

## KOORDINASI SISTEM PROTEKSI ARUS LEBIH PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20 kV GI PAUH LIMO

**Erliwati<sup>1</sup>, Syafii<sup>2</sup>, dan Muhammad Nurdin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang,

<sup>3</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro ITB Bandung.

e-mail :erli\_poltekes@yahoo.com

**ABSTRAK**—Pada penyulang 20 kV biasanya pemadaman disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Jika penyetelan over current relay (OCR) di sisi incoming atau di outgoing kurang baik, dapat menyebabkan pemadaman total (black out). Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengevaluasi setting relai proteksi pada penyulang distribusi 20 kV gardu induk Pauh Limo, sehingga saling terkoordinasi dengan baik dan diharapkan jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang 20 kV maka tidak akan membawa black out pada penyulang yang lain.

Berdasarkan analisa arus hubung singkat disetiap penyulang, dimana arus gangguan hubung singkat 3 fasa terbesar yaitu pada penyulang Koto Tinggi, dengan lokasi gangguan 1 %, yaitu sebesar 7326,99 Ampere. Hal ini dikarenakan saluran Koto Tinggi terpendek dibandingkan dengan penyulang lain, yaitu = 9 km dan arus beban = 230 Amper. Waktu kerja relai pada penyulang (detik) : Kuranji = 0,3, Koto Tinggi = 0,298, Teluk Bayur-2 = 0,292, Teluk Bayur-1 = 3, BLKI = 0,3, Kandis = 0,3 dan penyulang UNAND = 0,3. Pada sisi incoming waktu kerja relai adalah 0,7 detik. Setting relai ini dapat digunakan sebagai referensi dalam evaluasi dan setting ulang OCR.

*Kata Kunci : Gangguan hubung singkat, Relai arus lebih, setting relai.*

**ABSTRACT**—The 20 kV feeder outages typically caused by short circuit fault. If the setting of over current relay (OCR) in the incoming or outgoing feeder unfavorable, can cause a total blackout. One of the efforts can be done is to evaluate the settings of 20 kV feeder protection relays in distribution substations Pauh Limo, to be well coordinated with each other and expected if an interruption in one of the 20 kV feeders it will not bring interrupt on the other feeders.

Based on the short circuit current analysis on each feeder, where the largest short circuit fault current for three-phase fault at feeder Tingga Koto, the fault location 1%, which amounted to 7326.99 Ampere. This is because the line to Koto Tingga shortest compared to other feeders, around 9 km and load current = 230 Ampere. The OCR working time at the feeders id: Kuranji = 0.3 s Koto Tingga = 0.298 s, Teluk Bayur-2 = 0.292 s, Teluk Bayur-1 = 0.3 s, BLKI = 0.3 s, Kandis = 0.3 s and feeder UNAND = 0, 3 s. The relay working time for incoming side is 0.7 seconds. This relay setting can be used as a reference of evaluation and resetting of OCR.

*Keywords : Short circuit fault, Over current relay, Relay setting.*

### 1. PENDAHULUAN

Pemadaman akibat adanya gangguan eksternal pada sistem tak bisa dihindari, tetapi hal ini dapat ditekan seminimal mungkin dengan sistem proteksi yang handal. Sistem proteksi bertujuan untuk mendeteksi terjadinya suatu gangguan dan secepat mungkin mengisolir bagian sistem yang terganggu tersebut agar tidak mempengaruhi keseluruhan sistem.

Salah satu pengamanan di distribusi primer adalah penggunaan *over current relay* (OCR), relai proteksi ini sangat penting terutama untuk mengatasi terjadinya gangguan hubung singkat.

Relai ini memerintahkan pemutus (PMT) untuk trip apabila terjadi gangguan hubung singkat. Permasalahan yang sering dijumpai pada sistem distribusi antara lain jika salah satu penyulang terkena gangguan, dapat mengakibatkan penyulang lain yang berada pada satu bus juga ikut trip, karena gangguan hubung singkat dapat mentripkan relai yang ada pada *incoming* penyulang. Selain itu juga dapat disebabkan oleh kurang terkoordinasinya penyetelan relai antara *outgoing* gardu hubung dengan penyulang *ekspres feeder* yang mensuplai gardu hubung tersebut, hal ini juga mengakibatkan seluruh

penyulang *outgoing* di gardu hubung akan padam (*black out*).

Untuk mengetahui sistem proteksi sudah bekerja saling berkoordinasi antara sisi *incoming* dengan sisi penyulang (*feeder*) diperlukan analisa setting waktu kerja relai arus lebih pada penyulang distribusi 20 kV Gardu Induk Pauh Limo.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

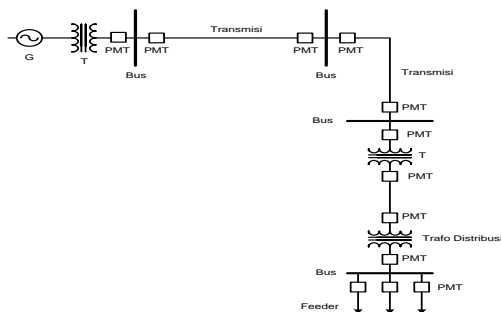
### 2.1 Umum

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 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 [1].

