

**SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM PROTEKSI DIFFERENTIAL  
RELAY MAIN TRANSFORMER (87 GT) PADA PLTP UNIT 5 (LIMA)  
PT PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY AREA KAMOJANG  
DENGAN SOFTWARE ETAP 12.6**

Khoirul Aziz<sup>1</sup>, Ramadoni Syahputra<sup>2</sup>, Anna Nur Nazilah Chamim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departement of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, (0274) 387656

\*Corresponding author, e-mail : khoirulaziz10@gmail.com

---

**Abstract** - Protection systems on the main components such as generators and main transformers in power systems serve as a means to protect the main components in the event of interference, so that the component can avoid damage. In this final project will discuss the value of setting current and reliability factor of differential relay which is applied to protect generator and main transformers. The relay will work if there is a current difference on CT1 on the primary side and CT2 on the secondary side in the protection zone, if the fault occurs outside the protection zone, the relay will not work. This research is simulate data of single-line diagram from PLTP Unit 5 owned by PT Pertamina Geothermal Energy area Kamojang by using ETAP (Electric Transient and Analysis Program) 12.6 with purpose to know reliability factor in differential relay of time delay (pu) given and be input to compare the value of current differential relay settings obtained by calculation according to IEEE standards (0,26 A) with actual setting data (0,33 A). In this simulation process shown the performance and selectivity of differential relay, current value on CT, and the time of trip differential relay in protection zone or outside protection zone. From the results of this simulation shown that when the internal interference differential relay will trip (0.10-1.00 pu), while the external interference relay does not trip.

**KEYWORDS:** Protection System, Main Transformer, Differential Relay, ETAP software 12.6.

## **I. Pendahuluan**

Allah Subhanahu Wa Ta'ala beriman dalam QS. Al-Anbiya (21:80)

لَكُمْ لِبُؤْسِ صَنْعَةٍ وَعَلَّمْنَاكُمْ  
شَاكِرُونَ أَنْتُمْ فَهَلْ بِأَسِيكُمْ مِنْ لِيُحْصِنَكُمْ

Dalam ayat tersebut terkandung “Dan telah Kami ajarkan kepada Daud

membuat baju besi untuk kamu, guna memelihara kamu dalam peperanganmu; Maka hendaklah kamu bersyukur (kepada Allah)”. Dari keterangan tersebut jelas sekali disebutkan bahwa manusia dituntut untuk berbuat sesuatu dengan sarana pengembangan teknologi serta

penguasaannya diperlukan guna ilmu pengetahuan seperti pembangunan *power plant system*, hingga kepada sistem proteksinya itu sendiri.

Rele diferensial digunakan untuk mendeteksi adanya *short circuit* fasa ke fasa ataupun fasa ke *ground* dan akan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* (CB) untuk men-*trip* jaringan jika terjadi gangguan pada alat transmisi, terutama transformator dan generator. Cara kerja rele diferensial ialah dengan cara membandingkan arus yang mengalir pada masukan atau sisi primer dan yang mengalir pada keluaran atau sisi sekunder. Ketika pada kondisi normal, jumlah arus yang mengalir melalui komponen listrik yang diproteksi bersirkulasi melewati *loop* pada kedua sisi di wilayah kerja rele diferensial tersebut. Jika terjadi gangguan di zona internal rele diferensial, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan rele akan memberi perintah kepada *circuit breaker* (CB) untuk memutus arus. Maka dari itu, dengan adanya alat ini diharap dapat membantu mewujudkan sistem tenaga listrik yang lebih terjamin dari segi tingkat keamanan hingga ke faktor keandalan sehingga tidak membahayakan, sehingga dapat memperkecil tingkat resiko kerusakan pada komponen listrik yang dianggap vital seperti generator, transformator, busbar, serta saluran transmisi.

