

KOORDINASI SISTEM PROTEKSI TRAF0 30 MVA DI GARDU INDUK 150 KV KRAPYAK

oleh
Nama : Sugeng Priyono
NIM : L2F303519

Abstrak - Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok saat ini, oleh karenanya tenaga listrik harus tersedia secara ekonomis dengan memperhatikan mutu baik tegangan maupun frekwensi dan keandalan Untuk menjaga kelangsungan tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang sesuai dengan kebutuhan,

Fungsi proteksi adalah untuk melokalisasi gangguan jadi hanya daerah yang terganggu saja yang dibebaskan dari rangkaian tenaga listrik dan juga harus mempertimbangkan tingkat keamanan terhadap peralatan, stabilitas tenaga listrik dan juga keamanan terhadap manusia

Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan yaitu Cepat, Aman / stabil, Peka, Andal dan Selektip sehingga apabila terjadi gangguan maka proteksi akan bekerja sesuai dengan fungsinya sebagai pengaman.

Tugas Akhir ini merupakan perhitungan dan analisis penyetelan koordinasi rele proteksi transformator distribusi 30 MVA di gardu induk 150 kV Krapyak, sehingga dari hasil perhitungan dan setting yang benar diharapkan apabila terjadi gangguan rele proteksi akan bekerja dengan baik sesuai dengan fungsi proteksi sebagai pengaman.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proteksi pada sistem tenaga listrik merupakan bagian yang sangat penting dalam usaha dibidang ketenaga listrikan. Persyaratan yang harus terpenuhi pada sistem proteksi yaitu :

1. Cepat
2. Aman,/ stabil
3. Peka
4. Andal dan dapat dipercaya
5. Selektip

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah menghitung dan menganalisis penyetelan koordinasi rele proteksi OCR & GFR trafo 30 MVA di Gardu Induk Krapyak, sehingga didapat setting yang benar dan proteksi trafo akan bekerja dengan baik.

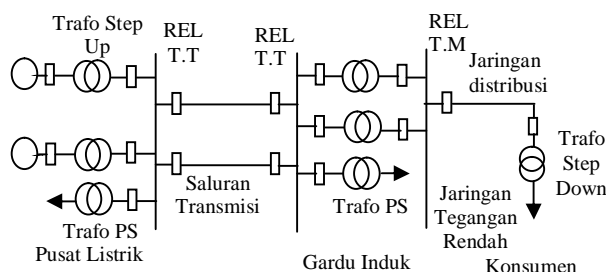
1.3 Pembatasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini ditekankan pada :

1. Menghitung dan menganalisa penyetelan koordinasi rele proteksi OCR & GFR trafo 30 MVA di Gardu Induk Krapyak.
2. Rele *differential* dan rele – rele yang lain hanya dibahas fungsinya saja.
3. Data – data yang diperlukan untuk pembahasan tugas akhir ini diperoleh dari PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Region Jateng & DIY yang berkantor di Jl.Jenderal Sudirman km.23 Ungaran.

II. DASAR TEORI

2. Pada gambar 2.1 menjelaskan proses energi listrik disalurkan



Gambar 2.1. Skema Penyaluran Energi Listrik Dan Pembangkit Ke Konsumen

Gardu induk adalah suatu instalasi tenaga listrik sebagai pusat beban yang berfungsi untuk :

- Mentransformasi energi tenaga listrik.
- Pengukuran.
- Pengaturan daya

Gardu Induk 150 kV dilengkapi peralatan yaitu :

- ❖ Transformator
- ❖ PMT (Pemutus Tenaga)
- ❖ LA (LIGHTNING ARRESTER)
- ❖ Trafo Arus
- ❖ Trafo tegangan
- ❖ PMS (Pemisah).
- ❖ Batere.

2.1 Jenis Gangguan pada transformator

- a. Gangguan internal
 1. Terjadi busur api (*arc*).
 2. Gangguan pada sistem pendingin
 3. Arus sirkulasi pada transformator.
- b. Gangguan External yaitu :
 1. External short circuit
 2. Overload.

2.3. Pengamanan transformator

- a. Pengaman Differensial
- b. Pengaman Arus Lebih (OCR)

Jenis karakteristik *Over Current Relay (OCR)* yaitu :

- o *Definite*, karakteristiknya mempunyai setting arus waktu yang pasti.
- o *Standart Inverse*, karakteristiknya mempunyai setting arus minimum dan waktu kerja yang berubah – ubah tergantung arus gangguan.
- o Karakteristik *inverse* yang lain adalah *very inverse*, *extremely inverse*.

Rumus karakteristik menurut standart IEC (*International Electric Commition*) ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

Standart inverse

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1} .TMS \dots\dots\dots [2.22]$$

Very inverse

$$t = \frac{0,80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right]^2 - 1} .TMS \dots\dots\dots [2.23]$$

Extremely inverse

$$t = \frac{0,80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right]^2 - 1} .TMS \dots\dots\dots [2.24]$$

Long time inverse

$$t = \frac{120}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right] - 1} .TMS \dots\dots\dots [2.25]$$

Keterangan :
 T = waktu kerja rele dengan satuan detik
 I_{hs} = arus hubung singkat dengan satuan Amper
 I_{set} = arus setelan rele dengan satuan Amper.
 TMS = *Time Multiple Setting* (karakteristik kerja rele yang diinginkan sesuai dengan hasil perhitungan).

- c. Proteksi gangguan tanah
- d. Proteksi gangguan tanah terbatas

2.4. Dasar penyetelan rele

1. Penyetelan arus fase dengan waktu tunda

$$I_{max} < I_{set} < 0,8 I_{hs} 2\phi_{min} \dots\dots\dots [2.29]$$

Bila I_{max} tidak diketahui, dapat digunakan I_n penghantar
2. Penyetelan arus gangguan tanah (GFR) dengan waktu tunda

$$I_{set \text{ GFR}} \geq 10\% I_{nCT} \dots\dots\dots [2.34]$$

$$I_{set \text{ GFR}} \leq 0,8 I_{hs} 1\phi-G \dots\dots\dots [2.36]$$

I_{set GFR} untuk pola pengaman dengan pentanahan langsung harus memperhatikan ketidakseimbangan beban sehingga :

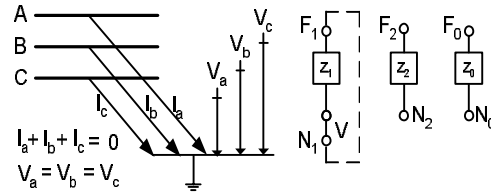
$$I_{set \text{ GFR}} = 30 - 50\% I_b \text{ maksimum}$$
 I_{set GFR} untuk pola pengaman dengan pentanahan tahanan tinggi (500 Ω) biasanya :
 I_{set} = 1 - 5 amper disisi primer
3. Penyetelan waktu kerja
 - a. Rele paling ujung disetel minimum tapi tidak boleh bekerja karena pengaruh luar seperti getaran mekanis.
 - b. Rele di sisi hulu disetel dengan penambahan waktu Δt terhadap rele di sisi hilir.
 - c. Tidak trip karena *inrush current*
 I_{set} paling ujung = 0,2 - 0,5 detik
 I_{set} di sisi hulu = t_{set ujung} + Δt

Δt = 0,3 – 0,5 detik

2.5. Rumus – Rumus Arus Hubung Singkat [1]

1. Hubung singkat 3 fase

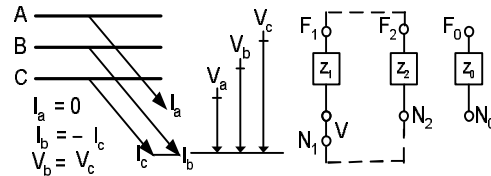
$$I_{3\phi} = \frac{E}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots [2.37]$$



