

Kajian Koordinasi Sistem Proteksi Pada Sistem Transmisi 70 kV GI Banaran Kediri *Transmission Line* Bay Pare

Hafid Abibie*^{a)}, Sulistyowati^{a)}, Ferdian Ronilaya^{a)}

(Artikel diterima: September 2020, direvisi: Oktober 2020)

Abstract: The substation is one of the components in the electric power distribution system which plays a very important role because it is the connection between electricity services to customers. In the electric power distribution system, there are disturbances that often occur, one of which is a short circuit. For that, the way to overcome this is using the Distance Relay protection system, OCR / GFR and DEF. The purpose of writing this research is to determine the value of setting relay distance, setting Over Current Rele and Directional Earth Fault relay in order to secure the 70 kV transmission network connected to GI Banaran, which is then simulated using DigSILENT 15.1 software on the Pare line by calculating symmetrical and asymmetrical disturbances. including 3-phase disturbance on February 1, 2018. The simulation results show that the 3-phase disturbance occurs at Zone 1 relay distance of the Banaran Bay Pare substation with a trip time of 0.02 seconds with a fault impedance of 0.083 ohms below the relay impedance value of 0.887 ohms. The coordination between the distance relay on the side of the Banaran Bay Pare substation has worked well because there is no error reading the relay when it will cut off the disturbance.

Keywords: substation, transmission, distance relay, OCR, directional earth fault, coordination.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk sebagai salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting karena merupakan penghubung pelayanan tenaga listrik ke pelanggan. Kebutuhan yang beragam membuat PLN harus lebih meningkatkan pengaman pada jaringan. Dalam menanggapi masalah tersebut pihak PLN selalu berusaha untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan sama sekali gangguan-gangguan yang mungkin terjadi baik berupa gangguan dari dalam sistem maupun gangguan alam pada saluran udara tegangan tinggi maupun distribusi yang bisa menghambat kontinuitas pelayanan listrik kepada masyarakat pelanggan

Salah satu gangguan dalam sistem yang berpengaruh besar terhadap kontinuitas pelayanan adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat ini telah banyak membuat kerugian baik pada pihak PLN maupun pelanggan. Seperti halnya gangguan hubung singkat yang terjadi pada tanggal 1 Februari 2018 yang mengakibatkan Rele Jarak / *Distance Relay* mengalami trip yang terjadi di *transmission line bay Pare*. Gangguan hubung singkat dapat dideteksi menggunakan rele-rele yang ada, tergantung penyebab gangguan. Berdasarkan teori sistem rele proteksi, maka dapat ditentukan rele yang bekerja pada penyulang tegangan menengah maupun pada transformator sebuah gardu induk.

Rele proteksi yang bekerja pada gardu induk sudah ditentukan masing-masing antar sistem proteksi agar tidak saling berkaitan. Apabila gangguan yang ada di penyulang mempengaruhi dan menyebabkan gangguan pada transformator tegangan menengah akan menyebabkan short, untuk mengatasi masalah ini komponen mekanis maupun setting rele harus dipasang sesuai dengan ketentuan yang ada. Jenis rele proteksi sendiri beragam mulai dari rele jarak (*distance*), rele arus lebih (OCR/GFR), dan rele arus lebih (DEF). Rele-rele tersebut sangat penting untuk digunakan karena berfungsi menangkap respon

pertama jika sistem tenaga listrik mengalami gangguan, kemudian komponen inilah yang akan menyuruh PMT untuk trip.

Maka dari itu diperlukan mengetahui setting pengaman yang digunakan untuk jalur dari GI Banaran bay Pare. Pada trafo GI Banaran menuju ke busbar dan ke beban serta dampak yang akan terjadi apabila ada gangguan dari pengaman-pengaman tersebut. Sesuai dengan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan investigasi dan kajian koordinasi proteksi di GI Banaran.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

Gardu Induk (GI) merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan control.

