

ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI OVERCURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) SETELAH PERGANTIAN CURRENT TRANSFORMER DI GARDU INDUK SURALAYA

Hadid Hambali^{1*}, Hartono², Adi Nugraha³

^{1,2,3}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; Jl. Jendral Soedirman KM. 3 Cilegon 42435 Provinsi Banten; +62254 376712

Keywords:

OCR;
GFR;
Koordination;
Setting.

Correspondent Email:

hadidhmb129@gmail.com

Abstrak. Pada gardu induk suralaya telah dilakukan pergantian current transformer pada sisi 20kV dari ratio 1200/1 menjadi 1000/5 sehingga dilakukan analisis setting dan koordinasi overcurrent relay dan ground fault relay. Adapun tujuan tugas akhir ini adalah mengidentifikasi arus gangguan hubung singkat pada sisi 150 kV dan 20 kV melalui perhitungan dan menganalisis setting overcurrent relay dan ground fault relay serta memastikan koordinasi relay dengan simulasi pada software ETAP 19.01. Berdasarkan perhitungan diperoleh I_{HS} 3 fasa pada sisi 150 kV sebesar = 864,3 A dan pada sisi 20 kV sebesar = 6523,73 A. I_{HS} 2 fasa pada sisi 150 kV sebesar = 758,57 A dan pada sisi 20kV sebesar = 5649,72A dan I_{HS} 1 fasa ke tanah pada sisi 150 kV sebesar = 226,48A dan pada sisi 20kV sebesar 800,02 A. Iset primer relay arus berlebih pada sisi 20 kV adalah 1039,2 A dengan TMS 0,27 dan pada sisi 150kV adalah 138,56 A dengan TMS 0,4. Sedangkan untuk Iset primer relay gangguan bawah tanah pada sisi 150 kV adalah 173,2 A waktu TMS 0,22 dan pada sisi 150kV adalah 46,19 A waktu TMS 0,34. Berdasarkan hasil koordinasi relay kurva yang dihasilkan tidak terjadi overlapping.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstract. At the Suralaya substation, the current transformer on the 20kV side has been replaced from a ratio of 1200/1 to 1000/5 so that an analysis of the settings and coordination of the overcurrent relay and ground fault relay was carried out. The purpose of this study is to determine the short circuit current of 3 phases, 2 phases and 1 phase to the ground and to analyze the settings of the overcurrent relay and ground fault relay and to ensure the coordination of the two relays with simulations on the ETAP 19.01 software. Based on the calculation, the 3-phase short circuit current on the 150 kV side is = 864.3 A and on the 20 kV side is = 6523.73 A. The 2-phase short circuit current on the 150 kV side is = 758.57 A and on the 20kV side is = 5649.72A and the 1-phase short circuit current to ground on the 150 kV side is = 226.48A and on the 20kV side is 800.02 A. The primary setting current of the OCR relay on the incoming 20 kV side is 1039.2 A with a TMS of 0.27 and on the 150kV side is 138.56 A with a TMS of 0.4. Meanwhile, for the primary setting of the GFR relay on the 150 kV side is 173.2 A when TMS is 0.22 and on the 150 kV side is 46.19 A when TMS is 0.34. Based on the results of the relay coordination, the resulting curve does not overlap.

1. PENDAHULUAN

Relay proteksi merupakan sebuah perangkat Listrik yang digunakan untuk meminimalisir atau melokalisir gangguan pada peralatan listrik dengan cara memberi perintah trip pada PMT[1][2][3]. Peralatan Listrik dapat rusak apabila terjadi gangguan hubung singkat pada peralatan tersebut.

Gangguan hubung singkat merupakan sebuah gangguan yang terjadi apabila tiap penghantar listrik saling terhubung satu sama lain sehingga menyebabkan hubung singkat[4][5]. Gangguan yang dapat terjadi pada saat proses transmisi energi listrik yaitu gangguan hubung singkat, gangguan sambaran petir, gangguan internal dan gangguan

