

ANALISIS SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA (3 × 60 MVA) DI GARDU INDUK 150 KV BANTUL TERHADAP GANGGUAN ARUS LEBIH

M. Subhan Sodiq¹, Muhammad Suyanto², dan Slamet Hani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28 Komplek Balapan, Yogyakarta, Indonesia
subhan.sodiq@gmail.com¹, musyant@gmail.com², shan.akprind@gmail.com³

ABSTRACT

The electric power system consists of the main components are Generators, Transformers, and Transmission-Distribution Lines and it is can not be avoided sooner or later the system will be interrupted. One form of interruption which can happen to the electric power systems is a short circuit. The form of short-circuit current interruption is three phase interruption, two phase interruption, or one-phase interruption to the ground. Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) are one of the protection systems used by the transformer from short circuit interruption. From the calculation value, obtained value of the TMS OCR shorter than the TMS GFR is on the side of 150 kV the TMS OCR value is 0.299 with the primary setting current of 242.49 A and the TMS GFR value is 0.323 with the primary setting current of 69.28 A. While on the side of 20 kV the TMS OCR value is 0.218 with the primary setting current of 1.818,65 A and the TMS GFR value is 0,235 with the primary setting current of 519,62 A. Time work relays on the side of 150 kV is 1.1 seconds and on the side of 20 kV is 0.8 seconds.

Keywords : Short Circuit Interruption, Protection System, Over Current Relay, Ground Fault Relay

INTISARI

Sistem tenaga listrik terdiri dari komponen utama yaitu, generator, transformator, dan saluran transmisi-distribusi dan tidak dapat dihindari bahwa cepat atau lambat sistem tersebut akan mengalami gangguan. Salah satu bentuk gangguan yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat (*short circuit*). Bentuk gangguan arus hubung singkat tersebut yaitu gangguan tiga fasa, dua fasa, maupun gangguan satu fasa ke tanah. *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (OCR) adalah salah satu sistem proteksi yang digunakan transformator dari gangguan hubung singkat. Dari nilai perhitungan, di dapat nilai TMS OCR lebih singkat dari pada TMS GFR yaitu pada sisi 150 kV nilai TMS OCR sebesar 0,299 dengan arus setting primer sebesar 242,49 A dan TMS GFR sebesar 0,323 dengan arus setting primer sebesar 69,28 A, sedangkan pada sisi 20 kV nilai TMS OCR sebesar 0,218 dengan arus setting primer sebesar 1.818,65 A dan TMS GFR sebesar 0,235 dengan arus setting primer sebesar 519,62 A. Waktu kerja relai pada sisi 150 kV sebesar 1,1 detik dan pada sisi 20 kV sebesar 0,8 detik.

Kata kunci : Gangguan hubung singkat, Sistem proteksi, Relai arus lebih, Relai gangguan tanah

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dan tak tergantikan di masa sekarang dan yang akan datang. Di dalam penyaluran energi listrik, diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen.

Transformator merupakan peralatan yang sangat vital dalam penyaluran sistem tenaga listrik langsung ke konsumen, baik konsumen tegangan tinggi, tegangan menengah maupun tegangan rendah (Agung, 2014). Dalam sistem penyaluran tidak menutup