Diagram garis tunggal sistem distribusi seperti pada gambar 2.1.



Gambar 1. Diagram Garis Tunggal Sistem Distribusi [2]

### 2.3 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 [1], yaitu : sistem *radial*, sistem *loop*, sistem *network* (jaringan), sistem *spindel*.

### 2.4 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.

#### 2.4.1 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 :

$$X_{1s} = X_{2s} = \frac{kV^2}{MVA_{hs-3\phi}} \quad (2.1)$$

$$X_{0s} = \frac{3kV^2}{MVA_{sc-1\phi}} - (X_{1s} + X_{2s}) \quad (2.2)$$

Impedansi sumber :

$$Z_{1s} = Z_{2s} = X_{1s} \quad (2.3)$$

$$Z_{0s} = X_{0s}$$

#### 2.4.2 Impedansi Urutan Transformator

Perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah reaktansinya, sedangkan tahanananya diabaikan karena harganya kecil. Besar impedansi ini dihitung melalui persamaan :

$$Z_{1T} = Z_{2T} = + j z_1 \times \frac{V_d^2}{S_d} \quad (2.4)$$

dimana :

$z_t$  = Impedansi bocor transformator yang tertulis pada papan nama (%)

$Z_1$  = Impedansi urutan positif transformator(ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negative transformator (ohm)

$V_d$  = Tegangan dasar (kV)

$S_d$  = Daya dasar yang besarnya sama dengan rating transformator tersebut (MVA)

Impedansi urutan nol transformator, berdasarkan Standart PLN :

$$\begin{aligned} X_{0T} &= X_{1T} && \longrightarrow \text{Belitan } \Delta Y \\ X_{0T} &= 3 \times X_{1T} && \longrightarrow \text{Belitan } Yd \\ (2.5) \\ X_{0T} &= 10 \times X_{1T} && \longrightarrow \text{Belitan } YY \end{aligned}$$

**2.4.3 Impedansi Urutan Saluran**

Nilai impedansi saluran urutan positif dan negatifnya sama, yaitu  $X_1 = X_2 = X_L$ , sedangkan nilai impedansi urutan nolnya berbeda.

Impedansi urutan saluran dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_{n \text{ saluran}} = Z_n \times 1 \quad (2.6)$$

**2.4.4 Gangguan Hubung Singkat**

**2.4.4.1 Hubung Singkat Tiga Fasa**

Besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa sama dengan besar arus urutan positif [3] yaitu :  $I_f = I_{a1}$

$$I_{hs-3\phi} = I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.7)$$

**2.4.4.2 Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah**

Pada gangguan ini besarnya arus gangguan ditentukan oleh impedansi urutan positif dan urutan negatif saja [3], sedangkan komponn urutan nol tidak ada.

Sehingga :

$$I_{hs-2\phi} = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} = |0,866 \times I_{hs-3\phi}| \quad (2.8)$$

**2.4.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Persamaan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah [3] dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

sedangkan

$$\begin{aligned} I_{aF} &= I_1 + I_2 + I_0 = 3I_0 = 3I_1 = 3I_2 \\ I_{bF} &= I_{cF} = 0 \quad (\text{kondisi awal gangguan}) \end{aligned}$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \left| \frac{3V_f}{2Z_1 + Z_0} \right| \quad (2.9)$$

**2.5 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 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 [4] : peka (*sensitive*), keandalan (*reliability*), kecepatan (*speed*), selektif (*selective*), dan ekonomis.

**2.5.1 Penyetelan Waktu Kerja Relai**

Setelan waktu kerja relai arus lebih *standart inverse* didapat dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus [5], [6]. Rumus ini bermacam-macam sesuai *design* pabrik pembuat relai.

Setelan waktu kerja relai arus lebih dengan karakteristik *inverse* menurut “Standart BS.142.1996” dan “Standart IEC 255-4” didapat :

$$\left( \frac{I}{I_s} \right) = \frac{I_{\text{hubungsin gkat di ujung saluran}}}{I_{\text{set}}} \quad (2.10)$$

Time multiple setting (TMS) :

$$t_{(s)} = \frac{TMS \times \beta}{\left( \frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1} \quad (2.11)$$

atau :

$$TMS = \frac{t(s) \times \left( \frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1}{\beta}$$

Dimana :

TMS = Faktor pengali waktu (0,05 – 1,0)

$t_{(s)}$  = Waktu setting, dalam detik

I = Arus hubung singkat di ujung saluran (Amp,)

$I_s$  = Arus setting, dalam Ampere

$\alpha$  normal inverse = 0,02

$\beta$  normal inverse = 0,14

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Data Sumber**

GI Pauh Limo dengan data sebagai berikut :

