

Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut

Yusnan Badruzzaman, Farikha Himawati

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
E-mail : yusnan.badruzzaman@gmail.com

Abstrak

Transformator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk merubah tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya. Transformator yang digunakan pada *Gas Insulated System (GIS)* Randugarut adalah transformator jenis *step down*. Sebagai alat yang bekerja pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah, transformator seringkali mengalami gangguan baik gangguan *eksternal* maupun gangguan *internal*. Gangguan internal pada transformator dapat menyebabkan kerusakan parah pada transformator seperti yang terjadi pada GIS Randugarut. Kerusakan pada transformator tersebut disebabkan adanya gangguan eksternal dengan arus besar yang menyebabkan kerusakan internal transformator sehingga keseluruhan sistem proteksi transformator bekerja termasuk *differential relay*. Sesuai karakteristiknya, seharusnya *differential relay* bekerja apabila ada gangguan di dalam daerah pemamanannya yaitu diantara Current Transformer sisi primer dan sisi sekunder dengan membandingkan arus pada kedua sisi tersebut. Melalui perhitungan setting, hubung singkat dan melihat rekam *DFR internal differential relay* dapat diketahui penyebab bekerjanya *differential relay* pada gangguan tersebut. Dari hasil perhitungan maka diketahui bahwa *differential relay* bekerja sesuai dengan settingnya yaitu sebesar 0,3 Ampere dan setting waktu instant. Keandalan *differential relay* sebagai pengaman utama transformator dapat ditambah dengan mengaktifkan setting high set sebesar 8 kali I dif yang mengerjakan rele pada arus gangguan yang besar.

Kata kunci : proteksi, rele differensial, transformator

Transformer is an electrical equipment to transform voltage from high voltage into low voltage or in otherwise. Transformer which functioned in Randugarut Gas Insulated System is a step down transformer. As an equipment which directly connect to high voltage and low voltage, transformers are often had interferences either external or internal interferences. Internal interferences could causes damaged as happened in Randugarut Gas Insulated System. That damaged caused by external interferences with very high current. This interference caused internal damaged so all of protection system in transformer worked, including differential relay. Differential relay's characteristic show that differential relay must work if any interference happened in its zone of protection which located between two Current Transformers in both primary and secondary. It's worked by current comparing between primary and secondary. Through setting and short circuit calculation also saw from DFR's internal relay record could found reason for why differential relay worked. From those calculation, founded differential relay worked appropriate with its setting 0,3 Ampere with instant time setting. Differential relay reliability as a main protection of transformer could added by activate high set setting (8 x Idif) which operate relay in interference within high current.

Keywords : differential relay, protection, transformers

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator tenaga adalah bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang sangat rawan terjadi gangguan. Gangguan tersebut dapat berupa gangguan yang terjadi di dalam transformator tenaga (gangguan internal) dan gangguan yang terjadi di luar transformator

tenaga (gangguan eksternal). Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi transformator tenaga yang handal dan koordinatif.

Di dalam pola pengamanan transformator tenaga terdapat bermacam-macam rele antara lain *Over Current Relay*, *Ground Fault Relay*, *Over Load Relay*, dan *Differential Relay*. Karena pentingnya peran rele dalam sebuah sistem proteksi maka harus memenuhi syarat antara lain sensitivitas, selektifitas, kehandalan,

dan kecepatan. *Differential relay* adalah alat listrik yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan pada daerah pengamanan internal transformator tenaga yang menyebabkan perbedaan nilai arus pada *Current Transformer* sisi primer dan sisi sekunder.