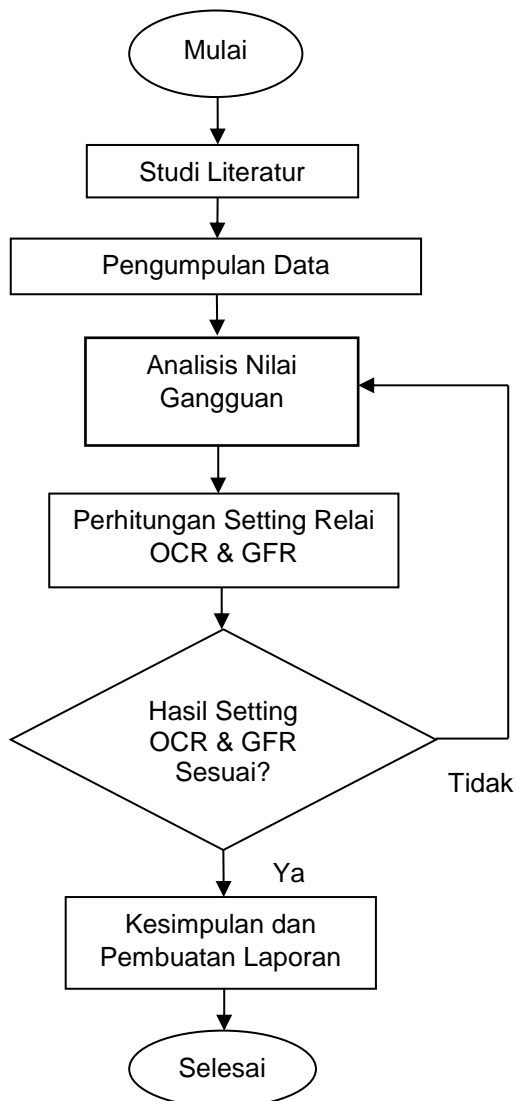
kemungkinan terjadinya gangguan terutama gangguan hubung singkat yang disebabkan arus lebih. Gangguan ini bisa berupa gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa atau satu fasa ke tanah. Gangguan yang terjadi ini tidak dapat diprediksi, sehingga untuk mencegahnya diperlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi yang tepat dan dapat diandalkan agar pasokan listrik tetap terjaga dan peralatan listrik terlindungi dari kerusakan (Sutarti, 2010).

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi dan penyebab yang lainnya (Rosidi, 2010).

Peralatan pengamanan yang digunakan adalah relai, yang berfungsi untuk mendeteksi keadaan keadaaan tidak normal pada sistem kelistrikan dari gangguan hubung singkat. Setelah terdeteksi oleh relai, kemudian memberi perintah pemutus tenaga (PMT) untuk mengatasi gangguan. Relai yang digunakan adalah OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) (Hernantyo & Isnur, 2016).

II. METODOLOGI

A. Metode Pengambilan Data



Gambar 1. Flowchart penelitian

Langkah-langkah pada penelitian ini dalam pengambilan data adalah dengan :

1. Metode Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari buku-buku, jurnal, artikel, dan sebagainya yang bertujuan untuk referensi yang berhubungan judul penelitian ini.

2. Metode Dokumentasi

Adalah dengan cara penulis melakukan pengumpulan data penelitian di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bantul BaseCamp Yogyakarta APP Salatiga berupa data primer peralatan dan peralatan pendukung proteksi pada transformator daya yang meliputi data sumber, data Transformator Daya, data PMT, data CT, data beban, data relai arus lebih (OCR) dan data relai gangguan tanah (GFR) yang dipasang di Gardu Induk Bantul Yogyakarta.

3. Metode Survei

Adalah dengan cara melakukan pengamatan dan tanya jawab dengan beberapa pegawai maupun operator yang bertugas didalam bidang proteksi tenaga listrik yang ada di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bantul.

Secara keseluruhan alur penelitian dalam skripsi ini dapat di gambarkan pada Gambar 1

B. Data Peralatan

Pada Gardu Induk Bantul terdapat 3 buah transformator daya, yaitu transformator daya I, transformator daya II dan transformator daya III yang masing-masing berkapasitas 60 MVA. Pada tiap transformator daya mensuplai beberapa penyulang. Untuk transformator daya I mensuplai 5 penyulang, yaitu penyulang BNL 1, BNL 2, BNL 3, BNL 5 dan BNL 14. Untuk transformator daya II mensuplai 4 penyulang yaitu penyulang BNL 4, BNL 11, BNL 12 dan BNL 16. Sedangkan untuk transformator daya III mensuplai 5 penyulang, yaitu penyulang yaitu penyulang BNL 7, BNL 8, BNL 9, BNL 10 dan BNL 15.

Dalam penulisan skripsi ini penulis membahas tentang analisis relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada transformator daya di Gardu Induk Bantul, namun lebih di khususkan pada transformator daya III. Hal ini dikarenakan transformator daya III ini merupakan transformator daya yang paling awal beroperasi di Gardu Induk yaitu pada 19 Desember 1995 (buatan 1994) dan berdasarkan keterangan dan data dari pegawainya sampai saat belum ada

gangguan yang membuat relai arus lebih dan relai gangguan tanah bekerja, namun setiap ada pemeliharaan setingan relai selalu di cek dan di setting ulang (reset) sesuai dengan kebutuhan beban yang di emban oleh transformator daya III.

