

ANALISIS OCR (*OVER CURRENT RELAY*) DAN GFR (*GROUND FAULT RELAY*) PADA TRANSFORMATOR DAYA 1 (60 MVA) GARDU INDUK BANTUL 150 KV MENGGUNAKAN PROGRAM ETAP

Hermawan Yuli Kustanto¹, Muhammad Suyanto², Slamet Hani³

¹Mahasiswa, ²Pembimbing 1, dan ³Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222

Telp.(0274)563029 E-mail: goestanto90@gmail.com

INTISARI

Transformator daya adalah peralatan vital yang terdapat di Gardu Induk. Peralatan ini mempunyai banyak sistem proteksi yang salah satunya adalah *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay*. Sistem proteksi ini berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan yang ditimbulkan oleh hubung singkat. Kerja dari proteksi ini adalah dengan mendeteksi arus berlebih yang nantinya akan memberi perintah PMT untuk trip dengan waktu yang sudah di tentukan. Hasil analisis yang dilakukan menggambarkan untuk sistem proteksi *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* dapat bekerja sebagai proteksi utama apabila terjadi gangguan di luar transformator dan menjadi proteksi cadangan apabila terjadi gangguan di dalam transformator. Setelah melakukan perhitungan, didapat arus seting primer *Over Current Relay* untuk sisi 150 kV sebesar 277,2 A dan sisi 20 kV sebesar 2.080,8 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,33 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,22. Sedangkan arus seting primer *Ground Fault Relay* untuk sisi 150 kV sebesar 92,4 A dan sisi 20 kV sebesar 693,6 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,34 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,23.

Kata kunci: transformator, hubung singkat, relai arus lebih, relai gangguan tanah

ABSTRACT

Power transformers is a vital equipment in the substation. The equipment has many protection systems, one of which is Over Current Relay and Ground Fault Relay. The protection system serves to protect the equipment from trouble that caused by short circuit. the working system of protection is to detect over current on the system after that give the command on PMT to do the trip with the time has been specified. The results of analysis described the Over Current Relay and Ground Fault Relay protection, the system could worked as primary protection when the trouble happened outside transformer and as a backup protection when the trouble happened on the transformer. After doing the calculations, the primary current setting for Over Current Relay on 150 kV at 277.2 A while on 20 kV at 2080.8 A with a TMS value on 150 kV at 0.33 and TMS value on 20 kV at 0.22. the primary current setting for Ground Fault Relay on 150 kV at 92.4 A while on 20 kV at 693.6 A with a TMS value on 150 kV at 0.34 and TMS value on 20 kV at 0.23.

Keywords: transformer, short circuit, over current relay, ground fault relay

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Transformator merupakan peralatan yang sangat vital dalam penyaluran sistem tenaga listrik langsung ke konsumen, baik konsumen tegangan tinggi, tegangan menengah maupun tegangan rendah. Dalam sistem penyaluran, tidak menutup kemungkinan terjadinya gangguan terutama gangguan hubung singkat yang disebabkan arus lebih. Gangguan ini bisa berupa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa ke

tanah. Gangguan yang terjadi ini dapat diprediksi, sehingga untuk mencegahnya diperlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi yang tepat dan dapat diandalkan supaya pasokan listrik tetap terjaga dan peralatan listrik terlindungi dari kerusakan.

Peralatan pengaman yang digunakan adalah relai, yang berfungsi untuk mendeteksi keadaan-keadaan tidak normal pada sistem kelistrikan dari gangguan hubung singkat. Setelah terdeteksi oleh relai, kemudian relai memberikan perintah pemutus tenaga (PMT) untuk

mengeksekusi gangguan supaya tidak menjadi luas. Relai yang digunakan disini adalah OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*).

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana cara kerja dari OCR dan GFR pada sistem proteksi transformator daya.
2. Bagaimana menseting waktu kerja OCR dan GFR pada sistem transformator daya.
3. Mensimulasikan unjuk kerja dari OCR dan GFR pada saat gangguan di transformator daya menggunakan program ETAP.

Tujuan

Tujuan dari analisis ini adalah untuk:

1. Sarana melatih kemampuan mahasiswa dalam pengumpulan data yang kemudian disusun menjadi sebuah laporan.
2. Wahana mengaplikasikan teori yang didapat di bangku perkuliahan.
3. Menganalisis cara kerja dari sistem proteksi OCR dan GFR.
4. Dapat mensimulasikan sistem proteksi tenaga listrik menggunakan program ETAP *Power Station*.

Teori

Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem atau instalasi tenaga listrik, seperti, generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi (SUTT), saluran kabel bawah tanah dan lain sebagainya terhadap kondisi gangguan saat operasi sistem tenaga listrik. Gangguan yang timbul pada sistem tenaga listrik ini dapat berupa hubung singkat, tegangan lebih atau kurang, beban lebih, frekuensi sistem turun atau naik dan lain-lain. Selain untuk melindungi peralatan-peralatan listrik, sistem proteksi juga harus dapat meminimalisir daerah yang terganggu dan memisahkan daerah yang terganggu, sehingga gangguan tidak meluas dan kerugian yang ditimbulkan akibat gangguan tersebut dapat diminimalisir.

Didalam pengamanan instalasi tenaga listrik, seluruh peralatan harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja sistem proteksi, ini bertujuan untuk:

1. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
2. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
3. Mempersempit daerah yang terganggu, sehingga gangguan tidak meluas pada sistem tenaga listrik.
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.