eksternal[6][7][8]. Adapun sistem proteksi yang digunakan untuk mencegah adanya gangguan pada transformator diantaranya ialah relay arus berlebih (OCR) dan relay gangguan bawah tanah (GFR). Relay arus berlebih (OCR) adalah sebuah relay yang digunakan untuk mencegah gangguan hubung singkat pada kedua fasa yang saling terhubung sedangkan relay gangguan bawah tanah (GFR) merupakan relay yang digunakan untuk mencegah gangguan hubung singkat antara fasa dan netral[9][10][11]. Relay arus berlebih (OCR) dan relay gangguan bawah tanah (GFR) memiliki cara kerja yang sama sehingga diperlukan *setting* dan koordinasi untuk merespon gangguan hubung singkat pada sistem transmisi sehingga memberikan selektivitas keandalan, sensitivitas, dan efektivitas yang tinggi untuk menjaga sistem jaringan listrik beroperasi pada efisiensi puncak[12][13][14].

Pada gardu induk suralaya relay OCR dan GFR merupakan relay proteksi cadangan yang digunakan ketika relay proteksi utama tidak bekerja. setelah dilakukan pergantian *current transformer* pada sisi 20kV dari ratio 1200/1 menjadi 1000/5 sehingga dilakukan analisis *setting* dan koordinasi *overcurrent relay* dan *ground fault relay* pada sisi 150kV dan 20kV transformator. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk mengidentifikasi arus gangguan hubung singkat pada sisi 150kV dan 20kV serta hasil perhitungan yang diperoleh dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi hubung singkat pada *software* ETAP 19.01[15], setelah itu dilakukan simulasi koordinasi relay arus berlebih dan relay gangguan bawah tanah berdasarkan hasil perhitungan pada *setting* relay dengan *software* ETAP 19.01.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Relay Proteksi

Relay proteksi merupakan perangkat listrik yang digunakan untuk melindungi, meminimalisir adanya gangguan yang akan mempengaruhi perangkat listrik. Adapun relay proteksi yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah relay arus berlebih dan relay gangguan bawah tanah.

2.2. Relay Arus Berlebih (OCR)

Relay arus berlebih merupakan relay proteksi yang bekerja ketika terdapat kenaikan arus yang melebihi batas *setting*, hal ini dikarenakan adanya hubung singkat antar fasa dan beban berlebih.

2.3. Relay Gangguan Bawah Tanah (GFR)

Relay gangguan tanah merupakan relay yang konduktornya dihubungkan ke beban atau tanah sehingga dapat mengalirkan arus melewati tanah sehingga bertegangan[17].

2.4. Gangguan Hubung singkat

Gangguan hubung singkat dihasilkan melalui resistensi yang cukup rendah antar dua atau lebih titik dalam keadaan normalnya yang mempunyai

beda potensial. Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan arus dalam kondisi normal.

- a. Gangguan Hubung singkat 3 fasa

$$I_{3\phi} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (1)$$

- b. Gangguan Hubung singkat 2 fasa

$$I_{2\phi} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \quad (2)$$

- c. Gangguan Hubung singkat 1 fasa ke tanah.

$$I_{1\phi tanah} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}+Z_{3eq}} \quad (3)$$

2.5. Impedansi Sumber

Impedansi sumber pada sisi 150 kV dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$X_{s(150kV)} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (4)$$

Dan untuk menghitung impedansi sumber sisi 20kV dapat mengkonversi impedansi sumber 150kV dengan persamaan dibawah ini.

$$X_{s(sisi\ 20kV)} = \frac{20^2}{150^2} X_{s(sisi\ 150kV)} \quad (5)$$

2.6. Impedansi Transformator

Impedansi trafo dilakukan perhitungan untuk urutan positif, negatif dan nol. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung impedansi urutan positif dan negative adalah sebagai berikut:

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (6)$$

Karena belitan trafo pada gardu induk suralaya tidak ada belitan delta atau YNyn0 sehingga impedansi trafo urutan nol dapat menggunakan persamaan berikut:

$$X_{t0} = 10 \times X_{t1} \quad (7)$$

2.7. Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen dihitung berdasarkan urutan positif, negatif dan nol. Impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_T + Z_P \quad (8)$$

Impedansi ekuivalen urutan nol menggunakan persamaan berikut :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN \quad (9)$$

