

Setting Relai Gangguan Tanah (Gfr) Outgoing Gh Tanjung Pati Feeder Taram Pt. Pln (Persero) Rayon Lima Puluh Kota

NASRUL, ST., M. KOM

ABSTRAK

Daerah Taram merupakan daerah pelayanan listrik PT PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota. Feeder Taram ini, sering mengalami gangguan fasa ke tanah yang dapat menyebabkan penyaluran listrik ke daerah Taram tidak lancar. Sesuai dengan rekapitulasi laporan harian gangguan JTM pada bulan Juni 2015, gangguan satu fasa ke tanah sudah tercatat sampai 27 kali gangguan. Dari keseluruhan outgoing feeder di GH Tanjung Pati, Feeder taram inilah yang paling sering mengalami gangguan satu fasa ke tanah yakni 12 kali gangguan. (Sumber : Area Payakumbuh)

Upaya untuk mengatasi gangguan satu fasa ketanah sudah dilakukan tetapi gangguan tersebut masih sering terjadi. Upaya selanjutnya yaitu dengan melakukan penyettingan relai ulang karena nilai setting arus GFR disisi outgoing GH Tanjung Pati Feeder Taram kurang efektif. Setting relai hasil analisa yang terdapat pada analisis perbandingan hasil perhitungan dengan data lapangan, untuk mengkoordinasikan sekaligus mempercepat respon jika terjadi gangguan. Resetting relai, data setingan relai lama (data lapangan) GFR Feeder Taram pada tanggal 19 Januari 2015 dengan I_0 0,20 A dengan TMS 0,05(tanpa satuan). Data setingan relai baru berdasarkan perhitungan tanggal 5 September 2015 dengan I_0 0,19 A dengan TMS 0,05(tanpa satuan).

Kata kunci : GFR, gangguan satu fasa ke tanah, setting relai

I.PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang dihadapi PLN yaitu adanya gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu bentuk gangguan yang terjadi pada sistem yaitu gangguan fasa ke tanah. Dengan terjadinya gangguan fasa ke tanah ini, mengakibatkan sistem tenaga listrik menjadi terganggu. Dalam rangka meminimalisir dampak dari gangguan fasa ke tanah pada penyulang, diperlukan peralatan yang disebut sistem proteksi. Sistem proteksi ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya gangguan dan secepat mungkin mengisolir bagian system yang terganggu agar tidak mempengaruhi keseluruhan system. Untuk itu diperlukan penyettingan relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) yang bertujuan untuk menjamin kontinuitas penyaluran daya system tersebut.

Daerah Taram merupakan daerah pelayanan listrik PT PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota, dimana energi listrik disalurkan melalui Feeder Taram. Feeder Taram ini, sering mengalami

gangguan fasa ke tanah yang dapat menyebabkan penyaluran listrik ke daerah Taram tidak lancar. Sesuai dengan rekapitulasi laporan harian gangguan Jaringan Tegangan Menengah pada bulan Juni 2015, gangguan satu fasa ke tanah sudah tercatat sampai 27 kali gangguan. Yang mana dari keseluruhan outgoing feeder di GH Tanjung Pati, Feeder taram inilah yang paling sering mengalami gangguan satu fasa ke tanah yakni 12 kali gangguan. (Sumber : Data PLN Area Payakumbuh).

Gangguan yang terjadi sepanjang feeder Taram kadang kala tidak membuat relay GFR memerintahkan PMT untuk memutuskan rangkaian, keadaan ini dapat menyebabkan peralatan-peralatan listrik menjadi rusak karena arus yang mengalir tidak stabil.

Makalah ini menyelidiki penyettingan relay gangguan tanah (GFR) pada jaringan tegangan menengah. Penyelidikan dilakukan melalui studi kasus di jaringan tegangan menengah 20 kV outgoing GH tanjung pati (penyulang Taram).

II. LANDASAN TEORI

2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan[2].

Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (6 kV – 20 kV), yang terdiri dari :

- Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
- Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.1.2 Perangkat Sistem Proteksi

Perangkat utama sistem proteksi adalah[2] :

- a. Relai
- b. CT - PT
- c. PMT
- d. Baterai / Catu Daya
- e. Wiring

a. Relai

Ada berbagai jenis relay pada sistem proteksi sesuai dengan peralatan yang akan diamankan/diproteksi. Pada umumnya untuk proteksi pada sistem distribusi yang banyak digunakan adalah [2] :

1. Relay Arus Lebih / *Over Current Relay* (OCR)
2. Relay Gangguan Tanah / *Ground Fault Relay* (GFR)

Relai ini akan bekerja bila arus yang melewati sensor relay besarnya melebihi arus yang disetting pada relay, sehingga kontak relay menutup dan mengirimkan sinyal pada coil PMT untuk memerintahkan PMT bekerja.

b. CT-PT

Current Transformer (CT) atau trafo arus merupakan peralatan listrik untuk menurunkan arus yang besar menjadi arus yang kecil. Arus yang besar perlu diturunkan karena rele hanya mampu dilewati arus yang kecil misalnya maksimum 5 A. Perbandingan arus yang diturunkan disebut dengan Rasio CT misalnya 500/5 A, artinya arus yang masuk pada sisi primer yang besarnya 500 A sebanding dengan arus yang keluar pada sisi sekunder 5 A. Perbandingannya adalah $500:5 = 100$ atau rasio CT tersebut sebesar 100 kali [2].

Demikian juga untuk tegangan yang besar perlu diturunkan menjadi tegangan yang kecil karena rele didesain untuk dialiri tegangan yang kecil. Peralatan untuk menurunkan tegangan tersebut dinamakan Trafo Tegangan/*Potential Transformer* (PT). Contoh Rasio PT : 20000/ 100 Volt = 200 kali .

Baik CT maupun PT tersebut memiliki kelas ketelitian yang diperlukan untuk proteksi maupun pengukuran. Kelas CT-PT tersebut menentukan tingkat kesalahan/ error dari arus/ tegangan yang diturunkan, sehingga perlu dipilih kelas yang sesuai penggunaannya berdasarkan Standard yang ditentukan.

c. Baterai / Catu Daya

Baterai / catu daya diperlukan untuk menginjeksi tegangan agar supaya rele dan PMT dapat bekerja. Untuk dapat siap bekerja maka rele harus mendapat tegangan secara terus menerus sesuai dengan tegangan nominal yang diperlukan suatu rele dan PMT. Baterai merupakan sumber tegangan DC misalnya yg diperlukan tegangan 24 atau 48 Volt, baterai ini ada jenis baterai kering dan baterai basah. Tegangan DC juga dapat diperoleh dari penyearah/ *Rectifier* [2].

d. Wiring

Wiring adalah sistem pengawatan untuk menghubungkan antara komponen proteksi yang meliputi : Rele, PMT, CT-PT dan Baterai sehingga perangkat sistem proteksi tersebut dapat bekerja sesuai ketentuan.

Ada persyaratan yang harus diperhatikan didalam pengawatan misalnya penggunaan jenis kabel/kawat, besar penampang kabel, panjang kabel, warna kabel, dan kode-kode[2].

2.1.3 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya maka semakin besar pula gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengamanan yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam[2].

Tujuan utama sistem proteksi adalah :

- Mendeteksi kondisi *abnormal* (gangguan)
- Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.2 Gangguan Hubung Singkat

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari pembangkit, gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Berdasarkan konfigurasi jaringan, pada sistem ini setiap gangguan yang ada pada penghantar, akan mengganggu semua beban yang ada atau apabila terjadi gangguan pada salah satu feeder maka semua pelanggan yang terhubung pada GI tersebut akan terganggu [2].

Selama terjadi gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi suplai ke sirkuit tiga fasa yang berdekatan. Arus gangguan yang besar dapat merusak tidak hanya peralatan yang terganggu, tetapi juga instalasi yang dilalui arus gangguan. Gangguan dalam peralatan yang penting dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Misalnya suatu gangguan pada daerah suatu pembangkit yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem interkoneksi.

Gangguan yang terjadi pada GI bersifat temporer, apabila terjadi gangguan maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali baik secara otomatis maupun secara manual. Salah satu contoh gangguan yang bersifat sementara ini adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat burung, dan kelelawar serta layang-layang (PT. PLN 2005:13). Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Perhitungan hubung singkat adalah analisis suatu sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut.

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi.

Penyebab gangguan pada sistem distribusi dapat berasal dari gangguan dalam sistem sendirinya dan gangguan dari luar. Penyebab gangguan dari dalam antara lain:

1. Tegangan lebih dan arus tak normal
 2. Pemasangan tidak baik
 3. Penuaan
 4. Beban lebih
 5. Kegagalan kerja peralatan pengaman
- Penyebab gangguan dari luar untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) antara lain:
1. Angin yang menyebabkan dahan / ranting pohon mengenai SUTM.
 2. Surja petir
 3. Kegagalan atau kerusakan peralatan pada saluran

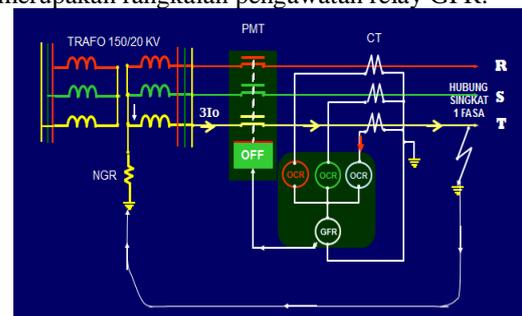
4. Hujan dan Cuaca.