5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Sistem proteksi yang terdapat pada instalasi tenaga listrik ini mempunyai fungsi utama dalam pengamanannya, yaitu:

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan *abnormal* lainnya pada bagian sistem tenaga listrik yang diamankan.
2. Melepaskan bagian sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan, sehingga bagian sistem lainnya yang tidak mengalami gangguan dapat terus beroperasi.

Pada sistem tenaga listrik, sistem proteksi yang terdapat di sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Proteksi utama

Pengaman sistem tenaga listrik yang akan bekerja pada awal terdeteksinya gangguan, begitu ada gangguan proteksi ini akan bekerja untuk memutuskan supaya tidak merusak peralatan dan memperkecil gangguan yang terjadi supaya tidak meluas ke peralatan yang lain.

2. Proteksi cadangan

Proteksi cadangan ini akan bekerja apabila proteksi utama mengalami kegagalan kerja, dengan disertai waktu tunda untuk member kesempatan proteksi utama untuk bekerja terlebih dahulu supaya tidak terjadi kesalahan proteksi. Proteksi ini dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- a. *Local back-up*, yaitu proteksi cadangan terletak satu lokasi dengan proteksi utama.
- b. *Remote back-up*, yaitu dimana proteksi cadangan tersebut diletakkan pada lokasi yang berlainan dengan proteksi utama.

Secara garis besar bagian dari relai proteksi dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

1. Elemen pengindra

Berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relai yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.

2. Elemen pembanding

Berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relai.

3. Elemen pengukur

Berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.

Sistem proteksi pada instalasi tenaga listrik terdiri dari komponen yang telah menjadi satu kesatuan untuk mengatasi gangguan. Kerja dari komponen ini bergantian sesuai dengan tugas dan fungsinya. Komponen ini terdiri dari:

1. Relai proteksi

Bertugas menerima besaran-besaran arus, tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Adanya ketidak normalan masukan besaran-besaran listrik melampaui batas setingnya, relai akan membunyikan alarm dan atau melepas PMT yang mana akan mengisolir gangguan atau peralatan yang terganggu.

2. Transformator arus (CT)

Berfungsi untuk memonitor besaran-besaran arus, tegangan, daya dan frekuensi untuk dikirimkan sebagai masukan ke relai proteksi. Prinsip kerja dari CT adalah timbulnya gaya gerak magnet yang memproduksi fluks pada inti, kemudian membangkitkan GGL pada sisi kumparan sekunder.

3. Pengawatan

Berfungsi menyalurkan atau meneruskan besaran-besaran atau sinyal listrik dari dan ke perangkat proteksi yang satu ke perangkat proteksi lainnya.

4. Sumber daya arus searah (*battery*)

Berfungsi menyediakan tenaga untuk kerja PMT guna mengisolir gangguan pada sistem tenaga listrik.

5. Pemutus tenaga (PMT)

Peralatan pada sistem tenaga listrik yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi sesuai dengan retingnya. Di dalam PMT terdapat media isolasi yang berfungsi untuk memadamkan busur api yang diakibatkan karena proses membuka atau menutupnya kontak PMT.

Dalam perencanaan dan penggunaan komponen-komponen sistem proteksi, untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Sensitif

Suatu relai proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkaun pengamanannya. Relai proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi didaerah pengamanannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentriapkan pemutus tenaga (PMT) untuk memutus bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang tidak mengalami gangguan tidak boleh terputus.

2. Selektif

Selektifitas dari relai proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam melaksanakan pengamanan. Bagian yang terbuka dari suatu sistem yang di karenakan terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relai proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di

daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamanannya.

3. Cepat

Makin cepat relai proteksi bekerja, maka tidak hanya akan memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya gangguan yang ditimbulkannya.

4. Andal

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu relai proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun, tetapi relai proteksi bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila relai gagal bekerja dapat mengakibatkan bekerjanya relai lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relai proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

5. Ekonomis dan sederhana

Dengan biaya yang sekecil mungkin diharapkan relai proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya. Selain itu perangkat relai proteksi disyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel.

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor atau beban) yang semestinya, sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran tiga fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas dan sebagainya, namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis dan sebab-sebab lainnya, makakekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan menimbulkan hubung singkat.

Pada beban isolasi padat atau cair, gangguan hubung singkat bisa mengakibatkan busur api, sehingga menimbulkan kerusakan yang tetap dan gangguan ini disebut gangguan permanen (tetap). Pada isolasi udara yang biasanya terjadi pada saluran udara tegangan menengah atau tinggi, jika terjadi busur api dan setelah padam tidak menimbulkan kerusakan, maka gangguan ini disebut gangguan temporer (sementara). Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus hubung singkat, maka hubungan kelistrikan pada seksi yang terganggu perlu diputus dengan peralatan pemutus tenaga (PMT).

Dari gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dapat dihitung menggunakan perhitungan hukum ohm.

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

dimana:

- I = arus yang mengalir pada hambatan Z (A)
- V = tegangan sumber (V)
- Z = impedansi jaringan, nilai ekivalen dari saluran impedansi didalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini:

- Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$
- Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$
- Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

dimana:

- Z_1 = impedansi urutan positif (Ohm)
- Z_2 = impedansi urutan negative (Ohm)
- Z_0 = impedansi urutan nol (Ohm)

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan, yaitu:

1. Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
2. Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
3. Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Untuk impedansi sumber harus terlebih dahulu diketahui hubung singkat yang terjadi pada bus 150 kV.

