

Evaluasi Penyetelan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang J.3 Gardu Karang Joang Balikpapan

A.Asni B.¹, Muh.Kaiyin Saleh², Bambang Sugeng³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Balikpapan,
Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA

E-mail : a.asni.b@uniba-bpn.ac.id ,kaiyin.mmj@gmail.com,bas.sugeng@gmail.com

Abstract-Medium voltage network is one of the distribution of electricity from generators to the consumer. The voltage will be separated to each feeder for its distribution. If the rate of consumer needs is higher, PLN demanded to add new feeder. Electric power distribution requires reliability in maintaining the distribution equipment from fault, including short circuit. So, to minimize the fault, protection system that meets the requirements of sensitivity, reliability, selectivity and speed, which is all depends on the precision in setting protection equipment One of the protective devices that used in medium voltage network is an over current relay (OCR) and ground fault relay(GFR). This research discusses evaluation between the OCR and GFR setting, at the J.3 in Karang Joang substation. The comparison result between calculation and attached data in Karang Joang substation almost same. The calculation from OCR setting in incoming side acquired TMS = 0,1955. Meanwhile the OCR setting in outgoing side acquired TMS =0,1294. GFR setting in incoming side acquired TMS 0,2807. Meanwhile GFR setting in outgoing side acquired TMS = 0,1102. This result showed that attached setting in Karang Joang Substation still considered in good condition.

Keywords — **Transformer 150/20 kV, protection, over current relay, the middle voltage.**

Intisari- Jaringan tegangan menengah adalah salah satu pendistribusian tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen. Tegangan akan dibagi pada tiap penyulang untuk pendistribusiannya. Semakin besarnya tingkat kebutuhan konsumen, PLN dituntut untuk menambah penyulang baru. Pendistribusian tenaga listrik membutuhkan keandalan dalam menjaga peralatan penyaluran dari gangguan diantaranya gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk meminimalisir gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan, yang semuanya tergantung pada ketepatan dalam setting peralatan proteksinya. Salah satu peralatan proteksi yang di gunakan dalam jaringan tegangan menengah adalah relay arus lebih (OCR) dan relay hubung tanah (GFR). Pada penulisan tugas akhir ini akan dibahas evaluasi antara setting OCR dan GFR pada penyulang J.3 di Gardu Induk Karang Joang. Hasil perbandingan antara perhitungan dan data terpasang pada Gardu Induk Karang Joang mendekati sama. Hasil perhitungan dari setting OCR pada sisi incoming di dapat nilai TMS = 0,1955. Sedangkan setting OCR pada sisi outgoing diperoleh nilai TMS = 0,1294. Penyetelan GFR pada sisi incoming di dapat

nilai TMS = 0,2807. Sedangkan setting GFR pada sisi outgoing diperoleh nilai TMS = 0,1102. Ini menunjukkan bahwa setting yang terpasang pada Gardu Induk Karang Joang masih dalam kondisi baik.

Kata Kunci — **Transformator 150/20 kV, proteksi, relai arus lebih, tegangan menengah.**

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya beban yang sejalan dengan pertumbuhan kota, dapat berakibat terjadinya persentase kenaikan gangguan. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat antar fasa atau gangguan fasa tanah. Besarnya arus gangguan hubung singkat yang dapat terjadi di dalam sistem distribusi, sistem proteksi di tuntut meningkatkan keandalannya. Salah satu upaya adalah mengoptimalkan kinerja relai untuk mendapat keandalan yang baik. Koordinasi antar relai juga menentukan keandalan suatu proteksi, salah satu koordinasi yang harus di jaga adalah koordinasi antara relai arus lebih dan relai gangguan tanah[1][2].

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan listrik ke konsumen. Sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR). Jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah umumnya beroperasi secara radial. Arus gangguan terbesar terjadi pada daerah busbar 20 kV[3].

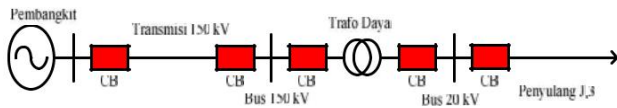
GI Karang Joang merupakan salah satu GI yang menyuplai ke rumah penduduk yang ada di wilayah Utara dan Barat kota Balikpapan untuk itu diperlukan adanya evaluasi dan penyetelan pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang J.3 di GI Karang Joang Balikpapan. Dalam melakukan evaluasi penyetelan relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang J.3 di Gardu Induk Karang Joang ada beberapa hal yang dirumuskan diantaranya: berapa besar arus gangguan hubung singkat pada distribusi 20 kV, berapa besar setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang J.3 di Gardu Induk Karang Joang, berapa waktu kerja relai terhadap titik gangguan tertentu pada penyulang J.3 di Gardu Induk Karang Joang.