Penelitian ini membahas tentang perbandingan perhitungan nilai *setting differential relay* berdasarkan teori dengan nilai *setting differential relay* pada transformator di pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Kamojang

unit 5 serta menunjukkan unjuk kerja dan selektifitas *differential relay*, nilai arus pada CT, dan waktu *trip differential relay* pada zona proteksi ataupun di luar zona proteksi sistem proteksi *differential relay* pada transformator daya dengan *software ETAP 12.6* untuk mengetahui faktor keandalan sistem proteksi.

## II. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Proteksi Transformator

Transformator merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik pada saluran distribusi dan transmisi baik di pembangkit (*power plant*) atau gardu induk (*switch yard*). Transformator daya (transformator daya) adalah suatu alat berupa motor listrik statis yang berfungsi untuk menghantarkan arus, tegangan, daya, dan frekuensi. Sebuah transformator dapat mengubah nilai arus dan tegangan itu sendiri, artinya dalam transformator terdapat kumparan untuk menaikkan tegangan (*step up*) dan menurunkan tegangan (*step down*) dengan nilai frekuensi yang tetap sama.

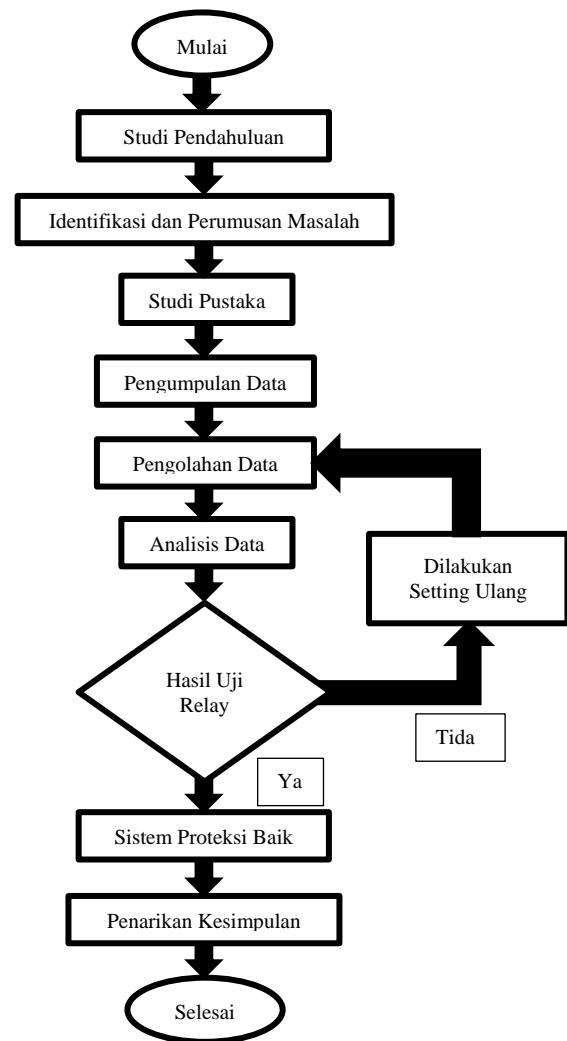
Dalam sistem ketenaga listrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi dimana sistem ini merupakan hal yang sangat penting di dalam suatu sistem instasi listrik itu sendiri. Sistem ini merupakan pelindung peralatan utama saat terjadi gangguan hubung singkat, dimana sistem ini harus mampu memisahkan daerah yang sedang mengalami gangguan dengan daerah yang tidak mengalami terjadi gangguan, sistem ini diharapkan mampu mengamankan sehingga gangguan tidak menyebar luas dan kerusakan dapat

di minimalisir. Biasanya peralatan pengaman pada transformator daya terdiri dari berapa komponen, diantaranya rele proteksi, transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/CVT), PMT, catu daya AC/ DC yang digabung dalam suatu rangkaian, yang mengakibatkan satu sama lain saling berkaitan.