Gambar Rangkaian ekivalen gangguan tiga fase

2. Hubung singkat fase-fase

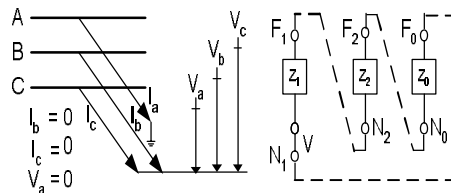
$$I_{\phi-\phi} = \frac{E\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \dots\dots\dots [2.38]$$



Gambar 2.18. Rangkaian ekivalen gangguan dua fase

3. Hubung singkat fase-tanah

$$I_{1\phi-tn} = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \dots\dots [2.39]$$



Gambar 2.19. Rangkaian ekivalen gangguan satu fase ke tanah

Keterangan :

- I_{3φ} = Arus hubung singkat 3 fase dalam Amper
- I_{φ-φ} = Arus hubung singkat fase-fase dalam Amper
- I_{1φ-tn} = Arus hubung singkat fase-tanah dalam Amper
- E = Tegangan fase = tegangan fase-fase √3 dalam volt
- Z₁ = Impedansi urutan positif rangkaian dalam Ω
- Z₂ = Impedansi urutan negatif rangkaian dalam Ω
- Z₀ = Impedansi urutan nol rangkaian dalam Ω
- Z_f = Impedansi gangguan dalam Ω

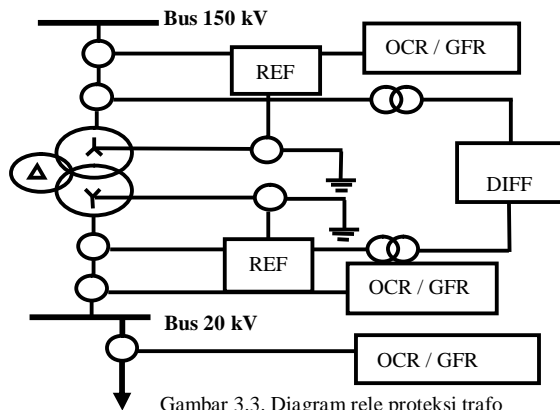
III. GARDU INDUK 150 KV KRAPYAK

3.1 Transformator 3 di GI. Krapyak

Dari gambar single line diagram gardu induk 150 kV Krapyak terlihat bahwa transformator 3 melayani penyulang KPK.1, KPK.2, KPK.7, KPK.12 dan PS (Pemakaian sendiri untuk GI), penyulang – penyulang 20 kV merupakan jaringan tegangan menengah yang terbuat dari jenis kawat terbuka ACSR (*Alluminium Conductor Steel Reinforced*) sehingga sering mengalami gangguan, baik gangguan oleh alam (petir, hujan, angin), pohon dan juga manusia.

3.2. Proteksi Transformator Distribusi

Dari gambar 3.1 *single line diagram* GI Krapyak, akan dibahas masalah koordinasi rele proteksi transformator 3 yang mempunyai kapasitas 30 MVA, koordinasi rele proteksi transformator distribusi dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.3. Diagram rele proteksi trafo

3.3.Perhitungan Penyetelan Rele Proteksi Transformator 3 GI 150 kV Krapyak.

Perhitungan penyetelan rele transformator menggunakan software MATHCAD, data GI. 150 kV Krapyak arus hubung singkat tiga fasa di bus 150 kV 26659,33 Amper, arus hubung singkat satu fasa 23448,73 Amper dan MVA hubung singkat 6176.46 Amper, sedangkan impedansi sumber urutan lihat tabel 3.1:

Tabel 3.1

Impedansi urutan positif		Impedansi urutan negatif		Impedansi urutan nol	
R1(pu)	X1(pu)	R2(pu)	X2 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)
0.0031	j 0.0140	0.0031	j 0.0143	0.0037	j 0.0197

Dalam perhitungan penyetelan rele proteksi dipergunakan besaran per unit, maka diperlukan besaran dasar sebelum melakukan perhitungan untuk tegangan adalah tegangan nominal operasi dan MVA dasar adalah 100, maka didapat besaran arus dan impedansi lihat tabel 3.3

$$z_b 20 = \frac{kVds^2}{MVAdasar} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$ib 20 = \frac{MVAdasar}{kVds \cdot \sqrt{3}} \cdot 10^3 \dots\dots\dots(3.2)$$

$$z_b 150 = \frac{kVdP^2}{MVAdasar} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$ib 150 = \frac{MVAdasar}{kVdP \cdot \sqrt{3}} \cdot 10^3 \dots\dots\dots(3.4)$$

Tabel 3.2 besaran arus dan impedansi

Tegangan	MVA Dasar	KV dasar	Impedansi (zb)	Arus (I)
Sisi 20 kV	100	20	4 Ω	
Sisi 150 kV	100	150	225 Ω	
Sisi 20 kV	100	20	-	2887 A (Amper)
Sisi 150 kV	100	150	-	384.9 A (Amper)

3.4. Data Teknik GI Krapyak

- a. Nama Gardu Induk : Gardu Induk 150 kV Krapyak
- b. Trafo 3 : 30 MVA merk BBC, Tegangan 150 / 22 kV. Dengan penyulang KPK.1, KPK.2, KPK.7, KPK.12 dan PS, Impedansi 12,5 %, Vektor group YNyn0 (d11)
 Kapasitas S := 30 MVA , kV primer:150 kV sekunder : 20 kV, Vektor group YNyn0 (d11)
 Impedansi : 12,5 % Xt := 0,125

$$Xt1 := 0,1255 \cdot \frac{MVAdasar}{S}$$

Xt1 = 0,416 pu (per unit), Xt2 := Xt1
 Xt0 = Xt1

Nisbah CT = perbandingan arus primer dan arus sekunder dari CT (trafo arus) :

- CT sisi 150 kV CT150 = 150 : 1 A
 - CT netral 20 kV CTN20 = 1000 : 1 A
 - CT sisi 20 kV CT20 = 1000 : 1 A
 - CT penyulang CTp = 400 : 1 A
 - CT netral 150 kV CTN150 = 150 : 1 A
- Arus nominal trafo 3

Sisi 150 kV $In 150 := \frac{S \cdot 10^3}{150 \cdot \sqrt{3}}$

In 150 = 115,47 A (primer)

Sisi 20 kV $In 20 := \frac{S \cdot 10^3}{20 \cdot \sqrt{3}}$

In 20 = 866,025 A (primer)

- e. Tegangan Gardu Induk : 150 kV
- f. Arus hubung singkat tiga fasa di bus 150 kV Krapyak sebesar 26659.33 Amper, arus hubung singkat satu fasa 23448.73 Amper dan MVA hubung singkat 6176.46 Amper.
- g. Impedansi sumber di bus 150 kV:
 Imp.urutan positif R1 = 0.0031 X1 = 0.0140
 Zs1 = R1 + j.X1 pu
 Imp.urutan negatif R2 = 0.0031 X2 = 0.0143

$$Zs2 = R2 + j.X2 \text{ pu}$$

$$\text{Imp.urutan nol } R0 = 0.0037 \quad X0 = 0.0197$$

$$Zs0 = R0 + j.X0 \text{ pu}$$

h. Data Penyulang 20 kV

Konduktor fasa yang digunakan pada penyulang adalah jenis ACSR (*Alluminium Conductor Steel Rainforced*) 240 mm², sedangkan netralnya jenis ACSR 150 mm², adapun konstanta impedans urutannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Imp.urutan positif } R1p = 0.1380 \quad \Omega$$

$$X1p = j.0.3200 \quad \Omega$$

$$\text{Imp.urutan positif } R2p = 0.1380 \quad \Omega$$

$$X2p = j.0.3200 \quad \Omega$$

$$\text{Imp.urutan positif } R0p = 0.15640 \quad \Omega$$

$$X0p = j.1.0604 \quad \Omega$$

$$\text{Panjang jaringan } p = 0, \dots, 20 \text{ km}$$

$$ZL1 = R1p + X1p \quad [ZL1]=0.348$$

$$ZL1p = ZL1 \cdot \frac{p}{zb20}$$

$$ZL2p = ZL1p \quad ZL0 = R0p + X0p$$

$$[ZL0] = 1.201$$

$$ZL0p = ZL0 \cdot \frac{p}{zb20}$$

$$ZLp = ZL1p + ZL2p + ZL0p$$

i. Data Impedans trafo

$$Xtp1 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu} \quad Xts1 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu}$$

$$Xtt1 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu} \quad Xtp2 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu}$$

$$Xts2 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu} \quad Xtt2 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu}$$

$$Xtp0 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu} \quad Xts0 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu}$$

$$Xtt0 = 0.5 \cdot Xt1 \text{ pu}$$

j. Data Saluran Udara Tegangan Tinggi (150 kV

Konduktor fasa pada penyulang jenis ACSR (*Alluminium Conductor Steel Rainforced*) 240 / 40 mm², netralnya jenis ACSR 150 / 30 mm²