Fungsi utama dari gardu induk :

1. Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen
2. Sebagai tempat control
3. Sebagai pengaman operasi system
4. Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi

2.2 Transmisi

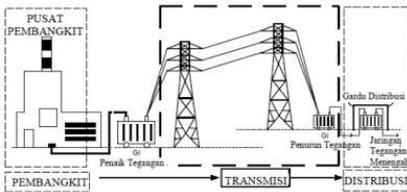
Pusat tenaga listrik umumnya terletak jauh dari pusat bebannya. Energi listrik yang dihasilkan pusat pembangkitan disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan generator pembangkit relatif rendah (6 kV – 24 kV). Maka tegangan ini dinaikin dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi antara 150 kV – 500 kV. Tujuan peningkatan tegangan ini, selain membesarkan daya hantar dari saluran (berbanding lurus dengan kwadrat tegangan), juga untuk memperkecil rugi daya dan susut tegangan pada saluran transmisi.

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu :

Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar 2.1 berikut :

* Korespondensi: hafidabibie42@gmail.com

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141



Gambar 2.1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20kV sering disebut Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah 380/220V

2.3 Pengertian Rele

Rele proteksi merupakan komponen utama dalam pengamanan sistem tenaga listrik, dimana komponen inilah yang akan menangkap respon pertama jika sistem tenaga listrik mengalami gangguan, kemudian komponen inilah yang akan menyuruh PMT untuk trip, sehingga gangguan tidak meluas ke peralatan yang lainnya.

2.4 Sebab Timbulnya Gangguan SUTT

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan adanya arus lebih yang mungkin terjadi di antaranya adalah gangguan beban lebih (overload), gangguan hubung singkat (short circuit), dan gangguan tegangan lebih.

Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain :

1. Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang di sebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Berkurangnya stabilitas daya system tersebut.
3. Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat sampai mengakibatkan bekerjanya CB yang biasa di sebut pemadaman listrik.

2.5 Rele Jarak

Rele jarak adalah salah satu jenis proteksi penghantar yang bekerja berdasarkan perbandingan nilai impedansi setelan terhadap impedansi pengukuran dari besaran arus dari CT dan tegangan dari PT/CVT. Selain sebagai proteksi utama penghantar, rele ini juga berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh terhadap proteksi utama penghantar di depannya.

2.6 Penyetelan Rele Jarak

Mensetting rele jarak pada prinsipnya adalah membagi nilai tegangan dan arus, sehingga dapat diketahui besarnya nilai impedansi yang di inginkan. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Z = \frac{V}{I}$$

Z : Impedansi (ohm)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

Sehingga setting impedansi rele dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

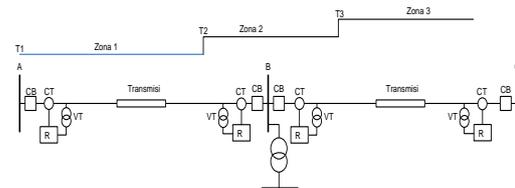
$$Z_s = \frac{\text{Perbandingan CT}}{\text{Perbandingan VT}} \times Z_p$$

Z_p = Impedansi saluran sisi primer

$$\text{Perbandingan CT} = \frac{\text{Arus primer}}{\text{Arus skunder}}$$

$$\text{Perbandingan VT} = \frac{\text{Tegangan primer}}{\text{Tegangan skunder}}$$

Proteksi Zona 1



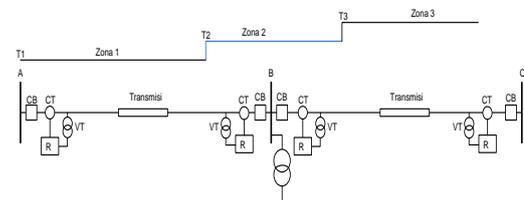
Gambar 2.13 Area Setting Zona 1

Zona-1 rele disetel 80% - 85% dari panjang saluran yang diamankan.

$$Z_{setting} = (85\%) \times ZAB \text{ (saluran)}$$

Waktu Kerja rele seketika, ($t_1 = 0$) tidak dilakukan penyetelan waktu.

Proteksi Zona 2



Gambar 2.14 Area Setting Zona 3

$$\text{Zona-2 minimum} = 120\% \times ZAB$$

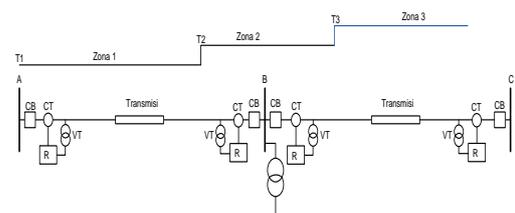
$$\text{Zona-2 maximum} = 80\% \times (ZAB + 80\% \times ZBC)$$

ZAB = Impedansi saluran yang diamankan

ZBC = Impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)