## 2.2 Rele Diferensial

Rele diferensial adalah rele proteksi utama pada trafo yang dibuat bekerja secepat mungkin saat terjadi gangguan. Rele diferensial tidak dapat dijadikan sebagai rele cadangan dikarenakan pemasangannya dibatasi oleh kedua trafo arus disisi *incoming* dan *outgoing*. Proteksi rele diferensial bekerja dengan metode keseimbangan arus. Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan *hukum kirchoff* yaitu membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar pada trafo.

## III. Metodologi Penelitian



### a. Studi Pustaka

Studi pustaka dapat dilakukan dengan kegiatan mencari referensi yang terkait dengan teori sistem proteksi Busbar dan teori tentang *differential rele* yang digunakan sebagai rele proteksi utama di Busbar pada Switchyard Pembangkit Listrik Panas Bumi Unit 4 area Kamojang.

### b. Metode Survei

Metode survei dilakukan dengan cara melakukan kunjungan ke PT. Pertamina geothermal energi area Kamojang, kemudian dilanjutkan diskusi dengan pembimbing lapangan.

c. Konsultasi

Kegiatan diskusi dengan dosen pembimbing dan juga kepada karyawan, *supervisor*, dan *manager electrical maintenance* di PT. Pertamina Geothermal Energi, mengenai masalah yang akan dianalisis.

d. Penyusunan Tugas Akhir

Setelah mendapatkan data, diskusi dengan dosen pembimbing prodi Teknik Elektro di kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan pembimbing lapangan di PT Pertamina Geothermal Energi area Kamojang, maka penulis dapat melakukan penyusunan tugas akhir dengan standar aturan penulisan yang baku.

**IV. Hasil dan Pembahasan**

Dalam penelitian ini menggunakan data di Pembangkit listrik tenaga panasbumi Unit 4 PT Pertamina Geothermal Energi area Kamojang yang telah dikumpulkan untuk dilakukan identifikasi, analisis, dan evaluasi pada sistem proteksi rele diferensial pada transformator daya di PLTP Kamojang unit 5, Berikut dibawah ini data yang telah dikumpulkan:

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

Tabel 4.1 Spesifikasi Trasnformator Daya PLTP Kamojang Unit 5

<b>Specifications of Main Transformer KMJ Unit - 5</b>	
<i>Manufactured By</i>	Fuji Electric Co., Ltd.
<i>Made In</i>	Indonesia
<i>Code Name</i>	5BAT01AT001   T21

<b>Specifications of Main Transformer KMJ Unit - 5</b>	
<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 – Δ) 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.

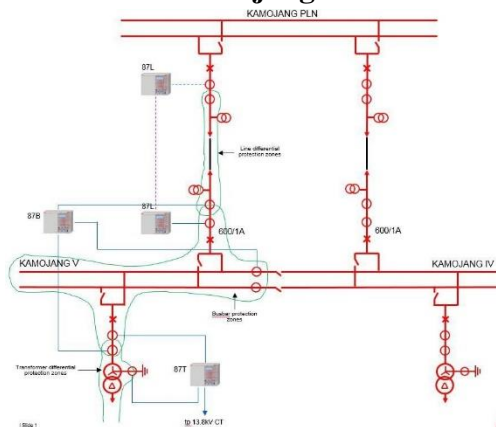
Tabel 4.2 Spesifikasi Rele Diferensial

<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>2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup> Harmonic Restrain</i>	: 5-50%	(1%)
<i>5<sup>th</sup> Harmonic Restrain</i>	: 5-50%	(1%)
<i>Pickup at 5<sup>th</sup> 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)

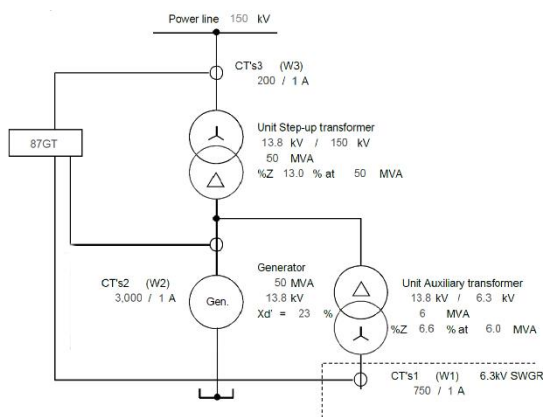
## PLTP Kamojang Unit 4 & Unit 5

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. 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.