Konstanta impedans urutannya sebagai berikut :

$$\text{Imp.urutan positif } R1p = 0.1370 \quad \Omega$$

$$X1p = j.0.3966 \quad \Omega$$

$$\text{Imp.urutan positif } R2p = 0.1370 \quad \Omega$$

$$X2p = j.0.3966 \quad \Omega$$

$$\text{Imp.urutan positif } R0p = 0.2870 \quad \Omega$$

$$X0p = j.0.3966 \quad \Omega$$

Impedans urutan SUTT positif ($Zsutt1$), impedans i urutan negatif ($Zsutt2$), impedans urutan nol ($Zsutt0$) dalam per unit (pu) :

$$Zsutt1 := 0.137 + j.0.3966 \quad Zsutt1p = Zsutt1 \cdot \frac{p}{zb150}$$

pu

$$Zsutt2 := 0.137 + j.0.3966 \quad Zsutt2p = Zsutt2 \cdot \frac{p}{zb150} \text{ pu}$$

$$Zsutt0 := \frac{(0.2870 + j.1.19)}{zb150}$$

$$Zsutt0p = Zsutt0 \cdot \frac{p}{zb150} \text{ pu}$$

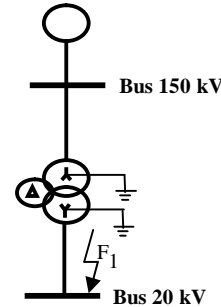
Kemampuan hantar arus SUTT adalah $I_{sutt} = 600 \text{ A}$ (primer)

3.5. Perhitungan Arus hubung Singkat

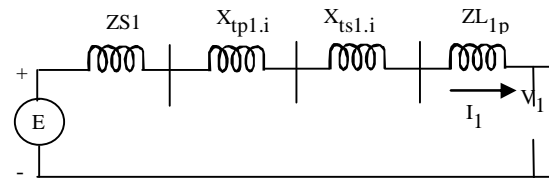
Perhitungan arus hubung singkat tergantung dari tipe gangguan yang terjadi di instalasi tenaga listrik, tipe gangguan yang diperhitungkan dalam penyetelan rele adalah sebagai berikut :

a. hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa di bus 20 kV

Hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa di bus 20 kV trafo ditunjukkan pada gambar 3.4 dan rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada gambar 3.5 dan gambar.3.6



Gambar 3.4 diagram satu garis trafo dan lokasi hubung singkat di bus 20 kv (F_1)

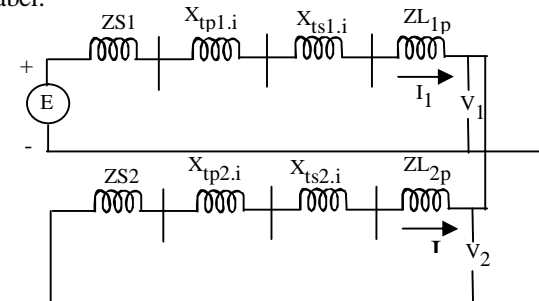


Gambar 3.5. Rangkaian ekuivalen hubung singkat 3 fasa

Dari rangkaian diatas dan sesuai dengan persamaan (2.37), maka didapat arus hubung singkat 3 fasa adalah sebagai berikut :

$$I_{3f20p} := \frac{E}{(Zs1 + j.Xtp1 + j.Xts1 + ZL1p)} \cdot ib20 \dots\dots\dots [3.5]$$

dan nilai arus hubung singkat 2 fasa adalah 0,867 x nilai arus hubung singkat 3 phasa hasil perhitungannya lihat tabel.



Gambar 3.6 Rangkaian ekuivalen hubung singkat 2 fasa

Nilai arus hubung singkat 2 fasa adalah 0,867 x nilai arus hubung singkat 3 phasa maka didapat :

$$I_{2f20p} := 0,867 \cdot I_{3f20p}$$

$$[I_{2f20p}] = 5,811 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

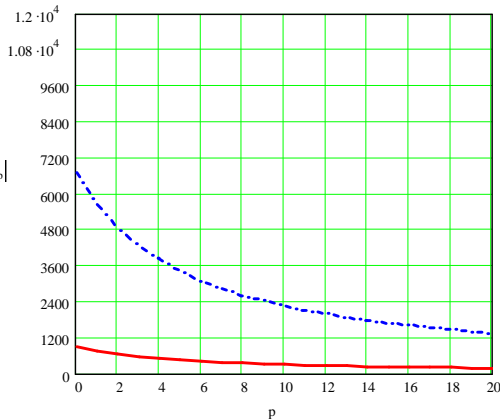
$$I_{3F150p} := \frac{E}{(Z_{s1} + j.X_{tp1} + j.X_{ts1} + ZL1p)} \cdot ib150$$

[I_{3f150o}] = 893,708 A (primer)

$$I_{2f150p} := 0,867 \cdot I_{3f150p} \quad [I_{2f150o}] = 774,845 \text{ A}$$

I_{2f150p} = nilai arus hubung singkat 2 fasa yang terjadi di sisi 20 kV trafo sepanjang penyulang yang dirasakan di sisi 150 kV trafo, sedangkan indek 0 adalah gangguan di nol km atau di bus 20 kV.

Pada gambar 3.7 ditunjukkan grafik arus hubung singkat 3 fasa yang dirasakan di sisi 150 kV trafo dan sisi 20 kV trafo yang terjadi di 0 sampai 15 km panjang penyulang (p = panjang penyulang)



Gambar 3.7 grafik arus hubung singkat 3 fasa sisi 20 kV & 150 kV trafo

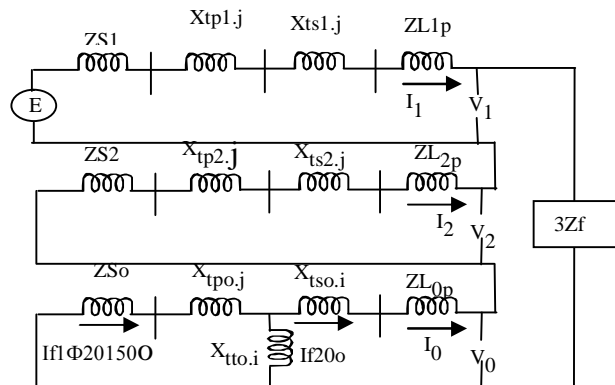
Pada gangguan di 20 km dari bus 20 kV trafo yang ditunjukkan pada gambar 3.7 sebesar :

[I_{3f2020}] = 1,345 x 10³ A (primer) adalah arus gangguan 3 fasa pada 20 kV

[I_{3f15020}] = 179,383 A (primer) adalah arus gangguan 3 fasa pada 150 kV

b. hubung singkat 1 fasa

Hubung singkat 1 fasa di bus 20 kV trafo ditunjukkan pada gambar 3.4 dan rangkaian ekuivalen pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Rangkaian ekuivalen hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan di bus 20 kV arus yang melalui netral trafo sisi 20 kV adalah :

$$I_{f20p} := \frac{3.E}{\left[\frac{(Z_{s0} + X_{tp0,j})X_{tto,j}}{(Z_{s0} + X_{tp0,j}) + X_{tto,j}} \right] + X_{ts0,j} + Z_{s2} + X_{tp2,j} + Z_{s1} + X_{tp1,j} + X_{ts1,j} + ZLp} \cdot ib20$$

