

## ANALISA KOORDINASI OCR - RECLOSER PENYULANG KALIWUNGU 03

Nugroho Agus Darmanto, Susatyo Handoko  
nugroho@elektro.ft.undip.ac.id, susatyo@elektro.ft.undip.ac.id  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik., Universitas Diponegoro

### Abstrak

Kelistrikan di Jawa Tengah menganut sistem pentanahan langsung sepanjang jaringan (*solidly grounded common neutral*), sehingga arus gangguan yang terjadi sangat besar, maka perluasan atau pelimpahan beban dari penyulang lain harus mempertimbangkan jangkauan pengindra peralatan pengaman dan mengkoordinasikan antara pengaman yang satu dengan yang lain, koordinasi system proteksi berperan sangat penting untuk menjamin keandalan sistem penyaluran tenaga listrik.

Dengan menganalisa besar arus gangguan yang dapat terjadi dan memperhatikan karakteristik serta pola setting peralatan pengaman terpasang, diharapkan dapat diketahui tingkat keandalan penyulang Kaliwungu 03 (KLU03) dalam kondisi normal atau saat menerima pelimpahan beban dari penyulang Weleri 06 (WLI06).

Dari analisa diketahui bahwa dengan besar arus gangguan minimum yang terjadi masih lebih besar dibanding dengan setting OCR dan Recloser, maka dapat disimpulkan peralatan pengaman penyulang Kaliwungu 03 dapat mengakomodir pelimpahan beban dari penyulang Weleri 06, namun untuk keandalan perlu dievaluasi kembali setting OCR dan Recloser khususnya tentang pemilihan karakteristik dan konstanta waktu tunda.

### I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik wilayah kota Kendal disuplai dari GI. (Gardu Induk) Kaliwungu Trafo I penyulang Kaliwungu 03 (KLU03) dan dari GI. Weleri Trafo II penyulang Weleri 06 (WLR06), yang mana dalam kondisi operasi normal kedua penyulang tersebut dipisahkan oleh ABSW (Air Break Switch) pada posisi buka/NO (Normaly Open). Titik posisi NO tidak selalu pada ABSW tertentu saja, namun bisa dipindah ke ABSW lain yang sebelumnya pada posisi tutup/NC (Normaly Close) yang berada pada batas pembagi / seksi atau zone, pemindahan titik ABSW NO ini dengan mempertimbangkan regulasi beban antara kedua penyulang yang disesuaikan dengan kemampuan / kapasitas dari masing-masing penyulang.

Pada kondisi tertentu untuk keperluan pemeliharaan atau perbaikan peralatan disuatu seksi diperlukan manuver (pelimpahan) beban dari

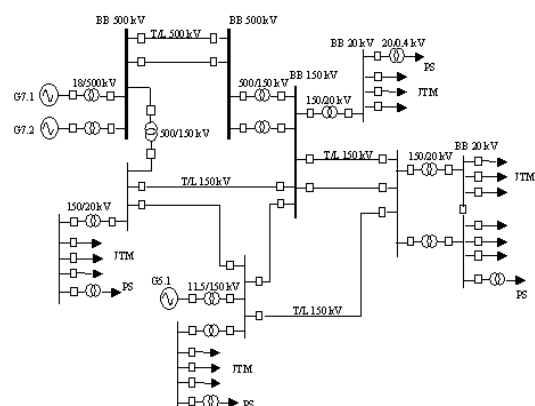
penyulang satu ke penyulang yang lainnya, untuk meminimalkan daerah padam. Kondisi yang sifatnya hanya sementara ini tetap harus diperhitungkan koordinasi pengamannya, sehingga apabila terjadi gangguan dimanapun titiknya, kinerja pengaman jaringan akan tetap memenuhi

Tujuan penyusunan makalah ini adalah untuk menyajikan analisa teknis keandalan kelistrikan penyulang Kaliwungu 3 (KLU03) dari gardu induk Kaliwungu, yang dalam kondisi normal melayani wilayah kota Kendal secara radial, dan dalam kondisi tertentu (manuver beban bersifat sementara) harus memikul beban dari penyulang Weleri 6 (WLR06), maka diperlukan pembahasan koordinasi peralatan pengaman, sehingga keandalan sistem penyaluran tenaga listrik dapat lebih terjamin secara optimal dengan tetap berpedoman pada desain kriteria dari masing-masing peralatan.

