

# ANALISIS PENYETELAN PROTEKSI ARUS LEBIH PENYULANG CIMALAKA DI GARDU INDUK 70 kV SUMEDANG

Fajar Pranayuda<sup>1)</sup>, Achmad Solichan<sup>2)</sup>, M.Toni Prasetyo<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang

## ABSTRAK

*20 kV distribution of PLN is not free from distractions short circuit. Greatest short circuit fault current occurs at 20 kV bus bar. This led to widespread outages as a result of the major security operation.*

*The aim of this study was to identify the final interruption of short circuit current, short circuit fault current to calculate and determine the values Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR).*

*This study purposed to calculate short circuit current. The subject of research is the disturbances that occurred in Cimalaka feeders. The data required for this study were obtained from the Area Manager Distribution of Bandung. The data is analyzed to determine the magnitude of short circuit current and Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) adjustment.*

*The results show the short circuit fault current at 0% distance from feeder is 2428,391 A and short circuit current for 3 phase is 2103,049 A short circuit fault current and the second phase of 570,406 A short circuit fault current one phase to the ground. The difference in the relay settings data from the field with the calculation results showed that the differences are not too significant, so the ability of the relays is still good. Thus, the feeder protection relays Cimalaka at 70 kV substation Sumedang still good and doesn't need to be reset.*

**Keywords:** *Over Current Relay (OCR), Ground Fault Relay (GFR), Connecting Disorders Brief, Relay Settings.*

## PENDAHULUAN

Jaringan 20 kV yang dipakai oleh PLN untuk mendistribusikan tenaga listrik ke pelanggan sama sekali tidak bebas dari gangguan hubung singkat. Setiap kali terjadi gangguan hubung singkat di sisi penyulang, secara teknis akan terjadi penurunan tegangan 20 kV sampai beberapa persen dari nilai nominalnya.

Arus gangguan terbesar terjadi pada daerah busbar 20 kV. Hal ini menyebabkan terjadinya pemadaman yang meluas sebagai akibat dari tidak bekerjanya pengaman utama.

Sehubungan dengan permasalahan diatas, penulis melakukan analisis mengenai penyetulan proteksi penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang dengan tujuan ingin menelaah apa yang

sesungguhnya terjadi dari sistem proteksi distribusi 20 K<sub>v</sub> khususnya mengenai setelan *OCR* dan *GFR* serta pengujiannya.

**TINJUAN PUSTAKA**

**Gangguan Transformator Arus Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

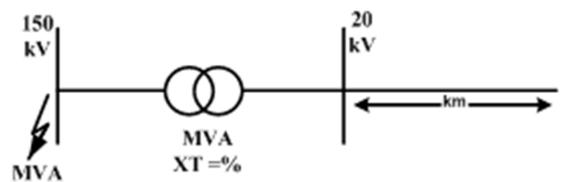
Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(1)$$

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

- Z gangguan 3 fasa                       $Z = Z_1$
- Z gangguan 2 fasa                       $Z = Z_1 + Z_2$
- Z gangguan 1 fasa ke tanah       $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Untuk menghitung arus hubung singkat pada sistem diatas, pertama – tama hitung impedansi sumber ( reaktansi ) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus 150 k<sub>v</sub> , kedua menghitung reaktansi trafo tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang.



Gambar 1. Single diagram gardu induk Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2)$$

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150KV, karena arus gagguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 KV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 KV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 KV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 KV, dilakukan dengan cara sebagai berikut : [1]

$$X_{s(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV^2}{MVA} \cdot X_{s(sisi\ 150\ kV)} \dots\dots\dots(3)$$

*Reaktansi Trafo [1]*

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

Nilai reaktansi trafo tenaga :

Reaktansi urutan positif, negative ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$X_t = X_t\% \cdot X_t(\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots(5)$$

Reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ )

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga itu sendiri yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo itu :

- a) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan  $\Delta/Y$  dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka  $X_{t0} = X_{t1}$ ,
- b) Untuk trafo tenaga dengan belitan 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  $X_{t0} = 3X_{t1}$ ,
- c) Untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya  $X_{t0}$  berkisar antara 9 s/d 14  $X_{t1}$ .

