

ANALISA TROUBLE DIFFERENTIAL RELAY TERHADAP TRIP CB (CIRCUIT BREAKER) 150 KV TRANSFORMATOR 30 MVA PLTGU PANARAN

Muhammad Irsyam

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan

Sistem proteksi merupakan kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dalam ketenagalistrikan. Sistem proteksi yang handal akan menjaga sistem kelistrikan serta menjaga alat dari kerusakan yang lebih besar akibat gangguan dalam (internal) dan gangguan luar (external). Salah satu sistem proteksi adalah relai differential transformator. Relai differential merupakan proteksi utama sebuah transformator (main protection). Relai differential bekerja sangat selektif dan cepat tanpa waktu jeda (time delay). Relai differential bekerja pada saat ada gangguan dalam area pengamanannya yang dibatasi oleh transformator arus dan tidak boleh bekerja pada saat ada gangguan luar. Oleh karena itu pemasangan relai differential harus benar dan sesuai dengan standar ketenagalistrikan.

Dalam kehidupan serba *modern* ini serta penuh dengan rekayasa teknologi, pemenuhan akan kebutuhan energi listrik yang digunakan untuk menjalankan peralatan yang diciptakan untuk mempermudah kehidupan manusia mutlak diperlukan. Peralatan itu baik yang digunakan dalam rumah tangga, peralatan perkantoran sampai peralatan yang digunakan dalam dunia industri.

Tegangan yang dikirim dari Pembangkit Panaran adalah tegangan menengah yaitu 11 kV, selanjutnya tegangan menengah itu dinaikkan ke tegangan tinggi 150 kV melalui transformator *step-up* yang berada di GI Panaran. Untuk menjaga kehandalan dan keawetan Tranformator pembangkit dipasanglah beberapa rele pengaman yaitu : relai *over current*, relai *ground fault*, relai *differential*, relai *bucholz*, relai *thermal*.

Kendala dalam proses penyaluran energi listrik cukup banyak baik dibagian hulu maupun dibagian hilir. Untuk dibagian hulu yaitu di pembangkit listrik bisa disebabkan oleh mesin pembangkit, transformator pembangkit, bahan bakar dan lain-lainnya. Salah satunya terjadi gangguan pada transformator 30 MVA PLTGU terjadi *TRIP* dengan indikasi relai differensial *trip* yang bersamaan dengan gangguan yang terjadi pada *line* transmisi 150 kV oleh petir pada *line 2* Batu Besar – Muka Kuning dan *line 2* Baloi – Sengkuang. Seharusnya transformator PLTGU Panaran tidak terjadi *trip* karena gangguan yang terjadi pada *line* transmisi, bukan pada *area* dari transformator itu sendiri, sehingga seharusnya relai diferensial tidak bekerja.

Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet (hukum Faraday).

Transformator terdiri dari beberapa bagian yang saling terkait dan membentuk peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan daya serta sebagai penaik atau penurun tegangan.

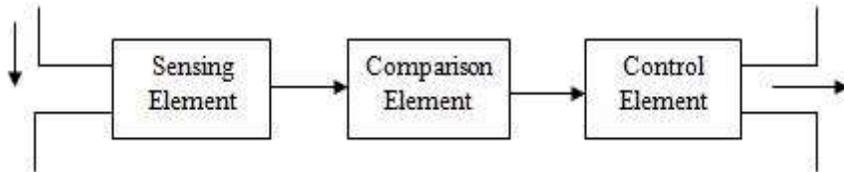
Transformator terdiri atas tiga bagian yaitu :

1. Bagian utama Transformator

2. Peralatan bantu
3. Peralatan proteksi

Sistem Proteksi

Relai proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat mendeteksi adanya kondisi abnormal pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis membuka pemutus tenaga (PMT), untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan alarm. Bentuk dari hubungan dari relai proteksi tampak seperti gambar.