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times V \times \text{data hubung singkat} \quad (2)$$

dimana:

V = tegangan sisi primer transformator daya

Impedansi sumber pada bus 150 kV.

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

dimana:

- X_s = impedansi sumber (Ohm)
- kV^2 = tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)
- MVA = data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Impedansi sumber pada bus 20 kV.

$$X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (4)$$

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Langkah pertama mencari nilai tahanan pada 100% untuk trafo pada sisi 150 kV dan 20 kV.

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (5)$$

dimana:

- X_t = impedansi trafo tenaga (Ohm)
- kV^2 = tegangan trafo tenaga (kV)
- MVA = kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

2. Langkah selanjutnya mencari nilai reaktansi tenaganya. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$).

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t (\text{pada } 100\%) \quad (6)$$

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri, yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 sampai dengan $14 \times X_{t1}$.

Perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negative dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya di tanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini harus diketahui hubungan belitan trafonya.

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

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} \quad (7)$$

dimana:

- Z_{1eq} = impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)
- Z_{2eq} = impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)
- Z_{s1} = impedansi sumber (Ohm)
- Z_{t1} = impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (Ohm)

Urutan nol (Z_{0eq})

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3.RN \quad (8)$$

dimana:

- Z_{0eq} = impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)
- Z_{t0} = impedansi trafo tenaga urutan nol (Ohm)
- RN = tahanan tanah trafo tenaga (Ohm)

Arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah jenis gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa atau satu fasa ke tanah. Sehingga formula yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah berbeda.

1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa.

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{\text{ph}}}{Z_{1\text{eq}}} \quad (9)$$

dimana:

$I_{3\text{fasa}}$ = arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_{ph} = tegangan fasa – netral ($\frac{\text{tegangan sisi trafo}}{\sqrt{3}}$) (V)

$Z_{1\text{eq}}$ = impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

2. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{\text{ph-ph}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}}} \quad (10)$$

Karena $Z_{1\text{eq}} = Z_{2\text{eq}}$, maka:

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{\text{ph-ph}}}{2 \times Z_{1\text{eq}}} \quad (11)$$

dimana:

$I_{2\text{fasa}}$ = arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

$V_{\text{ph-ph}}$ = tegangan fasa – fasa (tegangan sisi trafo) (A)

$Z_{1\text{eq}}$ = impedansi urutan positif (Ohm)

3. Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{\text{ph}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}} + Z_{0\text{eq}}} \quad (12)$$

Karena $Z_{1\text{eq}} = Z_{2\text{eq}}$, maka:

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{\text{ph}}}{2 \times Z_{1\text{eq}} + Z_{0\text{eq}}} \quad (13)$$

dimana:

$I_{1\text{fasa}}$ = arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = tegangan fasa – netral ($\frac{\text{tegangan sisi trafo}}{\sqrt{3}}$) (V)

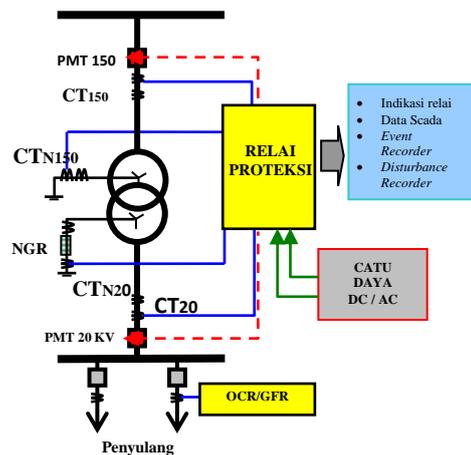
$Z_{1\text{eq}}$ = impedansi urutan positif (Ohm)

$Z_{0\text{eq}}$ = impedansi urutan nol (Ohm)

Transformator merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, andal dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada

kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelitkan pada seputar kaki inti transformator. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting, bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Transformator tenaga merupakan suatu komponen yang sangat penting perannya dalam sistem ketenagalistrikan. Keberadaan transformator dalam bidang ketenagalistrikan menjadi hal yang mutlak diperlukan untuk mentransmisikan daya listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban yang terus berkembang dan memiliki jarak yang jauh, oleh karena itu keandalan transformator sangatlah diperlukan guna menjaga kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen. Untuk itu sistem proteksi yang kompleks dan terintegrasi harus dipasang pada transformator guna mendeteksi gangguan-gangguan yang terjadi.



Gambar 1. Peralatan sistem proteksi pada transformator tenaga 150/20 kV

Relai arus lebih atau yang dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relai ini dapat digunakan sebagai pengamanan utama ataupun pengamanan cadangan.

Koordinasi pada relai arus lebih untuk mendapatkan selektifitas terutama dilakukan dengan seting waktu kerja relai, disamping juga karena ada perbedaan arus sisi hilir dan sisi hulunya. Pada relai arus lebih terdapat beberapa karakteristik waktu pengamanan, yaitu:

1. Relai arus lebih seketika
2. Relai arus lebih waktu tertentu

3. Relai arus lebih waktu berbanding terbalik

Penyetelan relai arus lebih pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga.