[I_{f20o}] = 7,346 x 10³ A (primer)

Kontribusi arus urutan nol yang melalui belitan primer trafo sisi 150 kV pada arus dasar 20 kV (I_{f1Φ20p}) adalah :

$$I_{f1\phi 20 p} := \left[\frac{(X_{tt 0 . j})}{(Z_{s0} + X_{tp 0 . j} + X_{tt 0 . j})} \right] \cdot I_{f 20}$$

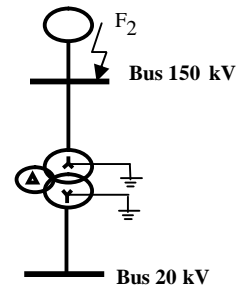
[I_{f1Φ20o}] = 3,507 x 10³ A (primer)

Kontribusi arus urutan nol yang melalui belitan primer trafo sisi 150 kV pada arus dasar 150 kV :

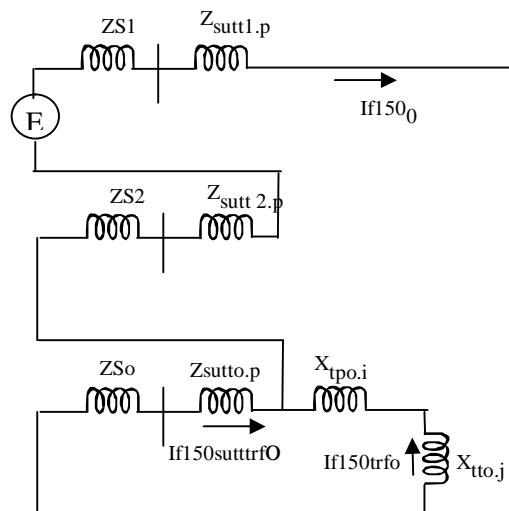
$$I_{f1\phi 20150 p} := \left[\frac{(X_{tt 0 . j})}{(Z_{s0} + X_{tp 0 . j} + X_{tt 0 . j})} \right] \cdot I_{f 20150 p}$$

[I_{f1Φ20150o}] = 467,624 A (primer)

Hubung singkat 1 fasa di bus 150 kV trafo ditunjukkan pada gambar 3.9 dan rangkaian ekuivalen pada gambar 3.10



Gambar 3.9 diagram satu garis trafo dan lokasi hubung singkat di bus 150 kV (F₂)



Gambar 3.10 Rangkaian ekuivalen hubung singkat 1 fasa ke tanah di bus 150 kV dengan belitan tertiary (delta)

Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah sebagai berikut:

$$If150p = \frac{3E}{\left[\frac{(Zso+Zsut0p)(Xtp0j+Xt0j)}{(Zso+Zsut0p)+(Xtp0j+Xt0j)} \right] + Zs1+Zsutp+Zs2+Zsut2p} \cdot ib50$$

$$[If150_0] = 2,401 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

Arus yang melalui netral SUTT sisi 150 kV dengan memperhitungkan belitan *tertiary* trafo adalah :

$$If150suttrfp = \left[\frac{(Xtp0j+Xt0j)}{(Zso+Zsut0p)+(Xtp0j+Xt0j)} \right] If150p$$

$$[If150suttrf_0] = 2,292 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

Arus yang melalui netral trafo sisi 150 kV dengan adanya belitan *tertiary* (delta) pada saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah di bus 150 kV adalah :

$$If150trfp = \left[\frac{(Zso+Zsut0p)}{(Zso+Zsut0p)+(Xtp0j+Xt0j)} \right] If150p$$

$$[If150trf_0] = 1,103 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

Arus If150trf adalah yang dipakai untuk mengkoordinasikan rele arus lebih satu fasa ke tanah atau GFR yang dipasang di sisi primer trafo dengan GFR yang dipasang di SUTT.

3.6. Setelan OCR dan GFR Penyulang 20 kV

Penyetelan rele proteksi OCR dan GFR menggunakan arus nominal penyulang sebesar 400 Amper dan rasio CT penyulang adalah 400/1 A , settingnya adalah :

a. OCR penyulang 20 kV.

Penyetelan arus rele OCR (Isetp) = 120 % x arus nominal penyulang atau nisbah primer CT penyulang dengan waktu 0,5 detik

Besaran arus gangguan 2 fasa di bus 20 kV yang dipakai untuk perhitungan. Arus nominal rele (InRyp) = 1 Amper (sekunder), I2f20m = [I2f20_0] Ihs 2 fasa

Ihs = Arus hubung singkat

$$I2f20m = 5,811 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

If20m adalah arus hubung singkat 2 fasa

$$\text{Setelan arus Isetp} := 1,2 \cdot 400 \quad \text{Isetp} = 480 \text{ A (primer)}$$

$$Isp := \frac{Isetp}{CTp}$$

$$Isp = 1,2 \text{ A (sekunder)}$$

$$Tapp := \frac{Isp}{InRyp} \quad Tapp = 1,2$$

Tapp adalah tap setelan rele OCR sama besaran penyetelan sekunder.

Waktu kerja yang diinginkan (tp) untuk gangguan 2 fasa di bus 20 kV.

$$tp := 0,5 \text{ detik}$$

$$TMSp := \frac{\left(\frac{I2F20m}{Isetp} \right)^{0,02-1}}{0,14} \cdot tp$$

TMSp = 0,183 TMS adalah penyetelan karakteristik, p = penyulang
 Pilih TMSp := 0,185 (karena TMSp yang tersedia 0, 0.025, 0.05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tp := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20m}{Isetp} \right)^{0,02-1}} \cdot TMSp$$

$$tp = 0,506 \text{ detik}$$

b.GFR Penyulang

Penyetelan arus rele GFR (Isetpg) adalah 50 % x arus nominal penyulang atau nisbah CT penyulang dengan waktu 0,5 detik. Besaran arus gangguan 1 fasa di bus 20 kV yang dipakai perhitungan..

Setelan arus

$$\text{Isetpg} := 0,5 \cdot 400 \quad \text{Isetpg} = 200 \text{ A (primer)}$$

$$Ispg := \frac{Isetp}{CTp}$$

$$Ispg = 0,5 \text{ A (sekunder)}$$

$$Tappg := \frac{Ispg}{InRyp} \quad Tappg = 0,5$$

Tapp adalah tap setelan rele GFR sama besaran penyetelan sekunder.

Waktu kerja yang diinginkan (tpg) untuk gangguan 1 fasa di bus 20 kV.

$$tpg = 0,5 \text{ detik} \quad If20m = [If20_0] If20m = 7,346 \times 10^3 \text{ A}$$

$$TMSpg := \frac{\left(\frac{I2F20m}{Isetpg} \right)^{0,02-1}}{0,14} \cdot tpg$$

TMSpg = 0,267 TMS adalah penyetelan karakteristik, pg = penyulang

Pilih TMSpg := 0.26 (karena TMSpg yang tersedia 0, 0.025, 0.05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tp := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20m}{Isetpg} \right)^{0,02-1}} \cdot TMSpg$$

$$tpg = 0,5 \text{ detik}$$

3.7. Setting OCR dan GFR sisi Incoming 20 kV Trafo

Setting rele proteksi OCR dan GFR menggunakan arus nominal trafo sisi sekunder 866 Amper, dan rasio nisbah CT trafo adalah 1000 / 1 Amper,

a. OCR sisi Incoming 20 kV trafo

Setting arus rele OCR (IsetS) adalah 120 % x arus nominal sisi sekunder trafo atau nisbah primer CT sisi sekunder dengan waktu 1,0 detik. Besaran arus gangguan 2 fasa di bus 20 kV yang dipakai untuk perhitungan.