2.8. Setting Relay OCR

- a. Arus setting primer

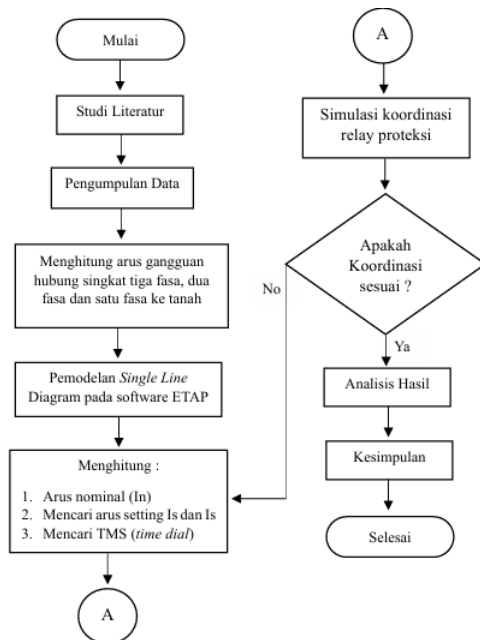
$$I_{set(prim)} = 1,2 \times I_{beban} \quad (10)$$

- b. Arus setting sekunder

$$I_{set(sek)} = I_{set(prim)} \times \frac{1}{Ratio\ CT} \quad (11)$$

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 diagram alir yang digunakan pada penelitian kali ini dengan judul “Analisis setting dan koordinasi *overcurrent relay* dan *ground fault relay* setelah pergantian current transformer pada Gardu Induk Suralaya”

3.1. Data yang digunakan

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator

Merk	UNINDO
Kapasitas	30 MVA
Tegangan Operasi	150/20 kV
Vector Group	YNyn0
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	13%
Cooling System	ONAN/ONAF

Tabel 3. 2 Spesifikasi Setting Relay OCR dan GFR GI Suralaya

Relay	Setting	Sisi 150 kV	Sisi 20 kV
OCR (SI)	Iset	0,07	5,15
	TMS	0,34	0,24
GFR (SI)	Iset	0,03	0,9
	TMS	0,46	0,15

Tabel 3. 3 Data Penghantar sisi 20kV

Jenis Penghantar	Impedansi Urutan Positif/Negative (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
AAAC	$0,1344 + j 0,3158$	$0,3631 + j 1,6180$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Impedansi Sumber

Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui impedansi sumber sisi 150 kV dan 20 kV:

$$X_{S(sisi150kV)} = \frac{150^2}{15,7} = 5,52 \Omega$$

$$X_{S(sisi20kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times 5,52 = 0,098 \Omega$$

4.2. Perhitungan Impedansi trafo

a. Sisi 150 kV

Urutan positif dan negative

$$X_{t(pada 100\%)} = \frac{150^2}{30} \times 12,6\% = 94,5 \Omega$$

Urutan Nol

$$X_{t0} = 10 \times 94,5 = 945 \Omega$$

b. Sisi 20 kV

Urutan positif dan negative

$$X_{t(pada 100\%)} = \frac{20^2}{30} \times 12,6\% = 1,68 \Omega$$

Urutan Nol

$$X_{t0} = 10 \times 1,68 = 16,8 \Omega$$

4.3. Perhitungan Impedansi ekivalen

a. Sisi 150 kV

Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j5,52 + j94,5 = j100,02$$

Urutan Nol

$$Z_{0eq150kV} = j5,52 + j945 = j950,52$$

b. Sisi 20 kV

Urutan positif dan negatif

$$Z_{1eq20kV} = Z_{1eq20kV} = j0,098 + 0,0373 + j1,68 + Z_{1P} = j1,776 + Z_{1P}$$

Urutan Nol

$$Z_{0eq20kV} = j16,8 + (3 \times 12) + Z_{0P} = 36,0373 + j16,8 + Z_{0P}$$

Tabel 4. 1 Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif sisi 20 kV

Panjang (%)	Z_{1P} (Ohm)	$Z_{1q}=Z_{2eq}$ (Ohm)
0	$0 + j0$	$j1,776$
25	$0,028 + j1,32$	$0,028 + j3,1$
50	$0,056 + j2,635$	$0,056 + j4,4$
75	$0,084 + j3,95$	$0,084 + j5,73$
100	$0,112 + j5,27$	$0,112 + j8,81$

