

SISTEM KOORDINASI PENGAMAN TRANSFORMATOR TENAGA PADA GARDU INDUK PEMATANG SIANTAR 150 KV

Oleh:

Mahatir Muhammad ¹⁾

Erbin Barus ²⁾

Jhonson Siburian ³⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3)}

E-mail:

mahatirmuhammad@gmail.com ¹⁾

erbinbarus@gmail.com ²⁾

jhonsonsiburian@gmail.com ³⁾

ABSTRACT

This study discusses the power transformer safety coordination system at the Pematang Siantar 150 KV Substation. In planning a transformer safety system, it is necessary to coordinate a safety relay that meets the criteria for a safety system (selective, fast, sensitive, and reliable). The sensitivity of the differential relay is very low when securing faults. Short circuit at the location of 60% transformer winding, the REF relay will work faster to detect disturbances. REF is set in the primary sensitivity area with a current of 191.4 A. While the differential relay is set in the primary sensitivity area with a current of 258.9 A so that the relay is not too sensitive to short-circuit faults between phases. Coordination of work between the REF relay and the ground overcurrent relay when detecting a fault. Short circuit at the location of 60% of the transformer turns, the REF relay will work faster to detect faults. REF is set without delay while the ground overcurrent relay focuses more on overcurrent faults at the neutral point of the transformer.

Keywords: *Safety, Transformer, Substation*

ABSTRAK

Sistem Koordinasi Pengaman Transformator Tenaga pada Gardu Induk Pematangsiantar 150 kV, tentang koordinasi system pengaman pada transformator tenaga, mengingat banyaknya pelatan pengaman yang terdapat dalam system pengaman transformator tenaga baik itu pengaman internal maupun pengaman eksterlan. Sistem Pengaman Transformator Tenaga pada Gardu Induk Pematangsiantar, Apa Saja jenis-jenis gangguan dan efeknya terhadap Transformator Tenaga Gardu Induk Pematangsiantar, Karena Listrik bagi masyarakat khususnya Indonesia sudah menjadi kebutuhan utama. Ketersediaan tenaga listrik yang melimpah dan belum meratanya jaringan listrik pada masa lalu merupakan utama pemerintah menjalankan pemerataan jaringan listrik. Pemerintah menggandeng PT.PLN (Persero) yang ditugaskan sebagai penyedia listrik bagi Indonesia, tujuannya mahasiswa dapat

mengetahui Sistem Pengaman Transformator Tenaga pada Gardu Induk dan mahasiswa dapat mengetahui jenis-jenis gangguan dan efeknya pada Transformator Tenaga Gardu Induk.

Kata kunci : Pengaman, Transformator, Gardu Induk

1. PENDAHULUAN

Listrik bagi masyarakat khususnya indonesia sudah menjadi kebutuhan utama. Ketersediaan tenaga listrik yang melimpah dan belum meratanya jaringan listrik pada masa lalu merupakan faktor utama pemerintah menjalankan misi pemerataan jaringan listrik. Pemerintah menggandeng PT.PLN (Persero) yang ditugaskan di bidang penyedia tenaga listrik bagi indonesia, PT.PLN (Persero) dituntut untuk memberikan yang terbaik bagi masyarakat indonesia. Beberapa faktor seperti pencurian, kerugian dalam sistem distribusi, kerugian komersial dan efisiensi dalam biaya penagihan merupakan hal-hal terpenting untuk meminimalisir kerugian (Sharma M.P, et all.2014).

Dalam penyaluran energi listrik dari pusat-pusat pembangkit yang letaknya sangat jauh sampai kepada pusat-pusat beban/konsumen (Gardu Induk) menggunakan sistem penyaluran dengan sistem tegangan kerja yang berbeda untuk mengurangi rugi- rugi pada saluran. Pemilihan sistem tegangan yang berbeda pada saluran untuk menyalurkan energi listrik dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan tegangan dari pusat pembangkit ke gardu induk menggunakan transformator yang kemudian disalurkan ke konsumen sesuai dengan jenis konsumen. Pentingnya fungsi transformator pada sistem tenaga listrik maka sistem pengamanan transformator daya harus direncanakan sebaik mungkin. Dalam operasinya transformator sering mengalami gangguan internal maupun eksternal. Gangguan akan menimbulkan tegangan dan arus gangguan yang besar, besarnya arus gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kebocoran isolasi gulungan transformator juga akan menimbulkan panas yang berlebih pada transformator sehingga operasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan menjadi terganggu atau menyebabkan pemadaman.