Waktu kerja rele $t_2 = 0,4$ s/d $0,8$ dt

Proteksi Zona 3



Gambar 2.15 Area Setting Zona 3

$$Zona-3_{min} = 120\% \times (Z_{AB} + k \times Z_{BC})$$

k = factor infeed

$$Zona-3_{max} = 80\% \times (Z_{AB} + 80\% \times k \cdot Z_{BC})$$

Z_{AB} = Impedansi saluran yang diamankan

Z_{BC} = Impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)

Z_{CD} = Impedansi saluran berikutnya yang terpanjang (Ω)

Waktu kerja rele $t_3 = 1,2 \text{ s/d } 1,6 \text{ dt}$

2.7 Penyetelan Rele OCR/GFR

Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, rele akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Sesuai dengan standar IEC 60255 setting *standard invers* :

$$tms = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{\alpha-1}}{K}$$

$$t = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{\alpha-1}}{K} \times tms$$

2.8 Penyetelan Rele DEF

DEF adalah rele arus lebih berarah yang bekerja mengamankan penghantar dari gangguan fasa ke tanah yang bersifat tahanan tinggi (high resistance) yang tidak terdeteksi oleh distance relay.

Setting rele utama :

$$I_{set \text{ rele}} = I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{Ratio \ CT}$$

$$I_{set \text{ primer}} = 10\% \times I_N \ CT$$

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{Base}}$$

Setting rele backup :

$$I_{set \text{ rele}} = I_{set \text{ primer}} \times \frac{1}{Ratio \ CT}$$

$$I_{set \text{ primer}} = 20\% \times I_N \ CT$$

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{Base}}$$

2.9 Koordinasi Rele Proteksi

Koordinasi rele adalah tersedianya lebih dari satu rele proteksi yang saling melakukan komunikasi dengan tujuan melokalisir gangguan secara selektif. Dengan demikian di butuhkan koordinasi rele proteksi supaya rele yang lain memberi kesempatan terhadap rele proteksi yang zona proteksinya mengalami gangguan untuk bekerja terlebih dahulu. Tujuan dari koordinasi rele adalah membedakan antara zona proteksi antar rele, zona proteksi terhadap lokasi maupun waktu.

3. METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dalam rangka pembuatan penelitian ini dilaksanakan pada :

Waktu : 10 Maret 2016 – 30 Mei 2016

Lokasi : PT. PLN (PERSERO) GI BANARAN, BASECAMP KEDIRI

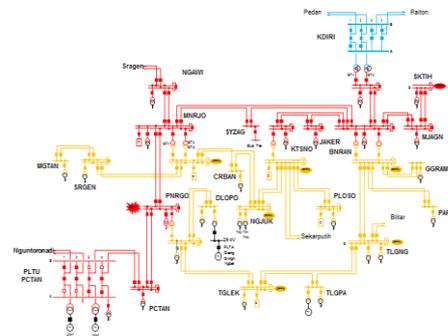
3.2 Diagram Alir Penyelesaian Masalah



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyelesaian Masalah

4. PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Subsistem Kediri



Gambar 4.1 Konfigursai Subsistem Kediri

Gambar 4.1 Sub Sistem 150 kV Kediri, single line diagram diatas menjelaskan sistem jaringan 150 kV Kediei yang tersambung secara interkoneksi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit 150 kV atau dari Inter Bus Transformer 500 kV menuju konsumen (beban). Pada sub sistem 70 kV Kediri terdapat beberapa level tegangan, yaitu : 500 kV (garis biru), 150 kV(garis merah), 70 kV (garis kuning).

4.2 Perhitungan Setting Distance Relay

Untuk menentukan perhitungan setting Distance Relay pada saluran transmisi Area Pelaksanaan Pemeliharaan Madiun Base Camp Kediri. Adapun data-data yang dibutuhkan yaitu ;

- Data Transformer : Merk Transformer, tegangan kerja, arus transformator, daya transformator, impedansi,

transformator, current transformer (CT), potensial transformer (PT).

• Data Penghantar : Tegangan kerja, panjang penghantar, jenis penghantar, arus nominal penghantar dan impedansi penghantar.