Tabel 4. 2 Impedansi ekivalen urutan nol sisi 20 kV

Panjang (%)	Z_{1P} (Ohm)	$Z_{1q}=Z_{2eq}$ (Ohm)
0	$0 + j0$	$36 + j16,8$
25	$0,2723 + j1,2135$	$36,3 + j18,01$
50	$0,5446 + j2,427$	$36,54 + j19,23$
75	$0,81698 + j3,6405$	$36,82 + j20,43$
100	$1,09 + j4,854$	$37,1 + j21,654$

4.4. Arus Hubung Singkat pada sisi 150 kV

Tabel 4. 3 Gangguan Hubung Singkat pada sisi 20 kV

I_{HS} 3 fasa (A)	I_{HS} 2 fasa (A)	I_{HS} 1 fasa ke tanah (A)
864,3	758,57	226,48

Berdasarkan tabel 4.3 diperoleh arus gangguan hubung singkat pada sisi 150kV berdasarkan hasil perhitungan.

4.5. Arus Hubung Singkat pada sisi 20 kV

a. Arus gangguan Hubung singkat 3 fasa

Tabel 4. 4 Bentuk Polar $Z_{1q} = Z_{2eq}$

$Z_{1q} = Z_{2eq}$ (Ohm)	Polar (Ohm)
$j1,776$	1,77
$0,028 + j3,1$	3,1
$0,056 + j4,4$	4,4
$0,084 + j5,73$	5,7
$0,112 + j8,81$	8.81

Tabel 4. 5 I_{HS} 3 Fasa sisi 20 kV

Panjang (%)	$Z_{1eqp}=Z_{2eqp}$ (Ohm)	I_{HS} 3 fasa (A)
0	1,77	6523,73
25	3,1	3724,84
50	4,4	2624,32
75	5,7	2025,8
100	8.81	1310,67

b. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 fasa

Tabel 4. 6 I_{HS} 2 Fasa sisi 20 kV

Panjang (%)	$Z_{1eqp}=Z_{2eqp}$ (Ohm)	I_{HS} 2 fasa (A)
0	3,54	5649,72
25	6,2	3225,81
50	8,8	2272,7
75	11,4	1754,4
100	17,62	1135,07

c. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah

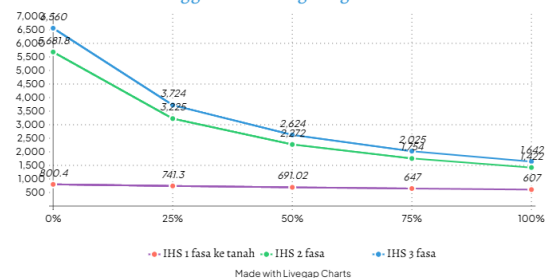
Tabel 4. 7 Bentuk Polar dari Z_{0eq}

$Z_{0eqp} = (Ohm)$ $R_f = 0 \text{ Ohm}$	$Z_{0eqp} (R_f = 0 \text{ Ohm})$
$36 + j16,8$	39,76
$36,3 + j18,01$	40,52
$36,54 + j19,23$	41,29
$36,82 + j20,43$	42,11
$37,1 + j21,654$	42,96

Tabel 4. 8 I_{HS} 1 Fasa ke Tanah sisi 20 kV

Panjang (%)	I_{HS} 1 fasa ke tanah (Ohm)
0	800.02
25	741.46
50	691.57
75	647,37
100	571,82

Arus Gangguan Hubung Singkat sisi 20 kV

Gambar 4. 1 Grafik I_{HS} Pada sisi 20 kV

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat kurva berwarna biru merupakan I_{HS} 3 fasa, kurva berwarna hijau merupakan I_{HS} 2 fasa dan kurva berwarna ungu merupakan I_{HS} 1 fasa ke tanah. Data gangguan hubung singkat yang digunakan pada kurva adalah arus gangguan hubung singkat pada sisi 20 kV dengan panjang penghantar 3 km dengan persentase jarak 0%, 25%, 50% dan 100%.

