46%	Baik
		Zona 1	80-90% L_1	79,98%	Resetting
2	Jebara - Tanjung Jati	Zona 2	120%- L_1	132,94%	Baik
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	165,18%	Baik
		Zona 1	80-90% L_1	80,02%	Baik
3	Jebara - Kudus	Zona 2	120%- L_1	120,04%	Baik
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	270,49%	Baik
		Zona 1	80-90% L_1	71,09%	Resetting
4	Kudus - Jebara	Zona 2	120%- L_1	122,47%	Baik
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	222,23%	Baik

Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai jangkauan zona 1 eksisting rele Jebara arah Tanjung Jati dan rele Kudus arah Jebara belum sesuai dengan standar sehingga dilakukan perhitungan impedansi dengan menggunakan persamaan berikut[9][10]:

1. Perhitungan Jangkauan Zona 1
 $Z_{1reach} = 0,85 \times L_1$ (1)

2. Perhitungan Impedansi Sekunder
 $Z_{1P} = Z_{saluran} \times Z_{1reach}$ (2)

$$Z_{1S} = Z_{primer} \times \frac{CT_{primer} \times VT_{sekunder}}{CT_{sekunder} \times VT_{primer}} \quad (3)$$

Dimana:

L_1 = panjang saluran (km)

Z_{1reach} = jangkauan zona 1 saluran (ohm)

Z_{1P} = setting impedansi primer (ohm)

Z_{1S} = setting impedansi sekunder (ohm)

Setelah dilakukan perhitungan ulang terhadap nilai setting impedansi yang tidak sesuai standar, maka didapatkan nilai setting impedansi baru untuk zona rele yang tidak sesuai standar yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Setting Impedansi Kondisi Resetting

Rele	Zona	Z Primer Baru (ohm)	Z Sekunder Baru (ohm)
Tanjung Jati - Jebara	Zona 1	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 2	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 3	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
Jebara - Tanjung Jati	Zona 1	4,436	4,73
	Zona 2	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 3	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
Jebara - Kudus	Zona 1	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 2	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 3	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
Kudus - Jebara	Zona 1	4,68	2,50
	Zona 2	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>
	Zona 3	tidak dilakukan <i>resetting</i>	tidak dilakukan <i>resetting</i>

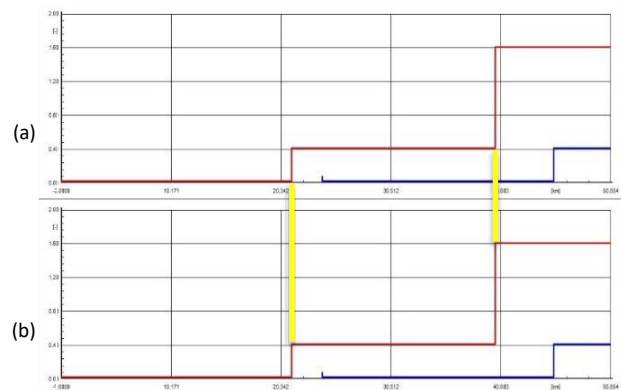
3. Hasil dan Analisa

Setelah dilakukan perhitungan dengan standar IEEE, didapatkan perbandingan hasil simulasi pada kondisi eksisting dengan *resetting* sebagai berikut:

3.1. Perbandingan Grafik Time-Distance Coordination

Perbandingan grafik *time-distance coordination* digunakan untuk mengetahui perbedaan koordinasi kinerja antar rele pada saluran 150 kV Tanjung Jati – Kudus pada kondisi eksisting dengan *resetting*.

