

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan kali ini, dilakukan penelitian di Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) Kamojang unit 5 (1 x 35 MW) milik PT Pertamina Geothermal Energi area Kamojang penelitian yang dimaksud ialah tentang sistem proteksi utama pada sebuah transformator daya (transformator daya) oleh sebuah rele diferensial. Dalam pembahasan kali ini bermaksud untuk membahas tentang *setting relay* dengan teori yang ada, serta menyimulasikan teori tersebut ke dalam *software ETAP 12.6* guna membahas tentang keandalan dari *default setting* pada *differential relay* yang di tetapkan *vendor* dengan membandingkan dengan data *setting* yang dilakukan peneliti, serta melakukan riset apakah rele tersebut terbukti menjadi rele utama atau tidak dan untuk membahas faktor keandalan rele tersebut.

4.1 Aplikasi Rele Diferensial pada Tranformator Daya di PLTP Kamojang Unit 5

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Kamojang unit 5 merupakan pembangkit listrik terbaru yang telah beroperasi dari tahun 2015, PLTP Kamojang unit 5 merupakan pengembangan dari PLTP Kamojang Unit 4 guna meningkatkan mutu dan kualitas di sektor pembangkit jenis terbaru. Pada PLTP Kamojang Unit 5 ini telah ditingkatkan faktor keandalan dari segi sistem proteksi dengan meneliti lebih lanjut tentang keandalan yang terjadi pada PLTP Kamojang unit 4. Namun, seiring berjalannya waktu PLTP Kamojang unit 5 sering mengalami berbagai gangguan pada sistem transmisi seperti yang diakibatkan oleh sambaran petir, malfungsi, serta kesalahan *setting* pada *differential relay* yang mengakibatkan terjadinya trip pada PLTP Kamojang unit 5. Berikut ialah spesifikasi transformator daya yang ditampilkan pada Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator Daya PLTP Kamojang Unit 5.

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator Daya PLTP KMJ Unit-5

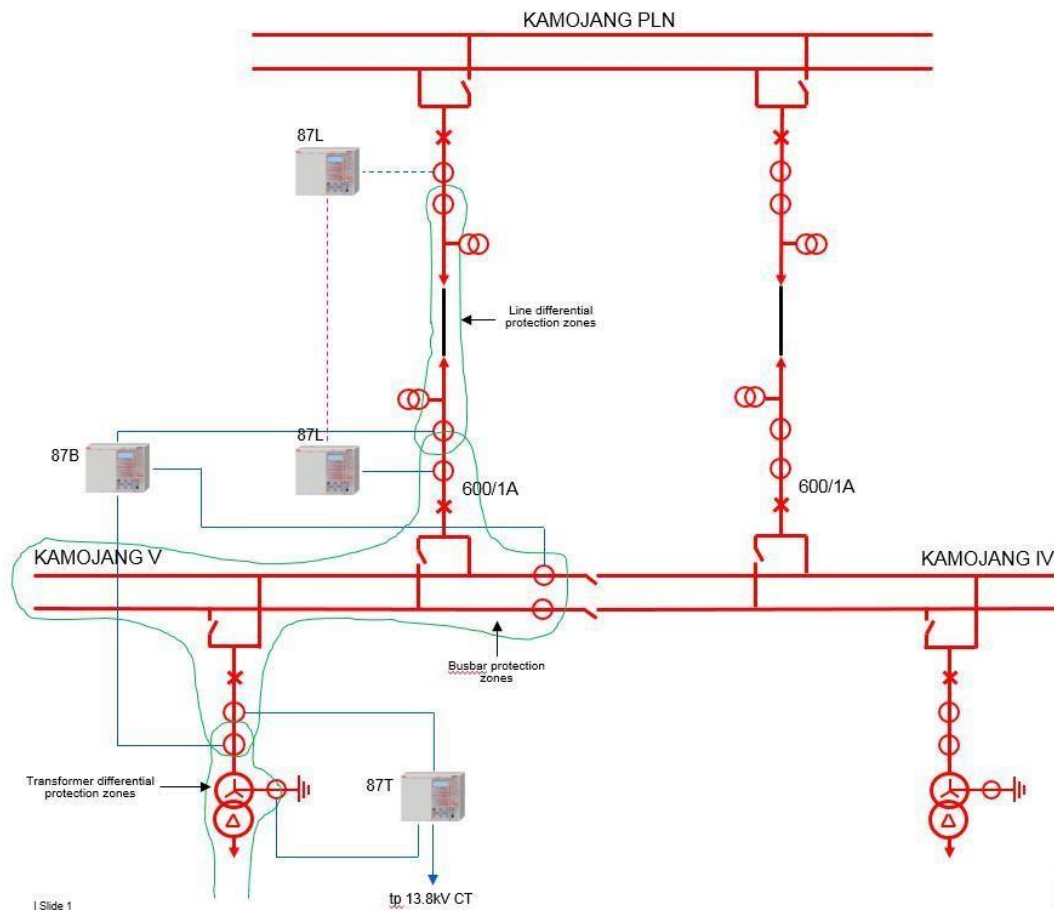
Specifications of Main Transformer KMJ Unit - 5	
<i>Manufactured By</i>	: Fuji Electric Co., Ltd.
<i>Made In</i>	: Indonesia
<i>Code Name</i>	: 5BAT01AT001 T21
<i>Year of Mnuufacture</i>	: 2015
<i>Rated Power</i>	: 50/60 MVA
<i>Rated Voltage (kV)</i>	
<i>High</i>	: 150 kV
<i>Low</i>	: 13,8 kV
<i>Connection</i>	: YNd5
<i>Frequency (f)</i>	: 50 Hz
<i>Impedance (Z)</i>	: 13%
<i>Type</i>	: ONAN ONAF In Over Load