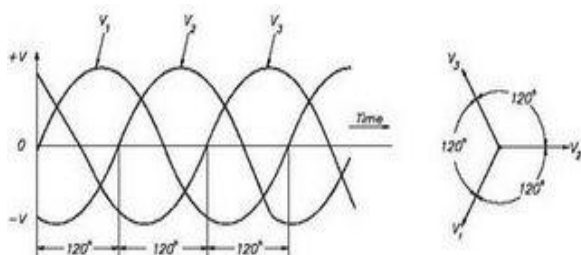
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penggunaan differential relay sebagai pengamanan utama transformator tenaga di GIS Randugarut dan kondisi transformator di GIS Randugarut sebelum dan setelah terjadi gangguan hubung singkat. Transformator yang akan dibahas adalah transformator tenaga berkapasitas 60 MVA tegangan 150/20 KV di GIS Randugarut beserta sistem proteksinya.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Sistem Transmisi

Transmisi tenaga listrik merupakan salah satu komponen dari sistem penyaluran tenaga listrik menyalurkan energi tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkitan menggunakan kawat-kawat (saluran) transmisi, menuju gardu-gardu induk yang selanjutnya akan didistribusikan ke pelanggan atau konsumen. Ada dua kategori saluran transmisi : saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*). Pada transmisi tenaga listrik terdapat 4 bentuk konfigurasi jaringan yaitu radial, tunggal, ganda, dan loop.

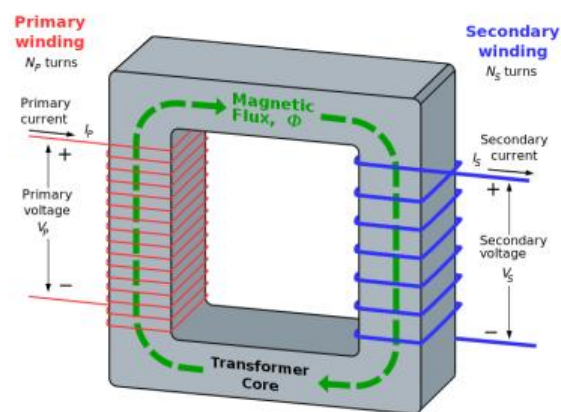
Pada sistem tenaga listrik di Indonesia baik dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi di Indonesia menggunakan sistem 3 fasa. Sistem ini dianggap paling menguntungkan karena idealnya dapat menghantarkan daya listrik yang lebih besar. Sistem 3 fasa adalah listrik AC (*Alternating Current*) yang menggunakan tiga penghantar yang mempunyai tegangan sama tetapi berbeda dalam sudut fasa sebesar 120° , sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° dan dapat dihubungkan secara bintang (Y, *wye*) dan segitiga (Δ , delta) [1].



Gambar 1 Sistem 3 Fasa

1.2.2 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial [2]. Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.



Gambar 2 Prinsip Kerja Transformator

Bagian-bagian dari transformator itu sendiri antara lain :

- Inti besi
- Belitan (*Winding*)
- Bushing*
- Pendingin
- Konservator *Dielectric*
- Tap Changer*
- Neutral Grounding Resistant* (NGR)

1.2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik berdasarkan kesimetrisannya dapat dibedakan menjadi dua yaitu : gangguan asimetris dan simetris. Gangguan asimetris merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap phasanya menjadi tidak seimbang atau tidak simetri, Keadaan tidak seimbang atau tidak simetri akan terjadi karena adanya impedansi yang tidak

seimbang. Perhitungan dan analisa sistem tidak simetri dilakukan dengan bantuan metode komponen simetri. Gangguan ini terdiri dari :

- a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.
- b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.
- c. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa/Antar Fasa.

Sedangkan gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini berupa gangguan hubung singkat Tiga Fasa/Tiga Fasa ke Tanah.