Data transformator daya III
 Merk : PASTI Phasa : 3
 No. seri : 93P0006 Teg. Primer : 150 KV
 Frekuensi: 50 Hz Teg. Sekund: 20 KV
 Daya : 60 MVA Impedansi : 12.00 %
 Cooling : ONAN-ONAF Standart : IEC 76
 70 / 100 %

Data relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah(GFR) sisi 150 KV
 Merk : AREVA
 Tipe : MICOM P122
 No. Seri : 36180884
 Karakteristik : *Standart Inverse*
 Rasio CT : 300/1 A

Data relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah(GFR) sisi 20 KV
 Merk : AREVA
 Tipe : MICOM P122
 No. Seri : 31366497
 Karakteristik : *Standart Inverse*
 Rasio CT : 2000/1 A

Data Pemutus Tenaga (PMT)
 Merk : SIEMENS
 Tipe : 3AQIEG
 Frekuensi : 50 Hz
 Arus : 3150 A
 Breaking current : 31,5 kA

C. Metode Analisa Data

Dalam proses menganalisis data, penulis melakukan kajian secara perhitungan (metematis) mengenai dasar kerja dan penyetulan relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) dan kemudian data yang diperoleh disimulasikan dengan menggunakan bantuan ETAP (*software*) guna mengetahui unjuk kerja relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR).

Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan (Affandi, 2009) :

Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{xs} + Z_{xt} \dots\dots(1)$$

dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (Ω)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (Ω)

Z_{xs} = Impedansi sumber (Ω)

Z_{xt} = Impedansi trafo urutan positif-negatif (Ω)

Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{xt0} + 3RN \dots\dots(2)$$

dimana :

Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen jaringan nol (Ω)

Z_{xt0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (Ω)

RN = Tahanan tanah trafo tenaga (Ω)

Menghitung Arus hubung singkat tiga fasa, hubung singkat dua fasa dan satu fasa ke tanah:

Arus hubung singkat tiga fasa

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

dimana :

I_{3fasa} = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem (V)

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ω)

Arus hubung singkat dua fasa

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} \dots\dots(4)$$

dimana :

I_{2fasa} = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_{ph-ph} = Tegangan fasa - fasa sistem (kV)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots(5)$$

dengan $V_{ph} = \frac{\text{Tegangan fasa sistem (kV)}}{\sqrt{3}}$

dimana :

I_{1fasa} = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ω)

Setting TMS (*Time Multiple Setting*) OCR & GFR

$$TMS (SI) = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{HS}}{I_{Set (primer)}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K} + C \dots (6)$$

dimana :

TMS = Nilai setelan waktu antara 0,025 sampai 1,5 detik

t = Waktu operasi relai

K = Konstanta

I_{HS} = Besar arus gangguan hubung singkat antar fasa

$I_{set (primer)}$ = Besar arus setelan

C = Konstanta

α = Konstanta faktor

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum menghitung nilai TMS OCR dan GFR, maka langkah awal yang dilakukan yaitu dengan menghitung Impedansi ekivalen jaringan kemudian dilanjutkan dengan menghitung Arus hubung singkat.

A. Impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber dengan menggunakan persamaan 1 dan 2.

Tabel 1. Nilai impedansi ekivalen jaringan

Impedansi ekivalen jaringan	Sisi 150 kV (Ω)	Sisi 20 kV (Ω)
Urutan positif-negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)	j47,63	j0,847
Urutan nol (Z_{0eq})	j405	j7,2

B. Arus hubung singkat

1. Hubung singkat dua fasa

Nilai dari arus hubung singkat dua fasa digunakan untuk menentukan/mencari TMS dari OCR dengan menggunakan persamaan 4.

Sisi 150 kV

$$V_{ph-ph} = 150.000 \text{ V}$$

$$Z_{1eq} = j47,63 \Omega$$

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} = \frac{150.000}{2 \times j47,63} = 1.574,64 \text{ A}$$

Sisi 20 kV

$$V_{ph-ph} = 20.000 \text{ V}$$

$$Z_{1eq} = j47,63 \Omega$$

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} = \frac{20.000}{2 \times j0,847} = 11.806,38 \text{ A}$$

2. Hubung singkat satu fasa ke tanah.

Nilai dari arus hubung singkat dua fasa digunakan untuk menentukan TMS dari GFR dengan menggunakan persamaan 5.