II. LANDASAN TEORI

Penurunan tegangan dari jaringan transmisi pertama kali dilakukan pada gardu induk oleh transformator penurun tegangan (*step down transformer*). Tegangan yang dihasilkan ini dinamakan tegangan menengah atau tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer PLN pada umumnya bernilai 20 kV. Jaringan antara pusat listrik/pembangkit dan gardu induk disebut dengan jaringan transmisi, sedangkan jaringan yang keluar dari gardu induk ke konsumen/pelanggan disebut dengan jaringan distribusi[2].

2.1 Sistem Distribusi

Sistem sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada pemanfaat. Sistem distribusi terbagi dua bagian : sistem distribusi tegangan menengah, sistem distribusi tegangan rendah[2].



Gambar 1. Diagram Garis tunggal sistem distribusi

2.2 Bentuk Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi yang dimaksud disini dan yang akan dibahas lebih lanjut adalah jaringan distribusi primer. Berdasarkan bentuk jaringannya, jaringan distribusi dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bentuk sistem, yaitu : sistem *radial*, sistem *loop*, sistem *network* (jaringan), sistem *spindel*[2].

2.3 Gangguan Hubung Singkat

Dalam suatu sistem distribusi, pencatutan daya melalui sistem jaringan transmisi yang berpola radial yaitu dengan generator pada pangkalnya. Besar impedansi urutan positif dan urutan negatif dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh impedansi urutan positif dan negatif komponen yang ada mulai dari generator sampai gardu induk. Sedangkan impedansi urutan nol ditentukan dengan cara lain[4][5].

2.3.1 Impedansi Urutan Sumber

Adapun cara lain bila diketahui daya hubung singkat pada system transmisi dalam MVA, yaitu besar daya gangguan hubung singkat tiga fasa dan daya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pada sisi tegangan tinggi gardu induk. Impedansi urutan sumber dapat dihitung melalui persamaan[2][4][5]:

Hubung singkat sisi 150kV: (1)

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad \dots \quad (1)$$

$$\text{Sisi 150 kV:} \dots \dots \dots \frac{kV^2}{MVA} \quad \dots \quad (2)$$

Sisi 20 kV: (3)

$$X_s(\text{sisi 20 kV}) = \frac{kV^2 \text{ sisi 20kV}}{kV^2 \text{ sisi 150kV}} \cdot X_s(\text{sisi 150 kV}) \quad \dots \quad (3)$$

2.3.2 Impedansi Urutan Transformator

Perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah reaktansinya, sedangkan tahanan diabaikan karena harganya kecil. Besar impedansi ini dihitung melalui persamaan[4][5][6] :

Langkah pertama mencari nilai impedansi trafo tenaga pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu.

$$X_t(\text{pada 100\%}) = \frac{kV^2}{MVA} \quad \dots \quad (4)$$

- Tahap selanjutnya mencari nilai reaktansi tenaganya :
- Sebelum perhitungan reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung menggunakan rumus :
 $X_t = X_t \% \cdot X_t (\text{pada 100\%})$
 - Sebelum perhitungan reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :
 - Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ / Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$,
 - Untuk trafo tenaga dengan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \cdot X_{t1}$,
 - Untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 X_{t1}

2.3.3 Impedansi Penyulang

Nilai impedansi saluran urutan positif dan negatifnya sama, yaitu $Z_1 = Z_2$, sedangkan nilai impedansi urutan nolnya berbeda. Persamaan impedansi $Z = (R + jX) \Omega/km$. Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus[4][5][6] :

- Urutan positif dan urutan negatif
 Dengan menggunakan rumus :
 $Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \text{ (ohm)} \quad \dots \quad (5)$

b. Urutan nol

Dengan menggunakan rumus :

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \dots\dots(6)$$

(ohm)

2.3.3 Impedansi ekivalen Jaringan

Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung menjumlahkan impedansi - impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan[4][5]. Untuk perhitungan Z_{0eq} ini, diumpamakan trafo tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Y_{yd} , dimana mempunyai nilai nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$.

