

ANALISA PENGATURAN PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA TRAFO III 60 MVA DI GARDU INDUK BANYUDONO 150KV/22KV



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh :

ERA PRIMAWATI

D400 150 061

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA PENGATURAN PROTEKSI RELE DIFERENSIAL
PADA TRAF0 III 60 MVA DI GARDU INDUK BANYUDONO
150KV/22KV**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

ERA PRIMAWATI

D 400 150 061

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Umar, S.T, M.T

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PENGATURAN PROTEKSI RELE DIFERENSIAL
PADA TRAF0 III 60 MVA DI GARDU INDUK BANYUDONO
150KV/22KV

OLEH

ERA PRIMAWATI

D 400 150 061

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari 10 Januari 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Umar, ST. MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Aris Budiman, ST. MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Ulinuha, Ph. D
(Anggota II Dewan Penguji)



(.....)



(.....)



(.....)



Dea Nur
M.T, Ph. D

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oranglain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Desember 2018

Penulis



ERA PRIMAWATI

D400 1500 61

ANALISA PENGATURAN PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA TRAFO III 60 MVA DI GARDU INDUK BANYUDONO 150KV/22KV

Abstrak

Sistem proteksi pada peralatan listrik berguna untuk mengidentifikasi adanya gangguan serta mengurangi terjadinya kerusakan dengan membatasi daerah yang terganggu, pengamanan pada transformator tenaga menggunakan proteksi utama yaitu rele diferensial. Prinsip dasar rele ini berdasarkan hukum kirchoff dimana arus masuk sama dengan arus yang keluar ($I_1=I_2$). Rele diferensial bekerja selektif mengamankan transformator dari gangguan internal dan gangguan eksternal, arus masukan dan arus keluaran trafo sama besar meskipun arus tersebut melebihi arus maksimal transformator oleh sebab itu rele tidak meresponnya sebagai gangguan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengambilan data sekunder dengan melakukan penelitian di Gardu Induk Banyudono 150kV seluruh data komponen diperhitungkan secara manual dan simulasi software *ETAP 12.6* untuk diterapkan pada perhitungan matematis ketika rele terjadi gangguan. Arus sekunder *current transformer* (CT) merupakan keluaran dari trafo arus yaitu pada sisi primer senilai 0,769 A, pada sekunder senilai 0,787 A. Arus *setting* senilai 0,3 A atau 30% dengan asumsi : kesalahan *current transformer* (CT) (10%), arus eksitasi (1%), mismatch (4%), dan faktor keamanan (5%), kesalahan sadapan (10%). Rele diferensial dapat bekerja ketika arus diferensial lebih besar dari arus setting maka rele akan memerintahkan circuit breaker untuk trip, untuk mengetahui kinerja dan pengujian rele diferensial maka disimulasikan dengan software *ETAP 12.6*.

Kata Kunci : Setting, Proteksi Rele Diferensial, Transformator Tenaga

Abstract

Protection systems on electrical equipment is useful to identify the presence of fault and reduce the occurrence of damage by limiting the disturbed area, safety on power transformers using primary protection namely differential relay. The basic principle of relay is based on hokum kirchoff where the inrush is equal to the outflow ($I_1= I_2$). The differential relay works selectively securing the transformer from internal fault and external fault, input current and transformer output current are equal even though the current exceeds the transformer maximum current, therefore the relay does not respond to it as a disturbance. The method used in this research is secondary data by conducting research at Banyudono Substation 150kV all component data is calculated manually and *ETAP 12.6* software simulation to be applied to mathematical calculations when the relay occurs fault. The secondary CT current is the output of the current transformer which is on the primary side worth 0.769 A, on the secondary value of 0.787 A. The setting current is 0.3 A or 30% greater with assumption : circuit transformator (CT) error (10%), excitation current (1%), mismatch (4%), and safety factor (5%), lead error (10%). Differential relay can work when the differential current is greater than the current setting, the relay will order the circuit breaker for the trip, to determine the performance and testing of differential relay it is simulated with *ETAP 12.6*.