4.2.1 Distance Relay Merk Nissin Type EXH-31

Untuk Distance Relay tipe ini terdapat pada Gardu Induk Banaran Bay Pare 1 dan 2. Spesifikasi Transformator yang digunakan pada Gardu Induk Banaran adalah:

Merk Transformator: PAUWELS

Tegangan	: 150 kV / 70 kV
Arus	: 230 A / 494,9 A
Daya	: 60 MVA
Impedansi	: 13,5 %
CT	: 400 / 5
PT	: 66 / 0,11 kV

Data Impedansi primer saluran Pare : OHL-70kV-ACSR/PIGEON 99.22mm (310A) panjang 15,841 km

Impedansi : R = 0,387 ohm/ km
 X = 0,356 ohm/km
 $Z_p/km = (0,387 + j0,356) \times 15,841km$
 $= 8,329 \angle 42,61^\circ \Omega$

Nilai impedansi (Z) sebesar $8,329 \angle 42,61^\circ \Omega$ merupakan nilai impedansi yang terdapat pada saluran yang terbaca oleh rele jarak pada sisi primer untuk setiap kilo meternya,

Data Impedansi sekunder saluran SUTT Pare :

$$Z_s = \frac{\text{Perbandingan CT}}{\text{Perbandingan VT}} \times Z_p$$

$$= \frac{400 \times 0,11}{66 \times 5} \times (6,13 + j5,639)$$

$$= 0,133 \times (6,13 + j5,639)$$

$$= 0,8173 + j0,751$$

$$= 1,11 \angle 42,61^\circ \Omega$$

Dengan demikian nilai impedansi sisi sekunder rele dapat dihitung dengan hasil sebesar $1,11 \angle 42,61^\circ \Omega$, nilai impedansi sekunder inilah yang nantinya akan terbaca oleh rele jarak.

4.2.2 Setting Berdasarkan Zona : Arah Pare

Setting Zona 1 adalah $Z_{setting} = (85\%) \times Z_{AB}$ (saluran). Waktu Kerja rele seketika, ($t_1 = 0$) tidak dilakukan penyetelan waktu.

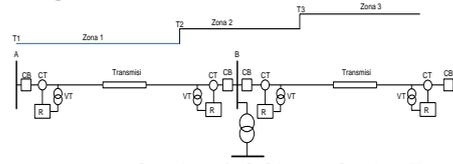
Prinsip penyetelan Zona-2 adalah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

Zona-2 minimum = $120\% \times Z_{AB}$
 Zona-2 maximum = $80\% \times (Z_{AB} + 80\% \times Z_{BC})$
 Waktu kerja rele $t_2 = 0,4$ s/d $0,8$ dt

Prinsip penyetelan Zona-3 adalah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

Zona-3min = $120\% \times (Z_{AB} + k \times Z_{BC})$
 k = factor infeed
 Zona-3max = $80\% \times (Z_{AB} + 80\% \times k \cdot Z_{BC})$
 Waktu kerja rele $t_3 = 1,2$ s/d $1,6$ dt
 ZAB = Impedansi saluran yang diamankan
 ZBC = Impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)
 ZCD = Impedansi saluran berikutnya yang terpanjang (Ω)

Setting Zona 1 arah Pare

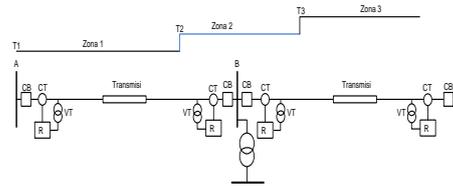


Gambar 4. 3 Sistem Setting Zona 1

Zona 1 = (80%) dari panjang saluran yang diamankan = $80\% \times 15,841 \text{ km} = 12,672 \text{ km}$
 $Z_{setting} = (80\%) \times (0,8173 + j0,751)$
 $= 0,6538 + j0,6008$
 $= 0,887 \angle 42,58^\circ \Omega$

Untuk zona 1 sistem 1,2 di setting sebesar : $0,887 \angle 42,58^\circ \Omega$

Setting Zona 2 arah Pare



Gambar 4. 4 Sistem Setting Zona 2

Untuk setting zona 2 terdapat beberapa hal yang perlu diperhitungkan yaitu zona setting maksimum dan zona setting minimum, zona setting trafo

Zona 2 minimum :
 (120%) dari panjang saluran = $120\% \times 15,841 \text{ km} = 19,0092 \text{ km}$
 $Z_{setting} \text{ minimum} = (120\%) \times (0,8173 + j0,751)$
 $= 0,9807 + j0,9012$
 $= 1,33 \angle 42,58^\circ \Omega$