Gangguan yang terjadi pada internal transformator tersebut harus dapat dideteksi secara cepat dan tepat untuk membuka circuit *breaker*-nya. Pengkombinasian kerja relai-relai pengaman yang berfungsi untuk mendeteksi utama gangguan pada transformator tenaga. Disamping relai differensial yang digunakan sebagai pengaman utama untuk mendeteksi gangguan baik yang terjadi di luar maupun yang terjadi di dalam transformator itu sendiri. Adanya gangguan yang menyebabkan meningkatnya suhu di dalam transformator tidak dapat dideteksi penyebabnya oleh relai-relai yang ada maka kenaikan suhu itu dirasakan relai suhu untuk melepas circuit breaker, kejadian yang berulang pada transformator daya utama pada gardu-gardu induk membutuhkan perencanaan pengaman khusus untuk mendeteksi gangguan antar belitan transformator yang sering menyebabkan hubung singkat serta kenaikan suhu pada transformator.

Dengan adanya relai semacam ini akan mencegah kerusakan peralatan baik pada sistem maupun peralatan pada konsumen apabila terjadi gangguan.

Transformator Daya yang ada pada Gardu-gardu induk merupakan peralatan utama dalam system penyaluran tenaga listrik, didalam trafo sering mengalami gangguan salah satunya gangguan satu fasa ke tanah yang sering terjadi pada salah satu penyulang pada transformator pada system tenaga listrik. Gangguan satu fasa ke tanah ini sering menyebabkan kerusakan akibat gagalnya relai yang terpasang baik pada system pengaman penyulang gagalnya relai lain sehingga arus gangguan hubung singkat ini menembus titik netral trafo. Berdasarkan kejadian tersebut maka perlu direncanakan system pengaman utama untuk mengatasi gangguan. Gangguan satu fasa ke tanah atau antara lilitan Transformator atau antara lilitan transformator dengan body transformator.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator adalah suatu alat listrik (mesin listrik) yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui gandingan magnet berdasarkan pada prinsip induktif elektromagnetik.

Ada beberapa alasan kegunaan transformator apabila tegangan atau arus transformator tersebut diubah, antara lain:

a) Digunakan untuk pengiriman tenaga listrik

Penggunaan terbesar dari transformator adalah pada sistem tenaga listrik, sebab dengan adanya transformator memungkinkan tenaga listrik dapat disalurkan ke tempat yang jauh. Untuk itu Transformator [1] dengan efisiensi yang tinggi dapat mengurangi rugi-rugi daya pada system tenaga listrik.

Pada jarak yang jauh kerugian daya saluran transmisi (I^2R) adalah besar yang disebabkan adanya tahanan pada kawat penghantar, demikian juga halnya dengan kerugian tegangan (I^2z) yang juga besar. Untuk memperkecil kerugian daya dan kerugian tegangan dibuat tegangan menjadi tinggi sehingga arus menjadi kecil. Apabila arus pada saluran transmisi kecil, maka rugi daya dan juga rugi tegangan juga kecil atau menurut nilainya.

Transformator digunakan untuk menyesuaikan tegangan setempat dengan tegangan pada peralatan listrik. Misalnya suatu mesin listrik dengan tegangan 220 volt, apabila ingin dipasang pada tempat yang tegangan 127 volt, maka tegangan harus diturunkan menjadi 127 volt, dengan transformator.

b) Untuk mengadakan pengukuran dari besaran listrik

Apabila kita ingin mengukur tegangan tinggi misalnya 150 KV, maka penyesuaian tegangan melalui transformator dapat digunakan.

c) Untuk memisahkan rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain

Transformator digunakan untuk memisahkan rangkaian yang lain berbahaya ke rangkaian yang tidak berbahaya, misalnya pada rele pengaman.

d) Untuk memberikan tenaga pada alat tertentu

Transformtor diperlukan pada pengoperasikan radio, televisi dan sebagainya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gangguan akan menyebabkan bekerjanya relai dan melepas pemutus daya sehingga mengakibatkan terputusnya aliran daya. Gangguan dapat disebabkan oleh faktor internal dan faktor eksternal.