### II. SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

#### 2.1. Sistem Kelistrikan di Jawa Tengah

Karena berbagai persoalan teknis, tenaga listrik hanya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu. Sedangkan pelanggan tenaga listrik tersebar di berbagai tempat, maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ke tempat pelanggan memerlukan jaringan. Tenaga listrik dibangkitkan dari PLTA, PLTU, PLTG, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada di Pusat Listrik. Hal ini digambarkan oleh Gambar 2.1.





memungkinkan penggunaan trafo-trafo kecil 1 fasa yang sesuai bagi beban-beban kecil yang berjauhan letaknya.

Dengan adanya tahanan netral yang sangat kecil mendekati nol, maka arus hubung tanah menjadi relatif besar dan berbanding terbalik dengan letak gangguan tanah sehingga perlu dan dapat digunakan alat pengaman yang dapat bekerja cepat dan dapat memanfaatkan alat pengindera (relay) dengan karakteristik waktu terbalik (invers time).

Keuntungan lain dari arus gangguan fasa tanah yang besar adalah dapat dilakukannya koordinasi antara PMT dan relay arus lebih atau recloser dengan pengaman lebur atau antara recloser dengan automatic sectionalizer secara baik.

Pada percabangan beban atau tapping 1 fasa dapat digunakan pengaman fasa tunggal yang lebih selectif.

**2.4. Keandalan Sistem Distribusi**

Keandalan system penyaluran distribusi tenaga listrik tergantung pada model susunan saluran, pengaturan operasi dan pemeliharaan serta koordinasi peralatan pengaman. Tingkat kontinuitas dibagi antara lain :

- Tingkat 1 : padam berjam-jam
- Tingkat 2 : padam beberapa jam
- Tingkat 3 : padam beberapa menit
- Tingkat 4 : padam beberapa detik
- Tingkat 5 : tanpa padam

Keandalan dari suatu sistem adalah kebalikan dari besarnya jam pemutusan pelayanan, jam pemutusan pelayanan dapat dihitung berdasarkan jumlah konsumen atau jumlah daya yang padam (diputus)

$$\begin{aligned} \text{Jam pemutusan pelayanan} &= \frac{\{ h(\text{jam}) \times a(\text{konsumen}) \}}{n(\text{konsumen sistem}) \times 1 \text{ tahun}} \\ &= (h \times a) / n \text{ jam/tahun} \quad n = \sum a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jam pemutusan pelayanan} &= \frac{h(\text{jam}) \times b(\text{kW})}{m(\text{kW}) \times 1 \text{ tahun}} \\ &= (h \times b) / m \text{ jam/tahun} \quad m = \sum b \end{aligned}$$

**2.5. Macam-macam gangguan dan akibatnya**

- a. Gangguan beban lebih.
- b. Gangguan hubung singkat.
- c. Gangguan tegangan lebih
- d. Gangguan hilangnya Pembangkit

e. Gangguan Instability

**2.6. Cara mengatasi gangguan**

- a. Mengurangi terjadinya gangguan
- b. Mengurangi akibat gangguan

**2.7. Impedansi Jaringan Distribusi**

Pada sistem distribusi tenaga listrik impedansi yang menentukan besarnya arus hubung singkat, adalah :

- Impedansi sumber
- Impedansi transformator tenaga
- Impedansi hantaran/jaringan
- Impedansi gangguan atau titik hubung singkat

**2.8. Komponen Simetris.**

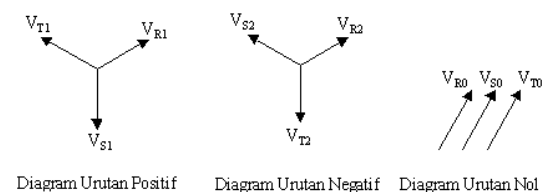
Komponen simetris lazim digunakan dalam menganalisa gangguan-gangguan yang tidak simetris didalam suatu sistim kelistrikan.