Sedangkan berdasarkan lamanya gangguan, gangguan dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

- a. Gangguan Transient (Temporer)
- b. Gangguan Permanen

1.2.4 Gangguan pada Transformator

Gangguan pada transformator adalah suatu kejadian yang menyebabkan trafo tidak dapat berfungsi sesuai fungsi tekniknya. Indikasi dari adanya gangguan tersebut adalah bekerjanya alarm, bekerjanya rele pengaman trafo (PMT trip) yang berakibat terputusnya penyaluran tenaga listrik, munculnya tanda atau peringatan rele bantu berupa: Lampu signal blok/indikator, meter ukur tidak rata (ampere, kV), lampu tanda rele, bendera rele, bunyi-bunyian dan bau-bauan [3]. Jenis gangguan trafo dibedakan menjadi dua yaitu gangguan *internal* dan *eksternal*. Gangguan *internal* adalah gangguan yang bersumber dari dalam trafo itu sendiri, gangguan tersebut dapat berupa *Incipient Faults* yang merupakan gangguan kecil yang apabila tidak segera diatasi akan membesar. Gangguan tersebut dapat berupa terjadinya busur api maupun gangguan pada sistem pendingin dan *Electrical Faults*. Gangguan ini merupakan gangguan berat yang dapat menimbulkan kerusakan pada trafo. Gangguan ini biasanya langsung terdeteksi oleh rele arus dan tegangan. Gangguan tersebut berupa hubung singkat antar kumparan, hubung singkat antara kumparan dengan *body* trafo, gangguan pada terminal trafo.

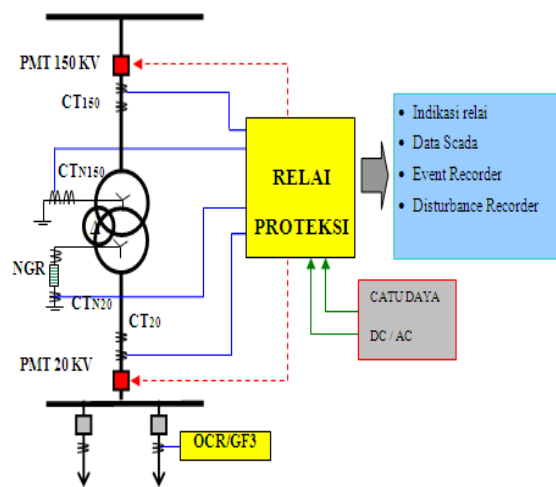
Gangguan *internal* pada trafo dapat disebabkan oleh adanya gangguan *eksternal* yang sangat besar di luar daerah pengamanan transformator yang menyebabkan rele di daerah pengamanan trafo ikut bekerja.

1.2.5 Sistem Proteksi pada Transformator

Sistem proteksi dibutuhkan untuk melindungi tiap elemen dari sistem serta mengamankannya secepat mungkin dari gangguan yang sedang terjadi, dengan begitu diperoleh efektifitas dan efisiensi. Untuk mendapatkan sistem pengaman yang cukup baik di dalam sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik tersebut dibagi dalam beberapa daerah pengamanan yakni dengan pemutusan sub-sub sistem seminimal mungkin [4].

Sistem proteksi adalah sistem pengamanan atau perlindungan yang berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal pada bagian sistem yang diamankannya dan melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya yang tidak mengalami gangguan dapat terus beroperasi dan tidak mengalami kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Komponen sistem proteksi terdiri dari :

- a. Rele Proteksi
- b. Transformator Arus
- c. Transformator Tegangan
- d. Catu Daya DC
- e. Wiring



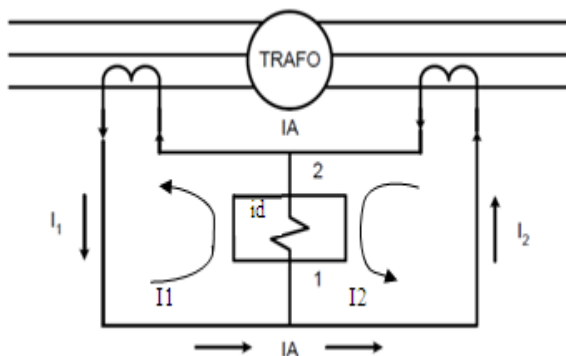
Gambar 3 Peralatan Sistem Proteksi pada Trafo Tenaga 150/20 kV