- Tegangan = 20 kV
- MVA<sub>SC 3ph</sub> = 546,61 MVA
- MVA<sub>SC 1ph</sub> = 3,66 MVA

**3.2 Data Trafo Tenaga**

- Merk = PAUWELS
- Kapasitas = 60 MVA
- Vektor group = YNyn0
- Tegangan = 150 / 20 kV
- Impedansi trafo = 12,531 %
- Pentanahan (20 kV) = 40 Ω
- Ratio CT = 2000/5 A

**3.3 Data Konduktor Saluran**

Tabel 1. Data Tiap Penyulang

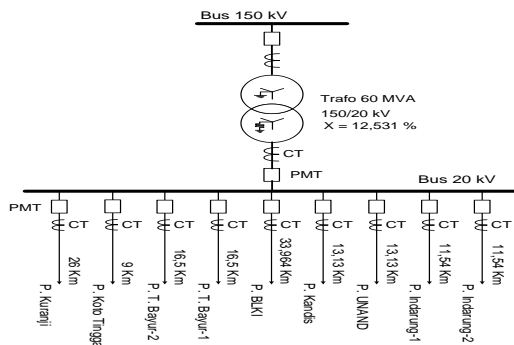
Penyulang	Jenis Konduktor	Panjang Saluran (km)	Ratio CT	I beban ( A )
P. P5-Kuranji	AL 3x240 mm <sup>2</sup>	26	300/5A	30
P.P5-K.Tingga	AL 3x240 mm <sup>2</sup>	9	600/5A	230
P.P5-T. Bayur-2	AL 3x240 mm <sup>2</sup>	16,5	600/5A	300
P. P5-T. Bayur-1	AL 3x150 mm <sup>2</sup>	16,5	300/5A	205
P. P5-BLKI	A3C 3x150 mm <sup>2</sup>	33,964	300/5A	180
P. P5-Kandis	A3C 3x150 mm <sup>2</sup>	13,13	400/5A	38
P. P5-UNAND	A3C 3x150 mm <sup>2</sup>	13,13	400/5A	38

Tabel 2. Tahanan dan reaktansi penghantar AAAC tegangan 20 kV(SPLN 64 : Tahun 1985)

Luas Penampang (mm) <sup>2</sup>	Impedansi Urutan (+) dan (-) (Ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/km)
150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180

**3.4 Diagram Garis Tunggal**

Diagram garis tunggal gardu induk Pauh Limo dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 2. Diagram Garis Tunggal

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Impedansi sumber urutan positif dan negatif**

$$X_{1s} = X_{2s} = 0 + j \frac{(kV)^2}{MVA_{hs-3\phi}}$$

$$= 0 + j \frac{(20kV)^2}{546,61MVA}$$

$$= j 0,7318 \text{ Ohm}$$

**4.2 Impedansi sumber urutan nol**

$$X_{0s} = j \frac{3(kV)^2}{MVA_{hs-1\phi}} - (2xX_{1s})$$

$$= j \frac{3(20kV)^2}{3,66MVA} - (2x j0,7318)$$

$$= j 326,4054 \text{ Ohm}$$

**4.3 Impedansi trafo urutan positif dan negatif**

$$X_{1T} = X_{2T} = jz_1 x \frac{(Vd)^2}{Sd}$$

$$= j0,12531x \frac{(20kV)^2}{60MVA}$$

$$= j 0,8354 \text{ Ohm}$$

**4.4 Impedansi trafo urutan nol**

$$X_{0T} = 10 x X_{1T} = 10 x j 0,8354 = j 8,354 \text{ Ohm}$$

Dengan nilai tahanan pentanahan :  
3xRn = 3 x 40 Ohm = 120 Ohm

Sehingga :

$$X_{0T} = 120 + j 8,354 \text{ Ohm}$$

**4.5 Perhitungan Impedansi Saluran**

Untuk penyulang BLKI, penyulang Kandis, dan penyulang UNAND jenis penghantar AAAC dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>

$$Z_1 / km = 0,2162 + j 0,3305$$

$$Z_2 / km = 0,2162 + j 0,3305$$

$$Z_0 / km = 0,3631 + j 1,618$$

Untuk penyulang Kuranji, Koto Tinggi dan Teluk Bayur-2 jenis penghantar AL dengan luas penampang 240 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} Z_1 / \text{km} &= 0,125 + j 0,097 \\ Z_2 / \text{km} &= 0,125 + j 0,097 \\ Z_0 / \text{km} &= 0,275 + j 0,029 \end{aligned}$$

Untuk penyulang Teluk Bayur-1 jenis penghantar AL dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} Z_1 / \text{km} &= 0,206 + j 0,104 \\ Z_2 / \text{km} &= 0,206 + j 0,104 \\ Z_0 / \text{km} &= 0,356 + j 0,312 \end{aligned}$$