**a. Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa**

Ketiga sistem simetris yang merupakan hasil uraian komponen simetris dikenal dengan nama :

- Komponen urutan positif
- Komponen urutan negatif
- Komponen urutan nol

Dari komponen vektor yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen simetris

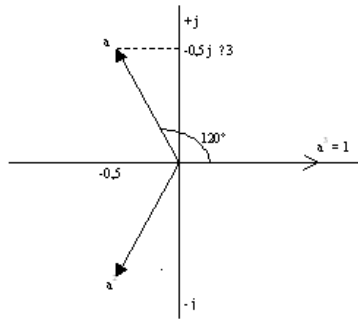


Gambar 3 Diagram komponen simetris

**b. Operator Vektor “a”**

Pada penggunaan komponen simetris sistem 3 fasa memerlukan suatu fasor atau operator yang akan memutar rotasi dengan vektor lainnya yang berbeda sudut 120°. Operator yang dipakai vektor satuan adalah “a”. Didefinisikan bahwa :

$$a = -\frac{1}{2} + \frac{j\sqrt{3}}{2} = \angle 120^\circ = j^{120}$$



Gambar 4 Vektor scalar “ a “

**2.9. Teori Hubung Singkat**

a. Arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{hs\ 3ph} = \frac{E}{Z_1}$$

b. Arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{hs\ 2ph} = \frac{\sqrt{3} E}{Z_1 + Z_2}$$

c. Arus hubung singkat 1 fasa

$$I_{hs\ 1ph-e} = \frac{3 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

Dimana,  $Z_1 \approx Z_2$  maka

maka, dapat dihitung

$$I_{hs\ 2ph} = \frac{\sqrt{3} E}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} E}{2 Z_1} = 0,866 I_{hs\ 3ph}$$

Gangguan 1 fasa ke tanah dekat GI :  $Z_1 = Z_2 = Z_0$

$$I_{hs\ 1ph-e} = \frac{3 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3 E}{3 Z_1} = I_{hs\ 3ph}$$

Gangguan 1 fasa ke tanah jauh dari GI :  $Z_0 = 3 Z_1, Z_1 = Z_2$

$$I_{hs\ 1ph-e} = \frac{3 E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3 E}{5 Z_1} = 0,6 I_{hs\ 3ph}$$

**III. SISTEM PENGAMAN PADA SUTM 20 kV 3 FASA 4 KAWAT**

**3.1. Pemutus Tenaga**

Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat pemutus otomatis yang mampu memutus/menutup rangkaian pada semua kondisi, yaitu pada kondisi normal ataupun gangguan.

Secara singkat tugas pokok pemutus tenaga adalah :

- Keadaan normal, membuka / menutup rangkaian listrik.
- Keadaan tidak normal, dengan bantuan relay, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

**3.2. Relay Arus Lebih (OCR)**

Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya ( $I_{set}$ ).

a. Prinsip Kerja

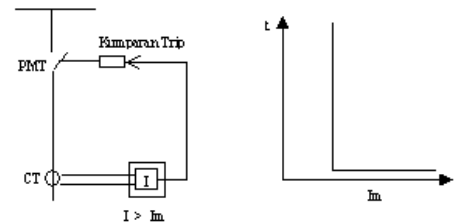
Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

Macam-macam karakteristik relay arus lebih :

- a. Relay waktu seketika (Instantaneous relay)
- b. Relay arus lebih waktu tertentu (Definite time relay)
- c. Relay arus lebih waktu terbalik

b. Relay Waktu Seketika (Instantaneous relay)

Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar 5. dibawah ini.