Keywords : Settings, Differential Relay Protection, Power Transformer

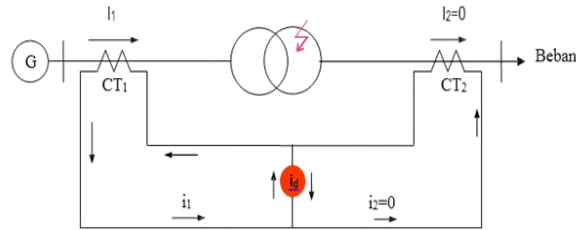
1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini semakin memadai seperti halnya sumber energi kelistrikan yang semakin pesat dan memiliki elemen penting dan sangat dibutuhkan oleh masyarakat khususnya di berbagai kalangan industri. Seiring bertambahnya kapasitas pelanggan yang semakin pesat biaya kebutuhan listrik semakin meningkat di tiap tahunnya. Permintaan tenaga listrik umumnya meningkat pada tingkat yang lebih cepat di negara-negara ekonomi yang berkembang jadi jaringan perusahaan listrik menjadi sangat rumit (Hima A. Patel, 2015). Sistem tenaga listrik dihasilkan dari pusat pembangkit dan disalurkan ke konsumen melalui beberapa tahapan terdiri dari pembangkit, transmisi dan distribusi, diperlukan sistem transmisi yang dapat mengatur keseluruhan tenaga listrik untuk sampai ke pelanggan yaitu dari pembangkit di transmisikan ke saluran distribusi dan didistribusikan ke gardu induk.

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik. Peralatan utama pada gardu induk adalah transformator daya yang salah satunya harus dilindungi dari gangguan (Abdulfetah Shobole,dkk, 2017). Transformator daya adalah peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan transmisi dan distribusi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, trafo bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi magnetic (Søren Slumstrup, 2018). Transformator daya dapat mengalami gangguan dengan kondisi yang beragam, seperti terjadinya gangguan hubung singkat, gangguan termal, dan gangguan mekanik dikarenakan kesalahan operasi pada perubahan sistem parameter (Saad M. Saad,dkk, 2015). Pengaman utama untuk menghindari gangguan dan mengurangi kerusakannya adalah rele diferensial.

Rele diferensial yang digunakan pada transformator daya berdasarkan pada sirkulasi arus (CT) dengan membandingkan arus primer dan arus sekunder karena kedua arus ini biasanya berbeda, perbedaan besarnya arus primer dan arus sekunder dari transformator daya dikompensasi oleh trafo arus(CT) (T.Raja Pandi, 2014). Rele diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain maka dari itu diperlukan waktu yang cepat tanpa adanya koordinasi dengan rele yang lain, rele diferensial sangat cepat dalam mengatasi gangguan, rele differensial tidak dapat digunakan sebagai *backup protection* atau proteksi cadangan dan rele ini mempunyai daerah pengaman yang dibatasi oleh pemasangan trafo arus.

Prinsip dasar rele diferensial berdasarkan Hukum Kirchoff dimana arus masuk dari suatu titik sama dengan arus keluar pada titik tersebut ($I_1=I_2$), yang dimaksud titik pada rele diferensial adalah daerah pengamanan yang dibatasi oleh dua CT.