1.2.6 Differential Relay

Differential Relay bekerja berdasarkan H. Kirchoff, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut [5]. *Differential Relay* merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (*Current Transformer*) terpasang pada terminal-terminal

peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan *differential relay* sebagai rele pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, bus bar, dan saluran transmisi. *Differential relay* digunakan sebagai salah satu pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Rele ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat, sehingga rele ini tidak perlu dikordinir oleh rele lain. Cara kerja *differential relay* adalah dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder. Dalam kondisi normal, jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang di proteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi di daerah kerja *differential relay* tersebut adalah ($I_d = I_p - I_s = 0$). Jika terjadi gangguan di dalam daerah kerja *Differential Relay*, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan rele akan memberi perintah kepada *circuit breaker* untuk memutuskan arus.

Dalam kondisi normal, arus mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (generator, transformator dan lain-lainnya). Arus-arus sekunder transformator arus, yaitu I_1 dan I_2 bersirkulasi melalui jalur I_A . Jika rele pengaman dipasang antara terminal 1 dan 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus mengalir melaluinya.



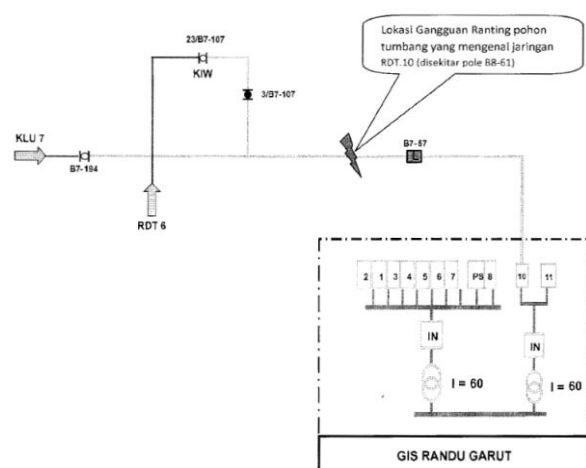
Gambar 4 Pengawatan Dasar *Differential Relay*

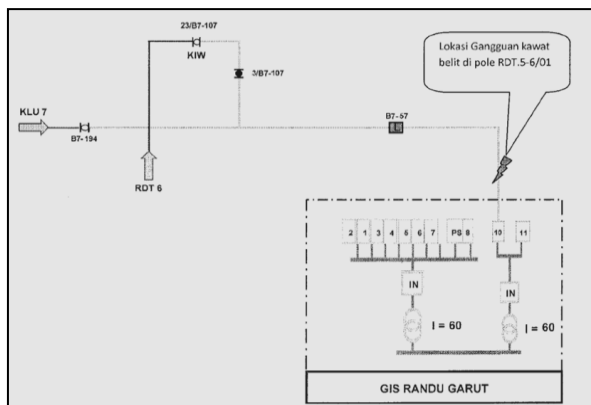
Jika terjadi gangguan diluar peralatan listrik peralatan listrik yang diamankan (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasinya akan tetap sama dengan pada kondisi normal, sehingga rele pengaman tidak akan bekerja untuk gangguan luar tersebut. Pada gangguan diluar (eksternal) daerah proteksi *differential relay* (diluar kedua trafo arus), *dfiferential relay* tidak akan bekerja, karena I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah. ($I_d = I_p + I_s = 0$).

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengumpulan data sekunder di GIS Randugarut di PT PLN APP Semarang. Data yang didapatkan kemudian dianalisis dengan menggunakan perhitungan manual. Penelitian ini berawal dari rusaknya trafo II-60 MVA merk UNINDO tipe *Continuous Service* pada saat penormalan gangguan di penyulang Randugarut 10 yang menyebabkan PMT *Outgoing* Randugarut 10 trip dengan indikasi rele OCR-GFR Instant bersamaan dengan PMT 150 kV dan 20 kV trafo II-60 MVA trip oleh *differential relay* merk Siemens 7UT613 dengan indikasi trip *differential* fasa R-S, rele mekanik *Sudden Pressure* dan Buchholz dengan indikasi Buchholz Alarm, Buchholz Trip dan *Relief Pressure Device Protection Trip*. Gangguan ini menyebabkan pemadaman konsumen sebesar 7, 72 MW pada hari Rabu tanggal 21 November 2012 pukul 15.32 WIB,