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :
 $Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \dots\dots\dots(7)$

Perhitungan Z_{0eq} :
 $Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang} \dots\dots\dots(8)$

2.3.4 Gangguan Hubung Singkat Perhitungan Arus

Hubung Singkat dengan rumus sebagai berikut[2][4][5]:

2.3.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa sama dengan besar arus urutan positif yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (9)$$

sehingga,

$$I_{3\text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = \frac{11547}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (10)$$

2.3.4.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Pada gangguan ini besarnya arus gangguan ditentukan oleh impedansi urutan positif dan urutan negatif saja, sedangkan komponen urutan nol tidak ada.

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{20000}{Z_{1eq} - Z_{2eq}} \dots\dots\dots (11)$$

sehingga,

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} \dots\dots\dots (12)$$

2.3.4.3 Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Persamaan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} = \frac{31641.016}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots (13)$$

2.4 Filosofi Relai Pengaman

Salah satu peralatan yang mempunyai peranan untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik adalah relai pengaman. Relai pengaman untuk sistem tenaga ini melindungi saluran/jaringan dan peralatan listrik terhadap Setelan Waktu / *Time Multiple Setting* (TMS)

kerusakan dengan cara menghilangkan (mengisolir) gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat. Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan pada sistem tenaga agar dapat diandalkan kemampuan dari relai pengaman maka harus memenuhi persyaratan : peka (*sensitive*), keandalan (*reliability*), kecepatan (*speed*), selektif (*selective*), dan ekonomis[1][5].

2.4.1 Penyetelan Waktu kerja relai

Setelan waktu kerja relai arus lebih *standart inverse* diperoleh dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus. Rumus ini bermacam-macam sesuai *design* pabrik pembuat relai.

Untuk menghitung nilai setelan arus lebih dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut[4][5][2]:

a. Nilai Setelan relai OCR penyulang 20 kV
 $I_{set} \text{ (Primer)} = 1.05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots(14)$
 $I_{set} \text{ (sek)} = I_{set} \text{ (primer)} \times 1/\text{Ratio CT} \dots\dots\dots(15)$

Setelan Waktu / *Time Multiple Setting* (TMS)
 A. (2.11)

$$TMS = \frac{0.14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1} \dots\dots\dots (16)$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \dots\dots\dots (17)$$

b. Nilai Setelan relai OCR Incoming 20 kV

$$I_{\text{in}} \text{ (sisi 20kV)} = \frac{\text{kVA}}{\text{kV} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (18)$$

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1.05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots (19)$$

$$I_{set} \text{ (sek)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (20)$$

Setelan Waktu / *Time Multiple Setting* (TMS)

$$TMS = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \dots\dots\dots (21)$$

c. Nilai Setelan relai GFR Penyulang 20 kV

$$I_{set} \text{ (primer)} = 10\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang hubung singkat 1 fasa ketanah}) \dots\dots\dots (22)$$

$$I_{set} \text{ (sek)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (23)$$

Setelan Waktu / *Time Multiple Setting* (TMS)

$$TMS = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \dots\dots\dots (24)$$

d. Nilai Setelan relai GFR Incoming 20 kV

$$I_{set} \text{ (primer)} = 8\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang hubung singkat 1 fasa ketanah}) \dots\dots\dots (25)$$

$$\dots\dots\dots (26)$$

Setelan Waktu / *Time Multiple Setting (TMS)*

$$TMS = t \times \left(\left(\frac{I_{LH}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right) \dots\dots (27)$$

Nilai setelan TMS yang diperoleh masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi lain misalnya pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung.

Dengan cara yang sama dihitung nilai TMS pada GFR yang tentunya berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan satu fasa ke tanah, sehingga dengan demikian lengkap sudah setelan relai yang diperlukan di dalam sistem penyaluran distribusi yang dipasok dari trafo tenaga gardu induk

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun data-data yang diperlukan untuk evaluasi ini yaitu sebagai berikut :

3.1 Data Trafo Tenaga

Kapasitas = 30 MVA, Vektor Group = YNyn0, Tegangan = 150/20 kV, Impedansi Trafo = 12,57 %, Ground Resistor 20kV = 40 ohm, Rasio CT Incoming = 1000/5 A, Rasio CT Penyulang = 300/5 A dan Karakteristik Relai =Standard Inverse