4.6. Setting Arus Relay OCR sisi 150 kV

$$I_{set \text{ primer}} = 1,2 \times 115,47 \\ = 138,564 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 138,564 \times \frac{1}{2000} \\ = 0,07 \text{ A}$$

4.7. Setting Arus Relay GFR sisi 150 kV

$$I_{set \text{ primer}} = 0,4 \times 115,47 \\ = 46,19 \text{ A}$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 46,19 \times \frac{1}{2000} \\ = 0,023 \text{ A}$$

4.8. Setting Arus Relay OCR sisi 20 kV

$$I_{set\ primer} = 1,2 \times 866,02$$
$$= 1039,2\ A$$

$$I_{set \text{ sekunder}} = 1039,2 \times \frac{1}{1000/5} = 5,2 \text{ A}$$

4.9. Setting Arus Relay GFR sisi 20 kV

$$I_{set\ primer} = 0,2 \times 866,02 = 173,2 \text{ A}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 173,2 \times \frac{1}{1000/5} = 1,73 \text{ A}$$

4.10. Setting TMS Relay OCR 150 kV

$$TMS = \frac{1,5 \times \left(\frac{864,3}{138,564} \right)^{0,02} - 1}{0,14} = 0,4$$

4.11. Setting TMS Relay GFR 150 kV

$$TMS = \frac{1,5 \times \left(\frac{226,83}{46,19} \right)^{0,02} - 1}{0,14} = 0,34$$

4.12. Setting TMS Relay OCR 20 kV

$$TMS = \frac{1 \times \left(\frac{6523,73}{1039,2} \right)^{0,02} - 1}{0,14} = 0,27$$

4.13. Setting TMS Relay GFR 20 kV

$$\text{TMS} = \frac{\left(\frac{800,02}{173,2}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 1$$

$$= 0,22$$

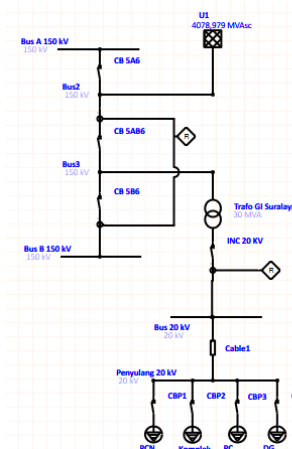
4.14. Perbandingan Data Hasil Perhitungan dengan Data Hasil Penelitian pada Setting Relay

Tabel 4. 9 Perbandingan Data Setting Relay Berdasarkan Hasil Perhitungan dengan Hasil Penelitian

Relay	Hasil Perhitungan	Hasil Penelitian
OCR Out 150 kV	Iset = 0,07 TMS = 0,4	Iset = 0,07 TMS = 0,37
GFR Out 150 kV	Iset = 0,023 TMS = 0,34	Iset = 0,03 TMS = 0,46
OCR Inc 20 kV	Iset = 5,2 A TMS = 0,27	Iset = 5,15 TMS = 0,24
GFR Inc 20 kV	Iset = 0,866 TMS = 0,22	Iset = 0,9 TMS = 0,15

Pada tabel 4.9 dapat dilihat hasil setting melalui perhitungan dan data pada lapangan terdapat sedikit perbedaan antara nilai arus setting dan TMS yang dihasilkan melalui perhitungan. Data yang dihasilkan dari perhitungan merupakan setting yang digunakan untuk simulasi pada *software* ETAP 19.01.

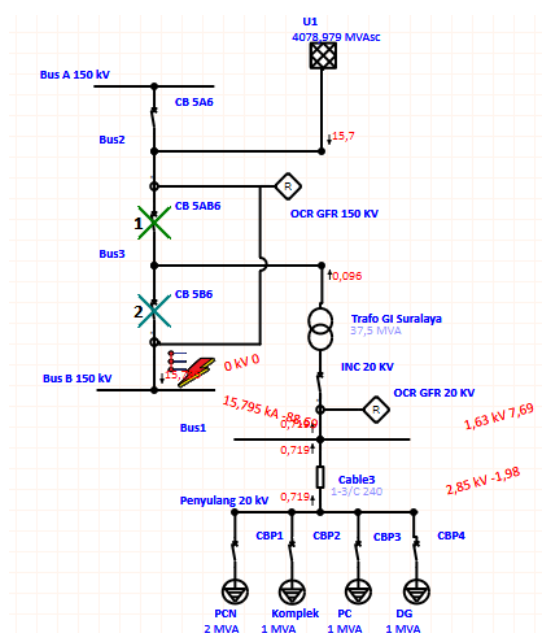
4.15. Perancangan Single Line Diagram pada software ETAP 19.01'



Gambar 4. 2 Single Line Diagram GI Suralaya

Pada SLD GI suralaya disisi 150 kV menggunakan dua buah *current transformer* atau *summation*. Hal ini dikarenakan pada GI Suralaya.