5. Binatang dan benda – benda lain.

2.3 Relay Hubung Tanah (GFR)

2.3.1 Pengertian *Ground Fault Relay (GFR)*

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh *Over Current Relay (OCR)*. Dengan demikian diperlukan rela pengaman gangguan tanah. Relay hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relay arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dan kegunaannya. Bila relay OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Gambar 11 dibawah ini merupakan rangkaian pengawatan relay GFR.



Gambar 11. Rangkaian Pengawatan Relay GFR [1] Gangguan HS terjadi pada fasa T, arus mengalir masuk ke GFR -> PMT trip

2.3.2 Penyetelan *Ground Fault Relay (GFR)*

Sebagian besar gangguan hubung singkat yang terjadi adalah gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka relay yang perlu digunakan adalah *Ground Fault Relay (GFR)*. Untuk gangguan penggerak *Ground Fault Relay (GFR)* dipakai arus urutan nol serta tegangan urutan nol. Untuk sistem yang beroperasi dalam keadaan normal arus urutan nol tidak mengalir [2].

Pada prinsipnya kerja *Ground Fault Relay (GFR)* dan *Over Current Relay (OCR)* sama namun karena besar arus gangguan tanah lebih kecil dibandingkan besar arus gangguan fasa maka digunakan *Ground Fault Relay (GFR)*. Prinsip kerja *Ground Fault Relay (GFR)* yaitu pada kondisi normal dengan beban seimbang arus – arus fasa I_r , I_s , dan I_t (I_b) sama besar sehingga kawat netral tidak timbul arus dan relay gangguan tanah tidak dialiri arus. Namun bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral. Arus urutan nol ini akan mengakibatkan *Ground Fault Relay (GFR)* bekerja.

Untuk menentukan penyetelan (*setting*) *Ground Fault Relay (GFR)* terlebih dahulu diketahui besar arus hubung singkat yang mungkin

terjadi, dan harus diketahui terlebih dahulu impedansi sumber, reaktansi trafo tenaga, dan impedansi penyulang. Dan setelah ketiga komponen yang telah disebutkan, baru dapat ditentukan total impedansi jaringan. Total impedansi jaringan inilah yang akan langsung digunakan dalam perhitungan arus hubung singkat. Dalam perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah sangat dipengaruhi oleh sistem pentanahan yang digunakan.

2.3.3 Setting GFR

Arus Setting GFR

Penyetelan relay GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Untuk menentukan Iset relay gangguan tanah biasanya dipilih 10% - 20% dari Iset OCR nya (*Over Current Relay*) dimana untuk setelan arus OCR dihitung berdasarkan arus beban mengalir dipenyulang atau *incoming* transformator : Untuk relay arus lebih yang terpasang dipenyulang tersebut. Untuk reley arus lebih yang terpasang di *incoming* transformator dihitung berdasarkan arus nominal transformator tersebut. Relay *invers* biasanya diset sebesar (1,05 – 1,1) x Ibeban sedangkan relay *defenite* diset sebesar (1,02 -1,3) x Inominal.

Arus *setting* untuk GFR baik pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga adalah sebagai berikut [2] :

$$Iset(prim) = 0,2 \times Inominal \text{ trafo} \dots\dots\dots(19)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay GFR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga[2].

$$Iset \text{ (sekunder)} = Iset \text{ (primer)} \times \frac{1}{Ratio \text{ CT}} \dots\dots\dots(20)$$

Setelan waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyentingan TMS yang sama dengan relay OCR. Tetapi waktu relay yang diinginkan berbeda karena relai GFR cenderung lebih sensitif dibandingkan relay OCR [2].

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay GFR sisi *incoming* 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perhitungan Impedansi

a. Reaktansi hubung singkat

Menghitung impedansi sumber dapat menggunakan persamaan 21 .