3.2 Data Penghantar Penyulang J.3

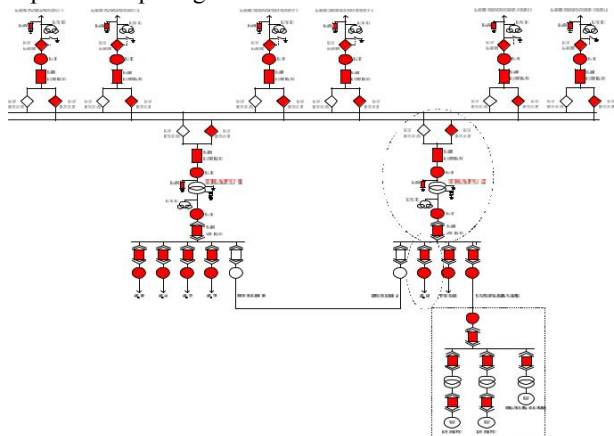
Adapun data Penghantar penyulang J.3 yaitu sebagai berikut :
Tabel 1. Panjang Jenis Penghantar di Penyulang J.3 GI Karang Joang

No.	Jenis penghantar kawat/kabel	Ukuran (mm ²)	Panjang (km)
1.	AAAC 240	240 mm ²	4,75
2.	AAAC 150	150 mm ²	9,0
3.	AAAC 95	95 mm ²	1,1
4.	AAAC 70	70 mm ²	3,325
Total panjang penghantar			18,175

(Sumber : PLN Rayon Utara Area Balikpapan)

3.3 Diagram Garis Tunggal

Diagram Diagram garis tunggal gardu induk Karang Joang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Garis Tunggal GI Karang Joang (Sumber : PLN GI Karang Joang)

Perhitungan gangguan hubung singkat ini dihitung besarnya berdasarkan panjang penyulang, yaitu di asumsikan terjadi di 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

A. Perhitungan impedansi sumber

Impedansi sumber diambil dari arus beban puncak yang mengalir dari sistem interkoneksi ke gardu induk karang joang. Dalam kasus ini diambil arus beban puncak sesuai hasil simulasi dari PT.PLN AP2B Sistem Kaltim yaitu 8,09 kA maka daya hubung singkat :

Data sisi primer 150kV; V = 150 kV, I = 8,09 kA

$$Pers. (1) = 1,732 \times 150 \times 8,09 = 2.101,782 \text{ MVA}$$

Jadi, data hubung singkat di bus sisi primer (150 kV) di GI Karang Joang adalah sebesar **2.101,782** MVA. Maka

impedansi sumber $X_{S(sisi\ 150\ kV)}$ adalah :

$$Pers. (2) = 150^2 / 2101,782 = \mathbf{10,7052\ Ohm}$$

Untuk mengetahui impedansi sisi sekunder $X_{S(sisi\ 20\ kV)}$, yaitu di bus sisi 20 kV maka, hasil perhitungan menggunakan Pers. (3) diperoleh **0,1903** Ohm

B. Perhitungan reaktansi trafo

Besarnya nilai reaktansi pada 100% yaitu jika Tegangan sisi sekunder = 20 kV, MVA trafo = 30MVA, menggunakan Persamaan (4). Diperoleh **13,333** Ohm Nilai reaktansi trafo tenaga :

a. Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) $X_{t1} = X_{t2} = 12,57\% \times 13,333 = \mathbf{1,676\ ohm}$

b. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena trafo daya yang mensuplai penyulang J.3 GI Karang Joang mempunyai hubungan YNyn0 yang tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 14 x X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10 x X_{t1} . Jadi $X_{t0} = 10 \times 1,676 = \mathbf{16,76\ ohm}$.

C. Perhitungan impedansi penyulang

Tabel 2. Impedansi Jenis Penghantar di Penyulang J.3 GI Karang Joang

No.	Jenis penghantar kawat/kabel	Ukuran (mm ²)	Impedansi urutan positif (Z_1)	Impedansi urutan nol (Z_0)
1.	AAAC 240	240 mm ²	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6034
2.	AAAC 150	150 mm ²	0,2162 + j0,3305	0,3631 + j1,6180
3.	AAAC 95	95 mm ²	0,3096 + j0,3449	0,4876 + j1,6324
4.	AAAC 70	70 mm ²	0,4608 + j0,3572	0,6088 + j1,6447

(Sumber : SPLN 64:1985)