Gambar1. Elemen dasar relai proteksi

1. Elemen sensor (*sensing element*) merupakan elemen yang berfungsi untuk memberi tanggapan / reaksi terhadap adanya perubahan-perubahan besaran seperti tegangan, arus, frekuensi, suhu dan lain-lain yang menandakan adanya gangguan.
2. Elemen pembanding (*comparison element*) merupakan suatu elemen yang berfungsi untuk membandingkan besaran listrik yang diukur atau yang terdeteksi terhadap besaran yang ditentukan.
3. Elemen pemutus (*control element*) merupakan suatu elemen yang berfungsi untuk mengambil keputusan dalam mengirimkan sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) baik secara seketika maupun dengan perlambatan waktu (waktu tunda).

Transformator Arus

Transformator Arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Pemilihan rasio transformator arus harus sesuai dengan persamaan dibawah ini.

$$I_n = \frac{S}{kV \times \sqrt{3}}$$

Dimana :

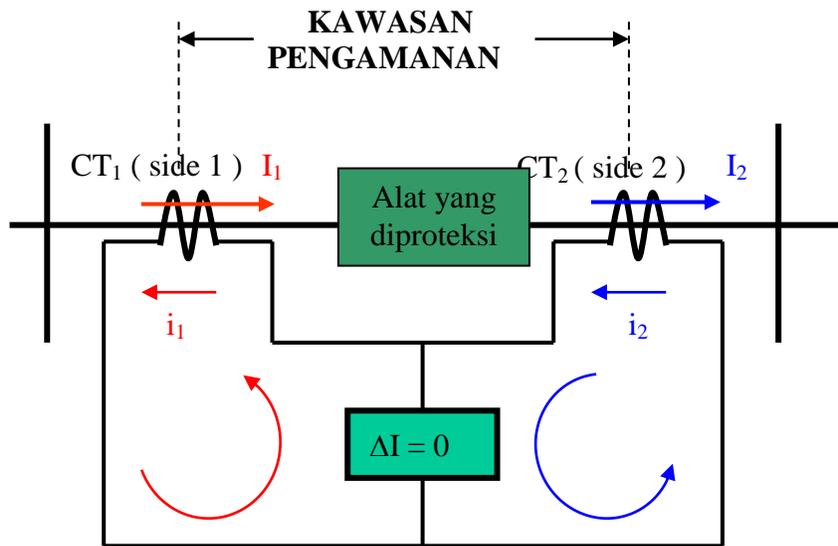
I_n = arus nominal (A)

S = daya yang tersalur (MVA)

Relai Differential

Proteksi *differential* merupakan salah satu pelindung utama pada transformator daya bila terjadi *short circuit* atau terjadi hubung singkat antar fasa di *internal* peralatan (daerah yang diproteksi). Prinsip dari relai *differential* adalah sesuai dengan hukum arus *kirchoff* yaitu :

“ Jumlah aljabar dari arus yang menuju / masuk dengan arus yang meninggalkan / keluar pada titik sambungan / cabang sama dengan nol.



Gambar 2. Gambar relai *differential*

Prinsip kerja relai proteksi *differential* adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke relai (lihat gambar 2.2), apa bila pada sisi primer transformator arus (CT₁) dialiri arus I₁, maka pada sisi primer transformator arus (CT₂) akan dialiri arus I₂ (dalam pembahasan nanti untuk CT₂ sama dengan *side 2* yang nilainya hasil dari M₂-M₃), pada saat yang sama sisi sekunder kedua transformator arus (*side 1* dan *side 2*), akan mengalir arus i₁ dan i₂ yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya i₁ = i₂ maka relai tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus (Δi = 0), tetapi jika besarnya arus i₁ ≠ i₂ maka relai akan bekerja, karena adanya selisih arus (Δi ≠ 0).