Tabel 3. Impedansi Tiap Penyulang

Impedansi	Penyulang P.5 - Kuranji (26 kms)	Penyulang P.5 - K.Tinggi (9 kms)
Z1	3,25 + j 2,522	1,125 + j 0,873
Z2	3,25 + j 2,522	1,125 + j 0,873
Z0	7,15 + j 0,754	2,475 + j 0,261

Impedansi	Penyulang P.5 - T.Bayur-2 (16,5 kms)	Penyulang P.5 - T.Bayur-1 (16,5 kms)
Z1	2,063 + j 1,601	3,399 + j 1,716
Z2	2,063 + j 1,601	3,399 + j 1,716
Z0	4,5375 + j 0,4785	5,874 + j 5,148

Impedansi	Penyulang P.5 - BLKI (33,964 kms)	Penyulang P.5 - Kandis (13,13 kms)
Z1	7,743 + j 11,2251	2,8387 + j 4,3395
Z2	7,743 + j 11,2251	2,8387 + j 4,3395
Z0	12,3323 + j 54,9538	4,7675 + j 21,244

Impedansi	Penyulang P.5 - UNAND (13,13 kms)
Z1	2,8387 + j 4,3395
Z2	2,8387 + j 4,3395
Z0	4,7675 + j 21,244

**4.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat Penyulang Kuranji**

Untuk lokasi gangguan 1 % :

$$\begin{aligned} Z_{IL(1\%)} &= (3,25 + j 2,522) \times 1\% = 0,0325 + j 0,02522 \\ Z_{0L(1\%)} &= (7,15 + j 0,754) \times 1\% = 0,0715 + j 0,00754 \end{aligned}$$

Impedansi urutan positif dan negatif :

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 = Z_{1s} + Z_{1T} + Z_{1L(1\%)} \\ = j0,7318 + j 0,8354 + 0,0325 + j 0,02522 \\ = 1,592732 \angle 88,83^\circ \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi urutan nol :

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_{0s} + Z_{0T} + Z_{0L(1\%)} \\ &= j326,4054 + 120 + j 8,354 + 0,0715 + j 0,00754 \\ &= 355,64876 \angle 70,2685^\circ \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{hs-3\phi} &= \left| \frac{V_f}{Z_1} \right| = \frac{20kV / \sqrt{3}}{1,5927 \angle 88,83^\circ} = \frac{11547,34}{1,592732 \angle 88,83^\circ} \\ &= 7250 \angle -88,83^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

*arus hubung singkat 2 fasa* lokasi gangguan 1% sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{hs-2\phi} &= \left| 0,866 \times I_{hs-3\phi} \right| \\ &= \left| 0,866 \times 7250 \right| \end{aligned}$$

$$I_{hs-2\phi} = 6278,5 \text{ A}$$

*arus hubung singkat satu fasa ke tanah* lokasi gangguan 1 % sebagai berikut :

$$I_{hs-1\phi} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$\begin{aligned} I_{hs-1\phi} &= \left| \frac{3 \times 11547,34}{2(0,0325 + j 1,5924) + (120,0715 + j 334,7669)} \right| \\ &= 96,58 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan menerapkan langkah langkah perhitungan arus hubung singkat seperti diatas, untuk lokasi gangguan yang berbeda, maka arus gangguan hubung singkat untuk setiap penyulang seperti tabel berikut :

Tabel 4. Arus Hubung Singkat Penyulang Kuranji

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat P. KURANJI		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7249.79	6278.32	96.58
25%	4928.15	4267.78	95.94
50%	3540.09	3065.71	95.27
75%	2728.95	2363.27	94.60
100%	2210.63	1914.40	93.94

Tabel 5. Arus Hubung Singkat P. Koto Tinggi

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang Koto Tinggi		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7326.99	6345.18	96.60
25%	6388.56	5532.49	96.38
50%	5548.40	4804.91	96.14
75%	4858.33	4207.32	95.91
100%	4297.31	3721.47	95.68

Tabel 6. Arus Hubung Singkat P. Teluk Bayur-2

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang T. Bayur-2		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7292.89	6315.64	96.59
25%	5677.67	4916.86	96.18
50%	4471.61	3872.42	95.75
75%	3641.99	3153.96	95.33
100%	3054.79	2645.45	94.91

Tabel 7. Arus Hubung Singkat P. Teluk Bayur-1

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang T. Bayur-1		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7286.52	6310.12	96.58
25%	5322.37	4609.17	95.78
50%	3899.19	3376.70	94.97
75%	3017.34	2613.01	94.16
100%	2443.43	2116.01	93.37

Tabel 8. Arus Hubung Singkat Penyulang BLKI

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang BLKI		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	6868.97	5948.53	96.39
25%	2434.48	2108.26	91.39
50%	1431.91	1240.04	86.70
75%	1012.54	876.86	82.47
100%	782.85	677.95	78.63

Tabel 9. Arus Hubung Singkat Penyulang Kandis

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang KANDIS		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7168.36	6207.80	96.52
25%	4206.00	3642.40	94.52
50%	2888.64	2501.56	92.52
75%	2190.71	1897.15	90.60
100%	1761.99	1525.89	88.76