Jaringan diatas adalah jaringan yang dihubung seri mulai dari GI sampai ke ujung jaringan, sebagai berikut :

a) $Z_1 = Z_2 = (0,6384 + j1,5001) + (1,9458 + j2,9745) + (0,3406 + j0,3794) + (1,5322 + j1,1877) \text{ ohm/km} = \mathbf{4,4570 + j6,0417\ ohm / km}$

b) $Z_0 = (1,3414 + j7,6162) + (3,2679 + j14,5620) + (0,5364 + j1,7956) + (2,0243 + j5,4686) \text{ ohm/km} = \mathbf{7,1700 + j29,4424\ ohm / km}$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang unuk lokasi

gangguan dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut :

Tabel 3. Impedansi penyulang urutan positif & urutan negative dan Urutan Nol

(% panjang)	Impedansi penyulang ($Z_1 = Z_2$) Pers. (5)	Impedansi penyulang (Z_0) Pers. (6)
0	0 ohm	0 ohm
25	1,1143 + j1,5104 ohm	1,7925 + j7,3606 ohm
50	2,2285 + j3,0209 ohm	3,5850 + j14,7212 ohm
75	3,3428 + j4,5313 ohm	5,3775 + j22,0818 ohm
100	4,4570 + j6,0417 ohm	7,1700 + j29,4424 ohm

D. Perhitungan impedansi ekivalen jaringan

a. Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :

$$Z_{S1}(\text{sisi } 20\text{kV}) = j0,1903; Z_{t1} = j1,676$$

$$\text{Pers. (7)} = j0,1903 + j1,676 + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= \mathbf{j1,8663} + Z_1 \text{ penyulang}$$

b. Perhitungan Z_{0eq} :

$$Z_{t0} = j16,76 \text{ RN} = 40 \text{ ohm}$$

$$\text{Pers. (8): } Z_{0eq} = j16,76 + 3 \times 40 + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j16,76 + 120 + Z_0 \text{ penyulang}$$

Karena lokasi gangguan di asumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ Z_{0eq} dan yang diperoleh adalah :

Tabel 4. Impedansi Ekivalen ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) dan (Z_{0eq})

(% panjang)	Impedansi Ekivalen ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) Pers. (7)	Impedansi Ekivalen (Z_{0eq}) Pers. (8)
0	0 + j1,8663	120 + j16,76 ohm
25	1,1143 + j3,3767 ohm	121,7925 + j24,1206 ohm
50	2,2285 + j4,8872 ohm	123,5850 + j31,4812 ohm
75	3,3428 + j6,3976 ohm	125,3775 + j38,8414 ohm
100	4,4570 + j7,9080 ohm	127,1700 + j46,2024 ohm

E. Perhitungan arus gangguan hubung singkat

Setelah mendapatkan Ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ketanah.

Tabel 5. Arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa Pers. (10)	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa Pers. (12)	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah Pers. (13)
0	6187,0595 A	53581532 A	284,5557 A
25	3247,3435 A	2812,2833 A	271,0434 A

50	2149,7691 A	1861,7555 A	257,5076 A
75	1599,6952 A	1385,3774 A	244,2963 A
100	1272,0421 A	1101,6213 A	231,6353 A

F. Penyetelan relai arus lebih

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk relai *inverse* biasa di set sebesar 1,05 s.d 1,1 x Imaks, sedangkan relai *definite* di set sebesar 1,2 s.d 1,3 x Imaks.

Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus *inrush* dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada PMT penyulang tersebut dimasukkan.

Diket. I beban = 314,344 A, CT = 300/5 A; I fault diambil pada hubung singkat 3 fasa pada 0% = 6187,0595 Ampere Pers. (14): Iset (primer) = 1,05 x 314,344 = 330,0616 A Pers. (15) : Iset (sekunder) = 330,0616 x 5/300 = 5,50 A Jadi diperoleh TMS menggunakan Pers (17) sebesar 0,1294 detik

Penentuan setelan relai arus lebih pada sisi Incoming 20 kV trafo tenaga sama halnya dengan di penyulang, yaitu harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal trafo tenaga tersebut. Dari data yang diperoleh ;Kapasitas = 30 MVA; Tegangan = 150/20 kV; Impedansi = 12,57 %; CT rasio = 1000/5 A (pada sisi incoming 20 kV)

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV dihitung menggunakan Pers. (18) , diperoleh Ibeban (sisi 20kV)= 30000/20 x 1,732 = 866,0508 A;

Pers. (19): Iset (primer) = 1,05 x 866,0508 = 909,3533 A;

Pers. (20): Iset (sekunder) = 909,3533 x 5/1000 = 4,55 A

Waktu kerja incoming di dapat dengan waktu kerja relai di sisi hilir + 0,4 detik, t incoming = (0,3 + 0,4) = 0,7 detik.