Selisih arus ini disebut arus *differential*. Arus inilah yang menjadi dasar bekerjanya relai diferensial. Jadi bisa disimpulkan :

$$I_{diferensial} = I_d = \left| \vec{I}_P \right| + \left| \vec{I}_S \right|$$

Dimana :

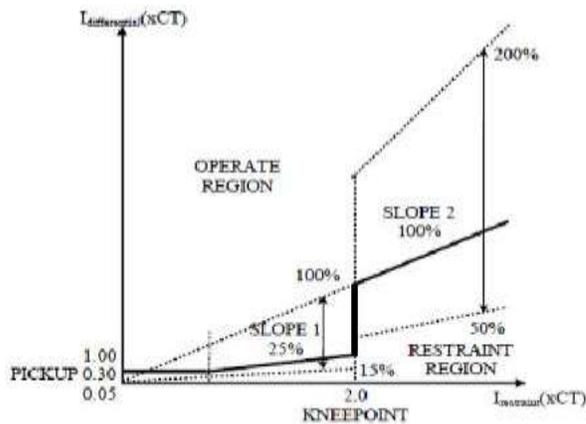
I_d = Arus diferensial (A)

I_p = Arus sisi masuk / primer (A)

I_s = Arus sisi keluar / sekunder (A)

Karakteristik Relai *Differential*

Karakteristik *differential* dibuat sejalan dengan *unbalances current* (I_μ), untuk menghindari kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan karena CT *ratio mismatch*, pergeseran fasa akibat belitan transformator terhubung (Y) – (Δ), perubahan *tap* tegangan (OLTC), kesalahan akurasi CT, perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (saturasi CT), dan *inrush current* pada saat transformator *energize* dapat menimbulkan *unbalances current* (I_μ) yang bersifat *transient*.



Gambar 3. Karakteristik presentase *differential Slope* adalah karakteristik (kecuraman / lengkungan) yang didapat dari membagi antara komponen arus *differential* (I_d) dengan arus penahan (I_r).

$$\text{Untuk } I_r = I_{restrain} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$\text{Untuk besaran setting } \% \text{ Slope} = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \%$$

Pengumpulan Data Transformator

Tabell. Data Transformator

NO	Deskripsi	Data
1	Jumlah Fasa	3
2	Jumlah lilitan / <i>winding</i>	2
3	<i>Rated frequency</i>	50 Hz
4	<i>Rated MVA</i>	25/30 MVA
5	HV (<i>High Volt</i>)	150 kV
6	LV (<i>Low Volt</i>)	11 kV
7	Resistensi <i>winding</i> (20°) - per fasa HV - per fasa LV	2,10301 Ω 0,02676 Ω
8	Impedansi	12 % at 25 MVA

3.2 Data Transformator Arus

Tabel 2. Data CT (*current transformer*)

NO	Data	Primer	Sekunder	<i>Ratio CT</i>	Spesifikasi
1	CT 1 (M1)	150	1	150 : 1	5P20, 30 VA
2	CT 2 (M2)	2000	1	2000 : 1	5P20, 40 VA
3	CT 3 (M3)	200	1	200 : 1	5P20, 40 VA

Nilai dari *ratio* CT yang tertera pada tabel didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan :

$$I \text{ nominal} = \frac{S}{kV \times \sqrt{3}}$$

Untuk perhitungannya seperti di bawah ini :

Untuk sisi CT 1 (M1) / *high volt* (HV) :

$$\text{In sisi 150 kV} = \frac{30 \text{ MVA}}{150 \times \sqrt{3}} = \frac{30.000}{259,807} = 115,47 \text{ A}$$

Untuk sisi CT 2 (M2) / *low volt* (LV) :

$$\text{In sisi 11 kV} = \frac{30 \text{ MVA}}{11 \times \sqrt{3}} = \frac{30.000}{19,052} = 1574,64 \text{ A}$$

Untuk sisi CT 3 (M3) / *auxiliary* :

$$\text{In sisi 11 kV (auxiliary)} = \frac{2,5 \text{ MVA}}{11 \times \sqrt{3}} = \frac{2500}{19,052} = 131,22 \text{ A}$$

Pemilihan CT yang digunakan disesuaikan dengan yang ada dipasaran yang memiliki nilai mendekati arus *rating*nya.