Sisi 150 kV

$$V_{ph} = 86.603 \text{ V}$$

$$Z_{1eq} = j47,63 \Omega$$

$$Z_{0eq} = j405 \Omega$$

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times 86.603}{2 \times j47,63 + j405}$$

$$I_{1fasa} = 519,35 \text{ A}$$

Sisi 20 kV

$$V_{ph} = 11.547 \text{ V}$$

$$Z_{1eq} = j0,847 \Omega$$

$$Z_{0eq} = j7,2 \Omega$$

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times 11.547}{2 \times j0,847 + j7,2}$$

$$I_{1fasa} = 3.894,87 \text{ A}$$

Tabel 2. Nilai arus hubung singkat

Hubung singkat	Sisi 150 kV (A)	Sisi 20 kV (A)
Tiga fasa	1.818,24	13.632,83
Dua fasa	1.574,64	11.806,38
Satu fasa ke tanah	519,35	3.894,87

C. Menentukan Setting OCR dan GFR

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). *Time Multiplier Setting* (TMS) OCR dan GFR dapat dihitung dengan berdasarkan arus gangguan hubung singkat menggunakan persamaan 6.

1. Setting TMS OCR

Sisi 150 kV

$$t = 1,1$$

$$K = 0,14$$

$$I_{HS} = 1.574,64$$

$$I_{set (primer)} = 1,05 \times I_{nominal}$$

$$C = 0$$

$$\alpha = 0,02$$

$$TMS \text{ OCR (SI)} = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{HS}}{I_{Set (primer)}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K} + C$$

$$\text{TMS OCR (SI)} = \frac{1,1 \times \left[\left(\frac{1.574,64}{242,49} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} + 0$$

$$\text{TMS OCR (SI)} = 0,299 \text{ s}$$

Sisi 20 kV

$$t = 0,8$$

$$I_{HS} = 11.806,38$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 1,05 \times I \text{ nominal}$$

$$\text{TMS OCR (SI)} = \frac{0,8 \times \left[\left(\frac{11.806,38}{1.818,65} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} + 0$$

$$\text{TMS OCR (SI)} = 0,218 \text{ s}$$

2. Setting TMS GFR

Sisi 150 kV

$$t = 1,1$$

$$K = 0,14$$

$$I_{HS} = 519,35$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 0,3 \times I \text{ nominal}$$

$$C = 0$$

$$\alpha = 0,02$$

$$\text{TMS GFR (SI)} = \frac{1,1 \times \left[\left(\frac{519,35}{69,28} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} + 0$$

$$\text{TMS GFR (SI)} = 0,323 \text{ s}$$

Sisi 20 kV

$$t = 0,8$$

$$I_{HS} = 3.894,87$$

$$I_{set} (\text{primer}) = 0,3 \times I \text{ nominal}$$

$$\text{TMS GFR (SI)} = \frac{0,8 \times \left[\left(\frac{3.894,87}{519,62} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} + 0$$

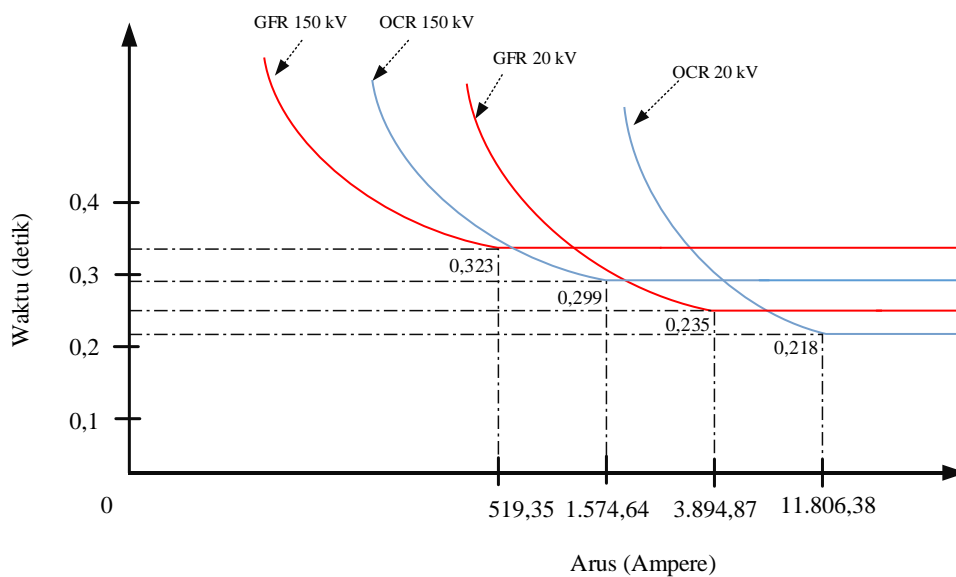
$$\text{TMS GFR (SI)} = 0,23 \text{ s}$$