Berdasarkan investigasi pelacakan di lapangan ditemukan konduktor yang terbelit di tiang RDT 5.6-1 (tiang susun RDT 10 dan RDT 11). Akibat gangguan tersebut PT PLN (Persero) APP Semarang tidak dapat menyalurkan energi listrik sebesar 53, 654 MWh selama 417 menit karena proses pelimpahan beban yang terkendala perbaikan jaringan SUTM yang rantas.





Gambar 5 Lokasi Gangguan yang Menyebabkan Penyulang Trip

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penelitian

Transformator tenaga yang digunakan pada GIS Randugarut adalah transformator tiga fasa merk UNINDO tipe *Continuous Service* dengan rating daya 42/60 MVA – frekuensi 50 Hz. Saat beroperasi dan terbebani terus menerus, kenaikan suhu tidak boleh melebihi standard pada suhu lingkungan 20° untuk minyak 50° K dan belitan 55° K, serta sistem pendinginan ONAN/ONAF dan impedansi 12.5 %. Data pada *name plate* transformator dapat dilihat pada tabel berikut :

TABEL 1
NAME PLATE TRANSFORMATOR II KAPASITAS
60 MVA GIS RANDUGARUT

	HIGH VOLTAGE	LOW VOLTAGE	TERTIARY VOLTAGE
RATED POWER in MVA (ONAN/ONAF)	42/60	42/60	20
RATED VOLTAGE in kV	150	20	10
RATED CURRENT in A (ONAN/ONAF)	161.7/230.9	1212.4/1732.1	656.66
LINE IN	1U 1V 1W	2U 2V 2W	3W1 3W2
NEUTRAL IN	1N	2N	

Pada transformator II 60 MVA GIS Randugarut *vector group* yang digunakan adalah hubungan vector YNyn0d11. *Vector group* ini berarti belitan tegangan tinggi dihubung bintang dan netralnya dikeluarkan, belitan tegangan rendah dihubung bintang dan netralnya dikeluarkan. Pergeseran fasanya 0° atau jam 00. Sedangkan untuk belitan tersiernya dihubung delta dengan pergeseran fasa pada arah jam 11.

Jenis busbar pada GIS Randugarut adalah *double* busbar dan terdiri dari beberapa bay yaitu bay Krapyak I, bay Krapyak II, bay Kaliwungu I, dan bay Kaliwungu II. Dari beberapa bay tersebut GIS Randugarut menerima tegangan tinggi yang akan disalurkan ke konsumen pada penyulang RGT. 1, RGT. 2, RGT. 3, RGT. 4, RGT. 5, RGT. 6, RGT. 7, RGT. 8, RGT. 9, RGT. 10, RGT. 11. Penyulang RGT.1 sampai dengan RGT. 8 dipasang dari trafo I POUWELS dengan kapasitas 60 MVA sedangkan penyulang RGT. 9 sampai dengan RGT. 11 dipasang dari trafo II UNINDO dengan kapasitas 60 MVA.

3.2 Penyetelan Differential Relay

Setelan Terminal Auxiliary Rele

Pada sisi 150 kV, arus nominal trafo sisi sekunder adalah : 0,7696 / 1 A (Sekunder)

Pada sisi 20 kV, arus nominal trafo sisi sekunder adalah : 0,866 / 5 A (Sekunder)

Maka, setelan arus pick up rele dipilih :

$$I_{NR} = 0,3 \cdot I_N$$

$$\text{Range} = 20 - 50 \%$$

$$I_{set} = 0,2 \quad R_{st} = 635$$

$$VA = 1$$

Setting ini dipilih berdasarkan kebutuhan dan hasil *commissioning* PT. PLN Persero bahwa setting *differential relay* adalah sebesar 0,3. I_N dengan waktu instan. Untuk perbedaan arus yang terjadi di sisi primer dan sekunder, *Differential Relay* merk Siemens type 7UT613 merupakan rele jenis numerik sehingga *matching* arus tidak lagi menggunakan *Auxiliary Current Transformer* (ACT) tetapi di dalam rele itu sendiri.