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MVA} = \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

X_{sc} = Reaktansi hubung singkat yang akan dicari (Ohm)

KV^2 = Tegangan fasa-fasa sistem 150 KV=150.000 Volt

MVA = Data hubung singkat di bus 150 KV

b. Reaktansi Transformator Tenaga

1. Reaktansi urutan positif dan negatif (X_{t1} dan X_{t2})

Nilai reaktansi diperoleh dari data transformator, untuk mendapatkan nilainya dalam satuan ohm, maka dihitung dengan menggunakan persamaan 22.

Nilai ohm pada 100% daya transformator:

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(22)$$

Dimana :

X_t = Reaktansi pada 100% daya transformator

KV^2 = Tegangan fasa-fasa sistem 20 kV=20.000V

MVA = Daya transformator tenaga

Nilai reaktansi transformator daya ini adalah nilai reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1}=X_{t2}$), jadi:

$$X_t = X_t \text{ (data trafo)} \times X_t \text{ (pada 100\%)} \dots\dots\dots(23)$$

2. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Untuk menentukan reaktansi urutan nol diperoleh dari data transformator itu sendiri, yaitu dengan melihat belitan delta pada transformator.

a. Untuk transformator daya hubungan belitan ΔY , dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.

b. Untuk transformator daya hubungan belitan Y_{yd} , dimana kapasitas belitan delta (d) sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam transformator, tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka $X_{t0} = 3 * X_{t1}$.

c. Untuk transformator daya dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan daya di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 * X_t .

c. Impedansi Jaringan Distribusi

Perhitungan impedansi jaringan distribusi 20 kV adalah impedansi (ohm/km) yang diperoleh dari tabel (lampiran 3) yang besarnya tergantung pada luas dan panjang penampang, dengan persamaan 24 dan 25.

$$Z1 \text{ jar} = Z2 \text{ jar} = (R1 + jX1) \frac{ohm}{km} \times km \dots\dots\dots(24)$$

$$Z0 \text{ jar} = (Ro + jXo) \frac{ohm}{km} \times km \dots\dots\dots(25)$$

Dimana:

Z_{1jar} = Impedansi urutan positif jaringan

Z_{2jar} = Impedansi urutan negatif jaringan

Z_{0jar} = Impedansi urutan nol jaringan

d. Impedansi Ekivalen

Impedansi ekivalen yang dihitung antara lain:

a. Impedansi ekivalen urutan positif (Z_{1eq})

Perhitungan Z_{1eq} dapat menggunakan persamaan

26.
 $Z1_{eq} = X_{sc} + X_{t1} + Z1_{jar} \dots\dots\dots(26)$
 b. Impedansi ekivalen urutan negatif ($Z2_{eq}$)
 $Z2_{eq} = Z1_{eq}$
 c. Impedansi ekivalen urutan nol ($Z0_{eq}$)
 $Z0_{eq} = 3 R_n + X_{t0} + Z0_{jar} \dots\dots\dots(27)$

Dimana :
 X_{sc} = Impedansi sumber
 X_{t1} = Reaktansi transformator tenaga urutan positif
 X_{t0} = Reaktansi transformator tenaga urutan nol
 $Z1_{jar}$ = Impedansi urutan positif jaringan ($Z1_{jar} = Z2_{jar}$)
 $Z0_{jar}$ = Impedansi urutan nol jaringan
 R_n = Nilai tahanan NGR
 Masing-masing impedansi dihitung dari titik gangguan sampai ke sumber.

B. Arus Gangguan Hubung Singkat
 Gangguan hubung singkat mungkin terjadi pada setiap titik pada jaringan distribusi, untuk itu perlu mengetahui besarnya arus gangguan hubung singkat tersebut terlebih dahulu sebelum gangguan tersebut benar-benar terjadi di dalam sistem. Selain itu dengan mengetahui besarnya arus gangguan, maka dapat diketahui besar setting peralatan proteksi jaringan distribusi yang dibutuhkan.

Rumus untuk menghitung arus hubung singkat :
 $I = \frac{V}{Z}$ (Hukum Ohm)

- Dimana :
 I = Arus gangguan yang mengalir pada hambatan Z (Ampere)
 V = Tegangan sumber (volt)
 Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)
 Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah adalah nilai impedansi (Z), seperti berikut:
 a. Z untuk gangguan hubung singkat 3 fasa = Z_1
 b. Z untuk gangguan hubung singkat 2 fasa = $Z_1 + Z_2$
 c. Z untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah = $Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana :
 Z_1 = Impedansi urutan positif
 Z_2 = Impedansi urutan negatif
 Z_0 = Impedansi urutan nol
 1) Arus gangguan hubung singkat 3 fasa
 Arus gangguan hubung singkat 3 fasa dihitung dengan menggunakan persamaan 28.
 $I_{f3fasa} = \frac{E_{fasa}}{Z1_{eq}} \dots\dots\dots(28)$
 Dimana :
 I_{f3fasa} = Arus gangguan 3 fasa yang dicari (Ampere)
 E_{fasa} = Tegangan fasa netral sistem 20 kV = $20.000/\sqrt{3}$ volt
 $Z1_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif

2) Arus Gangguan Hubung Singkat 2 fasa
 Arus gangguan hubung singkat 2 fasa dihitung dengan menggunakan persamaan 29 dan 30.