*Impedansi Penyulang*

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per

meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi  $Z = (R + jX) \Omega/km$ .

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

*Impedansi Ekuivalen Jaringan*

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ( $Z_{1eq}$ ), negative ( $Z_{2eq}$ ), dan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber, sesuai dengan urutan di atas.

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. Untuk menghitung  $Z_{0eq}$  ini, diumpamakan trafo tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Yd, dimana mempunyai nilai  $X_{t0} = 3X_{t1}$ .

Perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1 \text{ penyulang}} \dots(6)$$

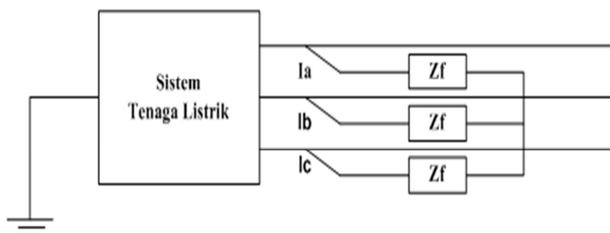
Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka  $Z_{1eq}$  ( $Z_{2eq}$ ) yang didapat juga pada lokasi tersebut.

Perhitungan  $Z_{0eq}$  :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0penyulang} \dots\dots\dots(7)$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka  $Z_{0eq}$  yang didapat juga pada lokasi tersebut.

**Gangguan Hubung Singkat 3 fasa**



Gambar 2 gangguan hubung singkat 3 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertikal. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum ohm yaitu::

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(8)$$

I = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

V = Tegangan fasa-netral system 20 kV =

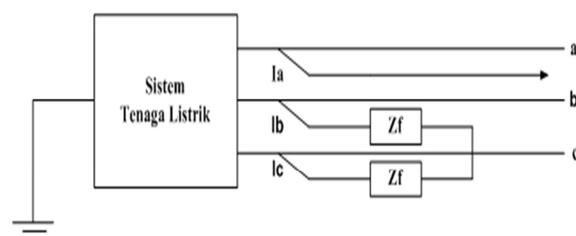
$$\frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = Impedansi urutan positif ( $Z_{1eq}$ )

Sehingga arus gagguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{\sqrt{3}}{Z_{1eq}} = \frac{11547}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(9)$$

**Gangguan Hubung Singkat 2 fasa**



Gambar 3 gangguan hubung singkat 2 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(10)$$

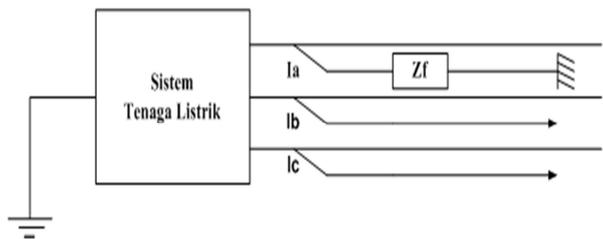
Sehingga arus gagguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

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

Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang dianggap nilai  $Z_{1eq}=Z_{2eq}$ , sehingga persamaan arus gangguan hubung singkat 2 fasa di atas dapat di sederhanakan menjadi :

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

**Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah**



Gambar 6. Gangguan hubung singkat 1 fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(13)$$

V = Tegangan Fasa – Netral system 20 kV  
 $= \frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$

Z = Jumlah impedansi urutan Positif ( $Z_{1eq}$ ) dan urutan Negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan Impedansi urutan Nol ( $Z_{0eq}$ )

$$I_{1fasaketanah} = 3xI_0 \dots\dots\dots(14)$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah dapat dihitung sebagai berikut :