Faktor internal yang menyebabkan gangguan antara lain :

- Spesifikasi alat tidak sesuai
- Pemasangan tidak sesuai
- Umur peralatan
- Peralatan dioperasikan melebihi kapasitas normalnya
- Suhu

Sedangkan faktor eksternal yang menyebabkan gangguan antara lain :

- Surja petir, Merupakan gejala alam yang diakibatkan petir
- Polusi debu

Debu yang menempel pada isolator, bila udara lembab maka debu menjadi konduktor yang menyebabkan timbulnya bunga api. Isolator yang rusak akibat sambaran petir sehingga akan terjadi kegagalan isolasi pada peralatan.

Gangguan yang terjadi bersifat :

- Temporer yaitu gangguan sesaat dan dapat kembali normal
- Permanen yaitu gangguan yang tidak dapat hilang

Komponen Simetri

Menurut C.L. Fortescue bahwa Suatu sistem tak seimbang terdiri dari phasor tak seimbang pula dapat diuraikan menjadi phasor-phasor seimbang dinamakan komponen simetri dari phasor aslinya “n” buah phasor pada setiap himpunan komponen-komponennya sama panjang, dan sudut antara phasor yang bersebelahan dalam himpunan itu adalah sama besar.

Prinsip dasar dari komponen simetris untuk rangkaian sistem tiga fasa adalah pada setiap bilangan fasor yang tak seimbang dalam sistem tiga fasa, dapat di uraikan menjadi fasor yang seimbang (Stevense,1984) :

- a. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah dengan beda phasa sebesar 120^o listrik dan mempunyai urutan phasa yang sama seperti fasor aslinya.
- b. Komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga phasa fasor yang sama besar dengan beda phasa sebesar 120^o, dan mempunyai urutan phasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- c. Komponen urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan dengan pergeseran phasa adalah nol antara fasor yang satu dengan yang lainnya.

Metode komponen simetris ini berguna untuk menganalisa gangguan sistem tenaga listrik yang menyebabkan sistem menjadi tidak seimbang.

Gangguan Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah ini juga disebut gangguan tidak simetris yaitu terjadi hubung singkat pada salah satu phasa : phasa “a” atau “b” atau “c” ke tanah.

Untuk mempermudah perhitungan, analisis dilaksanakan dengan merubah semua besaran yang akan dihitung ke dalam kuantitas per unit (pu), dengan terlebih dahulu menentukan besaran-besaran dasar (base) yang akan dipakai dasar perhitungan antara lain :

$$\text{Arus dasar} = \frac{KVA_3 \phi_{\text{dasar}}}{\sqrt{3} * \text{tegangandasar}(KV_{LL})}$$
$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{Tegangandasar}, KV_{LL}}{MVA \phi_{\text{dasar}}}$$

Menurut perhitungan setting koordinasi pengaman trafo dan penyulang :

- Impedansi urutan positif (X1TP), urutan negatif (X2TP), dan urutan nol (X0TP), untuk sisi primer trafo adalah 0,5*XIT (impedansi urutan positif trafo) dan untuk sisi sekunder transformator adalah 0,5 * XIT (impedansi urutan positif transformator).

Gangguan Satu Phasa ke Tanah Pada Kumputan Transformator:-

Untuk mengamankan gangguan satu phasa ke tanah yang terjadi pada internal trafo, akibat setting sensitifitas relai diferensial yang terbatas maka dalam analisa gangguan pada kumputan trafo perlu diketahui fungsi relai REF,

- a. Misalkan "k" perbandingan ratio kumputan primer dengan sekunder trafo adalah $n_1 : n_2 = k$
- b. Jika terjadi gangguan pada 100 % kumputan trafo sisi sekunder ke tanah maka besarnya arus gangguan satu phasa ke tanah adalah I_f

Fungsi dan Tujuan Pengaman

Alat pengaman yang dipasang pada sistem berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan pada peralatan yang kemudian mengambil keputusan seketika atau waktu tunda untuk mengamankan sistem atau peralatan, selain itu pengaman juga berfungsi untuk menentukan lokasi dan jenis gangguan yang terjadi pada system. Gangguan temporer atau yang tidak membahayakan, pengaman hanya memberi tanda akan adanya gangguan atau kerusakan.