Transformator daya yang digunakan berjenis *oil natural air natural* (ONAN) dengan *rated voltage* sebesar 150 kV 3 *phase* pada sisi sekunder dan 13,8 kV 3 *pahse* pada sisi primer, dikoneksikan dengan konfigurasi star – delta ($Y - \Delta$) serta memiliki frekuensi standar Indonesia yaitu 50 Hz. Daya maksimal yang dapat disalurkan oleh transformator daya ini sebesar 60 MVA oleh generator pada 3000 RPM. Akan tetapi, PT Pertamina Geothermal Energy area Kamojang membatasi kinerja dari generator agar usia dari generator dan komponen utama lainnya dapat dipakai cukup lama serta tidak memerlukan *overhaul* yang lebih agar penyaluran energi listrik dapat berjalan secara normal tanpa gangguan. Transformator daya milik PLTP Kamojang Unit 5 memiliki proteksi utama guna melindungi transformator daya, *auxiliary* transformator, dan generator dari berbagai gangguan dengan menggunakan *differential relay*. Sefisikasi rele diferensial yang dipasang pada transformator daya PLTP KMJ Unit 5 yang ditampilkan pada Tabel 4.2 Spesifikasi Rele Diferensial Transformator Daya (87 GT) PLTP KMJ Unit-5.

Tabel 4.2 Spesifikasi Rele Diferensial Transformator Daya (87 GT) PLTP KMJ
Unit-5

<i>Specifications</i>	<i>Range</i>	<i>Step Size</i>
<i>Pickup</i>	: 0.10-1.00pu	(0.01pu)
<i>Percent Slope #1</i>	: 5-100%	(1%)
<i>Percent Slope #2</i>	: 5-200%	(1%)
<i>Slope Break Point</i>	: 1.0-4.0pu	(0.1pu)
<i>2nd, 4th Harmonic Restrain</i>	: 5-50%	(1%)
<i>5th Harmonic Restrain</i>	: 5-50%	(1%)
<i>Pickup at 5th Harmonic</i>	: 0.10-2.00pu	(0.01pu)
CT 1 Tap (W1)	: 0.20-20.00A	(0.01)
CT 2 Tap (W2)	: 0.20-20.00A	(0.01)
CT 3 Tap (W3)	: 0.20-20.00A	(0.01)
CT 4 Tap (W4)	: 0.20-20.00A	(0.01)

4.2 Zona Proteksi Rele Diferensial PLTP Kamojang Unit 5

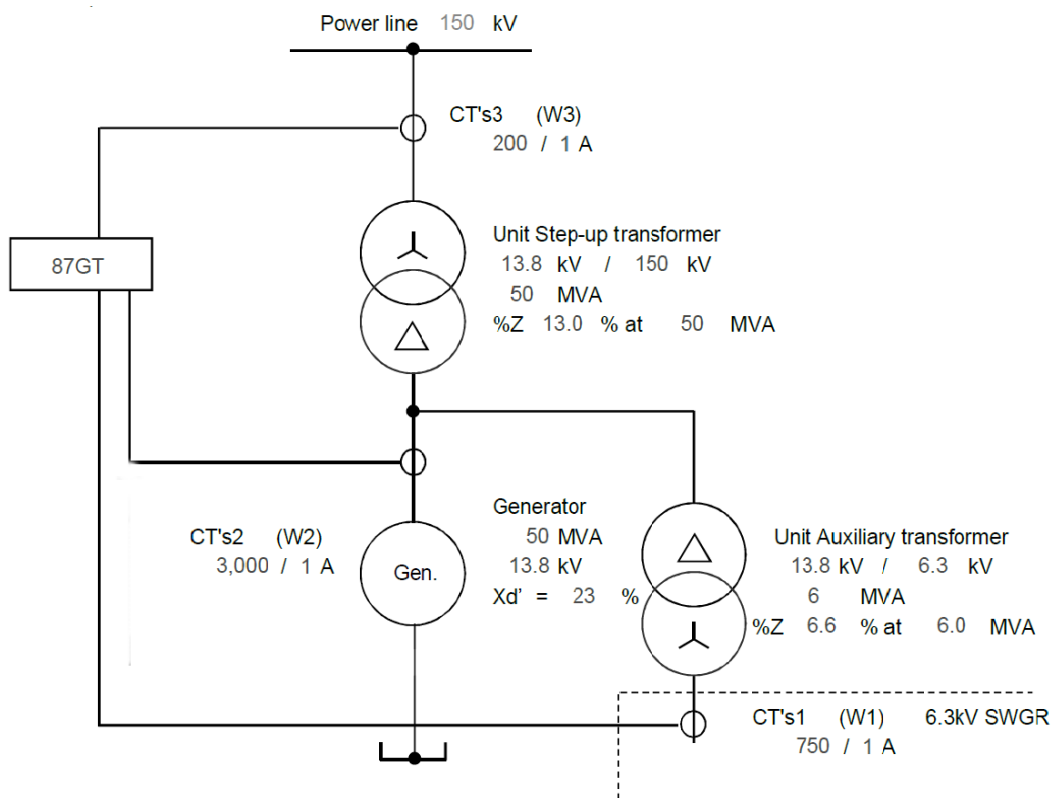


Gambar 4.1 *Over-all* Zona Proteksi PLTP Kamojang Unit 4 & Unit 5

Rele Diferensial (87 GT) bersifat *instantaneous*, yang berarti rele akan langsung bekerja ketika ada sambaran petir atau terjadi perbedaan arus melebihi batas normal ataupun sebaliknya. Hal ini membuktikan bahwa tingkat kesensitifan rele sangat tinggi. Di sisi lain, suplai energi yang dikirimkan kepada gardu induk (*siwtch yard*) akan terhambat sehingga pihak perusahaan yang menjual energi listrik mengalami beberapa kerugian. Sedangkan, pada prinsipnya transformator arus proteksi tidak mengutamakan tingkat kesensitifan yang tinggi, namun yang terjadi adalah transformator arus proteksi tingkat kesensitifannya tinggi sehingga transformator arus proteksi tersebut mengirimkan data pada rele untuk bekerja. Sebab kemungkinan *trip* pada rele diferensial (87 GT) terdiri dari beberapa faktor.