Data Arus *Differential* dan *Setting Relai Differential*

Tabel 3. Arus *differential* dan arus *restrain* pada saat gangguan

Fasa	I Diff	I Rest
R	0,09 I/InO	0,34 I/InO
S	0,33 I/InO	0,41 I/InO
T	0,13 I/InO	0,51 I/InO

Perhitungan *Setting Relai Differential*

Sebelum menganalisa gangguan yang terjadi pada transformator pembangkit sebaiknya kita mencari dulu nilai dari *setting relai differential* yang telah ditetapkan dengan persamaan:

Sisi *High voltage* :

$$I_{flp} \text{ (arus full load di sisi primer) 150 kV} = \frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} = \frac{30000}{259,8}$$

$$I_{flp} \text{ sisi 150 kV} = 115,47 \text{ A}$$

$$I_{fls} \text{ (arus full load sisi sekunder) 150 kV} = 115,47 \times \frac{1}{150}$$

$$I_{fls} \text{ sisi 150 kV} = 0,7698 \text{ A}$$

Sisi *low voltage* :

$$I_{flp} \text{ (arus full load di sisi primer) 11 kV} = \frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 11 \text{ kV}} = \frac{30000}{19,052}$$

$$I_{flp} \text{ sisi 11 kV} = 1574,64 \text{ A}$$

$$I_{fls} \text{ (arus full load sisi sekunder) 11 kV} = 1574,64 \times \frac{1}{2000}$$

$$I_{fls} \text{ sisi 150 kV} = 0,7873 \text{ A}$$

Arus di relai *differential* pada saat beban penuh (persamaan 2.13) :

$$I_{op} = | I_{fls} \text{ sisi 150 kV} - I_{fls} \text{ sisi 11 kV} |$$

$$I_{op} = | 0,7698 - 0,7873 |$$

$$I_{op} = | -0,0175 | = 0,0175 \text{ A}$$

$$I_{restrain} = | I_{fls} \text{ sisi } 150 \text{ kV} | + | I_{fls} \text{ sisi } 11 \text{ kV} |$$

$$I_{restrain} = | 0,7698 | + | 0,7873 |$$

$$I_{restrain} = | 1,5571 | = 1,5571 \text{ A}$$

Pada kondisi normal arus *full load* di relai *differential* adalah :

$$\frac{0,0175}{1,5571} \times 100 = 1,1239 \%$$

Setting relai *differential* :

Min. *setting* = *Error tap* tranfomator (%) + *mismatching* (%) + *error CT* (%) + toleransi

$$= \left(\frac{2 \times 2,5}{150} \times 100 \% \right) + 1,1239 \% + 5 \% + 5 \%$$

$$= 3,333 \% + 1,1239 \% + 5 \% + 5 \%$$

$$= 14,45 \%$$

Untuk *setting* relai *differential* yang digunakan 30 % atau 0,3 I/In Tr.

Untuk menghitung *slope* minimum *setting* yaitu :

Arus *differential* pada sisi *high volt* (150 kV)

$$I_{op} = 0,30 \times \frac{150}{1}$$

$$I_{op} = 45 \text{ A pada sisi } 150 \text{ kV}$$

$$I_{restrain} = 1,5571 \times \frac{150}{1}$$

$$I_{restrain} = 233,57 \text{ pada sisi } 150 \text{ kV}$$

Arus *differential* pada sisi *low volt* (11 kV)

$$I_{op} = 0,30 \times \frac{2000}{1}$$

$$I_{op} = 600 \text{ A pada sisi } 11 \text{ kV}$$

$$I_{restrain} = 1,5571 \times \frac{2000}{1}$$

$$I_{restrain} = 3114,2 \text{ pada sisi } 11 \text{ kV}$$

Setting slope 1 minimum :

$$\text{Slope (\%)} = \frac{I_d}{I_{restrain}} \times 100 \%$$

$$= \frac{45}{233,57} \times 100 \%$$

$$= 19,266 \% \text{ (standar dari PLN } 20 \% \text{ sampai } 30 \% \text{)}$$

Setting yang dipakai relai *Siprotec Siemens 7UT613* saat ini 30 %.

Setting slope 2 minimum :

$$= \left(\frac{45}{233,57} \right) 2 \times 100 \%$$

$$= 38,53 \% \text{ (standar dari PLN } 40 \% \text{ sampai } 60 \% \text{)}$$

Setting yang dipakai relai *Siprotec Siemens 7UT613* saat ini 50 %.