Tabel 10. Arus Hubung Singkat Penyulang UNAND

Lokasi Gangguan	Arus Hub. Singkat Penyulang UNAND		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1%	7168.36	6207.80	96.52
25%	4206.00	3642.40	94.52
50%	2888.64	2501.56	92.52
75%	2190.71	1897.15	90.60
100%	1761.99	1525.89	88.76

#### 4.7 Setting Relai

Tabel 11. Setting relai penyulang kondisi saat ini

Penyulang	Incoming	Kuranji	Koto Tinggi	
Merk / Type Relai	REY ROLLE/ 7SR1206	GEC ALSTHOM/ MCGG52	GEC ALSTHOM /MCGG52	
Karakteristik	Inverse	Inverse	Inverse	
CT Ratio	2000/5	300/5	600/5	
I <sub>&gt;</sub>	A	1021	30	230
Tms		0,201	0,166	0,102
t <sub>&gt;</sub>	dtk	0,7	0,2	0,2

Penyulang	T. Bayur-2	T. Bayur-1	BLKI	
Merk / Type Relai	GEC ALSTHOM/ MCGG52	GEC ALSTHOM/ MCGG52	GEC ALSTHOM /MCGG52	
Karakteristik	Inverse	Inverse	Inverse	
CT Ratio	600/5	300/5	300/5	
I <sub>&gt;</sub>	A	205	180	300
Tms		0,106	0,108	0,094
t <sub>&gt;</sub>	dtk	0,2	0,2	0,2

Penyulang		Kandis	UNAND
Merk / Type Relai		GEC ALSTHOM/ MCGG52	REY ROLLE / 7SR1103
Karakteristik		Inverse	Inverse
CT Ratio		400/5	400/5
I <sub>b</sub>	A	38	205
Tms		0,158	0,106
t <sub>d</sub>	dtk	0,2	0,2

**4.8 Setting Waktu Kerja Relai P. Kuranji**

Setting Arus :

$$I_{\text{beban}} = 30 \text{ A}$$

$$I_{\text{hs } 3\phi \text{ mak}} = 7249,79 \text{ A}$$

$$I_{\text{set Primer}} = 1,05 \times I_{\text{beban}}$$

$$I_{\text{set Primer}} (I_b) = 1,05 \times 30 \text{ A} = 31,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{Set Skunder}} = I_{\text{Set Primer}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{\text{Set Skunder}} = 31,5 \times \frac{5}{300} = 0,525 \text{ Ampere.}$$

**Waktu Kerja Relai :**

Dengan  $t_{\text{setting}} = 0,3$  detik, maka :

$$TMS = \frac{0,3 \times \left( \frac{7249,79}{31,5} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,3 \times 0,115}{0,14} = \frac{0,034}{0,14} = 0,246$$

Waktu kerja relai bila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa dengan lokasi gangguan 1 % dari panjang saluran :

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left( \frac{I_{F\%}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,034}{0,115} = 0,296 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama, waktu kerja relai pada setiap penyulang bila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa untuk lokasi gangguan 1 % sampai 100 % dari panjang saluran seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 12. Hasil perhitungan waktu kerja relai

Penyulang / L. Gangguan	Waktu Kerja Relai (dalam detik)		
	3 fasa	2 fasa	1 fasa
<b>P. Kuranji.</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.30
25 % Pjg Saluran	0.32	0.33	0.30
50 % Pjg Saluran	0.35	0.36	0.30
75 % Pjg Saluran	0.37	0.38	0.30
100 % Pjg Saluran	0.39	0.40	0.30
<b>P. Koto Tingga</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.19	0.30
25 % Pjg Saluran	0.31	0.19	0.30
50 % Pjg Saluran	0.33	0.20	0.30
75 % Pjg Saluran	0.34	0.21	0.30
100 % Pjg Saluran	0.36	0.21	0.30
<b>P. Teluk Bayur-2</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.60
25 % Pjg Saluran	0.33	0.34	0.60
50 % Pjg Saluran	0.36	0.37	0.60
75 % Pjg Saluran	0.39	0.40	0.60
100 % Pjg Saluran	0.42	0.44	0.61
<b>P. Teluk Bayur-1</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.45
25 % Pjg Saluran	0.33	0.34	0.45
50 % Pjg Saluran	0.37	0.38	0.45
75 % Pjg Saluran	0.40	0.42	0.46
100 % Pjg Saluran	0.44	0.46	0.46
<b>P. BLKI</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.28
25 % Pjg Saluran	0.43	0.45	0.28
50 % Pjg Saluran	0.54	0.58	0.29
75 % Pjg Saluran	0.65	0.72	0.29
100 % Pjg Saluran	0.78	0.86	0.30
<b>P. Kandis</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.29
25 % Pjg Saluran	0.34	0.35	0.29
50 % Pjg Saluran	0.37	0.38	0.29
75 % Pjg Saluran	0.39	0.41	0.30
100 % Pjg Saluran	0.42	0.43	0.30
<b>P. UNAND</b>			
1 % Pjg Saluran	0.30	0.31	0.29
25 % Pjg Saluran	0.34	0.35	0.29
50 % Pjg Saluran	0.37	0.38	0.29
75 % Pjg Saluran	0.39	0.41	0.30
100 % Pjg Saluran	0.42	0.43	0.30