3.3 Hasil Disturbance Fault Record

Dari hasil rekam DFR tersebut dapat dilihat bahwa pada saat gangguan pertama, arus rata-rata tertinggi yang terbaca adalah 5.589 Ampere pada sisi primer sedangkan pada sisi sekunder sebesar 28.397 Ampere. Pada kondisi ini, *differential relay* tidak membaca dikarenakan gangguan yang terjadi merupakan gangguan eksternal, *differential relay* hanya merasakan adanya gangguan dengan ditunjukkannya pick up *differential relay*. Diagram vector yang terdapat pada DFR tersebut juga menunjukkan masih adanya keseimbangan sudut antar fasa. Pada saat gangguan kedua, *differential relay* mulai bekerja karena merasakan adanya perbedaan arus yang melebihi dari settingnya. Arus rata-rata tertinggi yang terbaca adalah sebesar 7.903 Ampere. Diagram vector

$$\Delta i = \frac{I_s - I_p}{\text{Arus nominal rele}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,125 \text{ A} - 1 \text{ A}}{1 \text{ A}} \times 100\% = 12,5 \%$$

Dengan demikian, meskipun ada perbedaan arus pada sisi primer dan sekunder yang terbaca oleh CT, *differential relay* **tidak bekerja** karena adanya matching di dalam rele tersebut yang menyebabkan Idif yang dibaca rele adalah 0.

b. Kondisi Gangguan Pertama

Pada saat gangguan eksternal seperti pada kejadian pertama di GIS Randugarut yang menyebabkan penyulang Randugarut 10 trip, *differential relay* tidak bekerja meskipun pada DFR tertera Idif diatas setting rele yaitu sebesar 0,613 pada fasa R, 0,533 pada fasa S dan 0,372 pada fasa T. Namun, *differential relay* masih membaca arus ini sebagai arus normal dilihat dari masih setimbang sudut fasa. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat arus instant pada DFR sebagai berikut :

- Arus instant fasa R sisi primer = 7,239 Ampere (Rasio 300/1)

$$\begin{aligned} \text{Arus instant fasa R sisi skunde r} &= 37,731 \text{ Ampere (Rasio 2000/5)} \\ &= 37,731 \text{ Ampere} \div 5 = 7,5462 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$I \text{ dif} = I_1 - I_2 = 7,5462 \text{ A} - 7,239 \text{ A} = 0,3072 \text{ A}$$

- Arus instant fasa S sisi primer = 8,444 Ampere (Rasio 300/1)
Arus instant fasa S sisi sekunder = 43,457 Ampere (Rasio 2000/5)
= 43,457 Ampere \div 5 = 8,6914 Ampere

$$I \text{ dif} = I_1 - I_2 = 8,6914 \text{ A} - 8,444 \text{ A} = 0,2474$$

- Arus instant fasa T sisi primer = 6,546 Ampere (Rasio 300/1)
Arus instant fasa T sisi sekunder = 33,883 Ampere (Rasio 2000/5)
= 33,883 Ampere \div 5 = 6,7766 Ampere

$$I \text{ dif} = I_1 - I_2 = 6,7766 \text{ A} - 6,546 \text{ A} = 0,2306 \text{ A}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa arus yang terbaca masih lebih kecil dari setting *differential relay* sebesar 0,3 Ampere. Arus Idif paling besar yang dirasakan

differential relay adalah sebesar 0,3075 Ampere pada fasa R sehingga menyebabkan *differential relay pick up*. Kondisi ini menyebabkan bekerjanya rele lain seperti OCR dan GFR dikarenakan arus yang cukup besar melalui rele tersebut. Gangguan ini diketahui setelahnya merupakan gangguan hubung singkat 1 fasa dengan tanah akibat jatuhnya pohon.