Analisa Gangguan Saat Relai *Differential* Bekerja (*Trouble Shooting*)

1. Analisa pada Transformator

Hasil perhitungan besaran arus *differential* secara teoritis saat relai bekerja :

Sisi *high voltage* (M1) :

Fasa R : I_p sisi 150 kV = 18,9 A

$$I_s \text{ sisi } 150 \text{ kV} = 18,9 \times \frac{1}{150} = 0,126 \text{ A}$$

Fasa S : I_p sisi 150 kV = 18,2 A
 I_s sisi 150 kV = $18,2 \times \frac{1}{150} = 0,121$ A

Fasa T : I_p sisi 150 kV = 20,5 A
 I_s sisi 150 kV = $20,5 \times \frac{1}{150} = 0,136$ A

Sisi *low voltage* (M2) :

Fasa R : I_p sisi 11 kV = 0,89 A
 I_s sisi 11 kV = $0,89 \times \frac{1}{2000} = 0,0005$ A

Fasa S : I_p sisi 11 kV = 1,2 A
 I_s sisi 11 kV = $1,2 \times \frac{1}{2000} = 0,0006$ A

Fasa T : I_p sisi 11 kV = 1,92 A
 I_s sisi 11 kV = $1,92 \times \frac{1}{2000} = 0,0009$ A

Sisi *low voltage* (M3) :

Fasa R : I_p sisi 11 kV = 274 A
 I_s sisi 11 kV = $274 \times \frac{1}{200} = 1,37$ A

Fasa S : I_p sisi 11 kV = 242 A
 I_s sisi 11 kV = $242 \times \frac{1}{200} = 1,21$ A

Fasa T : I_p sisi 11 kV = 268 A
 I_s sisi 11 kV = $268 \times \frac{1}{200} = 1,34$ A

Arus di *side 1* :

$$I_{\text{nominal}} = \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150} = \frac{25000}{259,8} = 96,23 \text{ A}$$

Fasa R : I sisi 150 kV = 18,9 A
 I sisi 150 kV = $18,9 \times \frac{1}{96,23} = 0,196$ A

Fasa S : I sisi 150 kV = 18,2 A
 I sisi 150 kV = $18,2 \times \frac{1}{96,23} = 0,189$ A

Fasa T : I sisi 150 kV = 20,5 A
 I sisi 150 kV = $20,5 \times \frac{1}{96,23} = 0,212$ A

Arus di *side 2* :

$$I_{\text{nominal}} = \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 11} = \frac{25000}{19,052} = 1312,19 \text{ A}$$

Fasa R : I sisi 11 kV = (274 – 0,89) = 273,11 A
 I sisi 11 kV = $273,11 \times \frac{1}{1312,19} = 0,208$ A

Fasa S : I sisi 11 kV = (242 – 1,2) = 240,8 A
 I sisi 11 kV = $240,8 \times \frac{1}{1312,19} = 0,184$ A

Fasa T : I sisi 11 kV = (268 – 1,92) = 266,08 A
 I sisi 11 kV = $266,08 \times \frac{1}{1312,19} = 0,203$ A

Jadi arus *differential* nya (I_{diff}) :

$$I_{\text{diff}} = | \text{side 1} - \text{side 2} |$$

$$I_{\text{diff}} (\text{ fasa R}) = | 0,196 - 0,208 | = 0,012$$

$$I_{\text{diff}} (\text{ fasa S}) = | 0,189 - 0,184 | = 0,004$$

$$I_{diff} \text{ (fasa T)} = | 0,212 - 0,203 | = 0,009$$

Untuk arus *restrain* (I_{rest}) :

$$I_{rest} = | \textit{side 1} + \textit{side 2} |$$

$$I_{rest} \text{ (fasa R)} = | 0,196 + 0,208 | = 0,404$$

$$I_{rest} \text{ (fasa S)} = | 0,189 + 0,184 | = 0,373$$

$$I_{rest} \text{ (fasa T)} = | 0,212 + 0,203 | = 0,415$$

Pada saat gangguan arus *differential* terbesar pada fasa R.

$$\frac{0,012}{0,404} \times 100 \% = 2,97 \%$$

2,97 % < 30 % maka relai *differential* tidak bekerja.