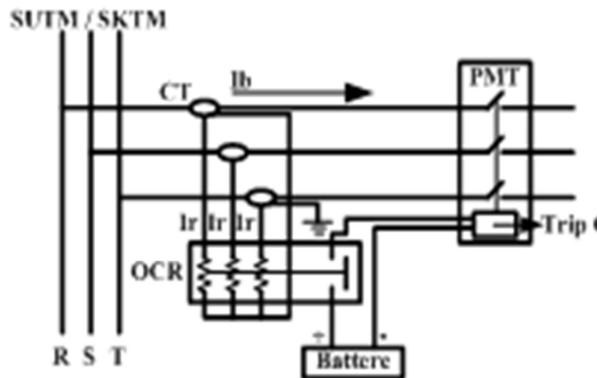
$$I_{1fasa} = 3xI_0 = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3x \frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 * Z_{1eq} + Z_{0eq}} = \frac{34641.016}{2 * Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots(15)$$

Arus gangguan 1 Fasa ketanah juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

**Over Current Relay (OCR)**

OCR bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih.

Prinsip kerja OCR yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 5. Prinsip kerja OCR [1]

**Koordinasi OCR**

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan *Tms* (*Time Multiple Setting*) dari OCR dari jenis inverse. Di samping itu setelah nilai setelan relai didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja OCR, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja relai yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relai bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik). Sedangkan untuk setelan OCR dihitung di incoming trafo, artinya :

1. Untuk OCR yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang tersebut.

2. Untuk OCR yang terpasang di incoming trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Relai inverse diset sebesar  $1.05 - 1.1 \cdot I_{beban}$ , definit diset sebesar  $1.2 - 1.3 \cdot I_{beban}$ .

Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo – trafo distribusi ketika penyulang PMT penyulang tersebut dimasukan.

**Setelan OCR[1]**

Untuk menghitung nilai setelan arus lebih dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Nilai Setelan relai penyulang 20 kV

$$I_{set(primer)} = 1.05 \times I_{beban} \quad (1.16)$$

$$I_{set(sek)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RatioCT} \quad \dots\dots(17)$$

Setelan Waktu/*Time Multiple Setting* (*Tms*)

$$t = \frac{0.14 \times Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right)}{0,14} \quad \dots\dots(19)$$

Nilai Setelan incoming 20 KV trafo tenaga Arus nominal trafo pada sisi 20 KV :

$$I_n \text{ ( sisi 20 kV )} = \frac{kVA}{kVx\sqrt{3}} \dots\dots\dots(20)$$

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1.05 \times I_{beban} \dots\dots\dots(21)$$

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \cdot X \frac{1}{RatioCT} \quad (22)$$

Setelan Waktu ( Tms )

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots(23)$$

Besarnya beda waktu ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- Kesalahan relai penyulang : 0.2–0.3 detik
- Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api : 0.1 detik
- *Over Shoot* : 0.05 detik
- Faktor keamanan : 0.05 detik

Selisih waktu kerja relai di incoming 20 kV ( sisi hulu ) lebih lama 0.4 detik dari waktu kerja relai di penyulang (sisi hilir) di sebut *grading time*, yang maksudnya agar relai di incoming 20 kV memberikan kesempatan relai di penyulang bekerja lebih dahulu.

Untuk itu, nilai Tms yang akan disetkan pada relai arus lebih di incoming 20 KV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama :

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana t = waktu set *OCR* penyulang + waktu koordinasi

Nilai setelan Tms yang didapat 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.

Untuk penyulang lain dapat diulangi perhitungan seperti yang sudah dilakukan tetapi data yang dimasukkan bedanya hanya pada data penyulang, baik nilai impedansi per km nya atau panjangnya.

*Selektifitas Kerja OCR*

Hasil perhitungan setelan *OCR* yang didapat pada bab IV masih harus diperiksa apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain, waktu kerja *OCR* yang terpasang di penyulang dan yang terpasang di incoming trafo tenaga 20 kV sudah bekerja selektif, tetapi masih harus diperiksa apakah memberikan beda waktu kerja (*grading time*) yang terlalu lama.

Untuk *Grading Time* yang terlalu lama, bila terjadi kegagalan kerja *OCR* di penyulang, maka *OCR* di incoming 20 kV dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama menetrikan PMTnya sehingga bisa merusak trafo.

Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada *OCR* jenis standar inverse, karena setelan waktu Tms pada *OCR* jenis inverse bukan menunjukkan lamanya waktu kerja relai tersebut. Lamanya waktu kerja relai ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di relai. Makin besar arus gangguan yang mengalir di relai, makin cepat kerja relai tersebut menutup kontaknya yang kemudian mentrikan PMT.

### **Ground Fault Relay (GFR)**

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubungan singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh *OCR*. Dengan demikian diperlukan relai pengaman gangguan tanah.

### **Penyetelan GFR pada Sistem Tanpa Pentanahan.**

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah relatif kecil namun terjadi

pergeseran tegangan bila sistemnya menggunakan relai tegangan urutan nol. Maka relai ini tidak boleh bekerja bila terjadi pergeseran tegangan pada keadaan normal.

$$V_o = 30\% \times V$$

$V_o$  = Penyetelan relai tegangan urutan nol

$V$  = Tegangan nol

### **Penyetelan GFR pada Sistem Pentanahan Langsung**

Penyetelan relai gangguan tanah pada sistem ini adalah :

$$I_{set} = k_s \times I_{vb}$$

$I_{set}$  = Penyetelan arus gangguan tanah

$I_{vb}$  = Arus tidak seimbang yang mungkin terjadi

$k_s$  = Faktor keamanan, digunakan 1.2 – 1.5.

### **2.3.3. Penyetelan GFR pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Rendah**

#### **1. GFR pada SUTM**

$$I_{set} = 10\% \times I_o$$

$I_{set}$  = Penyetelan arus relai

$I_o$  = Arus gangguan terkecil (ujung penyulang)

#### **2. Ground Fault Relai ( GFR ) pada SKTM**

$$I_{set} = k_s \times I_{sCE}$$

$I_{set}$  = Penyetelan arus

$I_{sCE}$  = Arus kapasitas saluran yang terpanjang operasinya

$K_s$  = Faktor keamanan digunakan 1.2 – 1.5.

**Penyetelan *GFR* pada Sistem Pentanahan Melalui Tahanan Tinggi**

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ke tanah besarnya hanya 23 A dan tidak jauh dengan kapasistansi ke tanah. Artinya arus kapasistansi ke tanah tidak dapat diabaikan terhadap arus resistif.

Adapaun relai yang digunakan adalah relai gangguan tanah berarah. Relai ini sangat sensitif dengan karakteristik waktu tertentu. Relai ini mendapat suplai dari arus urutan nol tegangan urutan nol. Setelan minimum relai gangguan ini adalah 1 A.

Jika  $I_s$  minimum masih bisa menyebabkan relai bekerja adalah 1.25 x Iset. Maka tahanan gangguan  $R_f$  maksimum yang masih menyebabkan relai bekerja sekitar 8500 ohm. Jadi akibat sentuhan ranting pohon atau kawat putus menyentuh tanah diharapkan relai bekerja.

**METODE PENELITIAN**

**Data Trafo Tenaga**

Transformator I

- Merk : Hyundai
- Tipe : TM - 310
- Kapasitas : 10 MVA
- Tegangan : 70/20 kV
- Impedansi : 9,86 %
- I nominal 20 kV : 289 A

Ratio CT : 300/5

Ground Resistan : 12 ohm

**Data Penyulang 20 kV**

Nama penyulang : Cimalaka

Jenis penyulang :

- SUTM = dengan jenis penghantar A3C150,A3C70,A3C35 = 48.445 km
- SKTM = dengan jenis penghantar kebel AL240 = 0.980 km.