Syarat Sistem Pengaman

Untuk menjamin kestabilan kerja dalam operasional, sistem pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Titarenko, 1977) :

- a. Cepat adalah kecepatan bereaksi relai adalah waktu yang digunakan oleh saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai mengambil keputusan untuk mengisolasi gangguan dengan pelepasan CB, waktu kecepatan bereaksi relai yang sesuai menghindarkan kerusakan.

- b. Selektif adalah Kecermatan menentukan pengamanan, meliputi koordinasi pengamanan sistem secara keseluruhan.
- c. Sensitif adalah Relai harus bekerja dengan kepekaan tinggi terhadap gangguan di daerahnya meskipun gangguan yang terjadi minimum.
- d. Handal, Relai mampu bekerja terhadap banyaknya gangguan yang terjadi.
- e. Sederhana, Sistem sederhana tetapi dapat dideteksi dan mengatasi gangguan.
- f. Ekonomis, Biaya murah tanpa mengabaikan persyaratan.

Koordinasi Realy Diferensial dan REF

Gangguan-gangguan pada transformator sewaktu-waktu dapat terjadi, maka transformator tersebut ditunjang dengan pengaman-pengaman yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhannya. Pengamanan transformator daya yang memiliki kapasitas besar lebih kompleks dari pada transformator distribusi yang kapasitasnya lebih kecil. Pengaman tersebut dapat berupa rele proteksi. Tujuan pemasangan rele proteksi pada transformator daya adalah untuk mengamankan peralatan/system sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi sekecil mungkin (El-Bages, 2011). Salah satu rele proteksi yang digunakan untuk pengaman pada transformator ini adalah rele diferensial. Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan Hukum Kirchoff, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut.

Rele diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar (Arun, 2001). Ketika terjadi perbedaan maka rele akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (*trip*) apabila terjadi perbedaan (Nikhil, 2014). Perbedaan di sini adalah perbedaan nilai arus dan perbedaan besar fasa (stabilitas arus). Rele ini lebih efektif untuk menangani gangguan internal transformator (Raju, 2012). Pada gangguan di luar daerah pengamanan, trafo tidak akan bekerja karena arus masukan dan keluaran sama besar walaupun melebihi arus dari nominal trafo daya.

Menurut Komari. S. Soekarto. Wirawan, 1995, pada keadaan tertentu relai diferensial hanya sensitif mengamankan gangguan internal sebagai kumparan trafo ($\pm 40\%$) dan selebihnya ($\pm 60\%$) kurang. Keterbatasannya sensitifitas relai diferensial perlu dibantu oleh relai pengaman gangguan tanah terbatas. Relai diferensial umumnya mempunyai beberapa penyetelan kecuraman. Tujuan karakteristik persen kecuraman adalah untuk mencegah salah kerja karena adanya ketidakseimbangan arus sisi sekunder dari trafo arusnya pada saat terjadi gangguan diluar daerah pengamannya. Setelah kecuraman tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal :

- Kesalahan sadapan transformator $\pm 12\%$
- Kesalahan trafo arcs $\pm 5\%$
- Mis match relai $\pm 2\%$
- Arus eksitasi trafo $\pm 2\%$
- Faktor keamanan $\pm 5\%$

Setting Relay REF:-

Perhitungan setting relay mengacu pada instruction manual dalam perhitungan menggunakan hasil perhitungan besar arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada transformator dengan titik netral ditanahkan melalui tahanan pentanahan titik netral. Selanjutnya hasil perhitungan akan dibandingkan dengan setting dilapangan. Perhitungan setting mengacu pada persamaan :

IR (setting arus relai) = g % × (I basic setting)

Sensitifitas sadapan arus primer (Ip):

$$I_p = N * \{I_R + (n \times I_E)\}$$

N = Ratio transformator arus yang terpasang, n = jumlah trafo arus yang diparalel

IE = arus magnetansi trafo arus pada 5×Uk

Tegangan knee point (tegangan lutut) (Uk)

$$V_k = 2 \times V_s$$

$$\frac{V}{S} = I_{hs} \text{ maktrafo} \times (R + 2R)$$

$I_{hs} \text{ maktrafo}$ = arus hubung singkat maksimal pada transformator daya Rct = tahanan belitan sekunder transformator arus.