$I_{f2fasa} = \frac{E_{fasa-fasa}}{Z1_{eq}+Z2_{eq}} \dots\dots\dots(29)$
 Karena $Z1 = Z2$, maka :
 $I_{f2fasa} = \frac{E_{fasa-fasa}}{2 \times Z1_{eq}} \dots\dots\dots(30)$

Dimana :
 I_{f2fasa} = Arus gangguan 2 fasa yang dicari (Ampere)
 E_{fasa} = Tegangan fasa-fasa sistem 20 kV = 20.000 volt
 $Z1_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif
 $Z2_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan negatif

3) Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah
 Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 31 dan 32.

$I_{f1fasa} = \frac{3 \times E_{fasa}}{Z1_{eq}+Z2_{eq}+Z0_{eq}} \dots\dots\dots(31)$
 Karena $Z1_{eq} = Z2_{eq}$, maka :
 $I_{f1fasa} = \frac{3 \times E_{fasa}}{2 \times Z1_{eq}+Z0_{eq}} \dots\dots\dots(32)$

Dimana :
 I_{f1fasa} = Arus gangguan 1 fasa yang dicari (Ampere)
 E_{fasa} = Tegangan fasa netral sistem 20 kV = 20.000 x $\sqrt{3}$
 $Z1_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif
 $Z2_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan negatif
 $Z0_{eq}$ = Impedansi ekivalen urutan nol

C. Setting Relai Arus Lebih
 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, dipergunakan untuk menentukan nilai setting relai arus lebih, terutama nilai setting T_{ms} (*Time multiple setting*) dari relai arus lebih dengan karakteristik jenis *invers*. Untuk memperoleh *setting* arus, digunakan perhitungan :

- Untuk relai arus lebih yang terpasang di penyulang keluar (*outgoing feeder*), dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.
- Untuk relay arus lebih yang terpasang di penyulang masuk (*incoming feeder*), dihitung berdasarkan arus nominal transformator tenaga.

Sesuai *British Standar*, untuk:
 b. Relay *Inverse* diset sebesar:
 $1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{beban} \dots\dots\dots(33)$
 c. Relay *definite* diset sebesar:
 $1,2 \text{ s/d } 1,3 \times I_{beban} \dots\dots\dots(34)$

Persyaratan yang harus dipenuhi adalah penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang) tidak $\leq 0,3$ detik. Ini bertujuan agar relay tidak sampai trip lagi, akibat arus *Inrush current* dari transformator distribusi yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut dioperasikan.
 Penyetelan relay arus gangguan tanah dapat distel mulai 6% s/d 12% x I_{f1fasa} terkecil, nilai ini untuk

mengantisipasi jika penghantar tersentuh pohon (R besar) yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

D. *Setting Time Multiple Setting (Tms)*

Setting Tms sisi hilir :

$$Tms = \frac{tx \left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{\alpha-1}}{\beta} \dots\dots\dots(35)$$

Jadi :

$$t = \frac{\beta \times Tms}{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{\alpha-1}} \dots\dots\dots(36)$$

Setting Tms sisi hulu :

$$Tms = \frac{(t+\Delta t)x \left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{\alpha-1}}{\beta} \dots\dots\dots(37)$$

Dimana :

- t = Waktu kerja relay pada sisi hilir (detik)
- Δt = Selisih waktu kerja relay antara sisi hilir dan sisi hulu (0,3 – 0,4 dtk)
- Tms = *Time multiple setting* (tanpa satuan)

I_{fault} = Besarnya arus gangguan hubung singkat (A)

- a. Setting arus lebih (*inverse*), diambil dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa terbesar.
- b. *Setting relai arus gangguan tanah* (*inverse*), diambil arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah terbesar.

I_{set} = Besarnya arus setting sisi primer (A)

- a. Setting relai arus lebih (*inverse*) diambil 1,05 s/d 1,3 x I beban
- b. Setting relai arus gangguan tanah (*Inverse*) diambil 6% s/d 12% x I gangguan hubung singkat 1 fasa terkecil.