3.1.1 Rele Tanjung Jati Arah Jebara dan Rele Jebara Arah Kudus

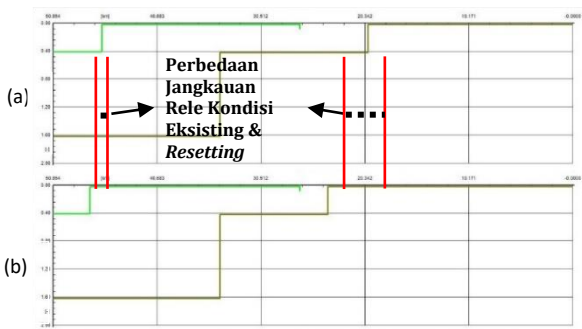


Gambar 13. Time – Distance Coordination Rele Tanjung Jati- Jebara dan Rele Jebara-Kudus pada Kondisi (a) Eksisting dan (b) Resetting

Gambar 13 menunjukkan bahwa koordinasi rele pada (a) kondisi eksisting dan (b) kondisi *resetting* adalah baik karena tidak terjadi overlapping diantara rele. Saat ditinjau nilai jangkauannya, rele dalam kondisi eksisting (a) memiliki zona 1, zona 2, dan zona 3 yang sama panjang dengan zona 1, zona 2, dan zona 3 rele pada kondisi *resetting* (b). Hal ini dikarenakan pada rele Tanjung Jati

arah Jepara dan rele Jepara arah Kudus tidak dilakukan *resetting* sebab nilai jangkauan zona 1, zona 2, dan zona 3 pada kedua rele tersebut sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh IEEE yaitu zona 1 memiliki jangkauan 80% - 90% dari saluran yang dilindungi, zona 2 memiliki jangkauan 120% - 150% dari saluran yang dilindungi, dan zona 3 memiliki jangkauan 120% dari panjang saluran 1 + panjang saluran 2 dari saluran yang dilindungi.

3.1.2 Rele Jepara Arah Tanjung Jati dan Rele Kudus Arah Jepara



Gambar 14. Time – Distance Coordination Rele Jepara-Tanjung Jati dan Rele Kudus-Jepara pada Kondisi (a) Eksisting dan (b) Resetting

Gambar 14 menunjukkan bahwa kondisi kinerja rele (a) kondisi eksisting dan (b) kondisi *resetting* adalah baik karena tidak terjadi overlapping diantara rele. Namun, pada saat dilihat nilai jangkauannya, rele Jepara arah Tanjung Jati dan rele Kudus arah Jepara pada kondisi eksisting memiliki zona 1 yang lebih pendek daripada zona 1 rele setelah *resetting*. Zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati kondisi eksisting memiliki jangkauan 79,98% dari total jarak pada saluran Tanjung Jati arah Jepara dan zona 1 rele Kudus arah Jepara kondisi eksisting memiliki jangkauan 71,09% dari total jarak pada saluran Jepara arah Kudus, dimana pada standar yang ditetapkan oleh IEEE, zona 1 memiliki jangkauan 80% - 90% dari saluran yang dilindungi. Pada Gambar 13 (b) atau gambar koordinasi rele pada kondisi setelah dilakukan *resetting*, dapat dilihat bahwa jangkauan zona 1 rele Tanjung Jati arah Jepara lebih panjang dari gambar sebelumnya yaitu sebesar 85,2% dari total saluran dan jangkauan zona 1 rele Jepara arah Kudus lebih panjang dari gambar sebelumnya yaitu sebesar 85,06% dari total saluran. Nilai ini diperoleh dari hasil perhitungan menurut standar IEEE. Setting zona 1 rele jarak Jepara arah Tanjung Jati dan rele jarak Kudus arah Jepara telah sesuai dengan standar. Untuk zona 2 dan zona 3 rele pada kondisi eksisting (a) maupun kondisi *resetting* (b) memiliki jangkauan yang sama panjang. Hal ini dikarenakan pada zona 2 & zona 3 rele Jepara arah Tanjung Jati dan rele Kudus arah Jepara tidak dilakukan *resetting* sebab nilai jangkauan zona 2 & zona 3 pada kedua rele tersebut sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh IEEE yaitu zona 2 memiliki jangkauan 120% - 150% dari saluran yang dilindungi dan zona 3 memiliki jangkauan 120% dari

panjang saluran 1 + panjang saluran 2 dari saluran yang dilindungi.