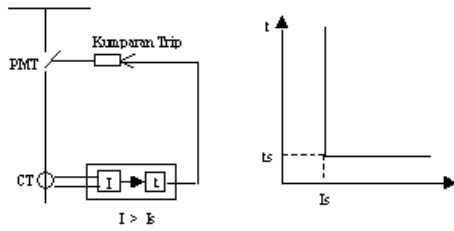


Gambar 5 Karakteristik relay waktu seketika

Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

c. Relay arus lebih waktu tertentu (deafinite time relay)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay, lihat gambar 6. dibawah ini.

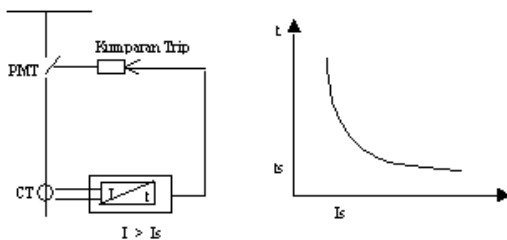


Gambar 6 Karakteristik relay waktu definite

d. Relay arus lebih waktu terbalik.

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam. Setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- Standar invers
- Very inverse
- extremely inverse



Gambar 7 Karakteristik relay waktu Inverse

Pada relay arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda antara lain:

- Pengamanan hubung singkat fasa  
Relay mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Relay fasa”. Karena pada relay tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya ( $I_s$ ) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan  $I_s = 1,2 \times I_n$  ( $I_n$  = arus nominal peralatan terlemah).
- Pengamanan hubung tanah  
Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah satu atau dari kedua hal berikut:

Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi.

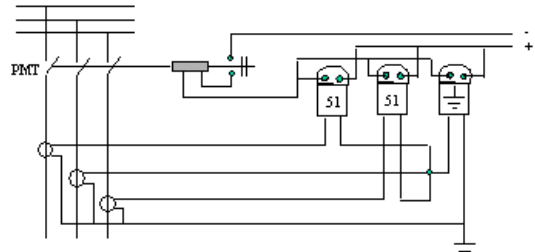
Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan

Dalam hal demikian, relay pengamanan hubung singkat (relay fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya relay sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka relay dipasang tidak pada

kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya.

Dengan demikian relay ini dialiri oleh arus netralnya, berdasarkan komponen simetrisnya arus netral adalah jumlah dari arus ketiga fasanya.

Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (melalui kawat netral)



Gambar 8 Sambungan relay GFR dan 2 OCR

**3.3. Pemutus Balik Otomatis (Recloser)**

Pemutus balik otomatis (*Automatic circuit recloser = Recloser*) ini secara fisik mempunyai kemampuan seperti pemutus beban, yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.

**3.4. Saklar seksi Otomatis (sectionalizer)**

*Sectionalizer* adalah alat perlindungan terhadap arus lebih, hanya dipasang bersama-sama dengan PBO yang berfungsi sebagai pengamanan back-upnya. Alat ini menghitung jumlah operasi pemutusan yang dilakukan oleh perlindungan back-upnya secara otomatis disisi hulu dan SSO ini membuka pada saat peralatan pengamanan disisi hulunya sedang dalam posisi terbuka.

**3.5. Pelebur (fuse cut out)**

Adalah suatu alat pemutus, dimana dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena pelebur ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.

**3.6. Koordinasi Peralatan Pengaman SUTM 20 kV**

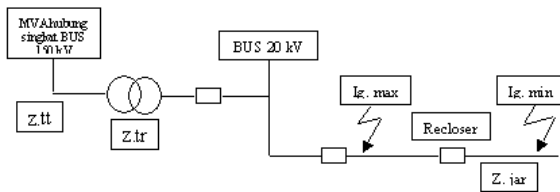
Pada dasarnya prinsip pokok dari koordinasi adalah :

- a. Peralatan pengaman pada sisi beban harus dapat menghilangkan gangguan menetap atau sementara yang terjadi pada saluran, sebelum peralatan pengaman di sisi sumber beroperasi memutuskan saluran sesaat atau membuka terus.
- b. Pemadaman yang terjadi akibat adanya gangguan menetap harus dibatasi sampai pada seksi sekecil mungkin.