Dari perhitungan secara teoritis nilai arus *differential* masih dibawah nilai setting dari relai *differential*, berarti transformator tidak mengalami gangguan dan relai seharusnya tidak bekerja. Tetapi kenyataannya relai *differential* bekerja dengan arus *differential* fasa S melebihi nilai *setting*. Dari perhitungan dan dari hasil *download* pada relai *differential* terdapat perbedaan yang sangat besar.

2 Analisa Pada Transformator Arus (CT)

Transformator arus yang dipakai :

$$\text{CT 1 (M1)} = 150 : 1 \text{ spesifikasi 5P20, 30 VA}$$

$$\text{CT 2 (M2)} = 2000 : 1 \text{ spesifikasi 5P20, 40 VA}$$

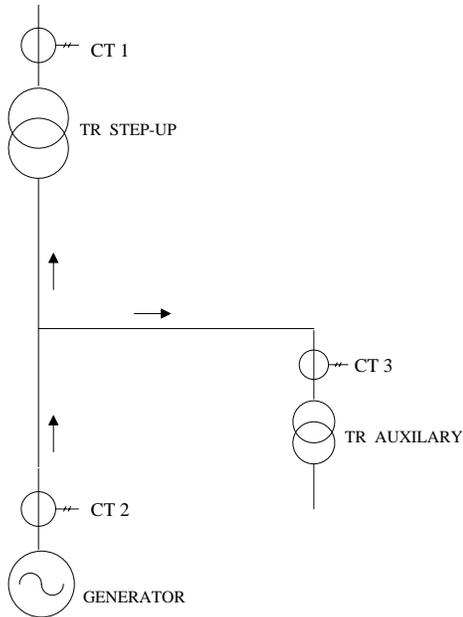
$$\text{CT 3 (M2)} = 200 : 1 \text{ spesifikasi 5P20, 40 VA}$$

Dari data dapat diketahui pada CT 1 dan CT 2 arus yang melewati relatif kecil dan berarti masih jauh dari kejenuhan transformator arus, sedangkan pada CT3 (M3) dapat dilihat bahwa arus yang melewati transformator arus melebihi dari arus pengenalnya tetapi masih dalam batas aman dari kejenuhan CT nya yang mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya, dan ini berarti transformator arus tidak mengalami masalah.

Analisa Pada Relai *Differential*

Pemasangan relai *differential* harus benar dan sesuai dengan standarnya sehingga tidak salah kerja. Kesalahan kerja dapat terjadi oleh beberapa faktor seperti penyetelan relai, polaritas yang terbalik, kejenuhan dari CT yang digunakan pada proteksi ini.

Untuk memecahkan dari persoalan di atas dengan cara melihat besaran arus saat transformator beroperasi normal. Untuk lebih mudah dipahami akan dilihat pada gambar1. Pada gambar terlihat arah aliran arus dan letak dari CT yang digunakan.



Gambar 1. Arah arus dan letak *current transformer* (CT)

Untuk data arus transformator pada saat transformator beroperasi normal adalah sebagai berikut :

CT 1 (M1) : R = 34,9 A	CT 2 (M2) : R = 0,55 kA	CT 3 (M3) : R = 0,06 kA
S = 35,6 A	S = 0,54 kA	S = 0,06 kA
T = 69,2 A	T = 0,55 kA	T = 0,06 kA

CT 2 (M2) adalah sumber arus (generator), untuk CT 1 (M1) tranformator sisi tegangan tinggi dan untuk CT 3 (M3) adalah *auxiliary* atau PS (pemakaian sendiri). Sesuai dengan hukum *kirchoff* yaitu jumlah arus yang masuk ketitik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik percabangan.