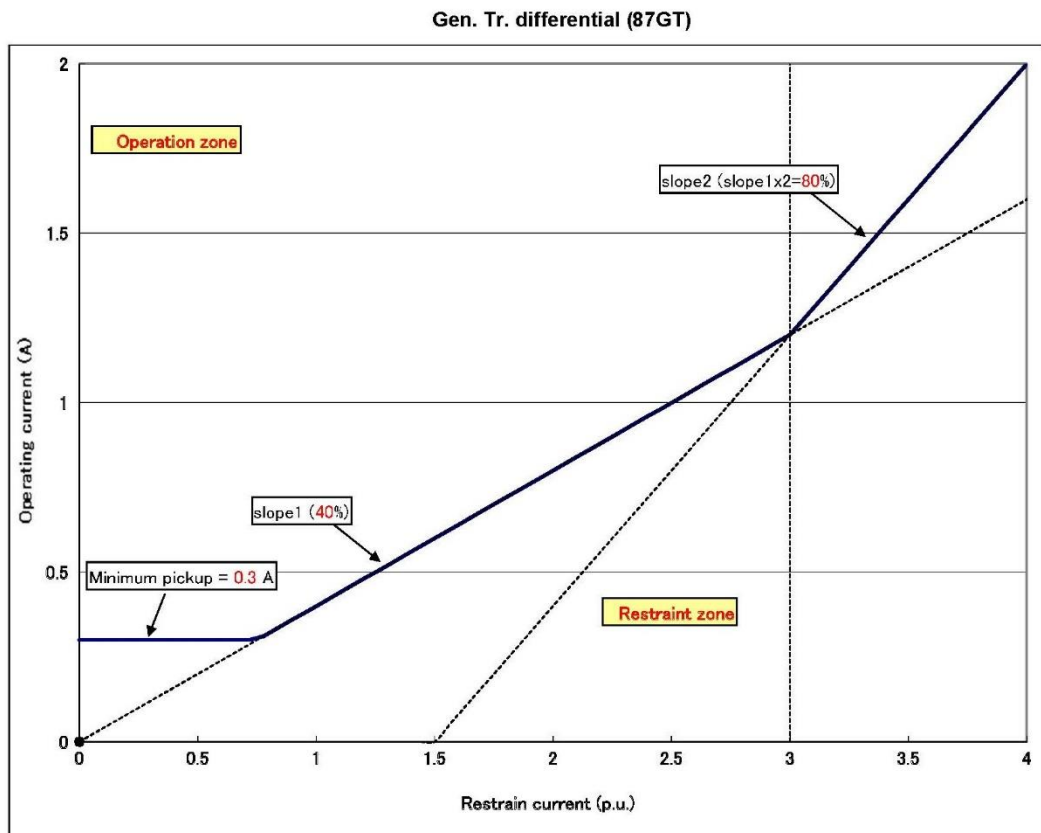
Beberapa faktor tersebut adalah:

1. Nilai *setting* proteksi yang masih belum optimal.
2. Terbaliknya Polaritas antar *wiring* terminal inputan dari *current transformer* (*multicore* CT) yang dapat menyebabkan terbakarnya rele diferensial.
3. Perubahan rasio akibat *on load tap changer* (OLTC). Pada posisi lain akan timbul arus tak seimbang.
4. Harmonik dari jaringan atau *grid*, dan rele proteksi *harmonic filter blocking* tidak bekerja.



Gambar 4.2 Zona Proteksi pada *Generator, Main Transformer* dan *Auxiliary Transformer (87 GT)*

4.2.1 Kurva Spesifikasi Rele



Gambar 4.3 Kurva Batas Minimum dan Maksimum Gangguan

Dari gambar terlihat jelas bahwa *pickup* arus yang keluar dan masuk (*Iset*) ialah 0,3 A atau di *slope 1* 40% pada tegangan *low* (13,8 kV) dan 80% atau 1,5 A pada *slope 2*. Ketika terjadi gangguan pada area sekunder (*Slope 2*) maka CT pada sisi primer dan sekunder akan mengirimkan sinyal yang akan dikirimkan ke rele diferensial, dan rele akan memindai terjadinya gangguan tersebut, apabila pembacaan melebihi batas *setting* yang telah ditentukan, maka rele akan mengirim sinyal untuk memutuskan jaringan (*trip*) kepada *circuit breaker* (CB) untuk mengamankan zonanya dari bahaya agar tidak menyebar ke zona lainnya.

4.3 Perhitungan Matematis

Perhitungan matematis yang dimaksud merupakan perhitungan *Inominal* serta *Irating* untuk menentukan rasio CT yang terpasang pada transformator daya tersebut. Kemudian menghitung besar *error mismatch* dan menghitung parameter rele berupa arus diferensial, *Irestrain*, *Islope* dan *Isetting* rele diferensial. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan arus yang di keluarkan CT pada saat terjadinya hubung singkat pada transformator daya.