c. Kondisi Gangguan Kedua

Gangguan kedua merupakan gangguan internal yang disebabkan oleh gangguan eksternal untuk kedua kalinya. Pada kondisi ini *differential relay* bekerja sebagaimana mestinya. Arus Idif yang tertera pada DFR adalah sebesar 0,574 pada fasa R, 0,550 pada fasa S, dan 0,104 pada fasa T. Dibandingkan dengan gangguan pertama, pada gangguan kedua ini, *differential relay* membaca adanya gangguan di daerah pengamanannya yang menyebabkan pergeseran sudut fasa sehingga diagram vector menjadi tidak seimbang. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat arus instant pada DFR sebagai berikut :

- Arus instant fasa R sisi primer = 3,944 Ampere (Rasio 300/1)
Arus instant fasa R sisi primer = 21,971 Ampere (Rasio 2000/5)
= 21,971 Ampere \div 5 = 4,3942 Ampere

$$I \text{ dif} = 4,3942 \text{ A} - 3,944 \text{ A} = 0,4502 \text{ A}$$

- Arus instant fasa S sisi primer = 3,6688 Ampere (Rasio 300/1)
Arus instant fasa S sisi sekunder = 19,954 Ampere (Rasio 2000/5)
= 19,954 Ampere \div 5 = 3,9908 Ampere
I dif = 3,9908 A – 3,6688 A = 0,322 A

- Arus instant fasa T sisi primer = 0,523 Ampere (Rasio 300/1)
Arus instant fasa T sisi sekunder = 2,604 Ampere (Rasio 2000/5)
= 2,604 Ampere \div 5 = 0,5208 Ampere

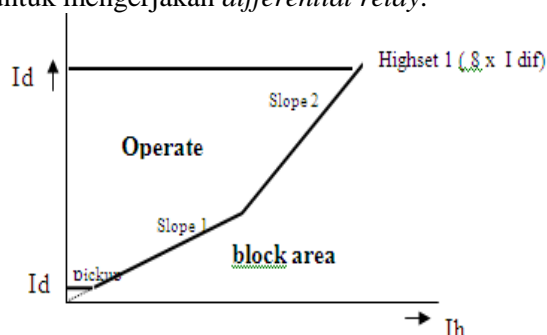
$$I \text{ dif} = 0,5208 \text{ A} - 0,523 = -2,2 \times 10^{-3}$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa I dif yang dibaca melebihi setting *differential relay* adalah sebesar 0,4502 Ampere pada fasa R, dan 0,322 Ampere pada fasa S. Selain itu dapat dilihat bahwa terjadi ketidak seimbangan arus dari hasil tersebut (arus pada fasa T sangat kecil). Dari

investigasi kemudian diketahui bahwa gangguan ini disebabkan adanya deformasi dari belitan fase S di sisi sekunder transformator yang disebabkan adanya gangguan eksternal yang cukup besar berupa terbelitnya konduktor fase R dan fase S di dekat Gardu Induk.

Analisa di atas membuktikan bahwa kerja *differential relay* sebagai pengaman utama transformator di GIS Randugarut sangat akurat karena bekerja sesuai settingnya dengan mentripping CB apabila Idif yang dirasakan lebih besar dari 0,3 Ampere. Selain itu, dapat diketahui *differential relay* sangat selektif karena hanya bekerja di daerah pengamanannya saja.

Untuk membuat *differential relay* bekerja apabila ada arus gangguan yang besar namun tidak terjadi di daerah pengamanannya, *differential relay* dapat disetting dengan mengaktifkan *high set* sebesar 8 kali Idif yang akan memblok daerah slope kerja *differential* untuk mengerjakan *differential relay*.