Tabel 3. Perbandingan nilai settingan dengan perhitungan

Keterangan	Relai	Arus Setting Sekunder (A)		TMS (s)	
		Terpasang	Perhitungan	Terpasang	Perhitungan
Sisi 150 kV	OCR	0,92	0,81	0,34	0,299
	GFR	0,31	0,23	0,70	0,323
Sisi 20 kV	OCR	1,04	0,91	0,23	0,218
	GFR	0,35	0,26	0,43	0,235

Dari perhitungan dan settingan yang terpasang di lapangan (Gardu Induk 150 kV Bantul) terdapat perbedaan nilai TMS OCR maupun TMS GFR, ini dikarenakan pada perbedaan penentuan nilai Iset (primer) dan nilai waktu kerja relai (t). Dalam hal ini waktu tunda (TMS) OCR dan GFR sisi 20 kV di setting paling cepat dikarenakan OCR dan

GFR sisi 20 kV merupakan peralatan yang paling dekat dengan sumber gangguan. Pada relai sisi 20 kV trafo memiliki t = 0,8 detik dan relai sisi 150 kV trafo memiliki t = 1,1 detik dengan selisih 0,3 detik. Waktu kerja relai (t) tiap peralatan proteksi diset dengan selisih 0,2-0,5 detik sesuai dengan Standart IEC 60255.