Panjang Saluran : 49,425 km

**Data Teknis Kabel**

Tabel 1. Panjang Saluran dan Jenis Penghantar

No.	Jenis penghantar	Panjang (km)	Impedansi Urutan Positif ( $Z_1$ )	Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )
1	Kabel AL240	0,980	0,125 + j0,097	0,275 + j0,029
2	A3C150	32,133	0,216 + j0,331	0,363 + j1,618
3	A3C70	12,611	0,461 + j0,357	0,609 + j1,645
4	A3C35	3,701	0,9217 + j0,3790	1,0697 + j1,6665

[Sumber : PLN]

**Data OCR dan *GFR***

Sisi Penyulang :

Ratio CT ( Outgoing ): 300 / 5

Karakteristik : Standard Inverse

Sisi Incoming :

Ratio CT ( Incoming ): 300 / 5

Karakteristik : Standard Inverse

**PEMBAHASAN**

**Menghitung Impedansi Sumber**

Data hubung singkat = 4.047 kA

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times \text{Data Hubung Singkat}$$

$$= \sqrt{3} \times (70 \times 10^3) \times (4,047 \times 10^3)$$

$$= 490.673 \text{ MVA}$$

$$X_{s(HV)} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{70^2}{490.673} = 9,986 \text{ Ohm}$$

$$X_{s(LV/sisi 20 kV)} = \frac{20^2}{70^2} \times 9,986 = 0,815 \text{ Ohm}$$

3.2.2. Menghitung Reaktansi Trafo

$$R_N = 12 \Omega$$

$$X_{T(100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2}{10} = 40 \text{ Ohm}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 9,86\% \times 40 = 3,94 \text{ Ohm}$$

Reaktansi Urutan Nol ( $X_{t0}$ )

Belitan pada trafo tenaga adalah hubungan YY dan tidak mempunyai delta di dalamnya, maka besarnya  $X_{t0} = 10 \times 3,94 = 39,4 \text{ ohm}$ .

Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang}$$

$$= j0.815 + j3.94 + Z_{1penyulang} = j4.755 + Z_{1penyulang}$$

Lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada titik 25 %, 50%, 75%, 100% panjang penyulang, maka  $Z_{1eq} = (Z_{2eq})$  yang ditunjukkan pada tabel

Tabel 2. Impedansi Ekuivalen Jaringan

Jarak Gangguan	Impedansi Ekuivalen Jaringan $Z_{1eq} = (Z_{2eq})$
----------------	---

	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang}$
0%	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j4.755 + 0 = j4.755 \Omega/km$
25%	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j4.755 + (2.579 + j3.861) = 2.579 + j8.616 \Omega/km$
50%	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j4.755 + (5.249 + j8.933) = 5.249 + j13.688 \Omega/km$
75%	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j4.755 + (8.887 + j12.143) = 8.887 + j16.898 \Omega/km$
100%	$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j4.755 + (16,288 + j16.636) = 16,288 + j21.391 \Omega/km$

Lokasi gangguan diasumsikan terjadi 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % panjang penyulang, maka perhitungan  $Z_{0eq}$  ditunjukkan pada tabel

Tabel 3. Impedansi Ekuivalen Jaringan  $Z_{0eq}$

Jarak Gangguan	Impedansi Ekuivalen Jaringan $Z_{0eq}$ $Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0penyulang}$
0%	$Z_{0eq} = j39.4 + 36 + 0 = 36 + j39.4 \Omega/km$
25%	$Z_{0eq} = j39.4 + 36 + (4.399 + j12.972) = 40.399 + j52.372 \Omega/km$
50%	$Z_{0eq} = j39.4 + 36 + (8.885 + j38.428) = 44.885 + 77.828 \Omega/km$
75%	$Z_{0eq} = j39.4 + 36 + (14.343 + j58.527) = 50.343 + j97.927 \Omega/km$
100%	$Z_{0eq} = j39.4 + 36 + (23.573 + j79.188) = 59.573 + j118.588 \Omega/km$

Arus Gangguan Hubung Singkat

Tabel 4. Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Jarak Gangguan (%)	Arus Hubung Singkat 3 fasa $I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$
0%	$\frac{11547}{0 + j4.755} = 2428.391A$
25%	$\frac{11547}{2.529 + j8.616} = 1285930A$

50%	$\frac{11547}{5.249 + j13.688} = 787.658A$	50%	$\frac{34641,016}{2(5.249 + j13.688) + (44.885 + j77)} = 291.367 A$
75%	$\frac{11547}{8.887 + j16.898} = 604.794A$	75%	$\frac{34641,016}{2(8.887 + j16.898) + (50.343 + j97.927)} = 233.598 A$
100%	$\frac{11547}{16.288 + j21.391} = 429.475A$	100%	$\frac{34641,016}{2(16.288 + j21.391) + (59.573 + j118.58)} = 186.415 A$