Dari hasil penelitian dari relai *differential* dengan untuk *side 1* (sisi tegangan tinggi) dan *side 2* (sisi tegangan rendah) pada saat beroperasi normal sebagai berikut :

Side 1 : R = 35,3 A	Side 2 : R = 490 A
S = 35,6 A	S = 610 A
T = 36,3 A	T = 490 A

Dari data diatas terlihat untuk fasa R dan T nilainya sama yaitu 490 A dan untuk fasa S nilainya jauh lebih tinggi yaitu 610 A. Dengan teoritis untuk *side 2* didapat dari :

$$R = M2 - M3 = 0,55 \text{ kA} - 0,06 \text{ kA} = 0,49 \text{ kA}$$

$$S = M2 - M3 = 0,54 \text{ kA} - 0,06 \text{ kA} = 0,48 \text{ kA}$$

$$T = M2 - M3 = 0,55 \text{ kA} - 0,06 \text{ kA} = 0,49 \text{ kA}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai untuk fasa S adalah 0,48 kA = 480 A. Dari data relai *differential* fasa S sebesar 610 A itu sama dengan :

$$\text{Fasa S side 2} = M2 + M3$$

$$= 540 \text{ A} + 60 \text{ A} = 600 \text{ A}$$

ada sedikit perbedaan dengan data relai yaitu 610 A.

Untuk arus *differential* dan arus *restrain* dari pembacaan relai yang telah di *download* seperti berikut :

$$\begin{array}{ll} I_{diff}: R = 0,02 \text{ I/InO} & I_{rest}: R = 0,83 \text{ I/InO} \\ S = 0,09 \text{ I/InO} & S = 0,85 \text{ I/InO} \\ T = 0,03 \text{ I/InO} & T = 0,86 \text{ I/No} \end{array}$$

Dari data di atas terlihat nilai *differential* untuk fasa S jauh lebih tinggi dari fasa R dan T, ini menunjukkan ada kesalahan pada relai *differential*.

Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dengan membandingkan hasil dari perhitungan dengan hasil dari relai diferensial transformator (87T) saat relai bekerja, maka dapat mengambil kesimpulan bahwa yang menyebabkan relai diferensial bekerja adalah :

1. Polaritas terbalik pada transformator arus pada *auxiliary* pada fasa S sehingga memberi *input* yang salah pada relai diferensial pada saat ada gangguan eksternal. Untuk mengatasinya adalah membalik polaritas dari transformator arus pada fasa S yang terpasang pada *auxiliary*.

Saran

Untuk meningkatkan kehandalan dan mutu ketenagalistrikan khususnya pada PLN Batam, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Pada saat komisioning (pengetesan) pada relai proteksi transformator seharusnya dilakukan secara benar dan menyeluruh, sehingga apabila ada kesalahan pemasangan atau tidak berfungsinya suatu peralatan sesuai fungsinya dapat ditemukan sedini mungkin sebelum masuk ke sistem.
2. Pengawasan pada kontraktor pada saat pembangunan sistem ketenagalistrikan harus baik dan benar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. 2009. *Draft Pedoman O&M Current Transformer*, PLN Persero.
2. Ariatman, 2012. *Materi Hukum Kirchoff*
3. PLN (Persero), 2006. *Modul Proteksi*, UDIKLAT Semarang
4. Liem Ek Biem & Dita Helna. *Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT Chevron Pasific Indonesia*, JETri, Volume 6, Nomer 2, Februari 2007, Halaman 41 – 68, ISSN 1412 - 0372.
5. Mukti K, Harrij. *Aplikasi Teknologi Simulasi Relai Diferensial Dan Rele Bucholz Pada Sistem Pengaman Transformator 3 Fasa*, Jurnal ELTEK, Volume 05 Nomor 01, April 2007 ISSN1693 – 4024.

6. Wahyudi, Iwan. 2010. *Analisa Proteksi Differential Relay Generator Menggunakan GE 489 Generator Relay Management Pada PLTG Panaran.*
7. Wisatawan, Hari dkk. *Evaluasi Setting Rele Overall Differential GT 1.1 PLTGU Grati dan Rele Jarak GITET Grati pada Bus 500 kV.*