Pembahasan

Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik mulai dari pusat pembangkit, sistem penyaluran, sistem distribusi serta peralatan pada sistem disebabkan beberapa oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Sistem pengaman yang didesign harus mampu mengamankan sistem tenaga listrik secara keseluruhan baik terhadap gangguan yang terjadi didalam area pengamanan maupun gangguan di luar area pengamanan sistem pengamannya. Transformator yang merupakan peralatan vital dalam sistem penyaluran daya, harus memiliki sistem pengaman yang mampu menghidarkan transformator dari gangguan dan kerusakan sehingga dapat secara kontinyu menyalurkan daya listrik.

Gangguan Di Luar Daerah Pengamanan:-

Sebagai pengaman cadangannya. Koordinasi kerja sistem relay yang baik pada pengaman cadangan dirancang harus mampu mendeteksi secara cepat dan tepat Gangguan di luar area pengamanan sistem pengaman dapat berupa beban lebih maupun gangguan hubung. Saat Kondisi bebab lebih relay arus dapat mendeteksi dan yang memberi indikasi sehingga beban dapat diatur dengan memanipulasi jaringan. Untuk melokalizr gangguan yang berada diluar daerah pengamanan internal trafo misalnya: gangguan pada rel atau gangguan pada saluran keluarnya, maka relay arus lebih dengan waktu tunda bertindak gangguan terutama terhadap pengamanan daerah berikut yang terkait apabila pengaman utama transformator tidak bekerja terhadap gangguan seperti diatas.

Gangguan Dalam Daerah Pengamanan:-

Pengaman utama transformator daya didesign sebagai pengaman utama yang terlebih dahulu bekerja apabila terjadi gangguan di dalam daerah pengamanannya. Gangguan yang terjadi di dalam transformator menimbulkan arus atau tegangan yang lebih besar dari pada gangguan di luar transformator sehingga sering menyebabkan terjadinya kebakaran.

Gangguan Listrik:-

Gangguan ini menyebabkan kerusakan, tetapi harus dapat dideteksi oleh relay yang bekerja karena adanya arus atau tegangan yang tidak seimbang seperti :

- 1) Gangguan antar fasa pada sisi primer atau sekunder di terminal luar (bushing).
- 2) Gangguan satu fasa atau antar fasa pada lilitan sisi primer atau sekunder.
- 3) Hubung singkat antar belitan disisi tegangan tinggi atau tegangan rendah.
- 4) Gangguan tanah pada belitan tersier, atau hubung singkaelitan dililitan tersier.

Gangguan Bukan Oleh Listrik:-

Gangguan ini biasanya diawali oleh gangguan yang kecil, namun secara lambat akan menimbulkan kerusakan. Gangguan ini tidak dapat dideteksi oleh sistem pengaman karena tidak adanya ketidakseimbangan tegangan atau arus pada ujung belitan. Yang termasuk gangguan ini misalnya :

- a) Sambungan secara elektrik dari konduktor jelek, gangguan inti seperti tembusnya lapisan isolasi inti, serta baut atau ring klem yang kurang kencang, akan dapat menimbulkan getaran pada trafo sehingga lambat laun dapat menimbulkan busur api pada minyak.
- b) Gangguan sistem pendinginan, yang menyebabkan terjadi pemanasan lebih walaupun beban trafo belum mencapai nominal atau lebih.
- c) Gangguan dari tap changer, atau pembagian beban yang tidak seimbang antar fasa pada sisi sekunder transformator sehingga timbul arus melewati titik netral trafo yang dapat menimbulkan panas pada titik netral transformator.

Mengingat akibat yang ditimbulkan gangguan tersebut dapat merusak transformator, maka dipandang perlu transformator sebagai peralatan utama dilengkapi dengan sistem pengaman yang bekerja secara terkoordinasi atau secara bertingkat dalam melokalisir gangguan baik berfungsi sebagai pengaman utama maupun sebagai pengaman cadangan.