Tabel 5. Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Jarak Gangguan (%)	Arus Hubung Singkat 2 Fasa
	$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 * Z_{1eq}}$
0%	$\frac{20000}{2(0 + j4.755)} = 2103,049A$
25%	$\frac{20000}{2(2.579 + j8.616)} = 1105343A$
50%	$\frac{20000}{2(5.249 + j13.688)} = 682132A$
75%	$\frac{20000}{2(8,887 + j16.898)} = 523.768A$
100%	$\frac{20000}{2(16.288 + j21.391)} = 371.937A$

Tabel 6. Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa

Jarak Gangguan (%)	Arus Hubung Singkat 1 Fasa
	$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{3 * V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$
0%	$\frac{34641.016}{2(0 + j4.755) + (36.00 + j39.4)} = 570.406 A$
25%	$\frac{34641,016}{2(2.579 + j8.616) + (40.399 + j52.372)} = 416.421 A$

**Menghitung Setelan OCR**

Nilai Setelan relai penyulang 20 kV

$$I_{set(primer)} = 1.05 \times I_{beban} = 1,05 \times 300 A = 315 A$$

$$I_{set(sek)} = I_{set(primer)} \cdot \frac{1}{RatioCT} = 315 \times \frac{5}{300} = 5,25 \text{ Amper}$$

Setelan waktu ( Tms )

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

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$Tms = \frac{0.3x \left( \left( \frac{2428.391}{315} \right)^{0.02} - 1 \right)}{0,14} = 0,089$$

detik

Nilai Setelan incoming 20 kV trafo tenaga

Data trafo sebagai berikut :

Kapasitas = 10 MVA

Tegangan = 70 / 20 kV

Impedansi= 12%

CT Rasio = 300/5 A (sisi incoming 20 kV)

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV :

$$I_n \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{kVA}{kVx\sqrt{3}} = \frac{10000}{20\sqrt{3}} = 288,68 \text{ A}$$

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,05 \times I_{beban} = 1,05 \times 288,68 = 303,11 \text{ A}$$

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = 303,11 \times \frac{5}{300} = 5,05 \text{ Amper}$$

Setelan Waktu ( Tms)

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = \frac{(0,3 + 0,4) \times \left( \left( \frac{2428,391}{303,11} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,212$$

det

**Perhitungan Setelan GFR**

a. Sisi Penyulang

I set (primer) = 10 % x Arus gangguan hubung singkat ke tanah terkecil

$$= 10 \% \times 186.415 \text{ A} = 18,642 \text{ A}$$

$$I \text{ set (sek)} = I \text{ set (prim)} \times \frac{1}{RasioCT} = 18,642 \text{ A} \times \frac{5}{300} = 0,311 \text{ A}$$

Nilai Setelan Waktu (Tms) :

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,100 \text{ detik}$$

b. Sisi Incoming 20 kV

Nilai Setelan Arus (I set) :

I set (primer) = 8% x Arus gangguan hubung singkat ke tanah terkecil

$$= 8 \% \times 186.415 \text{ A} = 14,913 \text{ A}$$

$$I \text{ set (sek)} = 14.913 \text{ A} \times \frac{5}{300} = 0,249 \text{ A}$$

Nilai Setelan Waktu (Tms) :

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,259 \text{ detik}$$

**Selisih Waktu Kerja OCR**

1. Gangguan Hubung singkat 3 Fasa

Tabel 7. Selisih Waktu Kerja OCR arus gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Lokasi Gangguan (% panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (GraddingTime) (detik)
0%	0.698	0.299	0.399
25%	1.012	0.437	0.575
50%	1.539	0.674	0.865
75%	2.134	0.948	1.186
100%	3.744	2.004	1.740

2. Gangguan Hubung singkat 2 Fasa

Tabel 8. Selisih Waktu Kerja OCR arus gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Lokasi Gangguan (% panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (GraddingTime) (detik)
0%	0.751	0.322	0.429