Jadi setting zona 2 minimal untuk LPa & LPb adalah $1,33 \angle 42,58^\circ \Omega$

Zona 2 maksimum:
 $Z_{setting} \text{ maximum} = (80\%) \times (Z_{AB} + 80\% \times Z_{BC})$
 Sehingga setting Zona 2 maximum adalah :
 $Z_{setting} \text{ maximum} = (80\%) \times (Z_{AB} + 80\% \times Z_{BC})$
 $= 0,8 \times ((0,8173 + j0,751) + (0,8 \times (6,13 + j5,639)))$

$$= 0,8 \times ((0,8173 + j0,751) + (8,28 + j7,61))$$

$$= 0,8 \times (9,102 + j8,36)$$

$$= 7,282 + j6,69$$

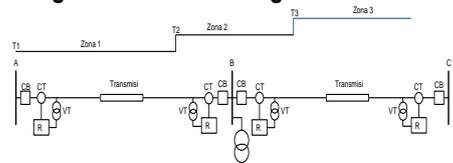
$$= 9,88 \angle 42,58^\circ \Omega$$

Jadi setting zona 2 maksimal untuk LGudang Garam adalah $9,88 \angle 42,58^\circ \Omega$

Jika Zona 2-mak > Zona 2-min, maka setting Zona 2 = Zona 2-mak

Jika Zona 2-min > Zona 2-mak, maka setting Zona 2 = Zona 2-min
 Setting zona minimal dengan nilai impedansi sebesar $1,33 \angle 42,58^\circ \Omega$

Setting Zona 3 Line Gudang Garam



Gambar 4. 5 Sistem Setting Zona 3

Zona 3 minimum = $120\% \times (Z_{AB} + k \cdot Z_{BC})$ Nilai k = 0,8 standard PT.PLN

$$\begin{aligned}
 &= 1,2 \times ((0,8173 + j0,751) + (0,8 \times (6,13 + j5,639))) \\
 &= 1,2 \times ((0,8173 + j0,751) + (4,904 + j4,511)) \\
 &= 1,2 \times (5,721 + j5,26) \\
 &= 6,865 + j6,314 \\
 &= 9,32 \angle 41,60^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Jadi setting zona 3 minimal untuk Line Pare adalah $9,32 \angle 41,60^\circ \Omega$

Zona 3 maksimum = $80\% \times (Z_{AB} + 80\% \times k \cdot Z_{BC})$
 Nilai k = 0,8 standard PT.PLN (Persero)
 Sehingga perhitungan impedansi zona 3 maksimal adalah sebagai berikut :
Zona 3 maksimum = $80\% \times ((0,8173 + j0,751) + (80\% \times 0,8 \times (6,13 + j5,639)))$
 $= 80\% \times ((0,8173 + j0,751) + (3,923 + j3,608))$
 $= 80\% \times (4,7405 + j4,36)$
 $= 3,8 + j3,487$
 $= 5,152 \angle 47,60^\circ \Omega$
 Jadi setting zona 3 maksimal untuk Line Pare adalah $5,152 \angle 47,60^\circ \Omega$

Jika Zona 3-mak > Zona 3-min, maka setting Zona 3 = Zona 3-mak
 Jika Zona 3-min > Zona 3-mak, maka setting Zona 3 = Zona 3-min
 setting zona minimal dengan nilai impedansi sebesar $5,152 \angle 47,60^\circ \Omega$.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Setting Rele Berdasarkan Zona

Zona	SUTT	Nilai PLN		Nilai Perhitungan		Perbandingan Berapa (%)
Zona 1	Pare	0,891 Ω	42,6°	0,887 Ω	42,58°	99,55 %
Zona 2	Pare	1,366 Ω	42,58°	1,33 Ω	42,58°	97,36 %
Zona 3	Pare	2,676 Ω	47,6°	5,152 Ω	47,6°	51,94 %

4.3 Perhitungan Setting Rele GFR dan OCR

- Setting GFR
 Dengan menggunakan persamaan 2.21 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), maka perhitungan setting GFR adalah:
 Iset (primer) = $0,2 \times I_{\text{nominal}}$ (standar GFR 20%)
 $= 0,2 \times 310 \text{ A}$
 $= 62 \text{ A}$
 Iset (sekunder) = Iset (primer) $\times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$
 $= 62 \times \frac{5}{400}$
 $= 0,81 \text{ A}$