Arus nominal rele (InRyS) = 1 Amper

Setting arus InRyS := 1 Ampere (arus nominal rele)

$$\text{IsetS} := 1,2 \cdot \text{In20} \quad \text{IsetS} = 1,039 \times 10^3 \text{ A (primer)}$$

$$I_{sp} := \frac{I_{setS}}{CTS}$$

IsS = 1,039 A (sekunder)

$$T_{app} := \frac{IsS}{InRyS} \quad TapS = 1,039$$

pilih TapS := 1,00 IsS:= TapS

penyetelan arus sebenarnya :

$$I_{setS} := TapS \cdot InRyS \cdot CT20$$

IsetS = 1×10^3 A (primer)

TapS adalah tap setelan rele OCR sisi 20 kV trafo sama dengan besaran penyetelan sekunder.

$$tS := 1,0 \text{ detik} \quad I2f20m := [I2f20_0]$$

$$2f20m = 5,811 \times 10^3 \text{ A}$$

$$TMSS := \frac{\left(\frac{I2f20m}{I_{setS}} \right)^{0,02 - 1}}{0,14} \cdot tS$$

TMSS = 0,25 TMS adalah penyetelan karakteristik, S = sekunder trafo

Pilih TMSS := 0,25 (karena TMSp yang tersedia 0, 0.025, 0.05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tS := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20m}{I_{setS}} \right)^{0,02 - 1}} \cdot TMSS$$

tS = 1 detik

b. GFR sisi Incoming 20 kV

Penyetelan rele GFR untuk arus (IsetSg) adalah 50 % x arus nominal sisi sekunder trafo atau nisbah primer CT sisi sekunder trafo, dengan waktu 1,0 detik. Besaran arus gangguan 1 fasa di bus 20 kV sebagai perhitungan.

Setelan arus InRySg := 1 A (arus nominal rele)

$$I_{setSg} := 0,5 \cdot In20$$

IsetSg = 433,013 A (primer)

$$IsSg := \frac{I_{setSg}}{CT20} \quad IsSg = 0,433 \text{ A (sekunder)}$$

$$T_{appSg} := \frac{IsSg}{InRySg} \quad TapSg = 0,433$$

pilih TapSg := 0,40 IsSg := TapSg

penyetelan arus aktual :

$$I_{setSg} := TapSg \cdot InRySg \cdot CT20$$

IsetSg = 400 A (primer)

TapSg adalah tap setelan rele GFR sisi 20 kV trafo sama besaran penyetelan sekunder

Waktu kerja yang diinginkan (tSg) untuk gangguan 1 fasa di bus 20 kV.

$$tSg := 1 \text{ detik} \quad If20m := [If20_0]$$

$$If20m = 7,346 \times 10^3 \text{ A}$$

$$TMSSg := \frac{\left(\frac{If20m}{I_{setSg}} \right)^{0,02 - 1}}{0,14} \cdot tSg$$

TMSSg = 0,41 TMS adalah penyetelan karakteristik, Sg = sekunder trafo. Pilih TMSSg = 0.4 (karena TMSSg yang tersedia 0, 0.025, 0.05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tSg := \frac{0,14}{\left(\frac{If20m}{I_{setSg}} \right)^{0,02 - 1}} \cdot TMSSg$$

tSg = 1,097 detik

3.8. Setting OCR dan GFR sisi 150 kV Trafo

Setting rele proteksi OCR dan GFR menggunakan karakteristik rele *Standart Inverse* IEC, sedangkan arus nominal trafo adalah 115 Amper dan rasio nisbah CT trafo adalah 150 / 1 Amper.

a. OCR sisi 150 kV trafo

Setting rele OCR untuk arus (IsetP) adalah 120 % x arus nominal sisi primer trafo atau rasio primer CT sisi primer, dengan waktu 1,5 detik untuk besaran arus gangguan 2 fasa di bus 20 kV sebagai perhitungan.

Arus nominal rele (InRyP) = 1 Amper .

Setting arus InRyP := 1 Ampere (arus nominal rele)

$$I_{setP} := 1,2 \cdot In150 \quad I_{setP} = 138,564 \text{ A (primer)}$$

$$IsP := \frac{I_{setP}}{CT150}$$

IsP = 0,924 A (sekunder)

$$T_{appP} := \frac{IsP}{InRyP}$$

TapP = 0,924

pilih TapP := 0,9 IsP:= TapP

setting arus sebenarnya :

$$I_{setP} := TapP \cdot InRyP \cdot CT150$$

IsetP = 135 A (primer)

TapP adalah tap setelan rele OCR sisi 150 kV trafo sama dengan besaran setting sekunder.

Waktu kerja yang diinginkan (tS) untuk gangguan 2 fasa di bus 20 kV, tP := 1,5 detik,

$$2f150m := [I2f150_0]$$

$$I2f150m = 774,845 \text{ A}$$

$$TMSP := \frac{\left(\frac{I2f150m}{I_{setP}} \right)^{0,02 - 1}}{0,14} \cdot tP$$

TMSP = 0,381 TMS adalah penyetelan karakteristik, P = primer trafo

Pilih TMSP := 0,38 (karena TMSp yang tersedia 0, 0.025, 0.05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tP := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f150m}{I_{setP}} \right)^{0,02 - 1}} \cdot TMSP$$

tP = 1,476 detik

b. GFR sisi 150 kV

Setting rele GFR untuk arus (IsetPg) adalah 50 % x arus nominal sisi primer trafo atau rasio primer CT.

Sisi primer trafo, dengan waktu 1,5 detik untuk besaran arus gangguan 1 fasa di bus 150 kV sebagai perhitungan.

Setting arus $InRyPg := 1$ A (arus nominal rele)

$IsetPg := 0,5 \cdot In150$ $IsetPg = 57,735$ A (primer)

$$IsPg := \frac{IsetP}{CT \cdot 150} \quad IsPg = 0,385 \quad A$$

$$(sekunder) TapPg := \frac{IsPg}{InRyPg}$$

TapPg = 0,385

pilih TapPg := 0,40 $IsPg := TapPg$

Setting arus aktual :

$IsetPg := TapPg \cdot InRyPg \cdot CT150$

$IsetPg = 60$ A (primer)

TapPg adalah tap setelan rele GFR sisi 150 kV trafo sama dengan besaran setting sekunder.

Waktu kerja yang diinginkan (tPg) untuk gangguan

1 fasa di bus 150 kV, dan arus yang digunakan untuk perhitungan

adalah arus yang melalui belitan tertiary trafo

(If150trf). $tPg := 1,5$ detik

$If150trfm := [If150trf_0]$

$If150trfm = 2,292 \times 10^3$ A

$$TMSPg := \frac{\left(\frac{If \phi 150 m}{IsetPg \cdot 150} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \cdot tPg$$

$TMSPg = 0,574$ TMS adalah setting karakteristik,

Pg = primer trafo Pilih $TMSPg := 0,55$ (karena $TMSPg$ yang tersedia 0, 0,025, 0,05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tPg := \frac{0,14}{\left(\frac{IF 150 suttrfo}{Isetsuttg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSPg$$

$tPg = 0,958$ detik

3.6.5. Setting GFR SUTT 150 kV

Setting rele GFR untuk arus (Isuttg) adalah 20 % x arus nominal SUTT atau rasio primer CT SUTT, dengan waktu 1,0 detik untuk besaran arus gangguan 1 fasa di bus 150 kV sebagai perhitungan.

Setting arus $InRysuttg := 1$ A (arus nominal rele)

$Isetsuttg := 0,2 \cdot In \text{ sutt}$ $Isetsuttg = 120$ A (primer)

$$Issuttg := \frac{Isetsuttg}{CT \cdot 150}$$

$Issuttg = 0,8$ A (sekunder)

$$Tapsuttg := \frac{Issuttg}{InRysuttg}$$

$Tapsuttg = 0,8$

$Tapsuttg$ adalah tap setting rele GFR SUTT 150 kV sama dengan besaran setting sekunder.