Gambar 1. Rangkaian Rele Diferensial

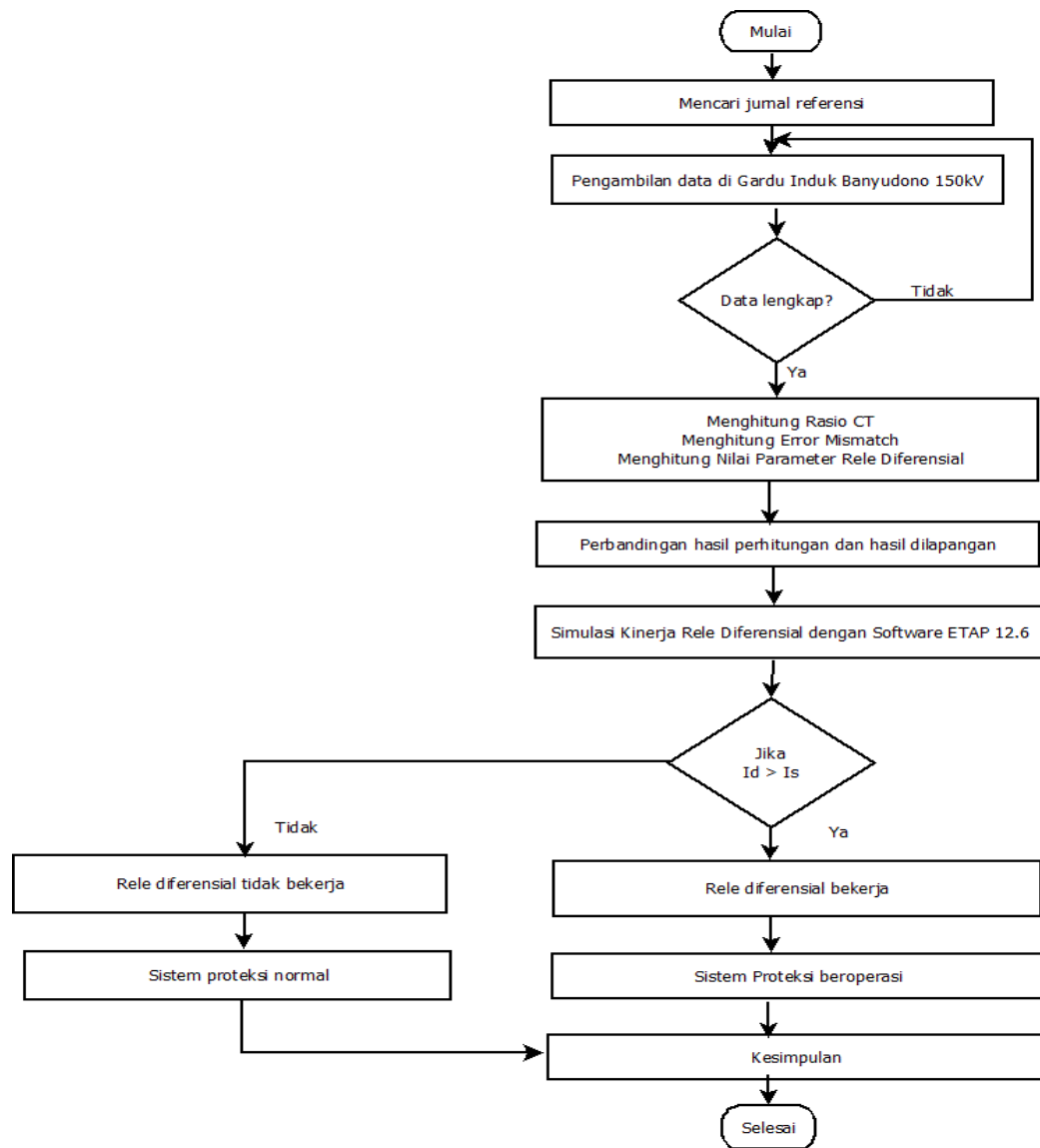
Berdasarkan pembahasan di atas dilakukan analisa perhitungan dan pengaturan rele diferensial dengan data setting rele di gardu induk. Penelitian ini melakukan study literature dengan mencari referensi dan pengambilan data tepatnya di gardu induk 150kV wilayah Boyolali. Gardu Induk Banyudono 150kV memiliki 3 jenis trafo tenaga dengan kapasitas daya 60 MVA yang memiliki kinerja yang sama dan 3 trafo tersebut bekerja sangat optimal yang akan disalurkan ke saluran distribusi dan di distribusikan ke berbagai konsumen, penelitian yang dilakukan dengan pengambilan data pada trafo III 60 MVA. Tujuan analisa ini untuk menghitung *setting* rele diferensial saat kondisi normal, dan saat terjadi gangguan. Rele diferensial dapat bekerja ketika berada di zona internal dikarenakan arus yang mengalir lebih besar dari arus *setting*, dan saat gangguan eksternal arus mengalir lebih kecil dari arus *setting* maka rele tidak dapat bekerja. Prosentase arus *setting* yang digunakan standart PLN sebesar 0,3 A atau 30% dengan asumsi yaitu : kesalahan CT (10%), arus eksitasi (1%), mismatch (4%), dan faktor keamanan (5%), kesalahan sadapan (10%) (Yuniarto dkk, 2015). Agar mengetahui pengujian kinerja rele diferensial maka di simulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6*.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini berdasarkan pada beberapa metode dengan melakukan studi literature yaitu mengumpulkan referensi dari internet dan jurnal-jurnal yang sesuai dengan penelitian yang digunakan untuk mempermudah pembuatan tugas akhir. Pengambilan data seperti data single line diagram GI Banyudono, data parameter rele diferensial, data trafo tenaga digunakan sebagai bahan untuk menghitung dan menyusun tugas akhir.