4.16. Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada sisi 150 kV

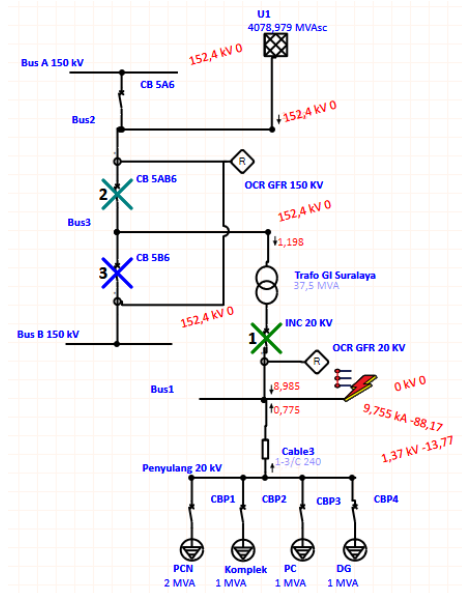


Gambar 4. 3 Simulasi Hubung Singkat pada Sisi 150 kV

Pada gambar 4.3 dapat dilihat ketika ada gangguan hubung singkat yang terjadi pada sisi 150 kV relay yang merespon terlebih dahulu dan memberi perintah trip pada CB adalah relay yang terdekat dari gangguan. Adapun CB yang trip terlebih dahulu adalah CB 5AB6 dan disusul oleh CB 5B6. Adapun besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa

yang terjadi pada busbar 150 kV adalah 15,7 kA

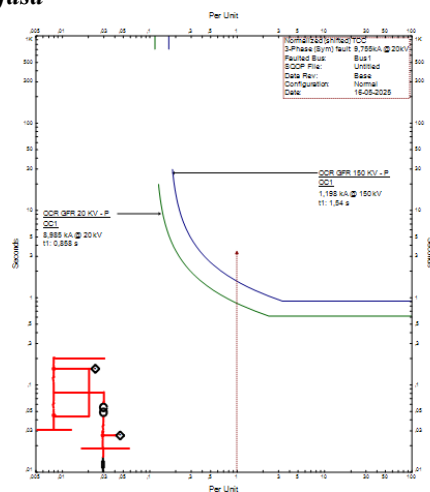
4.17. Simulasi I_{HS} 3 fasa pada sisi 20 kV



Gambar 4. 4 Simulasi Gangguan I_{HS} 3 fasa pada sisi 20 kV

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat hasil simulasi gangguan I_{HS} 3 fasa pada busbar 20 kV. Adapun CB yang *trip* terlebih dahulu adalah CB INC 20 kV dan disusul oleh CB 5AB6 dan CB 5B6. Adapun I_{HS} yang mengalir pada sisi 20 kV adalah 8,985 kA dan disusul oleh relay pada sisi 150 kV adapun I_{HS} yang mengalir pada sisi 150 kV adalah 1,198 kA.

4.18. Kurva Koordinasi Relay OCR pada IHS 3 fasa

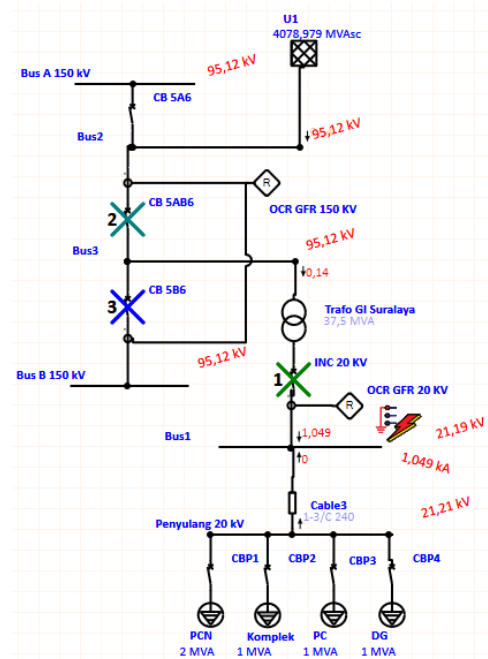


Gambar 4. 5 Kurva Koordinasi Relay OCR

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat gambar kurva berwarna hijau merupakan kurva relay OCR sisi 20kV sedangkan kurva berwarna