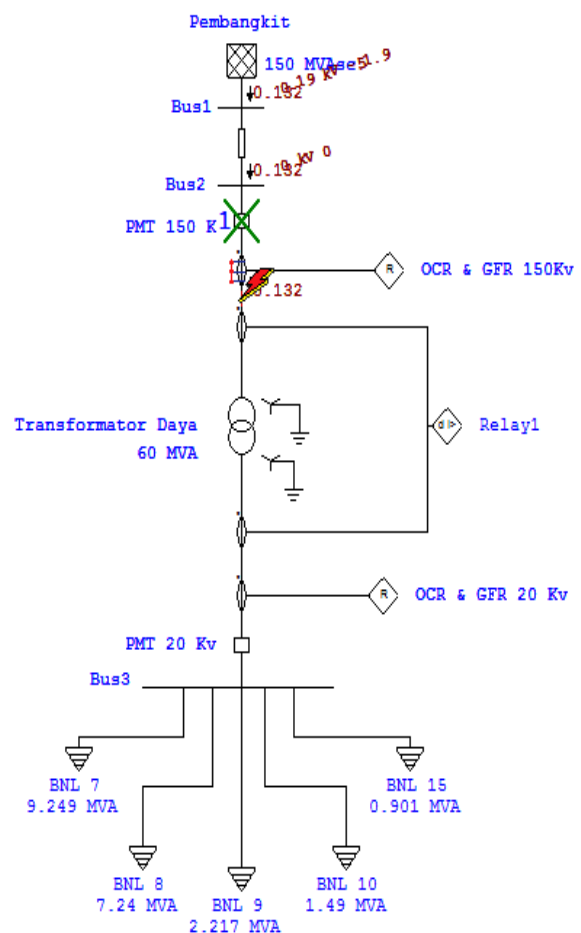


Gambar 2. Grafik nilai setting OCR dan GFR terhadap arus gangguan

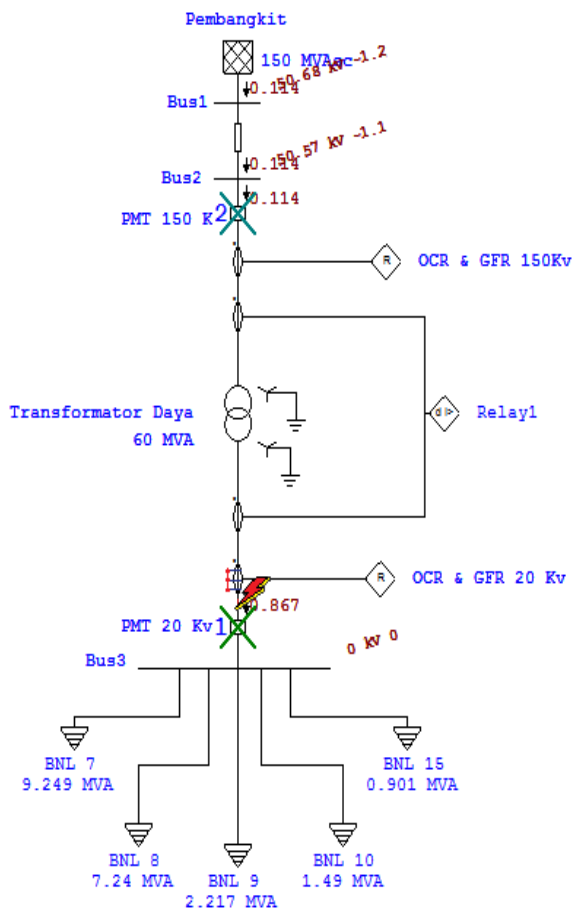
D. Simulasi kerja OCR dan GFR menggunakan ETAP

Setelah mendapatkan data peralatan seperti Transformator Daya, CT, PMT, OCR dan GFR tiap sisi dan lain-lain kemudian membuatnya dalam sebuah *single line diagram* dalam lembar kerja di aplikasi ETAP.

Kemudian pemodelan tersebut diuji dengan diberi gangguan hubung singkat. Untuk melakukan simulasi unjuk kerja OCR dan GFR sebagai relai *back-up* pada ETAP yaitu dengan menggunakan menu *select mode - protective device protection*, kemudian memilih menu *fault insertion* dan mengarahkan/menempatkannya pada sisi yang ingin diuji dengan gangguan, maka akan terlihat unjuk kerja OCR dan GFR dengan memberikan perintah PMT membuka (dalam simulasi ini di indikasikan dengan tanda silang berkedip di atas simbol PMT) sesuai daerah yang mengalami gangguan (Multa & Prima, 2013).



Gambar 3. Proteksi OCR dan GFR pada Transformator Daya saat kondisi gangguan di sisi 150 kV