**IV. PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN DAN ANALISIS KOORDINASI PERALATAN PENGAMAN**

**4.1. Data-data Pengusahaan :**

$I_{hs\ 3\Phi\ tt}$  : 17.856,96 Ampere  
 Kapasitas trf : 60 MVA  
 Impedansi Trafo : 12,5 %  
 Impedansi JTM 3  $\Phi$  :  $Z_1 = Z_2 = 0,134 + j0,308$   
 $Z_0 = 0,413 + j0,949$   
 Impedansi JTM 1 fasa  $Z_{1\phi} = 1,623 + j0,746$



Gambar 9 Diagram Komponen Arus Gangguan

**4.2. Perhitungan dan analisis**

**Impedansi trafo :**

$$Z_{tr} = \frac{kV_2^2}{MVA_{tr}} \cdot 12,5\% = \frac{20^2}{60} = 0,833\ \Omega$$

Menghitung MVA<sub>hs tt</sub>, bila diketahui I<sub>hs3Φtt</sub>

$$MVA_{hs\ tt} = I_{hs3\Phi\ tt} \cdot Z_{tr} \cdot \sqrt{3} \cdot kV_1 / 10^3$$

$$MVA_{hs\ tt} = 17.856,96 \cdot \sqrt{3} \cdot 150 \cdot 0,8333 / 10^3 = 3866,15\ MVA$$

$$\text{Impedansi sisi TT } (Z_{tt}) = \frac{kV_2^2}{MVA_{tr}} = \frac{20^2}{3.865,87} = 0,1035\ \Omega$$

Arus gangguan maximum adalah yang terjadi pada dekat rel 20 kV GI.

$$I_{hs\ max\ 3\phi} = \frac{kV_{2n}}{Z_{tt} + Z_{tr}} = \frac{11.547}{(0,8333 + 0,1035)} = 12.326,07\ Amp$$

$$I_{hs\ 2F\ Max} = \frac{\sqrt{3} \cdot kV_{2n}}{2(Z_{tt} + Z_{tr})} = 10.686,70\ Amp$$

$$I_{hs\ 1F-n\ Max} = \frac{3 \cdot kV_{2n}}{(Z_{tt} + Z_{tr})} = I_{hs\ 3F\ TM} = 12.326,07\ Amp$$

Arus gangguan yang terjadi pada ujung jaringan SUTM (JTM) adalah merupakan arus hubung singkat minimum, rumus perhitungan sebagai berikut :

$$I_{hs\ 3F\ Min} = \frac{kV_{2n}}{(Z_{tt} + Z_{tr} + Z_1)}$$

$$I_{hs\ 2F\ Min} = \frac{\sqrt{3} \cdot kV_{2n}}{(Z_{tt} + Z_{tr} + Z_1 + Z_2)}$$

$$I_{hs\ 1F-n\ Min} = \frac{3 \cdot kV_{2n}}{(Z_{tt} + Z_{tr} + Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

**4.3. Setting arus OCR**

Peralatan dengan arus nominal terendah adalah CT, dengan In = 400 Ampere.

$$I_{s\ ocr} = 1,2 \times I_n\ CT = 480\ Ampere$$

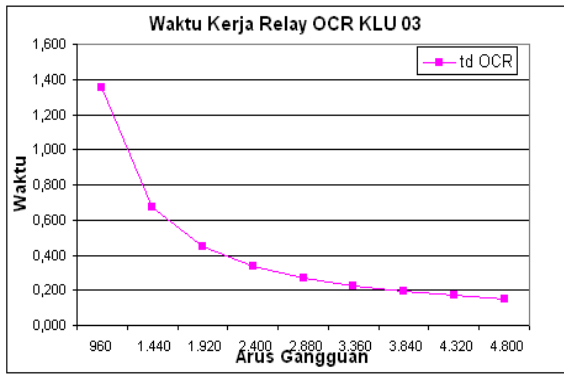
Setting waktu tunda relay OCR untuk penyulang dipilih karakteristik *Very Inverse*, dengan rumus

$$td_{vi} = k \cdot \beta / ((I_{hs} / I_{s\ ocr})^\alpha - 1)$$

dimana : (k) = 0,1 β = 13,5 dan α = 1.