<b>25%</b>	1.119	0.490	0.629	<b>1 Fasa ke Tanah</b>	<b>570.406 A</b>	<b>570.04 A</b>
<b>50%</b>	1.815	0.800	1.015			
<b>75%</b>	2.698	1.219	1.479			
<b>100%</b>	7.237	3.743	3.494			

Tabel 9. Selisih waktu kerja GFR untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Relai di Incoming 20 kV (detik)	Waktu Kerja Relai di Penyulang 20 kV (detik)	Selisih Waktu ( <i>Grading Time</i> ) (detik)
<b>0 %</b>	0.479	0.198	<b>0.281</b>
<b>25 %</b>	0.526	0.218	<b>0.308</b>
<b>50 %</b>	0.592	0.246	<b>0.346</b>
<b>75 %</b>	0.640	0.269	<b>0.371</b>
<b>100 %</b>	<b>0.699</b>	<b>0.297</b>	<b>0.402</b>

### Komparasi analisa hasil perhitungan dan data di lapangan

Data yang didapat dari lapangan dianalisa dengan cara dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual

Arus Gangguan Hubung Singkat di bus 20 kV

Tabel 10. Perbandingan arus gangguan hubung singkat di bus 20 kV

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Data Hasil Perhitungan	Data di Lapangan
<b>3 Fasa</b>	2428.391 A	<b>2426.25 A</b>
<b>2 Fasa</b>	2103.049 A	<b>2101.19 A</b>

Dari tabel perbandingan arus hubung singkat diatas terlihat jelas bahwa data yang hitung dengan data yang diperoleh di lapangan tidaklah berbeda jauh. Adapun perbedaan ini disebabkan karena faktor alat ukur dan pembacaan alat ukur itu sendiri sehingga antara data yang terukur di lapangan dengan data hasil perhitungan tidak sama persis.

Setelan *OCR* dan *GFR*

Tabel 11. Perbandingan setelan *OCR*

Setelanan Relai	Data Hasil Perhitungan	Data di Lapangan
<b>Iset (penyulang)</b>	1.05 x In	<b>1.00 x In A</b>
<b>Tms(Penyulang)</b>	0,089	<b>0,07</b>
<b>Iset (incoming)</b>	1.01 x In	<b>1.1 x In A</b>
<b>Tms (Incoming)</b>	<b>0,212</b>	<b>0,3</b>

Tabel 12. Perbandingan setelan *GFR*

Setelanan Relai	Data Hasil Perhitungan	Data di Lapangan
<b>Iset (penyulang)</b>	0.06 x In A	<b>0.18 x In A</b>
<b>Tms(Penyulang)</b>	0.100	<b>0.07</b>
<b>Iset (incoming)</b>	0.04 x In A	<b>0,2 x In A</b>
<b>Tms (Incoming)</b>	<b>0.259</b>	<b>0.25</b>

Dari tabel 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 besar 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.

Pemeriksaan Selektifitas Waktu Kerja Relai Tabel 13. Selisih waktu kerja antara relai disisi incoming 20 kV dengan relai disisi penyulang 20 kV

Lokasi Gangguan (%)	Grading Time Untuk Gangguan Hubungan Singkat 3 Fasa (detik)	Grading Time Untuk Gangguan Hubungan Singkat 2 Fasa (detik)	Grading Time Untuk Gangguan Hubungan Singkat 1 Fasa ke Tanah (detik)
0 %	0.399	0.429	<b>0.281</b>
25 %	0.575	0.629	<b>0.308</b>
50 %	0.865	1.015	<b>0.346</b>
75 %	1.186	1.479	<b>0.371</b>
100 %	<b>1.740</b>	<b>3.494</b>	<b>0.402</b>

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.