**4.9 Penyetelan waktu kerja relai disisi incoming**

Kapasitas trafo = 60 MVA  
 Tegangan = 150/20 kV  
 $I_{beban} = 1021 \text{ A}$   
 Impedansi = 12,531 %  
 Rasio CT = 2000/5 A

**Setting Arus**

$$I_{n \text{ (sisi 20kV)}} = \frac{kVA}{kV \sqrt{3}}$$

$$I_{n \text{ (sisi 20kV)}} = \frac{60000 \text{ kVA}}{20 \text{ kV} \sqrt{3}} = 1732 \text{ Ampere}$$

$$I_{Set \text{ Primer}} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{Set \text{ Primer}} (I_s) = 1,05 \times 1021 \text{ A} = 1072,05 \text{ A}$$

$$I_{Set \text{ Skunder}} = I_{Set \text{ Primer}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{Set \text{ Skunder}} = 1072,05 \times \frac{5}{2000} = 2,680125 \text{ Amp.}$$

**Waktu Kerja Relai :**

$$TMS = \frac{t_{(s)} \times \left( \frac{I_{hs3\phi maks}}{I_s} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

Waktu kerja relai disisi incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik.

$$t_{setting} = 0,7 \text{ detik.}$$

$$I_{hs 3\phi \text{ mak}} = 7326,99 \text{ A}$$

$$TMS = \frac{0,7 \times 0,039}{0,14} = \frac{0,0273}{0,14} = 0,195$$

Waktu kerja relai pada sisi *incoming* adalah :

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left( \frac{I_{F\%}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,0273}{0,039} = 0,7 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama, waktu kerja relai pada sisi *incoming* bila gangguan terjadi pada penyulang Koto Tinggi lokasi gangguan 1 %

sampai 100 % dari panjang saluran seperti pada tabel 4.11.

Tabel 13. Hasil perhitungan waktu kerja relai sisi incoming gangguan terjadi pada penyulang Koto Tinggi

Lokasi Gangguan	Relai Incoming		
	tms O.C	=	0.15
	I>	=	241.5
Waktu kerja relai bila terjadi gangguan (dalam detik)			
	3 fasa	2 fasa	1 fasa
1 % Pjg Saluran	0.70	0.74	0.64
25 % Pjg Saluran	0.81	0.86	0.64
50 % Pjg Saluran	0.95	1.02	0.65
75 % Pjg Saluran	1.11	1.20	0.65
100 % Pjg Saluran	1.30	1.43	0.65

Berdasarkan tabel 4.10 dan 4.11 waktu kerja relai bila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada penyulang Koto Tinggi, dimana relai OCR pada penyalang Koto Tinggi akan bekerja saat waktu 0,3 detik. Apa bila relai OCR pada penyulang Koto Tinggi gagal bekerja (tidak bekerja), maka relai OCR pada sisi *incoming* akan bekerja saat waktu mencapai 0,7 detik.

**4.10 Uji Selektifitas Kerja Relai**

Tabel 14. Hasil perhitungan waktu kerja relai

Penyulang	Incoming	Kuranji
Merk / Type Relai	REY ROLLE /7SR1206	GEC ALSTHOM / MCGG52
Karakteristik	Inverse	Inverse
CT Ratio	2000/5	300/5
I>	A	1072,05
Tms		0,195
t>	dtk	0,7

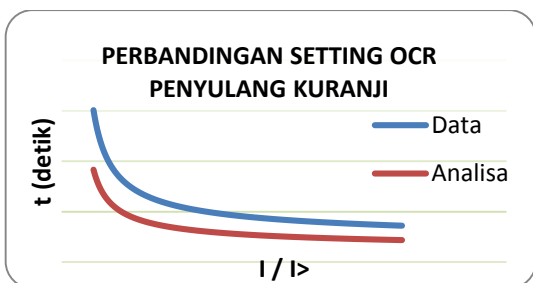
Penyulang	Koto Tinggi	T. Bayur-2
Merk/Type Relai	GEC ALSTHOM / MCGG52	GEC ALSTHOM /MCGG52
Karakteristik	Inverse	Inverse
CT Ratio	600/5	600/5
I>	A	241,5
Tms		0,151
t>	dtk	0,298



Penyulang		T. Bayur-1	BLKI
Merk/Type Relai		GEC ALSTHOM /MCGG52	GEC ALSTHOM /MCGG52
Karakteristik		Inverse	Inverse
CT Ratio		300/5	300/5
I <sub>b</sub>	A	215,25	189
Tms		0,157	0,161
t <sub>&gt;</sub>		0,3	0,3