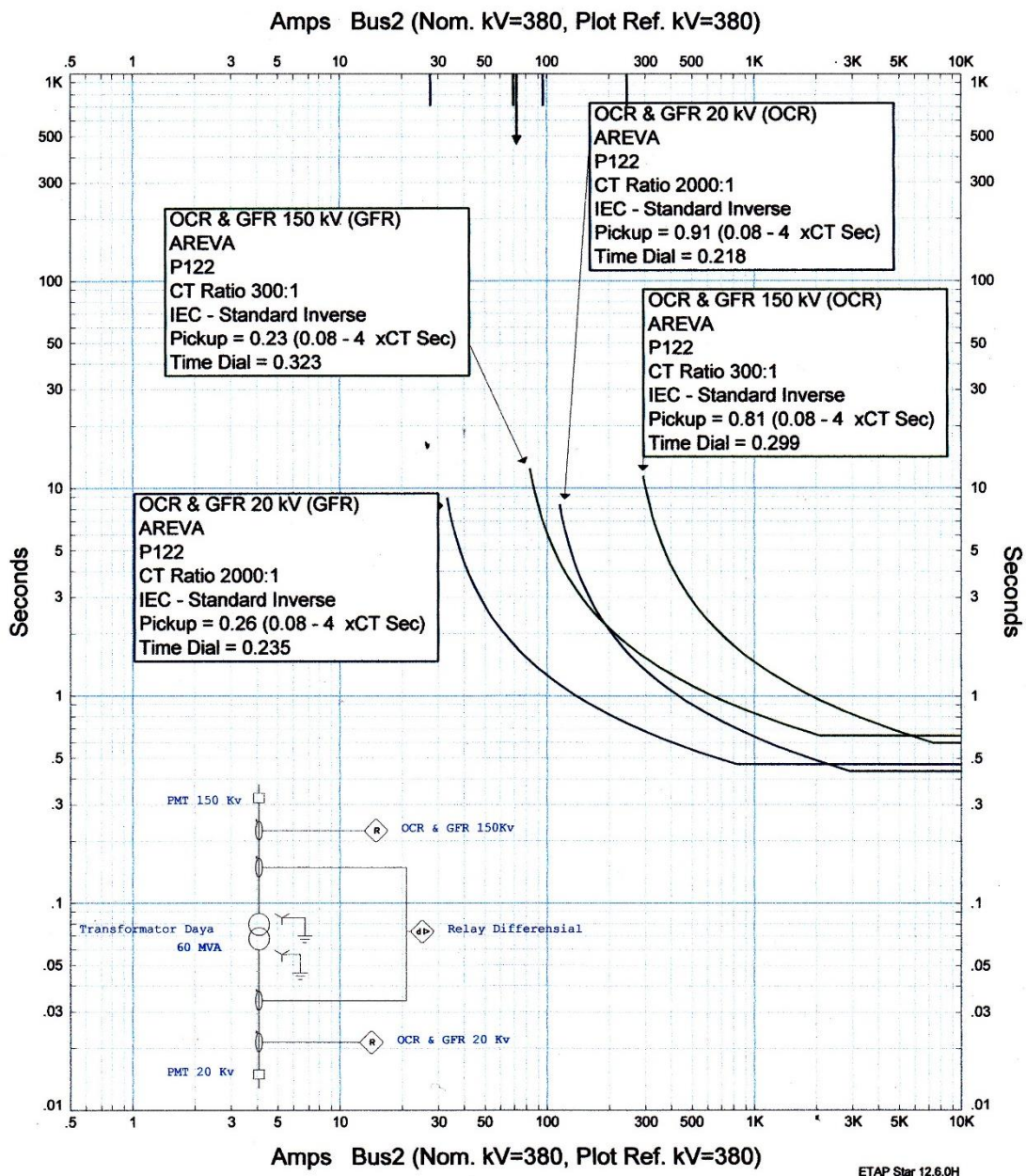


Gambar 4. Proteksi OCR dan GFR pada Transformator Daya saat kondisi gangguan di sisi 20 kV

Pada Gambar 3. gangguan terjadi pada sisi 150 kV maka PMT yang bekerja adalah PMT 150 kV yang mengisolir gangguan. Namun jika gangguan terjadi pada sisi 20 kV, maka PMT yang bekerja adalah PMT 20 kV dan jika PMT 20 kV gagal bekerja, maka selang sekian detik PMT 150 kV yang bekerja (Gambar 4).

Jenis relai yang digunakan pada transformator daya di Gardu Induk Bantul adalah standart inverse (SI) yang artinya waktu kerja relai mulai pick-up sampai relai bekerja diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan.

Setelah melakukan dan melihat hasil simulasi unjuk kerja OCR dan GFR pada ETAP kemudian untuk melihat grafik relai yaitu dengan cara mengblok dari peralatan yang ingin ditampilkan kurvanya, kemudian pilih menu *create start view manager*. Kemudian akan muncul gambar yang berisi kurva dari karekteristik OCR dan GFR baik pada sisi 150 kV maupun sisi 20 kV.



Gambar 5. Kurva karakteristik OCR dan GFR pada Transformator Daya

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengambilan data di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Bantul Yogyakarta dan melakukan perhitungan nilai setting relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR), dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem proteksi utama pada transformator daya adalah relai diferensial dan REF (*Restricted Earth Fault*). Sedangkan OCR adalah relai cadangan dari relai diferensial

dan GFR adalah relai cadangan dari REF pada saat proteksi utama mengalami kegagalan.

2. Nilai-nilai pada sisi 150 kV berdasarkan perhitungan untuk OCR yaitu, arus setting primer sebesar 242,49 A, arus setting sekunder (*pick-up*) sebesar 0,81 A dengan TMS sebesar 0,299. Sedangkan untuk GFR yaitu, arus setting primer sebesar 69,28 A, arus setting sekunder (*pick-up*) sebesar 0,23 A dengan TMS sebesar 0,323.