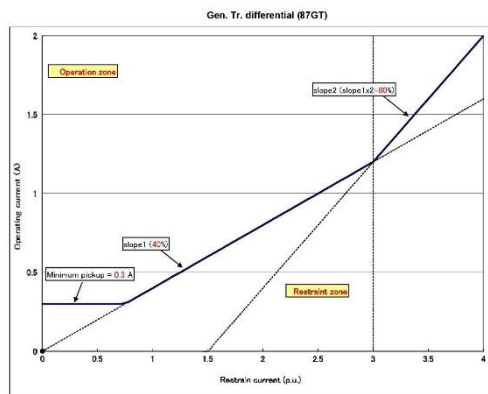
### 4.2 Zona Proteksi Rele Diferensial PLTP Kamojang Unit 5



Gambar 4.1 Over-all Zona Proteksi



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



Gambar 4.3 Kurva Spesifikasi Rele

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 memutus 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:

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal}$$

Dimana:

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$I_n$  = 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

- Arus nominal tegangan tinggi 150 kV:

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

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

- Irating* untuk tegangan tinggi 150 kV:

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

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

- 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:

$$\text{Error Mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ Terpasang}} \%$$

Dimana:

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

CT (Ideal) = Transformator Arus Ideal

$V_1$  = Tegangan Sisi Tinggi

$V_2$  = Tegangan Sisi Rendah

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n$$

a) Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 150 kV:

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

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

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

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

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

#### 4.3.4 Arus Diferensial

Rumus untuk menghitung nilai arus diferensial, yaitu:

$$I_{\text{dif}} = I_2 - I_1$$

Dimana:

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

$I_1$  = Arus Sekunder CT 1

$I_2$  = Arus Sekunder CT 2

Perhitungan arus diferensial:

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

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

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

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:

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Dimana:

$I_r$  = Arus penahan (A)

$I_1$  = Arus sekunder CT 1 (A)

$I_2$  = 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 ( $I_{\text{dif}}$ ) 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:

$$\text{slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$



$$slope_2 = \left( \frac{Id}{Ir} \times 2 \right) \times 100\%$$

Dimana:

$slope_1 = setting$  kecuraman 1

$slope_2 = setting$  kecuraman 2

$Id =$  Arus Diferensial (A)

$Ir =$  Arus *Restrain* (A)

a) Menghitung  $slope_1$ :

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

$$slope_1 = 31,4\%$$

b) Menghitung  $slope_2$ :

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

$$slope_2 = 62,8\%$$

Hasil yang didapat dari perhitungan yaitu  $slope$  1 sebesar 31,4% dan  $slope$  2 sebesar 62,8%.

#### 4.3.7 Arus Setting

Rumus matematis *Isetting*:

$$Iset = \%slope \times Irestrain$$

Dimana:

$Iset =$  Arus *Setting*

$\%Slope =$  *Setting* Kecuraman (%)

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

$$Iset = 31,4\% \times 0,8295$$

$$Iset = 0,314 \times 0,8295$$

$$Iset = 0,26 \text{ A}$$

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

$$Iset = 62,8\% \times 0,8295$$

$$Iset = 0,628 \times 0,8295$$

$$Iset = 0,52 \text{ A}$$

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>Ir</i> at)	2031,057 A	211,695 A
Arus Nominal ( <i>I</i> n)	2091,848 A	192,45 A
Error <i>Mismatch</i> (%)	0,724 %	1,38 %
Arus Sekunder CT ( <i>I</i> sek)	0,699 A	0,96 A
Arus Diferensial ( <i>I</i> dif)	0,261 A	
Arus Penahan ( <i>R</i> estrain)	0,8295 A	
<i>Slope</i> (%)	31,4 %	62,8 %
Arus <i>Setting</i> ( <i>I</i> set)	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*<sub>1</sub> dan 62,8% pada *slope*<sub>2</sub>. 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*<sub>1</sub> 13,8 kV dan *slope*<sub>2</sub> 150 kV