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \quad (14)$$

dimana:

I_{base} = arus nominal (A)

S_{base} = daya semu (VA)

V_{base} = tegangan (sesuai sisi transformator) (V)

Setting relai arus lebih

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,2 \times I \text{ nominal trafo} \quad (15)$$

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \quad (16)$$

Setting waktu (TMS) OCR

$$t = TMS(Td) \times \frac{k}{(I/I_s)^\alpha - 1} + c \quad (17)$$

dimana:

t = waktu operasi (s)

TMS = standar waktu setting relai (s)

k = konstanta *standart inverse*

I = arus gangguan hubung singkat (Ampere)

I_s = arus seting primer pada relai (Ampere)

α = konstanta *standart inverse*

c = konstanta *standart inverse*

Relai gangguan tanah adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai seting pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Relai gangguan tanah hanya efektif dipakai untuk pentanahan netral langsung atau dengan tahanan rendah.

Ada dua penggolongan pentanahan dengan tahanan, yaitu pentanahan dengan tahanan tinggi dan pentanahan dengan menggunakan tahanan rendah. Kedua jenis pentanahan ini dibuat untuk membatasi tegangan lebih agar tidak melampaui batas tegangan normal.

1. Pentanahan netral melalui tahanan rendah.

Pentanahan netral sistem dengan tahanan rendah hampir mirip sama dengan pentanahan secara langsung (solid). Besar tahanan dipilih sedemikian rupa, sehingga relai gangguan tanah dapat bekerja mendeteksi arus gangguan. Untuk arus gangguan ke tanah yang lebih besar dari 25% tidak direkomendasikan untuk menggunakan tahanan, sebab akan banyak rugi daya dalam bentuk panas yang hilang.

2. Pentanahan netral melalui tahanan tinggi.

Pentanahan netral sistem dengan tahanan yang akan membatasi arus gangguan ke tanah ke harga yang

sama atau sedikit lebih besar dari arus pelepasan kapasitif sistem. Biasanya untuk sistem ini arus gangguan ke tanah tidak lebih dari 25 A dan digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik bertegangan rendah dan menengah. Sistem pentanahan ini secara efektif mengontrol *transient over voltage* selama terjadi gangguan ke tanah dan memperkecil kerusakan karena kejutan dan busur listrik yang berbahaya pada titik gangguan.

Jenis tanah seperti berpasir, berbatu, tanah liat dan lain-lain mempengaruhi besar tahanan jenis. Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), tahanan jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat sebagai berikut:

1. Tanah rawa = 30 ohm-meter
2. Tanah liat = 100 ohm-meter
3. Tanah lading = 100 ohm-meter
4. Pasir basah = 200 ohm-meter
5. Kerikil basah = 500 ohm-meter
6. Pasir kering = 1000 ohm-meter
7. Kerikil kering = 1000 ohm-meter
8. Tanah berbatu = 3000 ohm-meter

Prinsip kerja GFR sama dengan OCR yaitu berdasarkan pengukuran arus, dimana relai akan bekerja apabila merasakan arus diatas nilai settingnya. GFR dirancang sebagai pengaman cadangan Trafo jika terjadi gangguan hubung singkat fasa terhadap tanah, baik dalam trafo (*internal fault*) maupun gangguan eksternal (*external fault*). Setting arus GFR lebih kecil daripada OCR, karena nilai arus hubung singkatnya pun lebih kecil dari pada arus hubung singkat fasa-fasa.

Setting relai gangguan tanah

$$I_{set} \text{ (primer)} = 0,4 \times I \text{ nominal trafo} \quad (18)$$

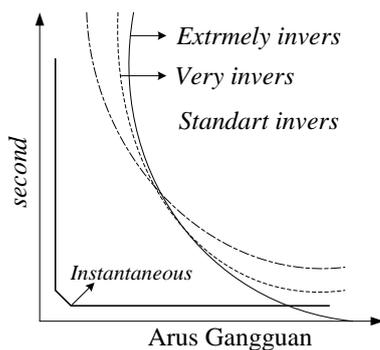
$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \quad (19)$$

Setting waktu (TMS) GFR

$$t = TMS(Td) \times \frac{k}{(I/I_s)^\alpha - 1} + c \quad (20)$$

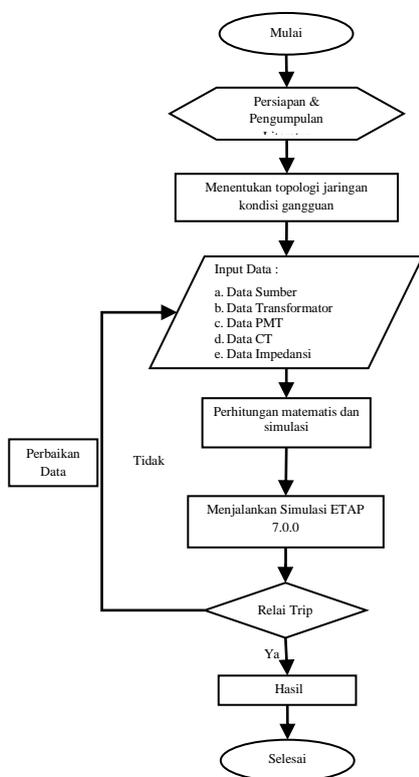
Tabel 1. Konstanta Karakteristik OCR dan GFR