4.3.1 Perhitungan Rasio CT

Untuk menghitung *arus rating* menggunakan rumus:

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (4.2)$$

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (kV)

Arus nominal ialah suatu arus yang melewati masing-masing jaringan baik pada sisi primer maupun sekunder

- a) Arus nominal tegangan tinggi 150 kV:

$$I_{nominal} = \frac{50.000.000}{\sqrt{3} \times 150.000}$$

$$I_n = \mathbf{192,45 \text{ A}}$$

- *Irating* untuk tegangan tinggi 150 kV:

$$I_{rat} = 110\% \times 192,45$$

$$I_{rat} = \mathbf{211,695 \text{ A}}$$

b) Arus nominal tegangan rendah 13,8 kV:

$$I_{\text{nominal}} = \frac{50.000.000}{\sqrt{3} \times 13.800}$$

$$I_n = 2091,848 \text{ A}$$

- *Irating* untuk tegangan rendah 13,8 kV:

$$I_{\text{rat}} = 110\% \times 2091,848$$

$$I_{\text{rat}} = 2031,032 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan didapat bahwa arus nominal yang melewati transformator sisi sekunder (*high voltage*) 150 kV sebesar 192,45 A dan pada sisi primer (*low voltage*) 13,8 kV sebesar 2091,848 A. Sedangkan arus *rating* (*Irat*) yang mengalir pada sisi sekunder (*high voltage*) 150 kV sebesar 211,695 A dan sisi primer (*low voltage*) 13,8 kV sebesar 2031,032 A. Berdasarkan uraian diatas, rasio CT yang dipilih pada sisi sekunder (*high voltage*) 150 kV adalah 200:1 A dan sisi primer (*low voltage*) 13,8 kV dipilih 3000:1. Rasio yang diambil merupakan rasio terdekat yang ada dipasaran, jika arus yang mengalir pada sisi primer (*low voltage*) 13,8 kV adalah sebesar 3000 A maka CT akan melakukan pembacaan sebesar 1 A. Hal tersebut berlaku juga untuk CT yang terpasang pada sisi sekunder (*high voltage*) 150 kV. Sesuai dengan data yang ada dipasaran, rasio terdekat dipilih guna memilih pembacaan yang akurat serta untuk membantu rele dalam melakukan *scanning* jumlah arus yang masuk dan keluar..

4.3.2 Error Mismatch

Untuk menghitung besarnya *mismatch* pada sebuah *current transformer* (CT), menggunakan rumus:

$$\text{Error Mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ Terpasang}} \% \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana:

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (4.4)$$

CT (Ideal) = Transformator Arus Ideal

V_1 = Tegangan Sisi Tinggi

V_2 = Tegangan Sisi Rendah

a) *Error Mismatch* di sisi tegangan tinggi 150 kV:

$$CT_1(Ideal) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$CT_1(Ideal) = \frac{3000}{1} \times \frac{13,8}{150}$$

$$CT_1(Ideal) = \mathbf{276 \text{ A}}$$

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{276}{200} \%$$

$$Error \text{ Mismatch} = \mathbf{1,38\%}$$

b) *Error Mismatch* di sisi tegangan rendah 13,8 kV:

$$CT_2(Ideal) = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2}$$

$$CT_2(Ideal) = \frac{200}{1} \times \frac{150}{13,8}$$

$$CT_2(Ideal) = \mathbf{2173,913 \text{ A}}$$

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{2173,913}{3000} \%$$

$$Error \text{ Mismatch} = \mathbf{0,725 \%}$$

Dari hasil perhitungan didapat bahwa jumlah arus ideal pada CT 1 sebesar 276 A dan *error mismatch* sebesar 1,38%. Jumlah arus ideal pada CT 2 sebesar 2173,913 A dan memiliki nilai *error mismatch* sebesar 0,725%. Maka, didapatkan nilai selisih antara CT yang terpasang dan CT ideal sebesar 76 A pada sisi tegangan tinggi dan 826,087 A pada sisi tegangan rendah.

4.3.3 Arus Sekunder CT

Rumus untuk menghitung arus sekunder CT, yaitu:

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_n \dots\dots\dots (4.5)$$

a) Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 150 kV:

$$I_{sek} = \frac{1}{200} \times 192,45$$

$$I_{sek} = \mathbf{0,96\ A}$$

b) Arus sekunder CT sisi tegangan rendah 13,8 kV:

$$I_{sek} = \frac{1}{3000} \times 2091,87$$

$$I_{sek} = \mathbf{0,699\ A}$$

4.3.4 Arus Diferensial

Rumus untuk menghitung nilai arus diferensial, yaitu:

$$I_{dif} = I_2 - I_1 \dots\dots\dots (4.6)$$

Dimana:

$$I_{dif} = \text{Arus Diferensial}$$

$$I_1 = \text{Arus Sekunder CT 1}$$

$$I_2 = \text{Arus Sekunder CT 2}$$

Perhitungan arus diferensial:

$$I_{dif} = 0,699 - 0,96$$

$$I_{dif} = -0,261\ A$$

$$I_{dif} = \mathbf{0,261\ A}$$

Selisih antara arus s6u ekunder pada CT 1 dan CT 2 yaitu sebesar 0,261 A. Nilai dari hasil selisih ini akan digunakan untuk dibandingkan dengan *Iset* pada rele diferensial.