Tabel 1 Perhitungan waktu tunda OCR

x I <sub>s ocr</sub>	I <sub>hs</sub>	td (detik)
100%	480	
100% +1	481	648,000
200%	960	1,350
300%	1.440	0,675
400%	1.920	0,450
500%	2.400	0,338
600%	2.880	0,270
700%	3.360	0,225
800%	3.840	0,193
900%	4.320	0,169
1000%	4.800	0,150
I <sub>hs max</sub>	12.326	0,055



Gambar 10 Kurva OCR Inverse

**4.4. Setting GFR**

Setting GFR pada penyulang : 0,5 x In CT  
: 200 Ampere

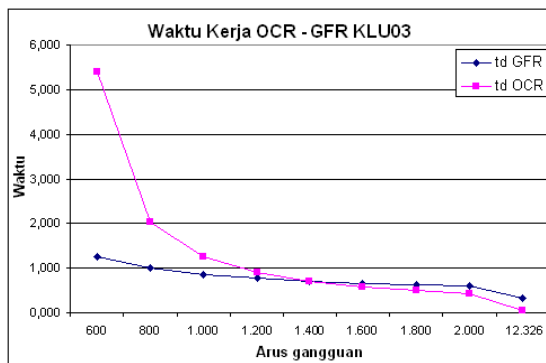
Setting waktu tunda relay GFR dipilih karakteristik *Standar Inverse*, dengan rumus waktu tunda, berikut :

$$td_{si} = k \cdot \beta / ((I_{hs} / I_{s\ ocr})^\alpha - 1)$$

Tabel 2 Perhitungan waktu tunda OCR dan GFR

x I <sub>s</sub> GFR	I <sub>hs</sub>	t <sub>d</sub> GFR (detik)	t <sub>d</sub> OCR (detik)
100%	200		
100% +1	201		
200%	400	2,006	
300%	600	1,260	5,400
400%	800	0,996	2,025
500%	1.000	0,856	1,246
600%	1.200	0,767	0,900
700%	1.400	0,706	0,704
800%	1.600	0,659	0,579
900%	1.800	0,623	0,491
1000%	2.000	0,594	0,426
I <sub>hs</sub> max	12.326	0,326	0,055

Relay GFR juga dikombinasi dengan setting waktu tunda definite (waktu tunda tertentu), yang mana pemilihannya ditetapkan 1 detik.



Gambar 11 Waktu kerja OCR dan GFR

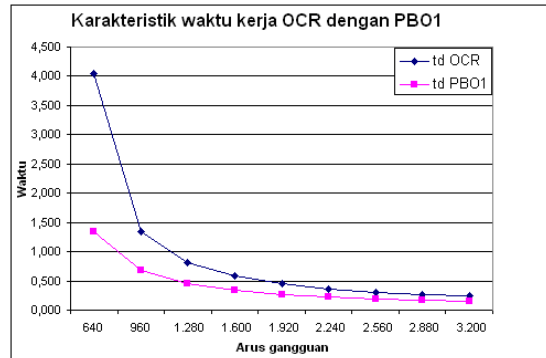
**4.5. Setting arus momen (Im)**

Setting arus momen (Im) yang akan bekerja tanpa tunda waktu, penetapannya sebagai berikut :

- Setting arus momen OCR = 400 % x In terendah
- Setting arus momen GFR = 600 % x In terendah