Gambar 6 Grafik High Set Differential Relay

3.6 Analisa Kondisi Transformator Analisa Kondisi Transformator

Akibat gangguan yang terjadi pada transformator 2 GIS Randugarut ini, trafo dinyatakan rusak dan tidak layak operasi karena mengalami deformasi belitan pada sisi sekundernya sehingga diperlukan penggantian transformator. Kerusakan atau ketidak normalan transformator ini diketahui setelah melakukan serangkaian pengujian seperti :

1. Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA)
2. Hasil : Indikasi terjadinya Arcing pada system.
3. Pengujian Karakteristik Minyak
4. Hasil : Kondisi Baik.
5. Pengujian AC HV Test
6. Hasil : Kondisi Baik
7. Pengujian SFRA
8. Hasil : Indikasi terjadinya kerusakan pada belitan tersier dan sekunder transformator
9. Pengujian Tahanan Isolasi Belitan
10. Hasil : Kondisi Baik

11. Pengujian Tahanan DC (RDC)
12. Hasil : Indikasi penyimpangan nilai yang cukup besar
13. Pengujian Rasio Trafo
14. Hasil : Masih dalam batas toleransi

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Prinsip kerja *differential relay* adalah dengan membandingkan arus yang terbaca pada Current Transformer sisi primer dan sisi sekunder dengan menggunakan Hukum Kirchoff yaitu arus yang mengalir pada kedua CT saling menghilangkan ($I_d = I_p - I_s = 0$). Kemampuan *differential relay* bekerja adalah di dalam daerah pengamanannya yaitu di antara dua CT dengan pembacaan arus Id sebesar 0,3 Ampere ($0,3 \times I_n$).
2. Gangguan yang menyebabkan *differential relay* bekerja adalah gangguan internal pada transformator berupa *incipient faults* dan *electrical faults*. Kedua gangguan ini bisa disebabkan dengan adanya gangguan eksternal dengan arus yang besar dan tidak segera diatasi. Bekerjanya *differential relay* dapat menyebabkan tripnya transformator terlebih apabila transformator mengalami kerusakan.
3. Besarnya setting *differential relay* pada GIS Randugarut adalah $0,3 \times I_n$ atau sebesar 0,3 Ampere untuk pick up dan $8 \times I_n$ atau sebesar 8 Ampere untuk *high set* dan karakteristik waktu instan, saat terjadi gangguan di GIS Randugarut *differential relay* bekerja saat merasakan adanya Idif sebesar 0,4502 Ampere pada fase R dan 0,322 Ampere pada fase S. Itu menunjukkan bahwa setting *differential relay* sesuai dengan arus kerja saat terjadi gangguan di daerah pengamanannya. Sedangkan pada gangguan eksternal sebelumnya, *differential relay* hanya merasakan.
4. *Differential relay* merupakan pengaman utama transformator sehingga bekerja sangat andal apabila merasakan adanya gangguan di daerah pengamanannya. Selain itu, apabila ada gangguan eksternal *differential relay* ikut merasakan. *Differential relay* dapat juga di setting agar bekerja apabila ada arus gangguan besar di

luar daerah pengamanannya dengan mengaktifkan *high set* sebesar 8 kali I nominal rele untuk memblok slope kerja rele.

5. Berdasarkan hasil pengujian, Transformator II pada GIS Randugarut dengan kapasitas 60 MVA setelah gangguan tersebut mengalami kerusakan utamanya deformasi pada belitan S sisi sekunder. Kerusakan itu disebabkan besarnya arus gangguan eksternal (mencapai 16 kA) sehingga menimbulkan hubung singkat internal pada belitan S.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Gramedia, Jakarta, 1995.
- [2] ____, O&M Trafo, Pusdiklat PLN, 2011.
- [3] ____, Gangguan Transformator, Pusdiklat PLN, 2010.
- [4] ____, O&M Kontrol Transformator Pusdiklat PLN, 2011.
- [5] ____, Dasar Sistem Tenaga Listrik, Pusdiklat PLN, 2009.