3. Nilai-nilai pada sisi 20 kV berdasarkan perhitungan untuk OCR yaitu, arus setting primer sebesar 1.818,65 A, arus setting sekunder (*pick-up*) sebesar 0,91 A dengan TMS sebesar 0,218. Sedangkan untuk GFR yaitu, arus setting primer sebesar 519,62 A, arus setting sekunder (*pick-up*) sebesar 0,26 A dengan TMS sebesar 0,235.
4. Dari perhitungan dan settingan yang terpasang di lapangan terdapat perbedaan nilai TMS OCR maupun TMS GFR, ini dikarenakan pada penentuan nilai Iset (primer) dan nilai waktu kerja relai (t) yang berbeda dengan tujuan agar dapat dikoordinasikan dengan peralatan yang ada di depannya. Pada relai sisi 20 kV trafo memiliki $t = 0,8$ detik dan relai sisi 150 kV trafo memiliki $t = 1,1$ detik sesuai dengan standar IEC 60255 tentang selisih waktu kerja antar peralatan proteksi (*time grading*) dengan waktu kerja interval antara 0,2 - 0,5 detik.
5. Nilai TMS OCR dan GFR dari nilai perhitungan maupun settingan di lapangan masih dalam batas wajar karena masih dalam nilai protection setting ranges 0,025–1,5 sesuai standart IEC-SI (*Standart Inverse*) dan memenuhi persyaratan kecepatan, sensitifitas, selektivitas dan kepekaan sistem pengaman untuk menjaga mutu dan kontinuitas pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik dan melokalisir gangguan sesuai SPLN 52-3-1983 dan SPLN 52-1-1984.

Selama pelaksanaan pengambilan data, proses simulasi dan penulisan laporan ini, penulis memiliki beberapa saran yang diharapkan dapat digunakan untuk mencapai kesempurnaan pada penelitian berikutnya. Beberapa saran yang dapat penulis berikan yaitu:

1. Untuk melihat unjuk kerja sistem proteksi menggunakan ETAP sebaiknya data yang dikumpulkan jangan hanya data proteksi saja, tetapi juga diperlukan peralatan lain yang terdapat dalam bay tersebut.
2. Untuk pengumpulan data proteksi di Gardu Induk sebaiknya dilakukan jauh - jauh hari dikarenakan data belum tentu ada di satu tempat tersebut dan terkendala

lama/waktu izin yang diberikan pihak PT. PLN.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam melakukan penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini penulis telah mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Rektor IST AKPRIND Yogyakarta Dr. Ir. Amir Hamzah, MT. Dekan Fakultas Teknologi Industri Dr. Ir. Toto Rusianto, MT. Ketua Jurusan Teknik Elektro Sigit Priyambodo, ST., MT. Pembimbing 1 Ir. Muhammad Suyanto, MT. Pembimbing 2 Slamet Hani, ST., MT. Manager APP Salatiga Budi Santoso. Pegawai dan staff Gardu Induk 150 kV Bantul dan basecamp yogyakarta. Keluarga besar Alm. bapak Sanidin & bapak Kulman serta teman-teman Teknik Elektro IST AKPRIND angkatan 2013.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, I., 2009. *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang SADEWA di GI Cawang*. Depok: Universitas Indonesia.
- Agung, A. I., 2014. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Hernantyo, F. G. & Isnur, S., 2016. *Analisis Sistem Koordinasi Over Current Relay (OCR) pada Gardu Induk (GI) 150 kV Sukolilo*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Multa, L. & Prima, R., 2013. *Modul Pelatihan ETAP*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Rosidi, H. R., 2010. *Rele Arus Lebih/OCR dan GFR Sebagai Proteksi Trafo dan Penyulang Pada GI 150 KV Krapyak*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sutarti, 2010. *Analisis Perhitungan Setting Arus dan Waktu pada Relay Arus Lebih (OCR) Sebagai Proteksi Trafo Daya di Gardu Induk Cawang Lama Jakarta*. Riau: Sekolah Tinggi Teknologi Indragiri.

Team O & M Transmisi dan Gardu Induk,
2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan
Proteksi dan Kontrol Penghantar*.
Jakarta: PT. PLN (Persero).