biru merupakan kurva relay sisi 150 kV. Pada koordinasi kurva tersebut dapat dilihat bahwa tidak terjadi kurva mengalami *overlapping* atau tumpang tindih sehingga koordinasi relay dapat dikatakan berhasil. Adapun besar I_{HS} 3 fasa yang mengalir pada sisi 20kV adalah 8,985 kA dengan waktu *trip* 0,858s dan I_{HS} yang masuk pada sisi 150kV adalah 1,198 kA dengan waktu *trip* 1,54s.

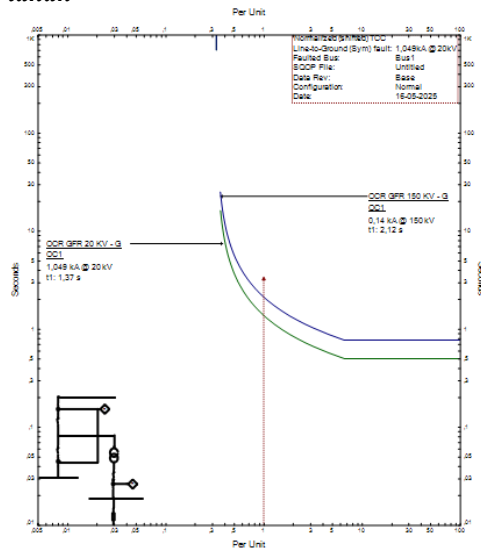
4.19. Simulasi Gangguan I_{HS} 1 fasa ke tanah pada sisi 20 kV



Gambar 4. 6 Simulasi I_{HS} 1 fasa ke tanah sisi 20 kV

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dianalisis ketika terjadi gangguan I_{HS} di sisi 20 kV, CB INC 20 kV trip dahulu dengan besar arus gangguan 1,049 kA dan dilanjut dengan CB 5AB6 dan CB 5B6 dengan arus gangguan sebesar 0,14 kA.

4.20. Koordinasi Relay GFR pada I_{HS} 1 fasa ke tanah



Gambar 4. 7 Kurva Koordinasi Relay GFR

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa koordinasi kurva yang dihasilkan tidak dalam keadaan *overlapping* atau tumpang tindih antara kurva sisi *incoming* 20 kV dan sisi *outgoing* 150 kV. Adapun besar I_{HS} 1 fasa ke tanah yang mengalir pada sisi 20kV adalah 1,049 kA dengan waktu trip 1,37s dan pada sisi 150kV adalah 0,14 kA dengan waktu trip 2,12s.