- *Irestrain*: Arus Penahan (*slope*<sub>1</sub> 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*<sub>2</sub> 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 slope*<sub>1</sub> yang di *setting* pada CT *low voltage* 13,8 kV ialah 0,3 A atau 40%, dan untuk *slope*<sub>2</sub> nilai *maximum* yang di *setting* pada CT *high voltage* 150 kV adalah 80%, dengan perhitungan:

- *Irestrain*: Arus Penahan (*slope*<sub>1</sub>)

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

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

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

- *Irestrain*: Arus Penahan (*slope*<sub>2</sub>)

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

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

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

###### 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
<i>slope</i> <sub>1</sub> 13,8 kV	<b>0,26 A</b>	<b>0,33 A</b>
<i>slope</i> <sub>2</sub> 150 kV	<b>0,52 A</b>	<b>0,66 A</b>

Tabel 4.4 Hasil Perbandingan *Isetting* pada Rele Diferensial

<i>slope</i>	Hasil Perbandingan
<i>slope</i> <sub>1</sub> 13,8 kV	<b>0,07 A</b>
<i>slope</i> <sub>2</sub> 150 kV	<b>0,14 A</b>

Jika dilihat dari tabel, terlihat jelas perbedaan antara hasil perhitungan dengan data spesifikasi rele. Perbedaan dari *slope*<sub>1</sub> ialah sebesar 0,07 A, sedangkan *slope*<sub>2</sub> 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.

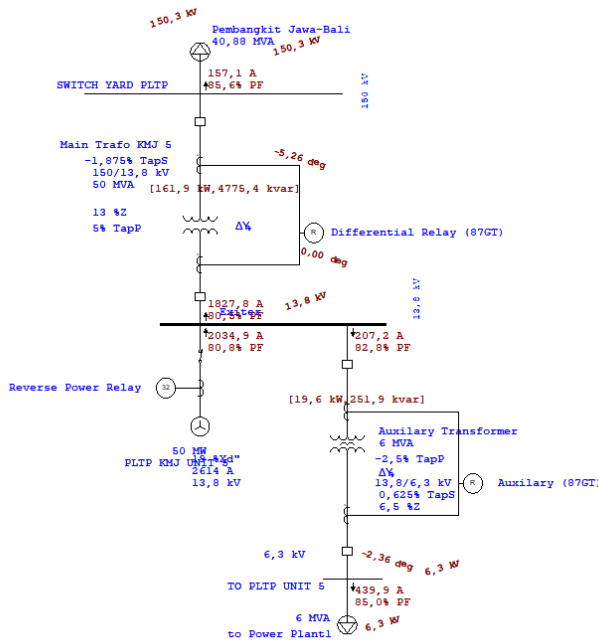
Rasio CT yang tertera ialah 3000:1 dengan hasil arus setting yang tertera adalah 0,3 A. Ketika arus yang masuk 3000 A dan rele akan mengkonfirmasi arus sebesar 0,3 A dan menginstruksikan CT untuk siaga, karena arus *setting* yang di aplikasikan ialah 0,3 A oleh vendor. Ketika arus berkurang maka yang 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.