4.3.5 Arus Restrain

Rumus untuk menghitung nilai arus *restrain*, yaitu:

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots (4.7)$$

Dimana:

$$I_r = \text{Arus penahan (A)}$$

$$I_1 = \text{Arus sekunder CT 1 (A)}$$

$$I_2 = \text{Arus sekunder CT 2 (A)}$$

Maka:

$$I_r = \frac{0,96 + 0,699}{2}$$

$$I_r = \mathbf{0,8295 A}$$

Nilai arus penahan (*I_r*) yang didapat dari hasil perhitungan adalah 0,8295 A. Ketika arus diferensial (*I_{dif}*) naik akibat perubahan rasio di sisi sekunder (*high voltage*) dan sisi primer (*high voltage*) yang diakibatkan oleh perubahan tap transformator daya maka arus penahan (*I_r*) akan naik. Hal tersebut berguna agar rele diferensial tidak bekerja karena bukan merupakan gangguan.

4.3.6 Slope

Rumus yang digunakan untuk mencari % *slope* 1 dan % *slope* 2 yaitu:

$$slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots (4.8)$$

$$slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4.9)$$

Dimana:

$slope_1 = \text{setting kecuraman 1}$

$slope_2 = \text{setting kecuraman 2}$

$I_d = \text{Arus Diferensial (A)}$

$I_r = \text{Arus Restrain (A)}$

a) Menghitung $slope_1$:

$$slope_1 = \frac{0,261}{0,8295} \times 100\%$$

$$slope_1 = \mathbf{31,4\%}$$

b) Menghitung $slope_2$:

$$slope_2 = \left(\frac{0,261}{0,8295} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$slope_2 = \mathbf{62,8\%}$$

Hasil yang didapat dari perhitungan yaitu $slope_1$ sebesar 31,4% dan $slope_2$ sebesar 62,8%.

4.3.7 Arus Setting

Rumus matematis I_{set} :

$$I_{set} = \%slope \times I_{restrain} \dots\dots\dots (4.10)$$

Dimana:

$I_{set} = \text{Arus Setting}$

$\%Slope = \text{Setting Kecuraman (\%)}$

- $I_{restrain}$: Arus Penahan ($slope_1$ 13,8 kV)

$$I_{set} = 31,4\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,314 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,26 \text{ A}}$$

- *Irestrain*: Arus Penahan (*slope*₂ 150 kV)

$$I_{set} = 62,8\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,628 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,52 \text{ A}}$$

Arus *setting* yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 0,26 A pada *slope*₁ atau *low voltage* 13,8 kV, namun *setting* yang dibuat adalah 0,26 A dengan *slope*₁ sebesar 31,4%. Sedangkan *default setting* dari *vendor* ialah sebesar 0,3 A dengan *slope*₁ sebesar 40%.

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan

Aspek Perhitungan	Low Voltage (13,8 kV)	High Voltage (150 kV)
Perhitungan Rasio CT (<i>Irat</i>)	2031,057 A	211,695 A
Arus Nominal (<i>In</i>)	2091,848 A	192,45 A
Error <i>Mismatch</i> (%)	0,724 %	1,38 %
Arus Sekunder CT (<i>Isek</i>)	0,699 A	0,96 A
Arus Diferensial (<i>Idif</i>)	0,261 A	
Arus Penahan (<i>Restrain</i>)	0,8295 A	
<i>Slope</i> (%)	31,4 %	62,8 %
Arus <i>Setting</i> (<i>Iset</i>)	0,26 A	0,52 A

Dari tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan, dapat dilihat bila perhitungan yang dilakukan dengan metode diatas diketahui bahwa parameter sebuah rele diferensial seperti arus *setting* yang didapat pada sisi primer sebesar 0,26 A dan pada sisi sekunder 0,52 A dengan *slope* sebesar 31,4% pada *slope*₁ dan 62,8%

pada $slope_2$. Rasio CT yang terpasang pada sisi primer ialah 2031,057 A dan pada sisi sekunder ialah 211,695 A serta memiliki *mismatch* sebesar 1,38% pada sisi primer dan 0,724% pada sisi sekunder. Hal ini menandakan bahwa CT yang terpasang ialah CT yang ideal karena ketentuan *error* tidak boleh melebihi dari jumlah yang ditentukan atau sebesar 5% dari masing-masing CT.

4.4 Perbandingan Data Perhitungan dan Data Spesifikasi

Dalam pembahasan ini akan dijelaskan tentang perbandingan data perhitungan dan data nyata, data perhitungan di ambil dari BAB IV bagian 4.3 Perhitungan Matematis, sedangkan data spesifikasi ialah data yang diambil dari data aktual milik differential relay (87 GT) KMJ - Unit 5.

4.4.1 Perbandingan Nilai Arus *Setting*

a. Perhitungan Matematis

Hasil arus *setting* pada $slope_1$ 13,8 kV dan $slope_2$ 150 kV

- *Irestrain*: Arus Penahan ($slope_1$ 13,8 kV)

$$I_{set} = 31,4\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,314 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,26 \text{ A}}$$

- *Irestrain*: Arus Penahan ($slope_2$ 150 kV)

$$I_{set} = 62,8\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,628 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,52 \text{ A}}$$

b. Perhitungan Data Spesifikasi

Bila dilihat pada Gambar 4.4 Kurva Batas Maksimum Arus Gangguan diketahui bahwa *maximum slope₁* yang di *setting* pada CT *low voltage* 13,8 kV ialah 0,3 A atau 40%, dan untuk *slope₂* nilai *maximum* yang di *setting* pada CT *high voltage* 150 kV adalah 80%, dengan perhitungan:

- *Irestrain*: Arus Penahan ($slope_1$)

$$I_{set} = 40\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,4 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,33 \text{ A}}$$