Waktu kerja yang diinginkan (tsuttg) untuk gangguan 1 fasa di bus 150 kV, $tsuttg := 1,0$ detik

$If150suttrfm := [If150suttrf_0]$

$If150suttrfm = 4,771 \times 10^3$ A

$$TMSsuttg := \frac{\left(\frac{IF 150 suttrfm}{Isetsuttg} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \cdot tsuttg$$

$TMSsuttg = 0,546$ TMS adalah penyetelan karakteristik, $suttg = sutt$

Pilih $TMSsuttg := 0,55$ (karena $TMSPg$ yang tersedia 0, 0,025, 0,05,.....1)

Waktu kerja aktual :

$$tsuttg := \frac{0,14}{\left(\frac{IF 150 suttrfm}{Isetsuttg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSsuttg$$

$tsuttg = 1,007$ detik

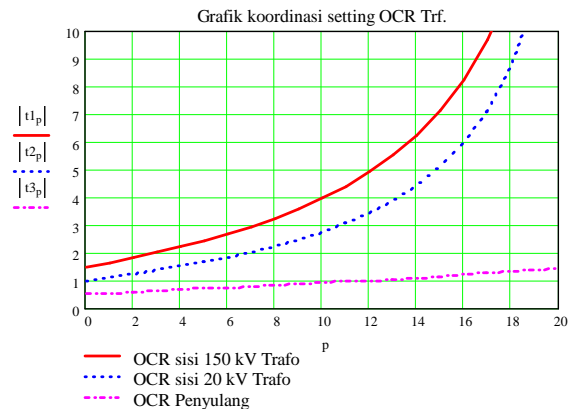
3.6.6. Grafik Koordinasi Penyetelan Rele

Hasil perhitungan penyetelan rele dapat ditunjukkan dalam grafik koordinasi rele sebagai berikut :
 a. grafik koordinasi OCR

$$t1p := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20p}{IsetP} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSP$$

$$t2p := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20p}{IsetS} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSS$$

$$t3p := \frac{0,14}{\left(\frac{I2f20p}{Isetp} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSp$$



Gambar 3.11 grafik koordinasi penyetelan rele OCR penyulang,

$$I2f150_0] = 713,373 \text{ A}$$

$$[I2f20_0] = 5,352 \times 10^3 \text{ A}$$

$$[I2f150_20] = 152,785 \text{ A}$$

$$I2f20_20] = 1,146 \times 10^3 \text{ A}$$

$$IsetP = 135 \text{ A}$$

$$Iset S = 1 \times 10^3 \text{ A}$$

$$Isetp = 480 \text{ A}$$

$$TMSS = 0,25$$

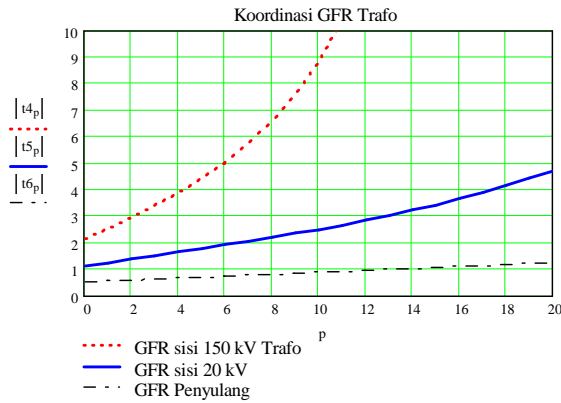
$$TMSP = 0,35$$

$$TMSp = 0,175$$

a. grafik koordinasi GFR

$$t_{4p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f20p}}{I_{setpg}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSpg$$

$$t_{5p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f20p}}{I_{setSg}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSSg$$



Gambar 3.12 Grafik koordinasi penyetelan rele GFR sisi penyulang & sisi 20 kV trafo

$$[I_{f200}] = 6,814 \times 10^3 \text{ A}$$

$$[I_{f2020}] = 813,178 \text{ A}$$

$$I_{setSg} = 400 \text{ A}$$

$$I_{setpg} = 200 \text{ A}$$

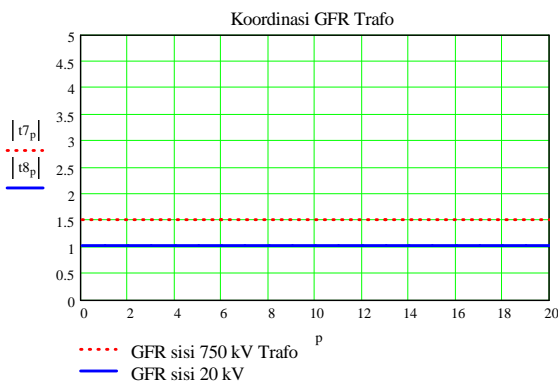
$$TMSSg = 0,4$$

$$TMSpg = 0,25$$

b. grafik koordinasi GFR 150 trafo dengan SUTT

$$t_{suttpg} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f150suttrfp}}{I_{setsuttg}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSsuttg$$

$$t_{Pgp} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f150trfp}}{I_{setPg}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSpg$$



Gambar 3.13 grafik koordinasi penyetelan rele GFR sisi 150 kV trafo dan SUTT 150 kV

IV. HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan setting rele proteksi trafo 3 yang berkapasitas 30 MVA, dengan tegangan transformasi 150 / 20 kV dan impedans tegangan (Xt) 12,5 % di Gardu Induk 150 kV Krapyak adalah sebagai berikut :

a. Setting dan koordinasi OCR trafo:

Arus hubung singkat 3 fasa sisi 20 kV trafo yang dipakai sebagai dasar perhitungan adalah $[I_{3f200}] = 6,173 \times 10^3 \text{ A}$ (primer)

Arus hubung singkat 3 fasa sisi 150 kV trafo yang dipakai sebagai dasar perhitungan adalah $[I_{3f1500}] = 823,037 \text{ A}$ (primer)

Setting penyulang $I_{setp} = 480 \text{ A}$ (primer)

$I_{sp} = 1,2 \text{ A}$ (sekunder)

$T_{app} = 1,2$

$TMSp = 0,175$ standart inverse IEC

Setting sisi 20 kV trafo

$I_{setS} = 1 \times 10^3 \text{ A}$ (primer)

$I_{sS} = 1$ (primer) $T_{apS} = 1$

$TMSp = 0,25$ standart inverse IEC

Setting sisi 150 kV trafo

$I_{setP} = 135 \text{ A}$ (primer)

$I_{sP} = 0,9 \text{ A}$ (primer) $T_{apP} = 0,9$

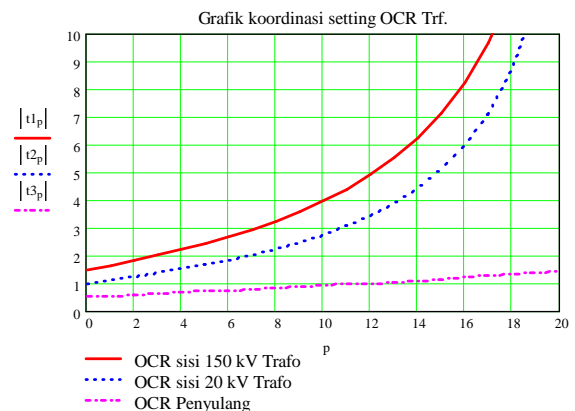
$TMSP = 0,35$ standart inverse IEC

Grafik koordinasi setelan OCR trafo dengan grading waktu 0,5 detik ditunjukkan pada gambar 4.1

$$t_{1p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{2f20p}}{I_{setP}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSP$$

$$t_{2p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{2f20p}}{I_{setS}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSS$$

$$t_{3p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{2f20p}}{I_{setp}}\right)^{0,02} - 1} \cdot TMSp$$