3.2. Perbandingan Kinerja Rele

Diagram r-x merepresentasikan kinerja rele saat terjadi gangguan yaitu menunjukkan zona jangkauan rele dan waktu trip tiap rele. Sehingga saat dilakukan simulasi gangguan hubung singkat menggunakan skenario yang telah dibuat didapatkan perbandingan kinerja rele kondisi eksisting dengan *resetting*.

Tabel 7. Perbandingan Kinerja Rele saat Skenario

Jenis Gangguan	Rele	Eksisting		Resetting	
		Zona Rele	Waktu Trip (s)	Zona Rele	Waktu Trip (s)
3 Fasa	TJati Arah Jepara	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah Kudus	-	-	-	-
	Jepara Arah TJati	2	0,41	1	0,02
	Kudus Arah Jepara	3	1,621	3	1,621
	TJati Arah Jepara	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah Kudus	-	-	-	-
1 Fasa ke Tanah	Jepara Arah TJati	2	0,41	1	0,02
	Kudus Arah Jepara	3	1,621	3	1,621
	TJati Arah Jepara	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah Kudus	-	-	-	-
	Jepara Arah TJati	2	0,41	1	0,02
	Kudus Arah Jepara	3	1,621	3	1,621
2 Fasa ke Tanah	Jepara Arah Jepara	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah Kudus	-	-	-	-
	Jepara Arah TJati	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah Kudus	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah TJati	3	1,621	3	1,621
	Jepara Arah Kudus	3	1,621	3	1,621

Dari Tabel 4 terlihat bahwa kinerja tiap rele pada saluran 150 kV Tanjung Jati-Kudus kondisi eksisting sudah sesuai

standar referensi, kecuali rele Jepara arah Tanjung Jati yang ditunjukkan ketidaksesuaian zona dalam mendeteksi gangguan yaitu saat gangguan 3 fasa, 1 fasa ke tanah, dan 2 fasa. Zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati seharusnya mendeteksi gangguan tersebut sehingga akan trip secara instan. Hal ini disebabkan jangkauan rele Jepara arah Tanjung Jati hanya 79,98% sedangkan menurut standar IEEE jangkauan zona 1 adalah sebesar 80%-90% sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang. Setelah *resetting* nilai jangkauan zona 1-nya menjadi 85,2% sehingga gangguan tersebut dapat terdeteksi zona 1 dan diisolir dalam 0,02s.

Tabel 8. Perbandingan Kinerja Rele saat Skenario 5

Jenis Gangguan	Rele	Eksisting		Resetting	
		Zona Rele	Waktu Trip (s)	Zona Rele	Waktu Trip (s)
3 Fasa	TJati Arah Jepara	2	0,41	2	0,41
	Jepara Arah Kudus	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah TJati	-	-	-	-
	Kudus Arah Jepara	2	0,421	1	0,021
1 Fasa ke Tanah	TJati Arah Jepara	2	0,41	2	0,41
	Jepara Arah Kudus	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah TJati	-	-	-	-
	Kudus Arah Jepara	2	0,421	1	0,021
2 Fasa	TJati Arah Jepara	2	0,41	2	0,41
	Jepara Arah Kudus	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah TJati	-	-	-	-
	Kudus Arah Jepara	2	0,421	1	0,021
2 Fasa ke Tanah	TJati Arah Jepara	2	0,41	2	0,41
	Jepara Arah Kudus	1	0,02	1	0,02
	Jepara Arah TJati	-	-	-	-
	Kudus Arah Jepara	2	0,421	1	0,021

Dari Tabel 5 terlihat bahwa kinerja tiap rele pada saluran 150 kV Tanjung Jati-Kudus kondisi eksisting sudah sesuai standar referensi, kecuali rele Kudus arah Jepara yang ditunjukkan ketidaksesuaian zona dalam mendeteksi gangguan yaitu saat gangguan 3 fasa, 1 fasa ke tanah, 2 fasa, dan 2 fasa ke tanah. Zona 1 rele Kudus arah Jepara seharusnya mendeteksi gangguan tersebut sehingga akan trip secara instan. Hal ini disebabkan jangkauan rele Kudus arah Jepara hanya 71,09% sedangkan menurut standar IEEE jangkauan zona 1 adalah sebesar 80%-90% sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang. Setelah *resetting* nilai jangkauan zona 1-nya menjadi 85,06% sehingga gangguan tersebut dapat terdeteksi zona 1 dan diisolir dalam 0,02s.