No.	Deskripsi	k	c	α
1.	<i>Definite time</i>	-	0 – 100	-
2.	<i>Standart inverse</i>	0,14	0	0,02
3.	<i>Very inverse</i>	13,5	0	1
4.	<i>Extremely inverse</i>	80	0	2
5.	<i>Long time inverse</i>	120	0	1



Gambar 2. Kurva karakteristik relai tipe inverse

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Pengumpulan data penelitian dilakukan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bantul APP Salatiga berupa data primer peralatan dan peralatan pendukung proteksi pada transformator daya yang meliputi data sumber, data transformator daya I, data PMT, data CT, data beban, data relai arus lebih dan relai gangguan tanah yang dilaksanakan pada tanggal 1 Juli s/d 12 Juli 2013.

Data peralatan yang diambil di Gardu Induk Bantul:

1. Data transformator daya I
 - a. Merek = XIAN
 - b. Tipe = SFZ – 60000/150
 - c. Frekuensi = 50 Hz
 - d. Daya = 60 MVA

- e. Tegangan = 150/20 KV
- f. Impedansi = 12.35 %
- g. Tegangan primer = 150 KV
- h. Tegangan sekunder = 20 KV
- i. Cooling system = ONAN-ONAF

2. Data relai arus lebih (OCR) sisi 150 KV
 - a. Merek = AREVA
 - b. Tipe = MICOM P122
 - c. No. Seri = 36042549
 - d. Karakteristik = Standart Inverse
 - e. Rasio CT = 300/1 A

3. Data relai arus lebih (OCR) sisi 20 KV
 - a. Merek = AREVA
 - b. Tipe = MICOM P122
 - c. No. Seri = BF 1011113346
 - d. Karakteristik = Standart Inverse
 - e. Rasio CT = 2000/5 A

4. Data relai gangguan tanah (GFR) sisi 150 KV
 - a. Merek = AREVA
 - b. Tipe = MICOM P122
 - c. No. Seri = 36042549
 - d. Karakteristik = Standart Inverse
 - e. Rasio CT = 300/1 A

5. Data relai gangguan tanah (GFR) sisi 20 KV
 - a. Merek = AREVA
 - b. Tipe = MICOM P122
 - c. No. Seri = BF 1011113346
 - d. Karakteristik = Standart Inverse
 - e. Rasio CT = 2000/5 A

6. Data PMT
 - a. Merek = ABB
 - b. Tipe = HDL 170/31 A1
 - c. Frekuensi = 50 Hz
 - d. Arus = 3150 A
 - e. Breaking current = 40 kA

7. Data kabel
 - a. Merek = IKI
 - b. Tipe = NA 2XSY
 - c. Ukuran = 1 × 400 cm / 35 mm²

8. Data beban ditiap penyulang:
 - a. Penyulang BNTL 1 = 151 A / 21,16 kV
 - b. Penyulang BNTL 2 = 158 A / 21,16 kV
 - c. Penyulang BNTL 3 = 136 A / 21,16 kV
 - d. Penyulang BNTL 5 = 320 A / 21,16 kV

Bahan atau alat yang digunakan dalam analisis ini adalah:

1. Seperangkat komputer PC untuk mengolah data.
2. Perangkat lunak computer (*software*) ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) Power Station.
3. Satu set printer pencetak data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformator daya I Gardu Induk Bantul mempunyai kapasitas daya 60 MVA dengan frekuensi 50 Hz. Transformator ini mensuplai beberapa penyulang diantaranya adalah penyulang BNL 1, BNL 2, BNL 3 dan BNL 5. Untuk melindungi peralatan ini, khususnya transformator daya adalah dengan dipasangkannya sistem proteksi dan dengan terlindunginya transformator daya ini maka peralatan tidak akan mengalami kerusakan. Sistem proteksi pada transformator daya ada 2 bagian yaitu bagian utama dan bagian cadangan. Untuk bagian utama terdapat proteksi relai differensial dan di bagian cadangan ada proteksi OCR dan GFR. Peralatan proteksi ini masuk dalam jenis sistem proteksi elektrik.

Hubung singkat yang terjadi pada sisi primer (150 kV) pada Gardu Induk Bantul adalah 6,423 kA.

$$\begin{aligned} MVA_{(hs)} &= \sqrt{3} \times V_{\text{sisi primer}} (\text{kV}) \times \text{data hubung singkat (kA)} \\ &= \sqrt{3} \times 150 \times 6,423 \\ &= 1.669 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Impedansi sumber 150 kV

$$\begin{aligned} X_{S(\text{sisi } 150\text{kV})} &= \frac{\text{kV (sisi primer trafo)}^2}{\text{MVA hubung singkat di bus sisi primer}} \\ &= \frac{150^2}{1669} \\ &= 13,48 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi sumber 20 kV

$$\begin{aligned} X_{S(\text{sisi } 20\text{kV})} &= \frac{\text{kV (sisi sekunder trafo)}^2}{\text{kV (sisi primer trafo)}^2} \times X_{S(\text{sisi } 150\text{kV})} \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 13,48 \\ &= 0,24 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator 150 kV

$$\begin{aligned} X_t (\text{pada } 100\%) &= \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA trafo}} \\ &= \frac{150^2}{60} \\ &= 375 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator 20 kV