Dengan menggunakan persamaan 2.16 (Sumber: IEC 60255), maka waktu kerja rele GFR, diperoleh:

$$tms = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}{K}$$

Nilai I_f yang digunakan adalah dari hasil perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah 54,6 kA. Karakteristik rele di asumsikan *standart invers*, sehingga nilai $\alpha = 0,02$ dan $K = 0,14$.

$$tms = \frac{\left(\frac{54,6}{0,81}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$tms = 0,61 \text{ detik}$$

jadi, dengan menggunakan persamaan 2.17 (Sumber: IEC 60255), waktu kerja relay aktualnya adalah:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} \times tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{54,6}{0,81}\right)^{0,02} - 1} \times 0,01$$

$$t = 0,8 \text{ detik}$$

- Setting OCR

Dengan menggunakan persamaan 2.21 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), maka perhitungan setting OCR adalah:

$$\begin{aligned}
 I_{set} \text{ (primer)} &= 1,2 \times I_{\text{nominal}} \text{ (standar OCR 120\%)} \\
 &= 1,2 \times 310 \text{ A} \\
 &= 372 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set} \text{ (sec)} &= I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 372 \times \frac{5}{400} \\
 &= 4,6 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.16 (Sumber: IEC 60255), maka waktu kerja relay OCR, diperoleh:

$$tms = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}{K}$$

Nilai I_f yang digunakan adalah dari hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa 77,35 kA. Karakteristik relay di asumsikan *standart invers*, sehingga nilai $\alpha = 0,02$ dan $K = 0,14$.

$$tms = \frac{\left(\frac{77,35}{4,6}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$tms = 0,41 \text{ detik}$$

jadi, dengan menggunakan persamaan 2.17 (Sumber: IEC 60255) waktu kerja relay aktualnya adalah:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} \times tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{77,35}{4,6}\right)^{0,02} - 1} \times 0,02$$

$$t = 0,7 \text{ detik}$$

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR

Penghantar	Nilai PLN		Perhitungan	
	OCR	GFR	OCR	GFR
	Tms	Tms	Tms	Tms
	(s)	(s)	(s)	(s)
Pare 1 dan 2	0,5	0,8	0,41	0,61

4.4 Perhitungan Setting Rele DEF

Berikut ini adalah data-data yang akan dibutuhkan untuk analisis perhitungan setting arus kerja (*I pickup*) dan waktu kerja rele DEF, data yang dimaksud adalah sebagai berikut:

Data rating CT : 400/1 A

Data rating PT : 66/0,11 kV

Data Impedansi Saluran urutan positif & negatif :

R = 0,387 Ω/km

X = 0,356 Ω/km

Data Impedansi Saluran urutan nol:

R₀ = 0,537 Ω/km

X₀ = 1,069 Ω/km

Setting DEF utama: **Pare**

Setting Arus :

Mencari perbandingan setting ratio CT, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Ratio CT} = \frac{\text{Primer}}{\text{Sekunder}} = \frac{400}{1} \text{ A}$$

Langkah berikutnya mencari arus setting sisi primer rele DEF, dengan menggunakan persamaan 2.19 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), sehingga arus setting sisi primer dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{\text{set primer}} = 10\% \times I_N \text{ CT} = 10\% \times 400 = 40 \text{ A}$$

Dari perhitungan di atas sehingga setting arus sisi sekunder atau arus rele dapat di ketahui, dengan menggunakan persamaan 2.18 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), sehingga arus setting sisi sekunder dapat di hitung sebagai berikut :

$$I_{\text{set rele}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 40 \times \frac{1}{400} = 0,1 \text{ A}$$

Perhitungan di atas adalah untuk setting DEF utama, untuk back up dapat di setting sebagai berikut:

Setting DEF Backup:

Langkah pertama untuk perhitungan setting DEF adalah mencari besarnya nilai arus nominal, dengan perhitungan sebagai berikut:

Setting Arus :

Mencari perbandingan setting ratio CT, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Ratio CT} = \frac{\text{Primer}}{\text{Sekunder}} = \frac{400}{1} \text{ A}$$