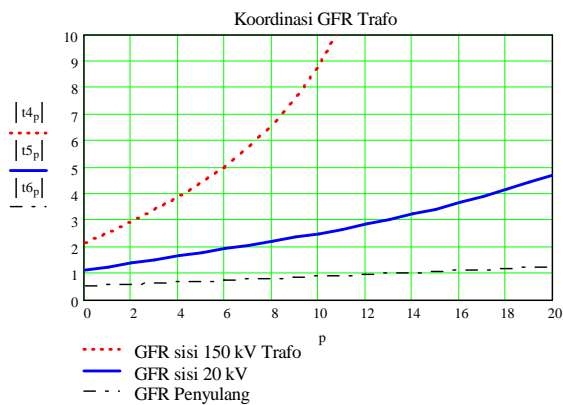


Gambar 4.1 Koordinasi OCR penyulang ,sisi 20 kV & 150 kV trafo. Setting dan koordinasi GFR trafo

Arus hubung singkat 1 fasa sisi 20 kV trafo yang dipakai sebagai dasar perhitungan adalah
 $[I_{f20}] = 6,814 \times 10^3 \text{ A (primer)}$
 Arus hubung singkat 1 fasa sisi 150 kV trafo yang dipakai sebagai dasar perhitungan adalah $[I_{f150}] = 1,288 \times 10^3 \text{ A (primer)}$
 Setting penyulang $I_{setpg} = 200 \text{ A (primer)}$
 $I_{spg} = 0,5 \text{ A (sekunder) } T_{appg} = 0,5$
 $TMS_{pg} = 0,25 \text{ standart inverse IEC}$
 Setting sisi 20 kV trafo $I_{setSg} = 400 \text{ A (primer)}$
 $I_{Sg} = 0,4 \text{ A (primer) } T_{apSg} = 0,4$
 $TMS_{pg} = 0,4 \text{ standart inverse IEC}$
 Setting sisi 150 kV trafo $I_{setPg} = 60 \text{ A (primer)}$
 $I_{Sp} = 0,4 \text{ A (primer) } T_{apPg} = 0,4$
 $TMS_{Pg} = 0,675 \text{ standart inverse IEC}$
 Grafik koordinasi setelan GFR penyulang dan sisi 20 kV trafo dengan *grading* waktu 0,5 detik ditunjukkan pada gambar 4.2

$$t_{4p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f20p}}{I_{setpg}} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMS_{pg}$$

$$t_{5p} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f20p}}{I_{setSg}} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMS_{Sg}$$



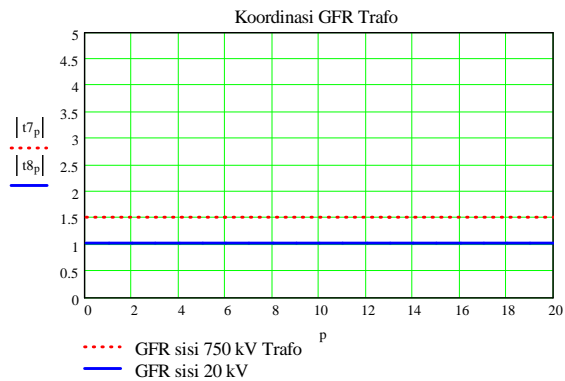
Gambar 4.2 Koordinasi penyetelan rele GFR penulang dan sisi 20 kV trafo

- c. Setting dan koordinasi GFR sisi 150 kV trafo dan SUTT 150 kV. Arus hubung singkat 1 fasa di bus 150 kV dipakai sebagai dasar perhitungan, karena adanya belitan *tertiary* dan impedans urutan nol SUTT 150 kV. Arus urutan nol yang melalui belitan *tertiary* dipakai dasar perhitungan GFR sisi 150 kV trafo adalah $[I_{f150}] = 1,288 \times 10^3 \text{ A (primer)}$
 Setting GFR sisi 150 kV trafo
 $I_{setuttg} = 120 \text{ A (primer)}$
 $I_{suttg} = 0,8 \text{ A (primer)}$
 $T_{apsuttg} = 0,8$
 $TMS_{suttg} = 0,55 \text{ standart inverse IEC}$ Grafik koordinasi setelan GFR sisi 150 kV trafo dengan GFR SUTT 150 kV dengan *grading* waktu 0,5 detik ditunjukkan pada gambar 4.3

Setting GFR SUTT 150 kV
 $I_{setuttg} = 120 \text{ A (primer)}$
 $I_{suttg} = 0,8 \text{ A (primer)}$
 $T_{apsuttg} = 0,8$
 $TMS_{suttg} = 0,55 \text{ standart inverse IEC}$ Grafik koordinasi setelan GFR sisi 150 kV trafo dengan GFR SUTT 150 kV dengan *grading* waktu 0,5 detik ditunjukkan pada gambar 4.3

$$t_{suttgp} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f150}}{I_{setuttg}} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMS_{suttg}$$

$$t_{Pgp} := \frac{0,14}{\left(\frac{I_{f150}}{I_{setPg}} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMS_{Pg}$$



Gambar 4.3 Koordinasi penyetelan GFR sisi 150 kV trafo dan SUTT 150 kV

4.2 Analisa

Dari gambar 4.1 koordinasi setting OCR penyulang, sisi *incoming* 20 kV & sisi 50 kV trafo dapat dijelaskan bahwa sesuai dengan perhitungan setting dan koordinasi rele OCR proteksi trafo dengan *grading* waktu kerja rele 0,5 detik karena adanya beberapa faktor :

- ❖ Variasi dari kurva ideal sehingga toleransi error waktu yang digunakan = 0,2 detik.
- ❖ Overshoot yang terjadi misalnya akibat pergerakan piringan pada rele induksi = 0,05 detik.
- ❖ Waktu operasi PMT = 0,15 detik
- ❖ Celah kontak rele sehingga diperlukan waktu untuk perpindahan ketika gangguan hilang = 0,1 detik.
- ❖ Total perbedaan waktu 0,4 detik.

Dengan *grading* waktu kerja rele 0,5 detik dimaksudkan apabila ada gangguan di sisi penyulang dan rele proteksi di penyulang gagal kerja, maka diharapkan rele proteksi pada sisi *incoming* 20 kV akan bekerja sebagai *back up* proteksi dengan waktu tunda 0,5 detik dari rele penyulang. Rele sisi *incoming* 20 kV trafo juga di *back up* dengan rele sisi 150 kV trafo dengan waktu tunda 0,5 detik dari waktu kerja rele sisi *incoming* 20 kV trafo.

Dari gambar 4.2 koordinasi setting rele GFR penyulang dan sisi *incoming* 20 kV trafo dapat dijelaskan bahwa sesuai dengan perhitungan setting dan koordinasi rele GFR proteksi trafo untuk penyulang dan sisi *incoming* 20 kV

trafo dengan *grading* waktu 0,5 detik, GFR sisi incoming 20 kV trafo sebagai *back up* jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang dan rele penyulang 20 kV gagal kerja. Untuk GFR sisi 150 kV trafo tidak dikoordinasikan dengan GFR incoming 20 kV trafo tapi dikoordinasikan dengan GFR SUTT, karena trafo mempunyai belitan *tertiary* (delta) yang memasuk arus urutan nol jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada sistem atau SUTT.

Dari gambar 4.3 koordinasi setting rele GFR sisi 150 kV trafo dan SUTT 150 kV dapat dijelaskan bahwa sesuai dengan perhitungan setting dan koordinasi rele GFR proteksi trafo sisi 150 kV dan SUTT 150 kV, jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada sistem atau SUTT 150 kV, maka rele sisi 150 kV SUTT saja yang akan bekerja, sedangkan arus gangguan satu fasa ke tanah yang dirasakan trafo akan dilewatkan di belitan *tertiary* (delta) yang mempunyai impedansi urutan nol, sehingga rele GFR sisi 150 kV trafo aman / tidak bekerja.