TMS Pers (21): = 0,1955 detik

G. Penyetelan relai gangguan tanah

Untuk setelan arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% x arus gangguan tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur. Arus gangguan 100% panjang penyulang hubung singkat 1 fasa ketanah = 231,6353 A. I fault diambil pada hubung singkat 1 fasa pada 0% = 284,5557 Ampere

Pers. (22): Iset (primer) = 10% x (gangguan di 100% panjang penyulang hubung singkat 1 fasa ketanah) = 0,1 x 231,6353 = 23,1635 A

Pers. (23): Iset (sekunder) = 23,1635 x 5/300 = 0,3861 A Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relai GFR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan t = 0,3 detik

Jadi diperoleh TMS Pers (24):= 0,1102 detik

Untuk setelan arus di *incoming* Setelan arus relay gangguan tanah di *incoming* 20 kV harus lebih sensitif, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relai di penyulang 20 kV dibuat $8\% \times$ arus gangguan tanah terkecil.

Pers. (25) Iset (primer) = $8\% \times$ (gangguan di 100% panjang penyulang hubung singkat 1 fasa ketanah) = $0,08 \times 231,6353 \text{ A} = 18,5308 \text{ A}$

Pers. (26) Iset (sekunder) = $18,5308 \times 5/1000 = 0,0927 \text{ A}$
Waktu kerja *incoming* di dapat dengan waktu kerja relai di sisi hilir + 0,4 detik. $t_{incoming} = (0,3 + 0,4) = 0,7$ detik.

Jadi diperoleh TMS *Pers (27)*: 0,2807 detik

H. Perhitungan waktu kerja relai pada gangguan hubung singkat

Karena nilai arus gangguan hubung singkat yang diperoleh dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah dalam nilai arus primer, maka dalam pemeriksaan *selektifitas* nilai arus primernya juga diambil. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *pers. (16)* , maka hasil diperoleh sesuai tabel Berikut :

Tabel 6. Waktu kerja Gangguan hubung singkat 3 fasa

Lokasi Gangguan (%panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (GradingTime) (detik)
0	0,7000	0,3000	0,4000
25	1,0614	0,3871	0,6743
50	1,5767	0,4743	1,1024
75	2,4088	0,5648	1,8441
100	4,0630	0,6622	3,4008

Tabel 7. Waktu kerja Gangguan hubung singkat 2 fasa

Lokasi Gangguan (%panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (GradingTime) (detik)
0	0,7579	0,3159	0,4419
25	1,1983	0,4137	0,7846
50	1,8959	0,5144	1,3815
75	3,2365	0,6223	2,6142
100	7,1202	0,7423	6,3779

Tabel 8. Waktu kerja Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah

Lokasi Gangguan (%panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (GradingTime) (detik)
0	0,7000	0,3000	0,4000
25	0,7130	0,3061	0,4070
50	0,7273	0,3128	0,4145
75	0,7425	0,3199	0,4226
100	0,7586	0,3275	0,4311

I. Selisih waktu kerja relai pada gangguan hubung singkat

Dari tabel diatas terlihat jelas bahwa semakin jauh lokasi gangguan, maka semakin besar waktu kerja relainya, itu terjadi karena semakin jauh jarak gangguan dari relai maka arus hubung singkatnya pun semakin kecil sehingga selisih waktu kerja relai pun semakin besar.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan

Nama Relai	Data hasil perhitungan			Data yang terpasang di lapangan		
	TMS	t (detik)	I set (A)	TMS	t (detik)	I set (A)
Incoming.2 OCR (1000/5 A)	0,195	0,700	909,3533	0,25	0,8747	870
Incoming.2 GFR (1000/5 A)	0,2807	0,700	18,5308	0,1	0,8037	120
Penyulang J.3 OCR (300/5 A)	0,1294	0,300	330,0616	0,15	0,3478	330
Penyulang J.3 GFR (300/5)	0,1102	0,300	23,1635	0,1	0,3042	30