- *Irestrain*: Arus Penahan ($slope_2$)

$$I_{set} = 80\% \times 0,8295$$

$$I_{set} = 0,8 \times 0,8295$$

$$I_{set} = \mathbf{0,66 \text{ A}}$$

c. Hasil Analisa

Dari hasil perhitungan, didapat bahwa terdapat perbandingan nilai arus *setting* antara perhitungan matematis *setting* rele dengan nilai data *setting* dari rele tersebut, dengan perbandingan:

Tabel 4.3 Perbandingan *Isetting* pada Rele Diferensial

<i>slope</i>	Hasil Perhitungan	Spesifikasi Rele
$slope_1$ 13,8 kV	0,26 A	0,33 A
$slope_2$ 150 kV	0,52 A	0,66 A

Tabel 4.4 Hasil Perbandingan *Isetting* pada Rele Diferensial

<i>slope</i>	Hasil Perbandingan
$slope_1$ 13,8 kV	0,07 A
$slope_2$ 150 kV	0,14 A

Jika dilihat dari tabel, terlihat jelas perbedaan antara hasil perhitungan dengan data spesifikasi rele. Perbedaan dari $slope_1$ ialah sebesar 0,07 A, sedangkan $slope_2$ sebesar 0,14 A. Hal ini menunjukkan bahwa rele yang digunakan ialah berjenis *High Impedance*. Yang dimaksud *high impedance* ialah rele yang hampir mendekati spesifikasi rele yang diperhitungkan pada perhitungan matematis.

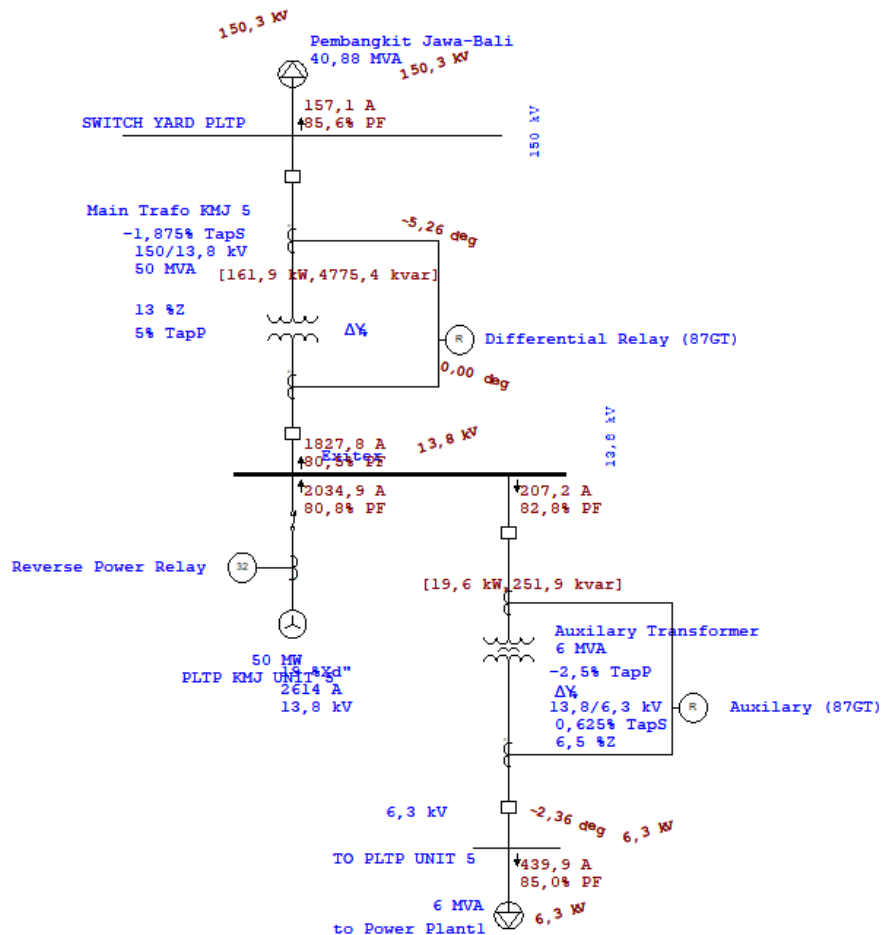
Pengaplikasian rele diferensial (87 GT) pada transformator daya PLTP Kamojang Unit 5 dapat di lihat bahwa rele yang digunakan sesuai dengan apa yang di perhitungkan. Karena rele yang harus di aplikasikan pada transformator daya haruslah berjenis *high impedance*. Rele jenis ini telah didisain untuk membatasi jumlah arus yang masuk atau keluar. Sehingga, tidak melebihi jumlah maksimum yang telah di tetapkan 0,33 A.

Rasio CT yang tertera ialah 3000:1 dengan hasil arus setting yang tertera adalah 0,3 A. Ketika arus yang masuk 3000 A dan rele akan mengkonfirmasi arus sebesar 0,3 A dan menginstruksikan CT untuk siaga, karena arus *setting* yang di aplikasikan ialah 0,3 A oleh vendor. Ketika arus berkurang maka yang akan bekerja adalah *under current* (UC). Ketika arus sedang tinggi melebihi jumlah arus *setting* yang ada, maka rele akan menginstruksi *circuit breaker* (CB) untuk memutus aliran (*tripping*) karena sifat rele diferensial adalah bekerja seketika (*instantaneous*) tanpa koordinasi rele disekitarnya sehingga waktu kerja rele dapat dibuat secepat mungkin.