$$\begin{aligned} X_t (\text{pada } 100\%) &= \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA trafo}} \\ &= \frac{20^2}{60} \\ &= 6,667 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator urutan positif dan negatif sisi 150 kV

$$\begin{aligned} X_t &= \% \text{ yang diketahui} \times X_t (\text{pada } 100\%) \\ &= 12,35\% \times 375 \\ &= 46,312 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator urutan positif dan negatif sisi 20 kV

$$\begin{aligned} X_t &= \% \text{ yang diketahui} \times X_t (\text{pada } 100\%) \\ &= 12,35\% \times 6,667 \\ &= 0,823 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator urutan nol sisi 150 kV

$$\begin{aligned} X_{t_0} &= 10 \times X_t \\ &= 10 \times 46,312 \\ &= 463,12 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi transformator urutan nol sisi 20 kV

$$\begin{aligned} X_{t_0} &= 10 \times X_t \\ &= 10 \times 0,823 \\ &= 8,23 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan positif dan negatif sisi 150 kV

$$\begin{aligned} Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{s1} + Z_{t1} \\ &= j13,48 + j46,312 \\ &= j59,792 \end{aligned}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan positif dan negatif sisi 20 kV

$$\begin{aligned} Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{s1} + Z_{t1} \\ &= j0,24 + j0,823 \\ &= j1,063 \end{aligned}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan nol sisi 150 kV

$$\begin{aligned} Z_{0eq} &= Z_{t_0} + 3.RN \\ &= j463,12 + (3 \times 0) \\ &= j463,12 \end{aligned}$$

Impedansi ekivalen jaringan urutan nol sisi 20 kV

$$\begin{aligned} Z_{0eq} &= Z_{t_0} + 3.RN \\ &= j8,23 + (3 \times 0) \\ &= j8,23 \end{aligned}$$

Gangguan hubung singkat tiga fasa sisi 150 kV

$$\begin{aligned} I_{3\text{fasa}} &= \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \\ &= \frac{150000}{\frac{\sqrt{3}}{j59,792}} \\ &= \frac{86602}{\sqrt{59,792^2}} \\ &= 1448,39 \text{ A} \end{aligned}$$

Gangguan hubung singkat tiga fasa sisi 20 kV

$$\begin{aligned} I_{3\text{fasa}} &= \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \\ &= \frac{20000}{\frac{\sqrt{3}}{j1,063}} \\ &= \frac{11547}{\sqrt{1,063^2}} \\ &= 10862,65 \text{ A} \end{aligned}$$

Gangguan hubung singkat dua fasa sisi 150 kV

$$\begin{aligned} I_{2\text{fasa}} &= \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} \\ &= \frac{150000}{2 \times (j59,792)} \\ &= \frac{150000}{\sqrt{119,584^2}} \\ &= 1254,35 \text{ A} \end{aligned}$$

Gangguan hubung singkat dua fasa sisi 20 kV

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_1 e q} = \frac{20000}{2 \times (j1,063)} = \frac{20000}{\sqrt{2,126^2}} = 9407,36 \text{ A}$$

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sisi 150 kV

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_1 e q + Z_0 e q} = \frac{3 \times \frac{150000}{\sqrt{3}}}{2 \times (j59,792) + j463,12} = \frac{259807,62}{\sqrt{119,584^2 + 463,12^2}} = \frac{582,704}{259807,62} = 445,86 \text{ A}$$

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sisi 20 kV

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_1 e q + Z_0 e q} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times (j1,063) + j8,23} = \frac{34641}{\sqrt{2,126^2 + 8,23^2}} = \frac{10,356}{34641} = 3345 \text{ A}$$

Penyetelan pada sisi 150kV dan sisi 20 kV transformator daya terlebih dahulu harus mengetahui arus nominalnya.

Pada sisi 150 kV

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} V_{base}} = \frac{60000}{\sqrt{3} \times 150} = \frac{60000}{259,8} = 230,9 \text{ A}$$

Dibulatkan menjadi 231 A

Pada sisi 20kV

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} V_{base}} = \frac{60000}{\sqrt{3} \times 20} = \frac{60000}{34,6} = 1734,1 \text{ A}$$

Dibulatkan menjadi 1734 A

Relai arus lebih (OCR)

Arus seting primer sisi 150 kV

$$\text{Iset (primer)} = 1,2 \times \text{I nominal trafo} = 1,2 \times 231 = 277,2 \text{ A}$$

Arus seting primer sisi 20 kV

$$\text{Iset (primer)} = 1,2 \times \text{I nominal trafo} = 1,2 \times 1734 = 2080,8 \text{ A}$$

Arus seting sekunder sisi 150 kV

$$\text{Iset (sekunder)} = \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} = 277,2 \times \frac{1}{300/1} = 0,924 \text{ A dibulatkan menjadi 1 A}$$

Arus seting sekunder sisi 20 kV

$$\text{Iset (sekunder)} = \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} = 2080,8 \times \frac{1}{2000/5} = 5,202 \text{ A dibulatkan menjadi 5 A}$$

TMS sisi 150 kV

$$1,5 = TMS(Td) \times \frac{0,14}{(1254,35/277,2)^{0,02-1}} + 0$$

$$1,5 = TMS(Td) \times 4,57$$

$$TMS(Td) = \frac{1,5}{4,57} = 0,33$$

TMS sisi 20 kV

$$1 = TMS(Td) \times \frac{0,14}{(9407,36/2080,8)^{0,02-1}} + 0$$

$$1 = TMS(Td) \times 4,57$$

$$TMS(Td) = \frac{1}{4,57} = 0,22$$

Relai gangguan tanah (GFR)