3.3. Perbandingan Jangkauan Rele

Setelah dilakukan perhitungan ulang terhadap nilai *setting* impedansi yang tidak sesuai standar IEEE maka didapatkan nilai jangkauan yang baru pada zona rele yang *disetting* ulang. Perbandingan antara nilai jangkauan rele kondisi eksisting & *resetting* terhadap standar IEEE ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 9. Perbandingan Jangkauan Rele.

No	Rele	Zona	Standar	Jangkauan Rele	
				Eksisting (%)	Resetting (%)
1	Tanjung Jati Arah Jepara	Zona 1	80-90% L_1	88,03	88,03
		Zona 2	120%-150% L_1	165,95	165,95
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	364,46	364,46
2	Jepara Arah Kudus	Zona 1	80-90% L_1	79,98	85,2
		Zona 2	120%-150% L_1	132,94	132,94
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	165,18	165,18
3	Jepara Arah Tanjung Jati	Zona 1	80-90% L_1	80,02	80,02
		Zona 2	120%-150% L_1	120,04	120,04
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	270,49	270,49
4	Kudus Arah Jepara	Zona 1	80-90% L_1	71,09	85,06
		Zona 2	120%-150% L_1	122,47	122,47
		Zona 3	1,2 x (L_1+L_2)	222,23	222,23

Dari Tabel 6 terlihat bahwa pada kondisi eksisting, jangkauan zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati sebesar 79,98% dan rele Kudus arah Jepara sebesar 71,09%. Hal ini tidak sesuai standar IEEE yaitu untuk zona 1 jangkauannya sebesar 80%-90% dari total panjang saluran yang diproteksi. Setelah *resetting*, jangkauan zona 1 rele Jepara arah Tanjung Jati menjadi 85,2% dan rele Kudus arah Jepara menjadi 85,06% sehingga nilai jangkauan tiap zona pada rele yang dianalisis sudah memenuhi standar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi koordinasi rele jarak pada saluran Tanjung Jati - Kudus yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Koordinasi antara rele Tanjung Jati arah Jepara, rele Jepara arah Tanjung Jati, rele Jepara arah Kudus, dan rele Kudus arah Jepara tidak *overlapping* pada kedua salurannya baik pada kondisi eksisting maupun setelah dilakukan setting ulang. Berdasarkan hasil simulasi dengan software DIGSILENT, nilai jangkauan pada rele jarak Tanjung Jati arah Jepara memiliki jangkauan zona 1 sebesar 88,03 %, zona 2 sebesar 165,95% dan zona 3 adalah 364,46%. Nilai jangkauan pada rele jarak Jepara arah Kudus memiliki jangkauan zona 1 sebesar 80,02 %, zona 2 sebesar 120,04% dan zona 3 adalah 270,49%. Nilai jangkauan ini sudah sesuai dengan referensi standar yaitu standar IEEE dan NPAG Alstom. Nilai jangkauan pada rele jarak Kudus arah Jepara memiliki jangkauan zona 1 sebesar 71,09 %, zona 2 sebesar 122,47% dan zona 3 adalah 222,23%. Nilai jangkauan pada rele jarak Jepara arah Tanjung Jati memiliki jangkauan zona 1 sebesar 79,98 %, zona 2 sebesar 132,94% dan zona 3 adalah 165,18%. Nilai jangkauan zona 2 dan zona 3 sudah sesuai dengan referensi standar, tetapi zona 1 belum sesuai dengan referensi standar yaitu standar IEEE dan NPAG Alstom. Nilai jangkauan zona 1 rele Kudus arah Jepara dan rele Jepara arah Tanjung Jati berubah setelah dilakukan perhitungan ulang dan setting ulang. Hasil perhitungan dan setting ulang menghasilkan nilai jangkauan zona 1 sebesar 85,06% pada rele Kudus arah Jepara dan sebesar 85,2% pada rele Jepara arah Tanjung Jati. Saat dilakukan simulasi gangguan menggunakan skenario 2 pada kondisi eksisting menunjukkan kinerja rele Tanjung Jati arah Jepara, rele Jepara arah Kudus, dan rele Kudus arah Jepara telah sesuai standar referensi, akan tetapi rele Jepara arah Tanjung Jati kinerjanya tidak sesuai dengan standar referensi disebabkan jangkauan rele hanya 79,98%. Setelah disetting ulang jangkauannya menjadi 85,2% dan rele sudah bekerja sesuai standar referensi. Saat dilakukan simulasi gangguan menggunakan skenario 5 pada kondisi eksisting menunjukkan kinerja rele Tanjung Jati arah Jepara, rele Jepara arah Tanjung Jati, dan rele Jepara arah Kudus telah sesuai standar referensi, akan tetapi rele Kudus arah Jepara kinerjanya tidak sesuai dengan standar referensi disebabkan jangkauan rele hanya 71,09%. Setelah disetting ulang jangkauannya menjadi 85,06% dan rele sudah bekerja sesuai standar referensi.