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dikemukakan dari analisis penyetelan proteksi penyulang CMLK di gardu induk Sumedang adalah sebagai berikut :

#### 1. Arus Gangguan Hubung Singkat

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, arus gangguan hubung singkat terbesar terjadi pada jarak 0 % dari panjang penyulang atau pada *bus bar* 20 kV yaitu sebesar 2428.391 A

untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa, 2103.049 A untuk arus gangguan hubung singkat dua fasa, dan 570.406 A untuk arus gangguan 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 429.475 A untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa, 371.937 A untuk arus gangguan hubung singkat dua fasa, dan 186.415 A untuk arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

## 2. OCR

Sisi penyulang 20 kV :

Hasil perhitungan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) didapat,  $I_{set} = 1.05 \times I_n A$  dan  $t_{ms} = 0.089$  detik

Data yang terpasang di lapangan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) adalah  $I_{set} = 1.00 \times I_n A$  ,  $t_{ms} = 0.07$ detik

Hal tersebut menunjukkan bahwa setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) yang terpasang pada penyulang Cimalaka di Gardu Induk Sumedang masih baik dan belum perlu disetel ulang.

Sisi Incoming 20 kV :

Hasil perhitungan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) didapat,

$I_{set} = 1.01 \times I_n A$  dan  $t_{ms} = 0.212$  detik

Data yang terpasang di lapangan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) adalah  $I_{set} = 1.1 \times I_n A$ ,  $t_{ms} = 0.3$ detik

Hal tersebut menunjukkan bahwa setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) di sisi incoming yang terpasang pada penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang masih baik dan belum perlu disetel ulang.

## 3. GFR

Sisi penyulang 20 kV :

Hasil perhitungan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) didapat,  $I_{set} = 0.06 \times I_n A$  dan  $t_{ms} = 0.100$  detik

Data yang terpasang di lapangan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) adalah  $I_{set} = 0.18 \times I_n A$ ,  $t_{ms} = 0.07$  detik

Walaupun setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) yang terpasang pada penyulang Cimalaka di Gardu Induk Sumedang kurang sesuai dengan hasil perhitungan namun belum perlu disetel ulang karena ada kebijakan dari PLN.

Sisi Incoming 20 kV :

Hasil perhitungan untuk setelan arus (  $I_{set}$  ) dan waktu tunda (  $t_{ms}$  ) didapat,  $I_{set} = 0.04 \times I_n A$  dan  $t_{ms} = 0.259$  detik

Data yang terpasang di lapangan untuk setelan arus ( Iset ) dan waktu tunda ( tms ) adalah  $Iset = 0.2 \times In A$ ,  $tms = 0.25$ detik

Walaupun setelan arus ( Iset ) dan waktu tunda ( tms ) di incoming yang terpasang pada penyulang Cimalaka di Gardu Induk 70 kV Sumedang tidak terlaui signifikan dengan hasil perhitungan namun belum perlu disetel ulang karena ada kebijakan dari PLN.

#### Daftar Pustaka

- Budi Utomo, Heri. Ir, 2004. Modul Perkuliahan : Proteksi Penyulang Tegangan Menengah. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Kadarisman, Pribadi dan Wahyudi S.N MT, 2005. Makalah : Dampak Trafo Tenaga Besar Terhadap Kinerja Proteksi dan Tegangan Pelayanan. Jakarta : PT. Jalamas Berkatama.
- M Faulkenberry, Luces. 1996. Electrical Power Distribution and Tranmision. New Jersey: Practice Hall. Inc.
- Marsudi, Djiteng, 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pusat Pendidikan dan Latihan PLN, 2004. Kursus Pengaman Sistem Distribusi. Jakarta : PLN
- Putriani Yogosara, Dewi. 2005. Perhitungan Setting *Over Current Relay (OCR)* dan *Ground Fault Relay (GFR)* pada Transformator I-IBT 60 MVA di Gardu Induk Cigereleng. Bandung : Itenas.
- Rao, TS Madhva, 1999. Power System Protection Static Relays. New Delhi: Tata Mc Graw Hill.
- Sulasno, Ir, 2001. Analisis Sistem Tenaga Listrik, Jilid II. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Sunarto Ir, 2005. Modul Perkuliahan : Proteksi Sistem Tenaga. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Tohir, Toto, 2005. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.