Berdasarkan Tabel 9. Dari tabel diatas menggunakan I fault OCR = 6187,0595 A dan Ifault GFR = 284,5557 A, perbandingan setelan OCR dan GFR diatas, setelan arus antara data hasil perhitungan dengan data yang di lapangan pada setelan arus OCR terlihat berbeda, data yang tercatat di lapangan pada sisi Incoming lebih kecil dari data yang dihitung, begitupun sebaliknya data yang tercatat di lapangan pada sisi penyulang lebih kecil dari data hasil yang dihitung, hal tersebut karena data yang tercatat di lapangan telah dibulatkan sesuai dengan range setelan arus sesuai dengan jenis relai yang digunakan. Sementara setelan arus antara data hasil perhitungan dengan data yang di lapangan pada setelan arus GFR juga terlihat berbeda, data yang tercatat di lapangan pada sisi Incoming dan penyulang lebih besar dari data hasil yang dihitung.

Perbedaan setelan tms antara hasil perhitungan dengan setelan tms yang tercatat di lapangan pada setelan tms OCR terlihat jelas berbeda, data yang tercatat di lapangan pada sisi Incoming lebih besar dari data yang dihitung sedangkan sebaliknya dengan data yang tercatat di lapangan pada sisi penyulang lebih kecil dari data hasil yang dihitung, hal tersebut karena pada setelan tms yang tercatat di lapangan merupakan data hasil pembulatan dari nilai tms perhitungan dengan jenis relai berbeda. Sementara pada setelan tms antara hasil perhitungan dengan setelan tms yang tercatat di lapangan pada setelan GFR juga terlihat jelas berbeda, data yang tercatat di lapangan pada sisi Incoming dan penyulang lebih kecil dari data hasil yang dihitung.

IV KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat dikemukakan dari evaluasi penyetelan proteksi penyulang J.3 di gardu induk Karang Joang Balikpapan adalah sebagai berikut :

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat terbesar terjadi pada jarak 0 % dari panjang penyulang atau

pada bus bar 20 kV yaitu sebesar 6187,0595 A pada hubung singkat tiga fasa, 5358,1532 A pada hubung singkat dua fasa, dan 284,5557 A pada hubung singkat satu fasa ke tanah. Sedangkan arus gangguan hubung singkat terkecil terjadi pada jarak 100 % dari panjang penyulang atau pada ujung penyulang yaitu sebesar 1272,0421 A pada hubung singkat tiga fasa, 1101,6213 A pada hubung singkat dua fasa, dan 231,6353 A pada hubung singkat satu fasa ke tanah.

Perbedaan setting tms dan waktu kerja relai dari hasil perhitungan dengan data lapangan dipengaruhi oleh Iset, namun hasil data perhitungan sesuai dengan prinsip koordinasi kerja relai OCR & GFR yaitu waktu kerja relai di sisi penyulang lebih cepat dibandingkan dengan relai sisi incoming.

Waktu kerja relai di penyulang lebih cepat di bandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu (*grading time*) rata-rata sebesar 0,4 detik. Hal ini disebabkan jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming.

REFERENSI

- [1] C. S. Yaman, "Pengujian Setting Relay Arus Lebih Woodward XII-I di Laboratorium Proteksi dan Distribusi," *Banda Aceh Politek. Negeri Lhokseumawe Jur. Tek. Elektro*, vol. 10, 2013.
- [2] M. N. Erliwati, Syafii, "Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Distribusi 20 kV GI Pauh Limo," *Bandung Inst. Teknol. Bandung Fak. Tek. Elektro*, vol. 4, 2015.
- [3] S. H. Prayoga Setiajje, Juningsastuti, "Evaluasi Setting Relay Arus Lebih dan Setting Relay Gangguan Tanah pada Gardu Induk Sronдол," *Semarang Univ. Diponegoro Fak. Tek. Elektro*, vol. 4, 2015.
- [4] M. T. P. Fajar Parayuda, Achmad Solichan, "Analisis Penyetelan Proteksi Arus Lebih Penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang," *Semarang Univ. Muhammadiyah Fak. Tek.*, vol. 5, no. 2, 2012.
- [5] I. W. Sarimun N.MT., *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, I. Bekasi: Garamond, 2012.
- [6] M. T. Alawiy, "Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relay Elektromagnetis," *Malang Univ. Islam Malang Fak. Tek. Elektro*, 2006.