Setting Relai REF:-

Sesuai instruction manual MDBO4005-EN dan buku petunjuk operasional relai MCAG, untuk menentukan setting relai REF diperlukan data sebagai berikut:
Spesifikasi data teknik relai :

Ratio transformator arus terpasang (N)	: 1500/5 A
Resistansi kumparan sekunder transformator arus(RCT2)	: 3,0 Ohm
Arus magnetisasi transformator arus pada VK/2 (IE)	: 1 00mA

Jumlah transformator arus yang diparalel (n) : 4
 Resistansi Loop (2 RL) : 2,5 Ohm
 Power (burden) nilai REF : 1,0 VA
 Resistansi eksternal relai : 1,5 kilo Ohm

Buku petunjuk operasional setting relai 1VIDBO4005-EN menyebutkan bahwa Setting sensitivitas normal pengaman transformator (g) = 20% atau (g) = 0.2 Maka Setting (g) dihitung sebagai berikut :

$$I_{mean} = \sqrt{136 \times 105} = 119,5$$

$$g = 10 \frac{136-119,5}{119,5} \times 100\%$$

$$g = 23,8\%$$

Rasio transformator arus sekunder adalah :

$$\frac{1500}{5} = \frac{300}{1}$$

Dan perhitungan basic setting diperoleh:

IR = 23,8 % dari 1 Ampere = 0,238 Ampere atau 238 mA

$$I_p = N \times \{ I_R + (n \times I_E) \}$$

$$I_p = \frac{286,7}{0,9556} \times \{ 0,238 + (4 \times 0,1) \}$$

$$I_p = 191,4A$$

Setting tegangan minimum : Vs

$$V_s \geq \frac{I_f \text{ mak trafo}}{N} * (R_{CT2} + 2R_L)$$

$$V_s = \frac{6930}{300} * (3 + 2,5)$$

$$V_s = 127,05 \text{ Volt}$$

Tegangan knee point atau tegangan titik jenuh (tegangan lutut) VK :

$$V_K \geq 2 * V_s$$

$$V_K = 2 * 127,05 = 254,1 \text{ Volt}$$

Perhitungan nilai tahanan stabilizer relai REF :

$$R_{SR} = \frac{V_s}{I_R} - \frac{VA}{I_R^2}$$

$$R_{SR} = \frac{127,05}{0,238} - \frac{1,0}{0,238^2} = 516 \Omega$$

Jadi nilai tahanan stabilizer (RST) relai REF sesuai perhitungan adalah 516 Ohm.

Setting Relai Deferensial:-

- Relai deferensial type : DIN 920
- Transformator daya : 60MVA
- Vektor Group : YN ynO
- Ui (tegangan sisi primer) : 20 kV
- U2 (tegangan sisi sekunder) : 150kV

- Besar arus primer pada tap 1 : 136A
- Besar arus primer pada tap 18 : 105A
- I1 (Arus sisi primer) : 116A
- I2 (Arus pada sisi sekunder) : 1732A

Data transformator arus :

- Transformator arus sisi primer (CT1) : 200/1 A
- Transformator arus sisi sekunder (CT2) : 1500/5 A

Untuk transformator daya dengan vektor group YNynO dengan relai defferensial type DTN 920 berlaku tabel 4.1 untuk persyaratan pemasangan vektor group pada relai. Sesuai buku: 1 MDB 04005-EN ABB setting relai defferensial sebagai berikut :

T1 (sisi primer) = 5 T2 (sisi sekunder) 5

Arus sekunder pada transformator arus :

$$I_{2,1} = \frac{I_1}{CT_1} = \frac{116}{200/1} = 0,58 \text{ A}$$

$$I_{2,2} = \frac{I_2}{CT_2} = \frac{1732}{1500/5} = 5,77 \text{ A}$$

Perhitungan amplitude matching sisi primer (T1) dan sisi sekunder (T2) sebagai berikut :

$$T_1 = \frac{I_{\text{sekunder}} CT_{\text{primer}}}{I_{\text{terukur pada belitan sekunder}} CT_{\text{primer}} \text{ saat beban penuh}}$$

$$T_1 = \frac{1}{0,58} = 1,72$$

Terlihat matching T1 pada switch 1 = 1,6 dan switch 2 = 0,12

$$T_2 = \frac{I_{\text{sekunder}} CT_{\text{sekunder}}}{I_{\text{terukur pada belitan sekunder}} CT_{\text{sekunder}} \text{ saat beban penuh}}$$