α,β = konstanta sesuai karakteristik relay (tabel 1)

Tabel 1. Faktor β dan α sesuai dengan karakteristik relay

KONSTANTA GRAFIK INVERSE		
Karakteristik Relai	β	α
IEC-SI (Standard Inverse)	0,14	0,02
IEC-VI (Very Inverse)	13,5	1
IEC-LTI (Long Inverse)	120	1
IEC-EI (Extremely Inverse)	80	2

3.1.4 Metode Pengambilan Data

Data diperoleh dengan melakukan observasi langsung ke lapangan PT PLN (Persero) Area Payakumbuh, Gardu Induk Payakumbuh dan Rayon Lima Puluh Kota. Data-data yang didapatkan adalah data yang terbaca dari *mettering*

peralatan pada GI Payakumbuh dan GH Tanjung Pati. *Mettering* berupa relai-relai seperti GFR.

3.1.5 Metode Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengambilan data di atas di hitung dengan rincian sebagai berikut :

1. Perhitungan *setting* relai arus gangguan tanah Nilai setting gangguan yang dihitung pada GH Tanjung Pati *Outgoing Feeder* Taram.
2. Langkah perhitungan yang dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai dari gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah adalah sebagai berikut :
 - a. Perhitungan impedansi
 - Reaktansi hubung singkat di sistem 150 kV
 - Reaktansi transformator tenaga
 - Impedansi Jaringan Distribusi
3. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah
4. Penentuan lokasi (titik) gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dari GH ke ujung *feeder* Taram.

Dengan mengetahui lokasi gangguan dan besar arus yang terjadi dengan persentase panjang jaringan 1% dari pangkal GH Tanjung Pati, maka dapat mempermudah mengetahui titik lainnya yang terjadinya gangguan berdasarkan arus gangguan yang tercatat pada relay di GH (*outgoing feeder* Taram).

5. Perhitungan *setting* relay Gangguan Tanah dan Tms (*Standard Invers*)

Untuk mengetahui *setting* relay arus gangguan tanah beban diambil dari data gangguan hubung singkat 1 fasa dan Untuk melihat waktu kerja relay yang akan digunakan sebagai perbandingan.

IV. PEMBAHASAN

- A. Data teknis *Feeder* Taram, GH Tanjung Pati
 1. Data Jaringan
 - Dengan panjang jaringan *Feeder* Taram 33,14 kms dengan memakai 2 jenis penghantar .
 2. Data GI Payakumbuh
 - Tabel . Data GI Payakumbuh

Merk	PAUWELS TRAF0 ASIA
Serial Number	96 P 0017
Daya	30 MVA
Tegangan	150/20 kV
Impedansi (Z%)	12,31%
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Ratio CT Trafo	2000/5
Arus Nominal Trafo	866 Ampere
Hubungan belitan trafo	YN yn 0 (d/IEC76)
Ground resistor	40 Ω

3. Data Peralatan Pengaman Yang terpasang di GH Tanjung Pati

Tabel 2. Data peralatan pengaman Feeder masuk GH

CT Terpasang	600/5 A
Merk Relay	GE Mutilin
Type Relay	350 man-ag
Input CT	5 A

Tabel 3. Data peralatan pengaman Feeder keluar GH

CT Terpasang	100/5 A
Merk Relay	GE Multilin
Type Relay	350 man-ag
Input CT	5 A

B. Perhitungan Impedansi

Reaktansi hubung singkat di sistem 150 KV digunakan persamaan 21.

$$X_{sc} \text{ (sisi 150 KVA)} = \frac{KV^2}{MVA} = \frac{150^2}{1835,77} = 12,25 \text{ ohm}$$

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat di sistem 20 kv Jadi hasil diatas dikonversikan dulu ke sistem 20 KV dengan menggunakan persamaan .

$$X_{sc} \text{ (sisi 20 KVA)} = \frac{20^2}{150^2} \times 12,25 = 0,21 \text{ ohm}$$

Reaktansi trafo tenaga :

Reaktansi Urutan Positif dan Negatif ($X_{t1}=X_{t2}$)

Untuk menentukan reaktansi transformator tenaga digunakan persamaan (22).

$$X_{t1} \text{ (pada 100\%)} = \frac{KV^2}{MVA} = \frac{20^2}{30} = 13,33 \text{ ohm}$$

Jadi persamaan (23).

$$X_{t1} = X_1 \text{ (data trafo)} \times X_{t1} \text{ (pada 100\%)} = 12,31\% \times 13,33 \text{ ohm} = 1,6409 \text{ ohm}$$