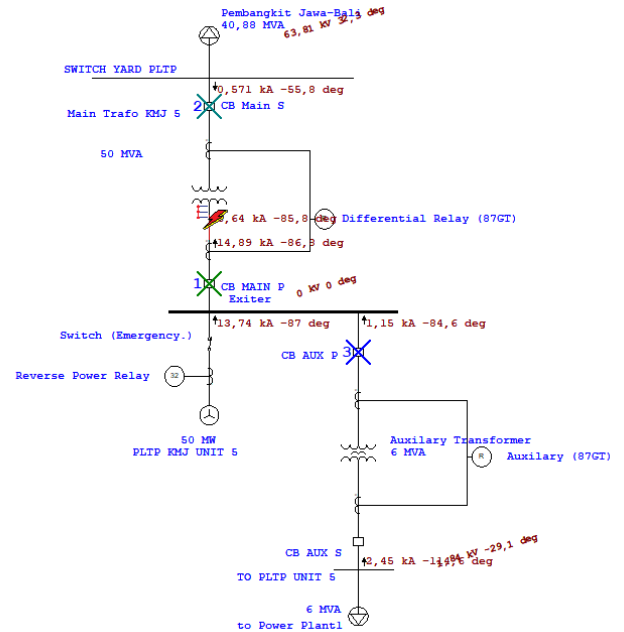
### 4.5.1 Simulasi Keadaan Normal



Gambar 4.1 Simulasi Sistem Proteksi Rele Diferensial (87 GT) dalam Keadaan Normal

Pada keadaan normal atau gangguan berada di luar daerah pengaman 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 4.2 Simulasi Percobaan Gangguan pada Transformator daya dengan Menggunakan Software ETAP 12.6

Keterangan gambar:

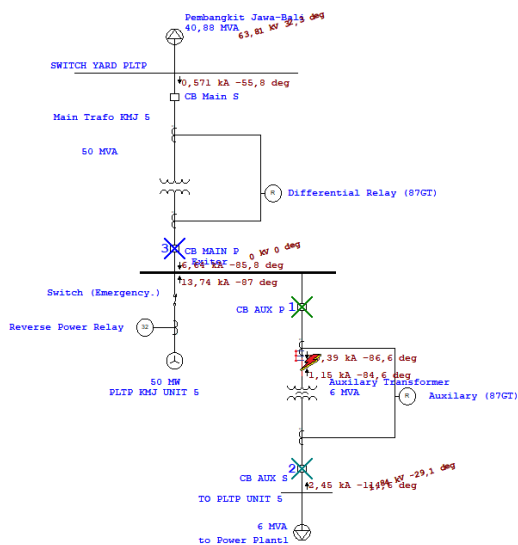
- X 1 = CB Main P
- X 2 = CB Main S
- X 3 = CB Aux P

Dalam simulasi ini dilakukan percobaan yaitu berupa gangguan pada transformator daya yang berada pada zona utama proteksi diferensial relay. CT 1 menunjukkan bahwa *short circuit* pada  $I_{f1} = 14,89 \text{ kA}$  dan pada CT 2 menunjukkan bahwa *short circuit* terjadi diangka  $I_{f2} = 0,64 \text{ kA}$ . Maka dari itu, rele akan bekerja karena  $I_d = I_1 + I_2$ , karena  $I_1 = 0$ , maka  $I_d = I_2$ . *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 ( $I_{f2}$ ) yang mengalir pada CT 2 adalah berbalik arah ( $180^\circ$ ), maka arus yang mengalir pada rele diferensial ( $I_d$ ). Karena terjadi lonjakan arus yang besar yaitu  $I_d$  yang mengalir pada rele, dan rele akan langsung bekerja sesuai dengan zonanya.

### 4.5.3 Simulasi Keadaan Gangguan pada Auxiliary Transformer



Gambar 4 3 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 diferensial, 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  $I_{f1} = 0,39 \text{ kA}$  dan pada CT 2 menunjukkan bahwa *short circuit* terjadi diangka  $I_{f2} = 1,15 \text{ kA}$ . 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.