Referensi

- [1] W. D. Stevenson. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, 4th ed. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [2] H. . El-Tamaly and A. H. M. El Sayed. *A New Technique For Setting Calculation Of Digital Distance Relays*. MEPCON 2006, pp. 135–139.
- [3] T. Penthong and K. Hongesombut. *An efficient method of automatic distance relay settings for transmission line protection*. IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON, pp. 5–8, 2013.
- [4] R. Sudrajat, S. Saodah, and Waluyo. *Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng*. J. Reka Elkomika, vol. 2, no. 1, pp. 36–48, 2014.
- [5] A. Jamaah. *EVALUASI SETTING RELE JARAK GARDU INDUK UNGARAN JARINGAN 150kV ARAH KRAPYAK-2*. ORBITH, vol. 10, no. 1, pp. 82–89, 2014.
- [6] S. Nikolovski and D. Prhal. *Numerical Simulation of Distance Protection on Three Terminal High Voltage Transmission Lines*. vol. 3, pp. 195–210, 2009.
- [7] W. Carpenter. *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*. vol. 1999, no. February 2000. 1999.
- [8] T. Hutauruk. *Transmisi Daya Listrik, I*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [9] A. Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia, 2000.
- [10] R. M. Saleem. *Recommended Protection Scheme Setting Coordination For Nine Busbars Transmission Grid*. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2015.
- [11] R. P. Fonseca, J.R., Tan, A.L., Monassi, V., Janquira, W.S., Silva and M. Assuncano, L.A.R.. *Effects of Agricultural Fires on the Performance of Overhead Transmission Lines*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no. 2, pp. 687–694, 1990.
- [12] M. J. Thompson and D. L. Heidfeld. *Transmission line setting calculations-beyond the cookbook*. Prot. Relay Eng. 2015 68th Annu. Conf., pp. 850–865, 2015.
- [13] B. Pandjaitan. *Praktik - Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Publisher, 2012.
- [14] S. S. Rao. *Switchgear Protection and Power System*, 4th ed. Delhi: Khanna Publishers. 2010.
- [15] ALSTOM. *Network Protection & Automation Guide*. First Edit. Alstom Grid, 2002.
- [16] S. H. Horowitz and A. G. Phadke. *Third Zone Revisited*. IEEE Trans. Power Deliv., vol. 21, no. 1, pp. 23–29, 2006.
- [17] R. Ghaffarpour, F. Razavi, and A. A. Ghadimi. *A New Approach to Adaptive Setting of Distance Relays Using Setting- Group Function*. vol. 4, no. 9, pp. 53–60, 2014.
- [18] Suhadi. *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [19] PT PLN (Persero). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Dokumen: PDM/SGI/15:2014. Jakarta, 2014
- [20] Di. GmbH. *PowerFactory User's Manual*. 2008