Reaktansi Urutan Nol (X_{t0})

Untuk menentukan reaktansi urutan nol maka digunakan persamaan berikut:

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} = 3 \times 1,6409 \text{ ohm} = 4,9228 \text{ ohm}$$

Impedansi Jaringan Distribusi

Untuk menghitung impedansi jaringan, diperlukan data jenis penghantar, panjang penghantar dan impedansi penghantar (lampiran 3). Jaringan distribusi antara GI – GH

Jenis penghantar : A3C 240 mm²

Panjang penghantar: 12 kms

Dengan Impedansi urutan positif (ohm/km) : 1,612 + j3,789 dan impedansi urutan nol (ohm/km) : 3,388 + j19,239

Jaringan distribusi antara GH – ujung feeder Taram

Pada feeder Taram, terdapat dua jenis penghantar yaitu:

1. Jenis penghantar A3C 70 mm²

2. Jenis penghantar A3C 35 mm²

Jenis penghantar : A3C 70 mm²

Panjang penghantar : 27,6 kms

Dengan impedansi urutan positif (ohm/km) : 12,718 + j9,858 dan impedansi urutan nol (ohm/km) : 16,802 + j45,393.

Panjang penghantar : 5,54 kms

Dengan impedansi urutan positif (ohm/km) : 5,087 + j2,092 dan impedansi urutan nol (ohm/km) : 5,904 + 9,199.

Jadi dengan panjang jaringan total 33,14 kms impedansi urutan positif (ohm/km) : 17,805 + j 11,95 dan impedansi urutan nol (ohm/km) : 22,706 + j 54,592

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah (GH – Ujung feeder Taram) Untuk mengetahui besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, maka dapat menggunakan persamaan (31). Dengan menetapkan persentase jarak lokasi sebesar 1% didepan GH arah feeder Taram, maka:

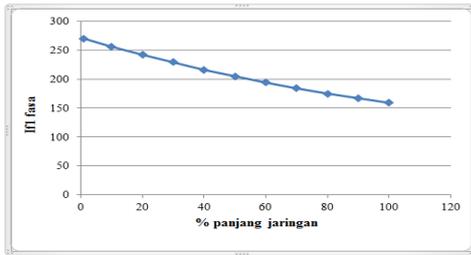
$$I_{f1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times E_{f \text{ fasa}}}{Z_1 \text{ equ} + Z_2 \text{ equ} + Z_0 \text{ equ}}$$

Dimana $Z_{1 \text{ equ}} = Z_{2 \text{ equ}}$, maka:

$$I_{f1 \text{ fasa}} = \frac{3 \times E_{f \text{ fasa}}}{2 (Z_1 \text{ equ}) + Z_0 \text{ equ}} = \frac{34.641,0162}{\{(127,19516 + j(17,17991))\}} = \frac{34.641,0162}{\sqrt{(127,19516)^2 + (17,17991)^2}} = 270 \text{ Ampere}$$

4.1.4 Penentuan lokasi (titik) gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dari GH ke ujung feeder Taram

Besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% dari panjang jaringan. Untuk penyulang F7 GH Tanjung Pati outgoing Feeder Taram panjang jaringan nya 33,14 Kms adalah : 1% = 270 ; 10% = 256 ; 20% = 242 ; 30% = 229 ; 40% = 216 ; 50% = 205 ; 60% = 194 ; 70% = 184 ; 80% = 175 ; 90% = 167 dan 100% = 159 A.



Gambar 17. Karakteristik % panjang jaringan berdasarkan If1 fasa yang terjadi

Dari gambar 17 dapat dilihat bahwa semakin jauh gangguan fasa ke tanah yang terjadi dari relay GFR (Gardu Hubung), maka arus hubung singkatnya akan semakin kecil, sebaliknya semakin dekat gangguan fasa ke tanah yang terjadi dari relay GFR (Gardu Hubung), maka arus hubung singkatnya akan semakin besar.

Perhitungan setting relai Gangguan Tanah dan Tms (Standard Invers)

a. *Setting* Arus Gangguan Tanah dan Nilai Setting Tms di Feeder Taram

1. Nilai *setting* arus

Untuk mengetahui *setting* relai arus gangguan tanah beban diambil dari data gangguan hubung singkat 1 fasa diujung (100%) jaringan berdasarkan tabel 8 =159,48 A, *setting* arusnya dikalikan 12%, perhitungannya sebagai berikut :
 $I_{set (primer)} = 12\% \times I_{f1 \text{ fasa}(100\% \text{ jar})} = 12\% \times 159,48 \text{ A} = 19,13 \text{ A}$

Dengan ratio CT 100/5 A, dimana 5A (kemampuan relay menerima arus normal) tidak diperhitungkan, sehingga diperoleh nilai *setting* arus sebagai berikut :

$$I_{set} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{RatioCT} = 19,13 \text{ A} \times \frac{1}{100} = 0,1913 \text{ A}$$

Maka *setting* relay gangguan tanah di feeder Taram (keluaran GH) sebesar 19 A pada sisi primer dan 0,1913 A pada input relay.