$$T_2 = \frac{5}{5,77} = 0,866$$

Dengan demikian matching T1 pada posisi : TV dan IV, matching T2 : switch 1 = 1,6 dan switch 2 = 0,12. Dengan demikian matching T2 pada posisi : IV dan IV, maka Perhitungan slup(kecuraman) relai deferensial (g) sebagai berikut: Slup/kecuraman merupakan batas tingkat sensitivitas dimana relai defferensial mulai merasakan adanya arus gangguan akibat ketidakseimbangan perbandingan arus primer dengan sisi sekunder transformator daya: Slup/kecuraman bisa dinotasikan dengan (g) dengan satuan persen (%) I_{mean} = besar arus rata-rata pada kumparan primer trafo I_{max} = besar arus pada kumparan primer saat tap trafo tertinggi I_{min} = besar arus pada kumparan primer saat tap trafo terendah.

10% = merupakan tingkat keamanan saat terjadi arus magnetisasi pada trafo pada saat posisi tap charger tertinggi.

5% = untuk faktor keamanan dengan memperhitungkan kesalahan CT dan burgen relai.

$$I_{\text{mean}} = \sqrt{136 \cdot 105}$$

$$= 119,5 \text{ Ampere}$$

$$g = 10 + \left[\frac{136 - 119,5}{119,5} \cdot 100\% \right] + 5 \%$$

$$= 28,8 \% \approx 30 \%$$

Setting/kecuraman 30 % mengacu pada saat trafo berbeban penuh. Dengan demikian jika terjadi kemiringan arus sebesar 30 %*In (arus nominal transformator tenaga), maka akan dirasakan oleh relai differensial dan selanjutnya secara seketika relai memerintahkan PMT trafo lepas (trip).

Perbandingan kecepatan kerja relai REF dengan relai defferensial pada sisi sekunder transformator:-

Ditinjau dari setting arusnya :

- Besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah maksimum diperhitungkan sebesar 300 A.
- Relai defferensial disetting pada sensitivitas $30\% \times I_{\text{trafo}} = 259,8 \text{ A}$.
- Relai REF disetting pada sensitivitas arus primer = 191,4 A sesuai perhitungan dengan arus setting pada relai = 0,23 8 A pada tegangan kerja minimum = 127,05 V.
- Kalau dibandingkan dengan besar arus gangguan satu fasa ke tanah maksimum, maka relai defferensial akan bekerja pada titik gangguan >87% belitan transformator.
- Kalau dibandingkan dengan besar arus gangguan 1 fasa ke tanah maksimum, maka relai REF akan bekerja pada saat gangguan satu fasa ke tanah internal transformator terjadi pada titik gangguan 60% belitan transformator.

Melihat perbandingan di atas maka dapat dinyatakan relai REF akan lebih dahulu bekerja dari pada relai defferensial untuk mengamankan gangguan satu fasa ke tanah internal belitan transformator daerah tertentu.

Untuk menjaga kontinuitas kerja trnsformator tenaga, perlu dilengkapi dengan sistem pengaman yang berlapis dan terkoordinasi antara yang satu dengan yang lain agar sistem pengaman dapat bekerja secara optimal sebagai pengaman transformator tenaga.

Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah seperti gambar 3.5 di atas, selama terjadi gangguan besar arus gangguan dirasakan oleh semua relai pengaman gangguan fasa ke tanah pada sistem pengaman transformator kecuali relai REF dan relai defferensial. Tetapi yang bekerja terlebih dahulu adalah relai

arus lebih ke tanah pada penyulang dengan demikian bagian padam tidak meluas.

Jika terjadi gangguan sath phasa ke tanah di rel 20 kV (rel sekunder) seperti gambar 3.6 di atas,selama gangguan berlangsung besar arus gangguan dirasakan oleh semua sistem pengaman gangguan phasa ke tanah pada transfonnator kecuali relai REF dan relai defferensial. Tetapi yang harus bekerja mengamankan gangguan tersebut adalah relai arus lebih ke tanah pada rel (incoming 20 kV) dengan demikian titik gangguan dengan cepat akan dideteksi dan akibat gangguan tidak meluas.