Pada setting rele GFR sisi 150 kV trafo yang dikoordinasikan dengan sisi 20 kV trafo dengan mengabaikan adanya belitan delta, maka pada saat terjadi gangguan satu fasa di sistem GFR 150 kV trafo akan kerja dengan waktu 0,885 detik, maka terjadi *malfunction relay* proteksi, karena gangguan bukan di daerah proteksi trafo, pada saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah di sistem atau daerah dekat bus 150 kV gardu induk seperti ditunjukkan dalam perhitungan waktu kerja tPgS150 berikut ini

Pada setting GFR sisi 150 kV trafo dikoordinasikan dengan GFR sisi 20 kV trafo waktu yang diinginkan :
 TPg20 = 1,5 detik, karakteristik *standart inverse* IEC

Arus gangguan di bus 20 kV :
 [If1Φ21500] = 359,026 Ampere
 maka TMS (TMSPg20) adalah:

$$TMSPg_{20} := \frac{\left[\left(\frac{If_{1\phi 201500}}{IsetPg} \right)^{0,02} \right]}{0,14} \cdot tPg_{20}$$

TMSPg20 = 0,39 dipilih TMSPg20 = 0,40
 Waktu kerja aktual GFR trafo sisi 150 kV untuk gangguan di Bus 20 kV :

$$tPg_{20} := \frac{0,14}{\left(\frac{If_{1\phi 201500}}{IsetPg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSPg_{20}$$

tPg20 = 1,537 detik
 waktu kerja aktual GFR SUTT 150 kV untuk gangguan di Bus 20 kV :

$$tsuttg_{20} := \frac{0,14}{\left(\frac{If_{1\phi 201500}}{Isetsuttg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSsuttg$$

tsuttg 20 = 3,475 detik
 waktu kerja (tPgS150) aktual GFR sisi 150 kV trafo pada saat terjadi gangguan di bus 150 kV adalah :

$$tPgS_{150} := \frac{0,14}{\left(\frac{If_{1150trf0}}{IsetPg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSPg_{20}$$

tPgS150 = 0,885 detik

Pada saat terjadi gangguan di bus 20 kV GFR sisi 150 kV trafo dikoordinasikan dengan GFR SUTT, maka GFR sisi 150 kV trafo waktu kerja (tPgSUTT20) adalah :

$$tPgSUTT_{20} := \frac{0,14}{\left(\frac{If_{1\phi 201500}}{IsetPg} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSPg$$

tPgSUTT20 = 2,594 detik

Saat terjadi gangguan di sisi bus 20 kV trafo, maka GFR SUTT waktu kerja untuk 2 penghantar atau SUTT :

$$tsuttg_{2} := \frac{0,14}{\left(\frac{If_{1\phi 201500}}{Isetsuttg_{2}} \right)^{0,02} - 1} \cdot TMSsuttg$$

tsuttg2 = 9,521 detik.

Dari analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa transformator yang tidak dilengkapi dengan rangkaian *tertiary* (delta) akan trip dengan waktu 0,885 detik apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah di sistem maupun di SUTT 150 kV karena arus hubung singkat satu fasa ke tanah akan dirasakan langsung oleh rele GFR, sehingga terjadi *malfunction relay* proteksi dan mentripkan PMT 150 kV trafo yang seharusnya tidak akan trip.

Jika dibandingkan dengan transformator yang dilengkapi dengan rangkaian *tertiary* (delta) apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah di sistem maupun di SUTT 150 kV, maka arus hubung singkat satu fasa ke tanah akan dilewatkan dahulu di rangkaian *tertiary* yang mempunyai impedansi urutan nol, sehingga gangguan tidak dirasakan oleh rele GFR dan rele tidak bekerja.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan Tugas Akhir yang berjudul Koordinasi Proteksi Tranformator Distribusi di Gardu Induk 150 kV Krapyak dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Setting OCR sisi penyulang 480 A dengan waktu 0,5 detik, sisi *Incoming* 1000 A dengan waktu 1 detik dan sisi 150 kV 135 A dengan waktu 1,5 detik. Koordinasi proteksi rele OCR pada transformator distribusi diharapkan apabila terjadi gangguan di daerah penyulang 20 kV maka hanya sisi rele penyulang 20 kV saja yang akan bekerja, rele sisi incoming 20 kV trafo hanya sebagai *back up* proteksi sisi penyulang 20 kV, begitu juga di sisi 150 kV trafo sebagai *back up* rele sisi incoming 20 kV, sehingga tidak akan mengakibatkan pemadaman yang meluas serta kerusakan peralatan maupun kerusakan transformator
2. Setting Rele GFR sisi penyulang 200 A dengan waktu 0,5 detik, sisi 20 kV *Incoming* 400 A dengan waktu

Idetik. Pada trafo pada sisi penyulang 20 kV dikoordinasikan dengan rele GFR sisi *incoming* 20 kV trafo, sedangkan sisi 150 kV dikoordinasikan dengan rele GFR SUTT 150 kV. karena trafo mempunyai belitan *tertiary*(delta) yang menimbulkan kontribusi arus urutan nol saat terjadi gangguan di sistem, sesuai rangkaian pengganti urutan nol pada belitan trafo dengan *vektor group* Ynyn (d) dengan pentanahan langsung.

3. Transformator yang tidak dilengkapi dengan rangkaian *tertiary* (delta) apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah di sistem atau SUTT 150 kV, rele GFR di sisi 150 kV trafo akan merasakan gangguan sehingga rele GFR akan bekerja dan terjadi *malfunction relay proteksi* yang mengakibatkan PMT 150 kV trafo trip.

5.2. Saran

Dari hasil pembahasan Tugas Akhir yang berjudul Koordinasi Proteksi Tranformator Distribusi di Gardu Induk

150 kV Krapyak diatas, maka saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Dari hasil perhitungan dan penyetelan koordinasi proteksi transformator distribusi digunakan sebagai panduan petugas untuk melakukan resetting ulang dan pemasangan rele baru maupun penggantian rele.
2. Dalam kurun waktu tertentu perlu dilakukan pemeliharaan rele proteksi beserta peralatan pendukungnya dan jika diperlukan dilakukan resetting ulang untuk mengetahui karakteristik kerja rele tersebut.
3. Dari hasil analisa gangguan satu fasa ke tanah, maka disarankan untuk pemasangan transformator distribusi yang baru sebaiknya menggunakan transformator yang dilengkapi dengan rangkaian *tertiary* (delta).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, Jr. William D, “ **Analisa Sistem Tenaga** “ terjemahan Ir.Kamal Idris, Erlangga , Jakarta , cetakan keempat, 1994.
- [2] Drs. Sumanto, “**Teori Transformator**, Andi Offset Yogyakarta”.
- [3] “**Gardu Induk** “, PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Semarang – Jawa Tengah.
- [4] “**Sistem Pengaman**” , PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Semarang – Jawa Tengah.
- [5] Napitupulu, Eden, Ir, **Relay Proteksi jilid 1**, PLN Pembangunan Jawa Barat dan Jakarta Raya
- [6] Anderson, P.M, “ **Power System Protection**“ IEEE, PRESS, 1999
- [7] Djiteng Marsudi., “ **Operasi Sistem Tenaga Listrik** “ Badan Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta, 1990.

- [8] Hutaauruk , T.S., Prof. Ir. M.Sc, “ **Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan Peralatan** “ Erlangga, Jakarta, cetakan kedua, 1991.
- [9] Zuhail, “ **Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya** “ Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 2000
- [10] Sunil S.Rao, “ **Switchgear and Protection** “ Khana Publisher, New Delhi, 1982
- [11] Pabla AS dan Abdul Hadi, **Sistem Distribusi Daya Listrik**, Erlangga, Jakarta 1994

LAMPIRAN

Lampiran Hasil Perhitungan Setting Koordinasi Proteksi Tranformator 30 MVA di GI.150 kV dengan menggunakan SoftWare MathCad.

Penulis :
Sugeng Priyono
L2F303519
Teknik Elektro Universitas Diponegoro

Mengetahui

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

Ir. Yuningtyastuti Ir. Tejo Sukmadi, MT