Langkah berikutnya mencari arus setting sisi primer rele DEF, dengan menggunakan persamaan 2.22 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), sehingga arus setting sisi primer dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{\text{set primer}} = 20\% \times I_N \text{ CT} = 20\% \times 400 = 80 \text{ A}$$

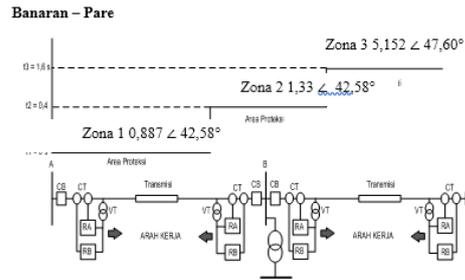
Dari perhitungan di atas sehingga setting arus sisi sekunder atau arus rele dapat di ketahui, dengan menggunakan persamaan 2.21 (Sumber : (Yudha, Hendra Marta, 2008, hal. 132)), sehingga arus setting sisi sekunder dapat di hitung sebagai berikut :

$$I_{\text{set rele}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 80 \times \frac{1}{400} = 0,2 \text{ A}$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Setting Rele DEF

PHT	DEF	Setting PLN		Setting Perhitungan	
		I set	t (s)	I set	t (s)
Pare	Utama	0,1 A	0 s	0,1 A	0s
Pare	Back up	0,2 A	2 s	0,2 A	2 s

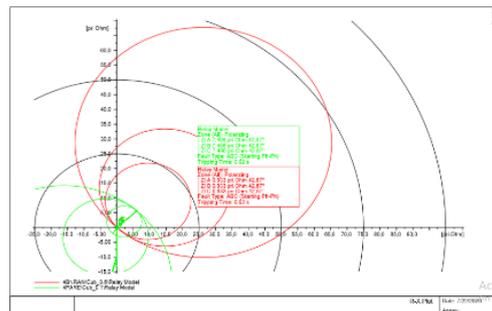
4.5 Koordinasi Rele



Gambar 4.6 Proteksi Berdasarkan Zona

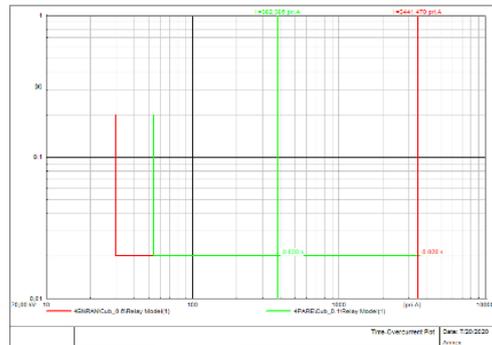
4.6 Simulasi DigSILENT

Berikut simulasi gangguan 3 fasa pada tanggal 01 Februari 2018 pada GI Banaran bay Pare. Titik gangguan pada Pare diasumsikan terjadi pada jarak 10% dari total Panjang saluran 15,841 km.



Gambar 4.7 Karakteristik Mho Distance Relay Gangguan 3 Fasa pada Line Pare

Dalam gambar tersebut terlihat gangguan berada pada garis lurus yang terdapat di dalam lingkaran pertama *Distance Relay* GI Banaran - Pare. Hal tersebut berarti gangguan tersebut di deteksi oleh *Distance Relay* GI Banaran - Pare pada zona 1 dengan waktu pemutusan 0,02 detik.



Gambar 4.8 Kurva OCR Gangguan 3 Fasa pada Line Pare

Pada kurva diatas terlihat garis yang memotong kurva OCR GI Banaran - Pare. Hal tersebut menandakan bahwa relay OCR tersebut mendeteksi adanya gangguan. OCR pada GI Banaran - Pare bekerja dengan waktu tunda 0,020 detik.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil KAJIAN KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA SISTEM TRANSMISI 70 KV GI BANARAN KEDIRI *TRANSMISSION LINE BAY PARE* adalah sebagai berikut:

1. Dari setting rele terdapat perbedaan selisih nilai antara perhitungan dengan PT.PLN, pada setting zona 1 arah Pare

menurut nilai perhitungan $0,887 \angle 42,58^\circ \Omega$ dan PLN $0,891 \angle 42,6^\circ \Omega$ prosentase selisih sebesar 99,55%, setting zona 2 arah Pare nilai perhitungan $1,33 \angle 42,58^\circ \Omega$ dan PLN $1,366 \angle 42,58^\circ \Omega$ prosentase selisih sebesar 97,36%, dan setting zona 3 arah Pare nilai perhitungan $5,152 \angle 47,6^\circ \Omega$ dan PLN $2,676 \angle 47,6^\circ \Omega$ prosentase selisih sebesar 51,94%. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah :

- Rumus perhitungan yang digunakan PLN.
 - Pembulatan pada angka perhitungan.
2. Koordinasi rele proteksi terjadi pada line transmisi dan juga pada busbar 70 kV yaitu pada line transmisi terjadi koordinasi antara rele distance Lpa dan LPb zona 1 sebagai pengaman utama dan rele distance Lpa, Lpb zona 2, zona 3 sebagai proteksi backup untuk pengamanan dari gangguan resistansi rendah, sedangkan DEF untuk gangguan resistansi tinggi. Urutan kerja dari rele jika terjadi gangguan low resistansi pada saluran yaitu rele distance main, rele CBF, dan buspro. Jika terjadi gangguan high resistansi yaitu rele DEF main, rele CBF, kemudian buspro. Pada saat terjadi gangguan pada busbar 70 kV GI Banaran Kediri maka buspro yang akan mengamankan dengan cara men-tripkan semua CB dekat dengan busbar yang mengalami gangguan.

Dari hasil simulasi menggunakan software *DIGSILENT V15.1*. gangguan diberikan pada zona 1 terlihat koordinasi rele sudah tepat, rele bekerja sesuai setting tanpa ada kesalahan pembacaan saat terjadinya gangguan.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang bisa dijadikan saran untuk PT.PLN (Persero) Jawa Bali umumnya dan juga GI Banaran Kediri khususnya, guna untuk menyempurnakan sistem proteksi di PT.PLN khususnya pada bidang transmisi. Saran yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Mengingat type dan merk *relay distance* yang digunakan sebagai proteksi utama line Banaran 70 kV (Lpa dan LPb) adalah sama jenisnya sehingga perlu adanya analisis dengan menggunakan type rele yang jenis maupun merknya berbeda, guna mendapatkan hasil yang lebih sempurna.
2. Untuk mengantisipasi adanya gangguan *over load* pada jaringan transmisi perlu adanya perubahan konfigurasi sistem proteksi dengan memasang OLS (*Over Load Sedhing*).
3. Perlunya alat pendeteksi rele yang berfungsi mendeteksi lokasi gangguan secara otomatis dan presisi, di Indonesia masih sedikit yang menggunakan alat tersebut dikarenakan terlalu mahal hanya dipasang dikota-kota besar saja.

- [4] Halomoan, Cristof Naek;. (2008). Studi Konsep Adaptif. Indonesia.
- [5] Haryanto, Bagus;. (2003). Sistem Pengaman Transmisi. Indonesia: PT.PLN (Persero) P3B Jawa Bali Region Jawa Barat.
- [6] Horowith, Stanley H.; Phadke, Arun G.:. (2008). Power System Relaying. USA: John Wiley & Sons.
- [7] Parshusip, & Hermawan. (2012). Relay Jarak Sebagai Pengaman Utama Pada Pola Proteksi SUTT. PT. PLN (Persero) Udiklat Semarang.
- [8] PT. PLN (Persero);. (2014). *Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Indonesia.
- [9] PT.PLN (Persero). (2009). *Jasa Pendidikan dan Pelatihan Proteksi Penyaluran Tenaga Listrik*.
- [10] PT.PLN (Persero). (2009). *Petunjuk Batasan Operasi SK114 No. 7-22*. Indonesia: HARLUR-PST.
- [11] Electric Schneider. *MICOM P441/P442/P444 Numerical Distance Protection*.
- [10] Syafar, A. Muhammad. (2010). Studi Keandalan Distance Rele Jaringan 150 kV GI TELLO-GI PARE-PARE. *Media Elektrik, Volume 2*.
- [11] Yudha, Hendra Marta;. (2008). *Proteksi Rele Prinsip dan Aplikasi*. Indonesia: Universitas Sriwijaya Jurusan TE.

Daftar Pustaka

- [1] El-Harawy, Muhamed E.:. (2008). Introduction to Electrical Power System. USA: John Wiley & Sons.
- [2] Gde,Dwi,&Wayan. (2018). Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedongaman. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17*
- [3] Grainger, J., & William, D. J. (2005). Power System Analysis. D. Stevenson Wiliam.