Arus seting primer sisi 150 kV

$$\text{Iset (primer)} = 0,4 \times \text{I nominal trafo} = 0,4 \times 231 = 92,4 \text{ A}$$

Arus seting primer sisi 20 kV

$$\text{Iset (primer)} = 0,4 \times \text{I nominal trafo} = 0,4 \times 1734 = 693,6 \text{ A}$$

Arus seting sekunder sisi 150 kV

$$\text{Iset (sekunder)} = \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} = 92,4 \times \frac{1}{300/1} = 0,308 \text{ A}$$

Arus seting sekunder sisi 20 kV

$$\text{Iset (sekunder)} = \text{Iset (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} = 693,6 \times \frac{1}{2000/5} = 1,734 \text{ A}$$

TMS sisi 150 kV

$$1,5 = TMS(Td) \times \frac{0,14}{(445,86/92,4)^{0,02-1}} + 0$$

$$1,5 = TMS(Td) \times 4,38$$

$$TMS(Td) = \frac{1,5}{4,38} = 0,34$$

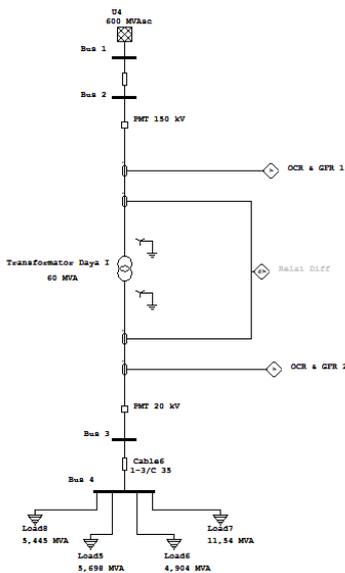
TMS sisi 20 kV

$$1 = TMS(Td) \times \frac{0,14}{(3345/693,6)^{0,02} - 1} + 0$$

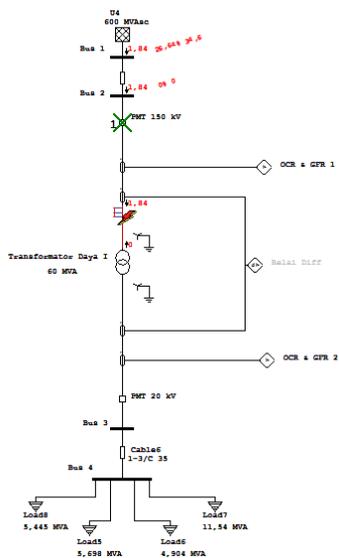
$$1 = TMS(Td) \times 4,38$$

$$TMS(Td) = \frac{1}{4,38} = 0,23$$

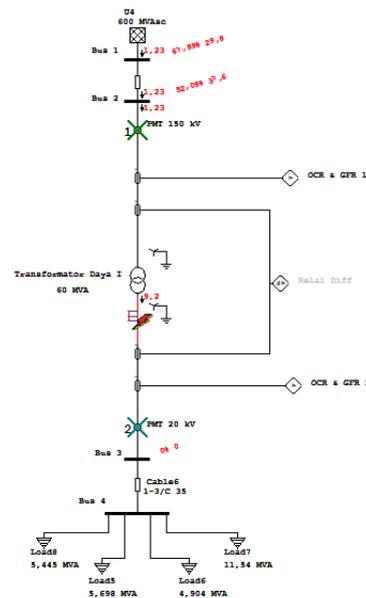
Setelah mendapatkan data yang diinginkan, kemudian membuat pemodelan proteksi dengan relai arus lebih dan relai gangguan tanah terhadap transformator daya yang ditambah dengan peralatan pendukung untuk pembuatan pemodelan proteksi menggunakan program ETAP Power Station.



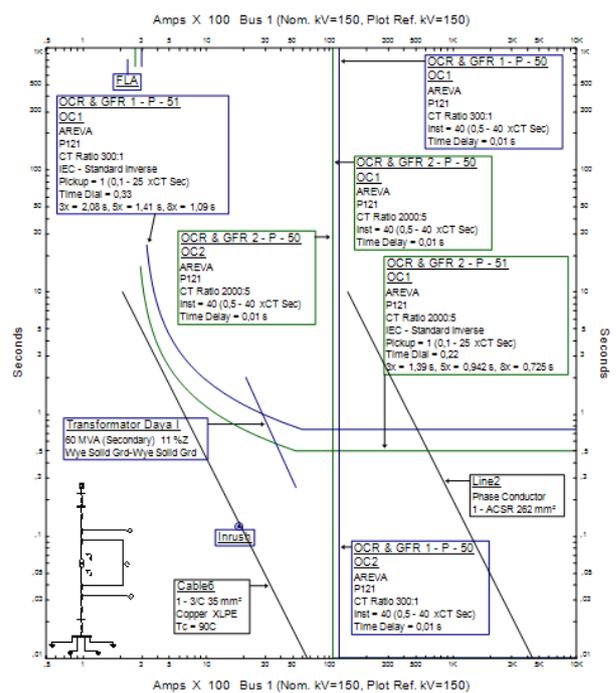
Gambar 4. Single line OCR dan GFR menggunakan ETAP saat kondisi normal