**4.6. Koordinasi OCR dengan PBO1**

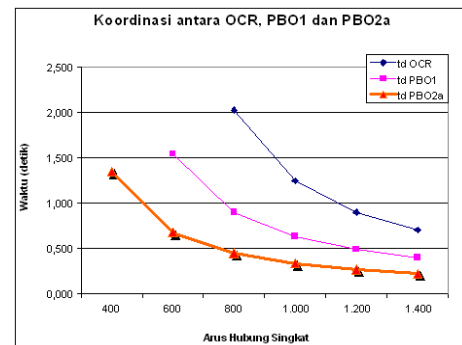
Dengan beban tertinggi pada PBO1 sebesar 250 ampere, maka ditetapkan I sett PBO1 adalah 320 Ampere



Gambar 12 Karakteristik waktu kerja OCR dan PBO1

**4.7. Koordinasi OCR, PBO 1 dan PBO 2a**

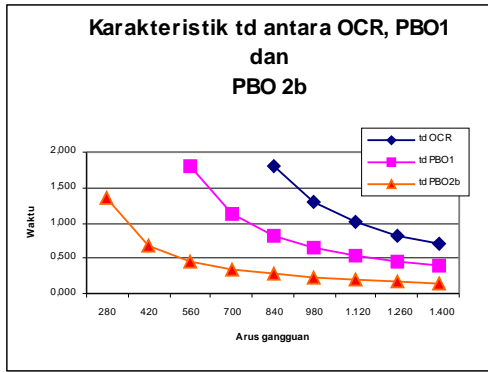
Beban tertinggi pada PBO 2a adalah sebesar 88 Ampere, maka setting arus pada PBO 2a ditetapkan 200 Ampere



Gambar 13 Koordinasi OCR, PBO1, dan PBO2a

**4.8. Koordinasi OCR, PBO 1 dan PBO 2b**

Beban tertinggi pada PBO 2a adalah sebesar 40 Ampere, maka setting arus pada PBO 2a ditetapkan 140 Ampere



Gambar 14 Karakteristik td OCR, PBO1, dan PBO2b

4. Pribadi Kadarisman Ir., Pengaman Arus lebih, Udiklat Teknologi Kelistrikan.
5. SPLN 64 : 1985, Petunjuk pemilihan dan penggunaan pelebur pada sistem distribusi tegangan menengah.
6. SPLN 52 – 3 : 1983, Pola pengaman sistem
7. Soemarto Soedirman Ir., Pembedian dan proteksi sistem distribusi, Udiklat Teknologi Kelistrikan.
8. Sunil S. Rao, Switchgear and protection, Khanna Publishers, Delhi, 1978.

## V. KESIMPULAN

1. Besar arus gangguan pada sistem 3 fasa 4 kawat memberikan keuntungan koordinasi antara peralatan pengaman yang satu dengan yang lain dengan baik.
2. Perbedaan mendasar dari perhitungan arus gangguan maksimum dengan minimum adalah besar impedansi jaringan  $Z_1$ ,  $Z_2$  dan  $Z_0$ , dimana pada arus gangguan maksimum yang terjadi dekat gardu induk, nilai impedansi jaringan mendekati nol, dan pada arus gangguan minimum nilai impedansi jaringan sesuai nilai impedansi pada titik lokasi gangguan ( $\neq 0$ ). Rumus perhitungan yang digunakan untuk kedua kondisi pada dasarnya sama.
3. Jangkauan relay sangat dipengaruhi besar kecilnya arus hubung singkat, sedangkan besar arus hubung singkat dipengaruhi :
  - a. Jumlah pembangkit yang masuk ke sistem jaringan.
  - b. Kapasitas dan impedansi trafo
  - c. Titik gangguan atau panjang jaringan.
4. Peralatan Pengaman pada penyulang KLU-03 masih bisa menjangkau (melakukan penginderaan) pada saat menerima pelimpahan beban dari penyulang WLI-06.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hadi Saadat, Power system analysis, WCB McGraw Hill, 1999.
2. IEEE Power Engineering Society, Application and coordination of recloser, sectionalizer and fuse, New York, 1980.
3. Komari Ir., Pembedian titik netral, PT PLN (Persero), Udiklat Teknologi Kelistrikan.