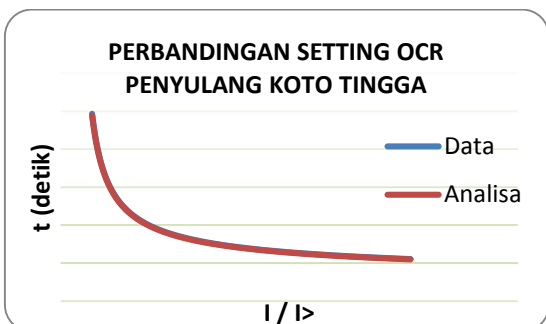
Penyulang		Kandis	UNAND
Merk/Type Relai		GEC ALSTHOM /MCGG52	REY ROLLE /7SR1103
Karakteristik		Inverse	Inverse
CT Ratio		400/5	400/5
I <sub>b</sub>	A	39,9	39,9
Tms		0,2336	0,2336
t <sub>&gt;</sub>		0,3	0,3

**4.11 Karakteristik perbandingan setting relai**



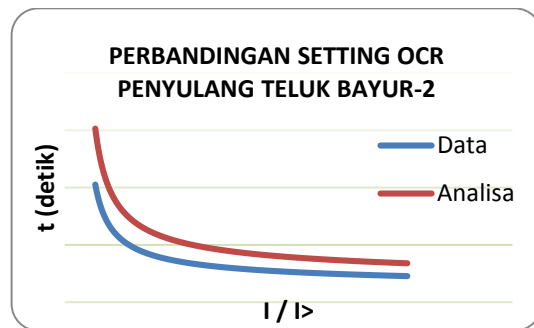
**Gambar 2.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang Kuranji

Berdasarkan gambar 4.1, perbedaan seting relai OCR penyulang Kuranji antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,166 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,246 dan waktu kerja = 0,3 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



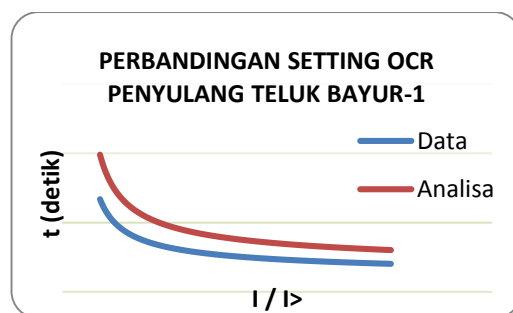
**Gambar 3.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang Koto Tingga

Berdasarkan gambar 4.2, perbedaan seting relai OCR penyulang Koto Tingga antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,102 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,151 dan waktu kerja = 0,298 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



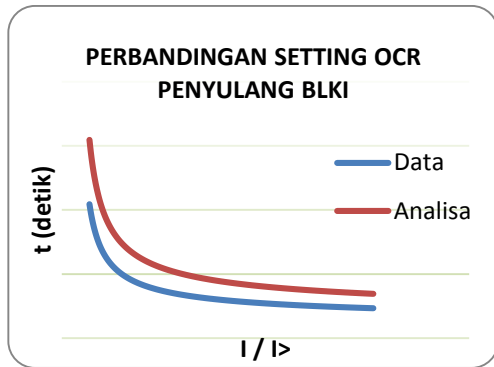
**Gambar 4.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang Teluk Bayur-2

Berdasarkan gambar 4.3, perbedaan seting relai OCR penyulang Teluk Bayur-2 antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,094 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,139 dan waktu kerja = 0,292 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



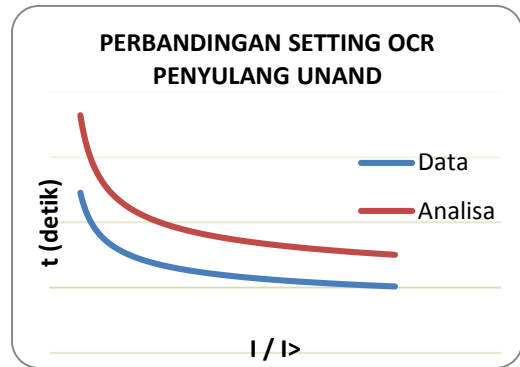
**Gambar 5.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang Teluk Bayur-1

Berdasarkan gambar 4.4, perbedaan seting relai OCR penyulang Teluk Bayur-1 antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,106 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,157 dan waktu kerja = 0,3 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



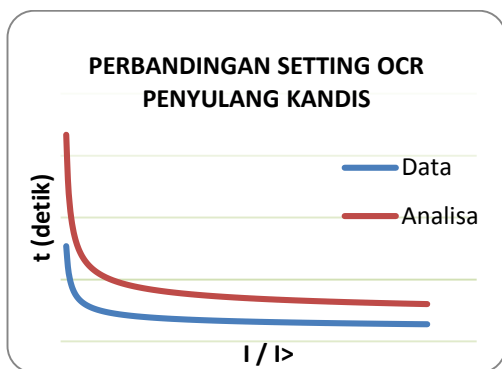
**Gambar 6.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang BLKI