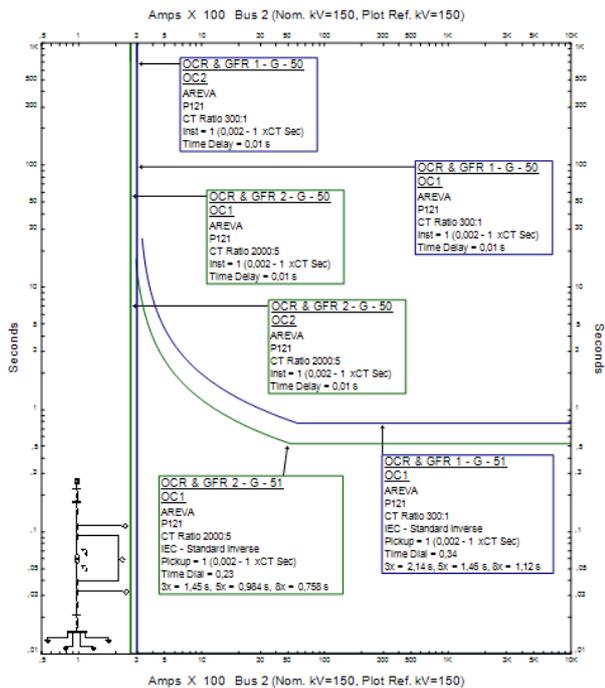
Gambar 5. Single line OCR dan GFR menggunakan ETAP saat kondisi gangguan di 150 kV



Gambar 6. Single line OCR dan GFR menggunakan ETAP saat kondisi gangguan di 20 kV



Gambar 7. Karakteristik waktu relai arus lebih pada transformator daya



Gambar 8. Karakteristik waktu relai gangguan tanah pada transformator daya

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengambilan data di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bantul Yogyakarta dan melakukan perhitungan seting untuk relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) kemudian melakukan simulasi unjuk kerja menggunakan aplikasi ETAP, kesimpulan yang dapat penulis ambil selama analisis adalah:

1. Sistem proteksi OCR dan GFR pada transformator daya dapat berfungsi sebagai proteksi utama atau proteksi cadangan. Menjadi proteksi utama apabila terjadi gangguan di luar transformator daya dan akan menjadi proteksi cadangan apabila relai *differensial* atau *Restricted Earth Fault* (REF) mengalami kegagalan proteksi di dalam transformator daya. Relai OCR dan GFR ini akan bekerja apabila mendeteksi arus berlebih dari arus seting yang telah ditentukan dan selanjutnya memberi perintah PMT untuk trip.
2. Setelah melakukan perhitungan, didapat arus seting primer OCR untuk sisi 150 kV sebesar 277,2 A dan sisi 20 kV sebesar 2.080,8 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,33 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,22. Sedangkan arus seting primer GFR untuk sisi 150 kV sebesar 92,4 A dan sisi 20 kV sebesar 693,6 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,34 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,23.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi, Irfan, 2009, “Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang

Sadewa Di GI Cawang”, Skripsi, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
 Aviariadi, Adi Ariadi, 2007, “Sistem Proteksi Relai Overcurrent Pada Transformator Gardu Induk Jajar Surakarta 150/20 KV”, Skripsi, Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi AKPRIND
 Badruddin, “Sistem Proteksi Modul 4 Relai Arus Lebih”, Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB
 Badruddin, “Sistem Proteksi Modul 5 Relai Gangguan Tanah”, Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB
 Iswara, Faizal, 2010, “Evaluasi Sistem Proteksi Arus Lebih Jaringan 20 KV Di Gardu Induk Ciamis”, Tesis Program Pasca Sarjana, Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik UGM
 Kadir, Abdul, 1989, “Transformator”, Jakarta: Gramedia
 Nova, Tirza; Syahrial, 2013, “Perhitungan Setting Rele OCR Dan GFR Pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator Di Perusahaan "X"”, Jurnal, Bandung: Institut Teknologi Nasional
 Purba, Padelis S, 2012, “Proteksi Sistem Tenaga Listrik”, Medan: Tugas Akhir, Universitas Negeri Medan
 Rosidi, Hafizh Rahman, 2010, “Rele Arus Lebih/OCR Dan GFR Sebagai Proteksi Trafo Dan Penyulang Pada GI 150 KV Krapyak”, Makalah Seminar Kerja Praktek, Semarang: Universitas Diponegoro
 Sutarti, 2010, “Analisis Perhitungan Setting Arus Dan Waktu Pada Relai Arus Lebih (OCR) Sebagai Proteksi Trafo Daya Di Gardu Induk Cawang Lama Jakarta”, Jurnal Sains dan Teknologi, Riau: Sekolah Tinggi Teknologi Indragiri
 Taqiyuddin, M. Alawiy, 2006, “Diklat Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Delay Elektromagnetis”, Malang: Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
 _____, 1984, “Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik”, Perusahaan Umum Listrik Negara.
 _____, 2009, “PUSDIKLAT Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tegangan Tinggi”, PT. PLN (Persero)
 _____, 2009, Surabaya, “Distribusi Jawa Timur Area Pengaturan Distribusi Surabaya”, PT. PLN (Persero)