2. Nilai *setting* Tms

Untuk menghitung nilai Tms di feeder Taram, maka mempergunakan persamaan 35 yaitu :

$$Tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{\beta} \text{ (sisi hilir)}$$

Dimana :

t = 0,13 detik (waktu relay yang diinginkan)

I_{fault} = arus gangguan hubung singkat 1 fasa terbesar feeder Taram (pada lokasi 1% didepan GH) berdasarkan Tabel 8 = 269,89 A

I_{set} = nilai *setting* arus lebih primer = 19 A

α = konstanta = 0,02 (tabel 1)

β = konstanta = 0,14 (tabel 1)

$$\text{Maka : } Tms = \frac{0,13 \times \left[\left(\frac{269,89}{19} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,05 \text{ (tanpa satuan)}$$

4.2. Kondisi Setting Relay Gangguan Tanah dan Tms (Standard Invers) di Feeder Taram

Tabel 9. *Setting* relay GFR feeder Taram (kondisi sekarang)

Feeder	F. Taram	
TANGGAL	19-Jan-15	
Setting Relay	Set	Nom
Io>	0,20	20
ko> (tms)	0,05	

Tabel 10. *Setting* relay GFR feeder Taram (berdasarkan perhitungan)

Feeder	F.Taram	
Setting Relay	Set	Nom
Io>	0,1913	19
ko> (tms)	0,05	

Nilai setting arus pada GFR di feeder Taram sebesar 0,20 A. dengan melihat besar arus hubung singkat 1 fasa maksimum pada feeder Taram sebesar 269,89 A maka nilai setting GFR tersebut sudah termasuk nilai aman, namun berdasarkan perhitungan yang dilakukan alangkah baiknya dilakukan penyettingan ulang arus gangguan fasa ketanah dengan nilai setting arus sebesar 0,19 A. Sedangkan untuk setting tms GFR pada feeder Taram sudah sesuai. Berdasarkan kondisi lapangan dan perhitungan yang dilakukan sudah sama yakni 0,05 (tanpa satuan) karena semakin rendah eksekusi relay maka semakin cepat relay bekerja apabila terjadi gangguan 1 fasa ketanah.

V. PENUTUP

Dari pembahasan mengenai penentuan settingan relai GFR melalui perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada GH Tanjung Pati Outgoing Feeder Taram, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan. Relay hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (Ground Fault Relay) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relay arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dan kegunaannya. Bila relay OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.
2. Besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadipada 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% dari panjang jaringan. Untuk penyulang F7 GH Tanjung Pati outgoing Feeder Taram panjang jaringan nya 33,14 Kms adalah : 1% = 270 ; 10% = 256 ; 20% = 242 ; 30% = 229 ;

40% = 216 ; 50% = 205 ; 60% = 194 ; 70% = 184 ;
80% = 175 ; 90% = 167 dan 100% = 159 A.

3. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa semakin jauh gangguan fasa ke tanah yang terjadi dari relay GFR (Gardu Hubung), maka arus hubung singkatnya akan semakin kecil, sebaliknya semakin dekat gangguan fasa ke tanah yang terjadi dari relay GFR (Gardu Hubung), maka arus hubung singkatnya akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- 1] PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Pengaman Sistem Distribusi. Jakarta
- 2] Sarimun, Wahyudi, N, MT.2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Edisi Pertama. Depok: Garamond.3
- 3] Sarimun, Wahyudi, N, MT.2011. Buku Saku Pelayanan Teknik. Edisi Kedua. Depok: Garamond.4
- 4] Marsudi, Djiteng.2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik, Penerbit : Graha Ilmu
- 5] Sriadhi. 2013 “ Proteksi Terhadap Arus Gangguan pada sistem Jaringan Listrik”. Majalah Ilmiah Bina Teknik. No 1. Vol 1. Hal 6-7.
(<http://digilib.unimed.ac.id/public/UNIMEDarticle-29550-SRIADHI>
Proteksi%20terhadap%20Arus%20Gangguan.pdf
[online] diakses Agustus 2015).