Berdasarkan gambar 4.5, perbedaan setting relai OCR penyulang BLKI antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,108 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,161 dan waktu kerja = 0,3 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



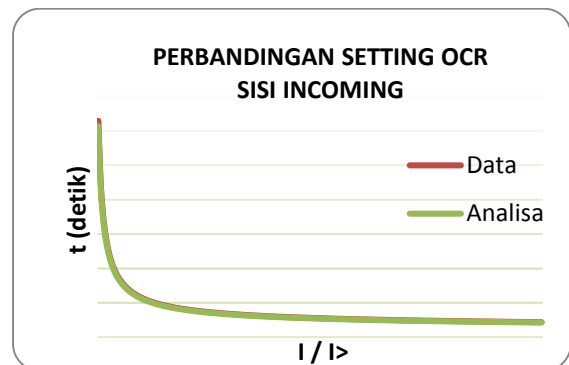
**Gambar 8.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang UNAND

Berdasarkan gambar 4.7, perbedaan setting relai OCR penyulang UNAND antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,158 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,2336 dan waktu kerja = 0,3 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



**Gambar 7.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR penyulang Kandis

Berdasarkan gambar 4.6, perbedaan setting relai OCR penyulang Kandis antara data dan hasil perhitungan relatif sama, tms berdasarkan data = 0,158 dan waktu kerja = 0,2 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,2336 dan waktu kerja = 0,3 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih



**Gambar 9.** Karakteristik perbandingan setting relai OCR sisi Incoming

Berdasarkan gambar 4.8, perbedaan setting relai OCR sisi incoming antara data dan hasil perhitungan sama, tms berdasarkan data = 0,201 dan waktu kerja = 0,7 detik. Berdasarkan analisa tms = 0,195 dan waktu kerja = 0,7 detik. Semakin besar arus gangguan hubung singkat, semakin cepat waktu kerja relai arus lebih.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Arus gangguan terbesar pada gangguan hubung singkat 3 fasa, semakin jauh jarak lokasi gangguan dari lokasi relai, semakin kecil arus gangguan yang dirasakan relai.
2. Arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang Koto Tinggi, untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dengan lokasi gangguan 1 %, yaitu sebesar 7326,99 Ampere. Hal ini dikarenakan saluran Koto Tinggi terpendek dibandingkan dengan penyulang lain, yaitu = 9 km dan arus beban = 230 Amper (terbesar ke dua). Nilai impedansi saluran dan panjang saluran akan mempengaruhi nilai arus hubung singkat.
3. Koordinasi relai OCR hasil perhitungan sudah benar dan koordinasi kerja relai sudah baik. Dari uji selektifitas diperoleh waktu kerja relai pada penyulang Kuranji = 0,3 detik, penyulang Koto Tinggi = 0,298 detik, Penyulang Teluk Bayur-2 = 0,292 detik, Penyulang Teluk Bayur-1 = 3 detik, Penyulang BLKI = 0,3 detik, penyulang Kandis = 0,3 detik, dan penyulang UNAND = 0,3 detik. Pada sisi incoming waktu kerja relai adalah 0,7 detik.

## 5.2 SARAN

Setelah melalui serangkaian penelitian baik di lapangan maupun secara perhitungan dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut :

1. Agar kerja relai proteksi menjadi lebih optimal, dan keandalan sistem tetap terjaga maka perlu adanya koordinasi perhitungan nilai setting relai dengan LVCB di hilir (ujung penyulang).
2. Bila terjadi penambahan beban dan perluasan jaringan yang signifikan maka nilai setting relai agar disesuaikan dengan kondisi besar beban maksimum penyulang akibat penambahan beban dan perhitungan impedansi total jaringan akibat perluasan jaringan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (persero), *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, buku 1, Lampiran Direksi PT. PLN (Persero), 2010.
- [2] Gonen T, *Electric Power Distribution System Engineering*, Mc Graw Hill, Inc, 1986.
- [3] William D. Stevenson, Jr., *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. edisi keempat, penerbit Erlangga Jakarta, 1994.
- [4] PT. PLN (persero), *Superpisi Relai Proteksi Transmisi Dan Gardu Induk*, Jasa Pendidikan dan Pelatihan, 1998.
- [5] J. Soekarto, *relay arus lebih, perangkat keras dan perangkat lunak pada instalasi listrik*, PP APEI, Jakarta Timur, 2009.
- [6] A.R. van C. Warrington, *Protective Relays, Their Theory and Practice*, vol. 2, third edition, London, 1994.

## Biodata Penulis

**Erliwati**, lahir di Padang tanggal 14 April 1964, mahasiswa pascasarjana jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas Padang, staf pengajar tetap jurusan Teknik Elektromedik Politeknik Kesehatan Siteba Padang. Mempunyai 1 (satu) orang anak laki-laki, suami Ija Darmana.