## V. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai perbandingan data *setting* dari perhitungan manual dan aktual rele diferensial (87 GT) sangatlah berbeda tipis, hasil perbandingan menunjukkan pada kumparan primer memiliki perbandingan sebesar 0,07 A dan pada kumparan sekunder memiliki perbandingan sebesar 0,14 A hal tersebut menunjukkan bahwa rele tersebut berjenis *high impedance*..
2. Dari hasil simulasi yang dilakukan, terbukti bahwa rele yang diaplikasikan bekerja secara normal dan dapat bekerja secara instan dalam artian tingkat keandalan rele tersebut masih dalam batas normal.
3. Solusi yang didapat dari hasil simulasi dan analisis sistem ialah dengan melakukan *setting* ulang pada rele diferensial berdasarkan hasil analisis perhitungan agar pembacaan rele terhadap gangguan arus lebih (*short circuit*) dapat terbaca dengan mudah, serta perhitungan keandalan sebuah rele pun dapat terkontrol dengan baik. Apabila rele tersebut mengalami *error* dapat terbaca dengan mudah.

### 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Faktor eksternal gangguan listrik yang meliputi gangguan alam menjadikan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) Kamojang menjadi rentan terhadap gangguan ini. Mengingat kondisi geografis pada PLTP kamojang terletak pada pegunungan yang tingkat curah hujan yang tinggi serta rentan terhadap sambaran petir dan pohon tumbang, sehingga PLTP Kamojang sering mengalami trip jaringan. Maka dari itu, agar selalu melakukan pengecekan rutin mengenai keandalan dari *differential relay*. Karena keandalan suatu rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90-99 %. Agar kemampuan rele dalam memproteksi sistem tenaga listrik dapat diandalkan setiap saat dan tidak salah dalam kerja ataupun tidak bekerja ketika tidak dibutuhkan.
2. Selalu melakukan kalibrasi *differential relay* dengan cara melakukan perhitungan matematis data pada *setting differential relay* dengan data aktual. Hal tersebut berguna untuk menentukan tingkat kecepatan pada *differential relay* yang berfungsi untuk menjaga kualitas dan kuantitas pelayanan, keamanan, serta keseimbangan saat alat bekerja. Mengingat suatu sistem tenaga listrik mempunyai batas-batas stabilitas serta sering terjadinya gangguan sistem yang bersifat hanya sementara, sehingga rele yang seharusnya bekerja dengan cepat harus diperlambat jangka waktu dalam bekerjanya (*time delay*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Turner. 2009. Testing Numerical Transformer Differential Relay. (IEEE). Hal: 1-7
- IEEE Team, "IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers", IEEE Std C57.13-1993, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1993.
- Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek: Edisi Kelima cetakan ke-12*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Reimert, Donald. 2006. *Protective Relaying for Power Generation System*. Florida: By Taylor & Francis Group, LLC.
- Blackburn, J. Donim, Thomas. *Protective Relaying Principles and Applications: Third Edition*. Florida: By Taylor & Francis Group, LLC.
- PGE Team. 2014. *Engineering Document Description Of Generator & Transformer Protection Relay (FD) KAMOJANG 1X35 MW. PT Pertamina Geothermal Energy*. Bandung: Penerbit Sumitomo Corporation.
- PGE Team. 2014. *Engineering Document Setting List of Generator and Transformer Protection Relay KAMOJANG 1X35MW. PT Pertamina Geothermal Energy*. Bandung: Penerbit Sumitomo Corporation.
- Yuniarto, dkk. 2015. Setting Relay Differensial pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. 17(3): 1-6
- Fitriani. 2017. Analisis Penggunaan Rele differensial sebagai Proteksi pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar. [Skripsi]. Solo (ID). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Altama, G. 2017. Analisis Proteksi Differential Relay Main Transformer (87GT) pada Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi Unit 4 PT. Pertamina geothermal energy area Kamojang [Skripsi]. Yogyakarta (ID). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Febriyanti. 2016. Analisa Kerja Proteksi Gardu Induk Garuda Sakti menggunakan *Software* Berbasis Visual Basic 6.0. Jurnal. 3(1): 1-8.
- Aryanto, Tofan. 2013. Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara. [Skripsi]. Semarang (ID). Universitas Semarang.