Jika gangguan satu phasa ke tanah terjadi seperti gambar 3.7 di atas, gangguan terjadi pada kabel saluran antara sekunder transfomiator dengan rel 20 kV. Selama gangguan berlangsung, besar arus gangguan dirasakan oleh semua relai pengaman gangguan phasa ke tanah transformator, dan gangguan juga dirasakan oleh relai REF dan relai defferensial. Tetapi, yang harus mengamankan gangguan dalam hal ini adalah relai deferensial dan relai REF, karena kedua relai tersebut sama-sama mencapai pick up dan tanpa waktu tunda. Sedangkan rel pengaman menunggu waktu tunda sesuai yang disetting.

Jika ganggauan satu phasa ke tanah terjadi pada internal transformator, dalam hal ini gangguan diasumsikan terjadi pada belitan sekunder transformator. Maka yang merasakan arus gangguan tersebut adalah relai defferensial, relai arus lebih ke tanah path titik netral transformator, relai REF netral sekunder, jika gangguan berada pada $\geq 80\%$ belitan transformator dari titik netral, maka yang pertama merasakan adalah relai defferensial dan relai REF. Sedangkan relai arus lebih ke tanah titik netral walaupun sudah mencapai pick up, namun harus menunggu sampai waktu tunda yang disetel padanya tercapai.Tetapi jika gangguan terjadi pada daerah $\leq 80\%$ belitan transformator maka yang harus terlebih dahulu bekerja mengamankan gangguan adalah relai REF, kemungkinan relai defferensial merasakan terjadi gangguan namun belum mencapai pada daerah setting kerjanya. Sedangkan relai pengaman arus lebih ke tanah walaupun mencapai pick up, tapi masih menunggu sesuai dengan waktu tunda yang disetel padanya.

4. SIMPULAN

Dari hasil pembahasan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Mengingat pentingnya fungsi transformator tenaga yang merupakan salah satu peralatan vital di dalam proses penyaluran tenaga listrik, maka dalam merencanakan sistem pengaman transformator diperlukan koordinasi relay pengaman yang memenuhi kriteria sistem pengaman (Selektif, Cepat, sensitif, dan handal).

2. Sensitivitas relay diferensial sangat kurang saat mengamankan gangguan Hubung singkat pada lokasi $\geq 60\%$ lilitan transformator maka relay REF akan bekerja lebih cepat mendeteksi gangguan. REF di setting pada daerah sensitivitas primer dengan arus sebesar 191,4 A. Sedangkan relay diffrensial di setting pada daerah sensitivitas primer dengan arus sebesar 258,9 A supaya relay tidak terlalu sensitiv terhadap gangguan hubung singkat antar fasanya.
3. Koordinasi kerja antara relay REF dengan relay arus lebih tanah saat mendeteksi gangguan Hubung singkat pada lokasi $\geq 60\%$ lilitan transformator maka relay REF akan bekerja lebih cepat mendeteksi gangguan. REF di setting tanpa waktu tunda sedangkan relay arus lebih tanah lebih fokus ke gangguan arus lebih di titik netral transformator.

5. DAFTAR PUSTAKA

- J Napitupulu, D Tinambunan, L Sitinjak, 2021. Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa, Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro 10 (1), 8-16.
- Arismunandar, S. K. 1994. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Gramedia Jilid II
- Arismunandar, S. K. 1994. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta : Gramedia Jilid III
- Arismunandar, S. K. 1994. *Teknik Tegangan tinggi*. Jakarta : Gramedia.
- Berahim, H. 1994. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta : PT. Andi Offset.
- Hamma. *Mengoperasikan Gardu Induk*. Elektro Indonesia. hal 20 jilid 39/2001
- Hutauruk. 1987. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga.
- PT PLN. *Buku Petunjuk Pengoperasian Gardu Induk*. Jakarta
- Titarenko. 1977. *Protective Relaying in Electric Power Sistem*. Moscow : Peace Publisher.
- Zuhal. 1990. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Siburian, J. (2019). *Karakteristik Transformator*. Medan: Teknik Elektro Darma Agung. Napitupulu, J., Tinambunan, D., & Sitinjak, L. (2021). *Studi Efisiensi TRANSFORMATOR TIGA FASA*. Medan: Universitas Darma Agung.