5. KESIMPULAN

1. Arus gangguan hubung singkat pada sisi *outgoing* 150 kV, I_{HS} 3 fasa sebesar 864,3 A, I_{HS} 2 fasa sebesar 748,05 A dan I_{HS} 1 fasa ke tanah sebesar 226,83 A. Sedangkan pada sisi *incoming* 20 kV I_{HS} 3 fasa sebesar 6523,73 A, I_{HS} 2 fasa sebesar 5649,72 A dan I_{HS} 1 fasa ke tanah sebesar 800,02 A.
2. Berdasarkan hasil perhitungan arus *setting* pada relay arus berlebih dan relay gangguan bawah tanah sisi *outgoing* 150 kV relay arus berlebih diperoleh Iset sebesar 0,07 dengan TMS 0,4 dan relay gangguan bawah tanah dengan Iset sebesar 0,023 A dengan TMS 0,34. Sedangkan pada sisi *incoming* 20 kV diperoleh Iset 5,2 A dengan TMS 0,1 dan relay gangguan bawah tanah diperoleh Iset 1,732 A dengan TMS 0,045.
3. Untuk menentukan koordinasi relay OCR dan GFR antara sisi *incoming* 20 kV dan sisi *outgoing* 150 kV perlu dilakukannya sebuah *setting* pada arus pickup dan TMS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. I. Aghnia Nur An Nisa, Marwan, "Analisis sistem proteksi di PT. PLN (Persero) sektor pembangkitan kendari unit PLTD Wua Wua," *Teknol. elektro dan Kejuru.*, vol. 29, no. 2, pp. 177–189, 2019.
- [2] K. R. Ratnayanti, N. L. Hajati, and Y. Trianisa, "Evaluasi Sistem Proteksi Aktif dan Pasif sebagai Upaya Penanggulangan Bahaya Kebakaran pada Gedung Sekolah X Bandung," *J. Rekayasa Hijau*, vol. 3, no. 3, pp. 179–192, 2020, doi: 10.26760/jrh.v3i3.3429.
- [3] M. Jeevan, "A Review on Power System Faults and Protection," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 395–398, 2022.
- [4] A. S. Sampeallo, N. Nursalim, and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok Pt. Smse (Ipp) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0," *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 1, pp. 79–88, 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1442.
- [5] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *J. Elektum*, vol. 14, no. 2, pp. 43–48, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/view/1737/1464>
- [6] T. A. Al Qoyyimi, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [7] S. Suparmono, F. H. Gultom, C. Cholish, and T. Sitepu, "Studi Gangguan Transformator Distribusi Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt Pln (Persero) Rayon Medan Baru," *Media Elektr.*, vol. 15, no. 1, 2022, doi: 10.26714/me.v15i1.7892.
- [8] daman suswanto, "Analisis Gangguan Pada Jaringan Distribusi," 2012.
- [9] Nasrulloh, Riki Andriyan, and Randi Adzin Murdiantoro, "Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) Dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Sistem Distribusi 20 KV Studi Kasus di PT. PLN (Persero) ULP Sidareja," *J. Electron. Electr. Power Appl.*, 2022.
- [10] G. G. T. . Montolalu, G. M. Ch. Mangidaan, and L. S. Patras, "Analysis of Overcurrent Relay on Power Transformers 150 / 20 kV at Tangerang Main Substation," *J. Tek. Elektro*, pp. 1–8, 2021.
- [11] A. Azis, D. Irine, and K. Febrianti, "Analysis of the Overcurrent Protection System on the Cendana Extension of the Bungaran Substation in Palembang," *J. Ampere*, vol. 4, no. 2, pp. 332–344, 2019.

- [12] I. D. G. Agung Budhi Udiana, I. G. Dyana Arjana, and T. G. Indra Partha, "Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Pada Recloser Di Saluran Penyulang Penebel," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 37, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p07.
- [13] F. Abidin, M. Pujiantara, and D. F. U. Putra, "Optimasi Total Operating Time Rele Arus Lebih dengan Pertimbangan Konfigurasi Mesh, Open-mesh, dan Radial Menggunakan Firefly Algorithm," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.53424.
- [14] R. A. D. Setyowati, S. I. Haryudo, T. Wrahatnolo, and T. Rijanto, "The Analisis Keandalan Sistem Koordinasi Overcurrent Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) di Gardu Induk 150 kV Buduran," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 547–554, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.419.
- [15] G. Samiaji *et al.*, "BERDASARKAN HARMONISA PADA MOTOR LISTRIK," *JITET (Jurnal Informatika dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 12, no. 3, pp. 2735–2743, 2024.
- [16] S. Dwi Puji Hariyanto, Tiyono, "ANALISIS KOORDINASI OVER CURRENT RELAY DAN RECLOSER DI SISTEM PROTEKSI FEEDER GARDU INDUK SEMEN NUSANTARA (SNT 2) CILACAP," *Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 49–56, 2009.
- [17] S. Soewono and E. Noprianti, "Analysis of Over Current Relay and Ground Fault Relay Protection System in Sub-Station Sp-2 Tanah Miring Using Relay Coordination With Etap Based," *IJISCS (International J. Inf. Syst. Comput. Sci.)*, vol. 4, no. 2, p. 89, 2020, doi: 10.56327/ijiscs.v4i2.903.
- [18] P. J. F. Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, "ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN PEMAKAIAN SENDIRI PLTU BOLOK PT. SMSE (IPP) UNIT 3 DAN 4 MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0 Agusthinus," no. 0380, 2015.