4.5 Hasil Simulasi Rele Diferensial (87 GT) pada Transformator Daya PLTP Kamojang Unit 5

Simulasi ini bertujuan untuk membuktikan serta memastikan faktor keandalan dari rele diferensial (87 GT) yang diaplikasikan untuk melindungi komponen utama *Generator*, Transformator daya, dan *Auxiliary Transformer*. Pada percobaan kali ini, dilakukan beberapa gangguan diantaranya gangguan pada sebuah transformator daya dan *auxiliary transformer* Sehingga didapatkan hasil berupa data yang akan dianalisa pada masing-masing gambar.

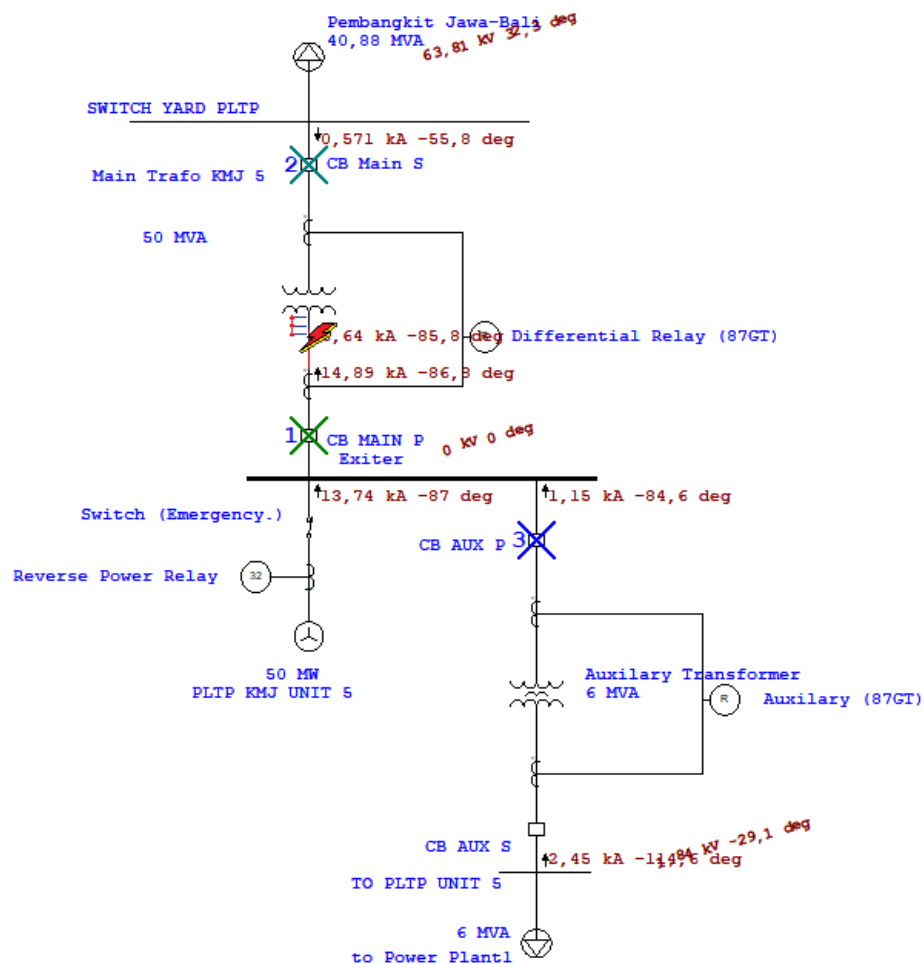
4.5.1 Simulasi Keadaan Normal



Gambar 4.4 Simulasi Sistem Proteksi Rele Diferensial (87 GT) dalam Keadaan Normal

Pada keadaan normal atau gangguan berada di luar daerah pengamanan maka arus yang mengalir pada Rele adalah $I_d = I_1 + I_2$. Berdasarkan teori pada 2.2.3 Rele Diferensial bahwa arus sekunder I_1 dan I_2 akan mempunyai nilai yang sama besar tetapi dengan arah vektor yang berlawanan, sehingga dari hubungan di atas didapat $I_{d(ideal)} = 0$. Dalam hal ini rele tidak bekerja karena tidak ada arus yang melalui rele tersebut dan rele diferensial tidak bekerja. Sehingga suplai daya ke *switch yard* berjalan secara normal.

4.5.2 Simulasi Keadaan Gangguan pada Transformator Daya



Gambar 4.5 Simulasi Percobaan Gangguan pada Transformator daya dengan Menggunakan *Software* ETAP 12.6

Keterangan gambar:

X 1 = CB Main P

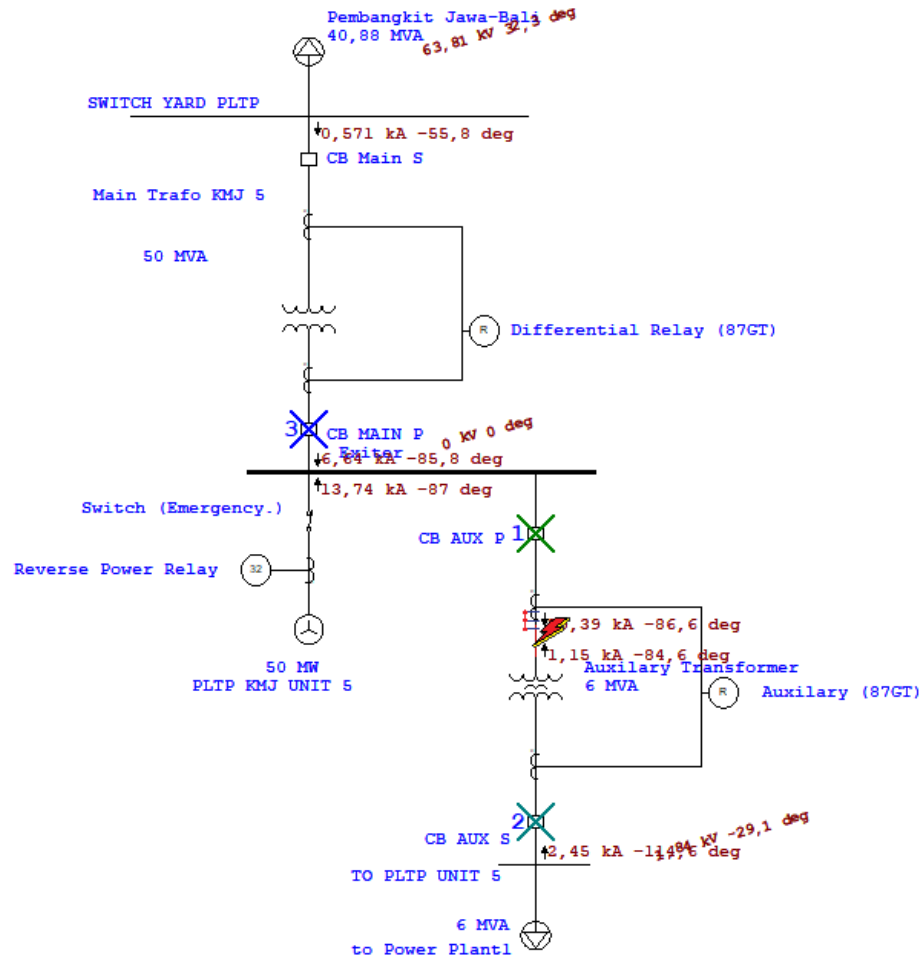
X 2 = CB Main S

X 3 = CB Aux P

Dalam simulasi ini dilakukan percobaan yaitu berupa gangguan pada transformator daya yang berada pada zona utama proteksi differensial relay. CT 1 menunjukkan bahwa *short circuit* pada $If_1 = 14,89 \text{ kA}$ dan pada CT 2 menunjukkan bahwa *short circuit* terjadi diangka $If_2 = 0,64 \text{ kA}$. Maka dari itu, rele akan bekerja karena $Id = I_1 + I_2$, karena $I_1 = 0$, maka $Id = I_2$. *Circuit breaker* (CB) main p adalah yang pertama terbuka (*open*), lalu *circuit breaker* (CB) main s akan terbuka yang artinya rele tersebut terbukti bekerja dalam zonanya, serta *circuit breaker* (CB) aux p yang terdapat pada *auxiliary transformer* pun akan turut terbuka karena terdapat koordinasi rele.

Ketika terjadi arus lebih, *current transformer* (CT) pada kedua sisi transformator daya akan melakukan pembacaan serta memberikan sinyal kepada rele tersebut dan rele akan memberikan kembali sinyal kepada *circuit breaker* (CB) untuk melakukan *trip* jaringan di kedua sisi dari komponen listrik yang diamankan ketika arus melebihi batas yang telah ditetapkan (*Iset*). Sehingga akan dipisahkan dengan jaringan yang bertegangan dan transformator daya terbebas dari gangguan yang terjadi. Hal ini terjadi karena arus mengalir dari CT 1 ke CT 2, maka saat terjadi gangguan (If_2) yang mengalir pada CT 2 adalah berbalik arah (180°), maka arus yang mengalir pada rele differensial (Id). Karena terjadi lonjakan arus yang besar yaitu Id yang mengalir pada rele, dan rele akan langsung bekerja sesuai dengan zonanya.

4.5.3 Simulasi Keadaan Gangguan pada *Auxiliary Transformer*



Gambar 4 6 Simulasi Percobaan Gangguan pada *Auxiliary Transformer* dengan Menggunakan *Software* ETAP 12.6

Keterangan gambar:

- X 1 = CB Aux P
- X 2 = CB Aux S
- X 3 = CB Main P

Percobaan gangguan ini diberikan pada *auxiliary transformer* yang telah diaplikasikan rele diferential, seperti pada percobaan gangguan sebelumnya pada Gambar 4.5. Hal yang sama pun terjadi dengan proses simulasi pada Gambar 4.5

namun berbeda posisi tempat CB memutuskan jaringan. Karena zona untuk memutuskan jaringan terjadi pada tempat perlindungan gangguan yang terjadi. CT 1 menunjukkan bahwa *short circuit* pada $I_{f_1} = 0,39 \text{ kA}$ dan pada CT 2 menunjukkan bahwa *short circuit* terjadi diangka $I_{f_2} = 1,15 \text{ kA}$. Maka dari itu, relay akan mengintruksikan kepada CB untuk memutus jaringan. *Circuit breaker* (CB) *aux p* adalah yang pertama terbuka (*open*), lalu *circuit breaker* (CB) *aux s* akan terbuka yang artinya rele tersebut terbukti bekerja dalam zonanya, serta *circuit breaker* (CB) *main p* yang terdapat pada transformator daya pun akan turut terbuka karena terdapat koordinasi rele. Pada proteksi diferensial umumnya rele yang digunakan hanya merupakan rele arus lebih yang akan bekerja guna membandingkan nilai arus masuk dan arus keluar. Jika arus yang mengalir pada kedua buah CT melebihi *Isetting* yang ditetapkan pada sebuah rele diferensial, maka rele akan memberikan instruksi kepada CB untuk memutuskan jaringan sesuai dengan zonanya.