Data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Gardu Induk Banyudono 150kV, kemudian dianalisa diubah ke bentuk perhitungan matematis dan menggunakan perangkat lunak *ETAP 12.6* sebagai penguji dari perangkat rele diferensial. Berikut merupakan diagram alir dari proses metode penelitian :



Gambar 2. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gardu Induk Banyudono 150kV

Pengambilan data di Gardu Induk Banyudono 150kV dengan trafo tenaga kapasitas daya 60 MVA dan memiliki tegangan primer 150kV dan sekundernya 22kV. Data-data yang di peroleh dari Gardu Induk Banyudono 150kV adalah sebagai berikut.

3.2 Data Trafo Tenaga III

Tabel 1. Data trafo tenaga III di Gardu Induk Banyudono

Merk	PAUWELS
Type	CG ORFC
Nomor Serial	3011150069
Kapasitas Trafo III	60 MVA
Tegangan sisi Primer	150kV
Tegangan sisi Sekunder	22kV
Frekuensi	50Hz
Impedansi	13,55%
Sambungan	YNyn0+d

3.2 Data – Data Setting Rele Diferensial di Gardu Induk Banyudono 150kV

Tabel 2. Data Pengujian Menggunakan Inject 1 fasa – 1 fasa sampai menyentuh setting 0,3 pu

Phasa	R , S , T	
Sisi Tegangan	150kV	22kV
	Hasil Ukur	Hasil Ukur
I pike up (Amp)	0,4 A	2,05 A
Drop Off (Amp)	0,38 A	2,01 A
Waktu Kerja	0,0819	0,0409

Tabel 3. Data Uji Karakteristik Diferensial

Phasa R,S,T	Hasil Ukur
HV	0,6 A
LV	1 A
$i_d = i_2 - i_1$	0,4 A
$i_r = \frac{i_1+i_2}{2}$	0,8 A

3.3 Perhitungan Matematis *Setting Rele Diferensial*

Perhitungan *setting* rele diferensial tersebut memerlukan rumus untuk mencari nilai *rasio CT* pada trafo dengan memperhitungkan nilai pada arus nominal dan arus rating, selanjutnya menghitung nilai *eror mismatch*, menentukan arus *sekunder CT*, arus *diferensial*, arus *penahan*, *persentase slope*, arus *setting rele diferensial*, serta perhitungan saat terjadi gangguan terhadap rele diferensial.

3.3.1 Perhitungan pada Rasio CT

Perhitungan rasio CT, pertama menentukan arus nominal dari sisi primer dan sekunder terlebih dahulu kemudian arus rating. Arus rating digunakan untuk penentuan nilai rasio CT.

Rumus arus rating dan arus nominal :

$$I_{rating} = 110 \times I_{nominal} \quad (1)$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

Dengan :

I_1 nominal : Arus Nominal disisi Primer 150kV(A)

I_2 nominal : Arus Nominal disisi Sekunder 22kV(A)

S : Daya yang disuplai (MVA)

V : Tegangan pada sisi primer dan sisi sekunder (kV)

Mencari Perhitungan Arus Nominal pada 150kV/22kV :

$$I_1 \text{ nominal } 150\text{kV} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3} = 230,94 \text{ A}$$

$$I_2 \text{ nominal } 22\text{kV} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 22 \times 10^3} = 1574,59 \text{ A}$$

Mencari I_{rating} :

$$I_{rating} \text{ sisi primer } 150\text{kV} = 110 \% \times 230,94 = 254,034 \text{ A}$$

$$I_{rating} \text{ sisi primer } 22\text{kV} = 110 \% \times 1574,59 = 1732,049 \text{ A}$$

Pembahasan dari perhitungan yang dihasilkan pada arus *nominal* (I_n) pada sisi primer 150kV yaitu senilai 230,94 A dan arus *nominal* pada sisi sekunder 22kV yaitu senilai 1574,59 A. Kemudian hasil yang diperoleh pada arus *rating* pada sisi primer 150kV sebesar 254,034 A dan arus *rating* pada sisi sekunder 22kV sebesar 1732,049 A. Berdasarkan perhitungan pada arus *rating* maka dapat ditentukan rasio CT pada transformator di sisi tegangan primer dan sekunder maka perbandingan rasio CT pada tegangan primer 150kV (CT_1) adalah 300 : 1 A dan pada tegangan sekunder 22kV (CT_2) adalah 2000 : 5 A.

3.3.2 Perhitungan Error Mismatch

Error Mismatch dapat ditentukan dengan membandingkan rasio CT ideal dengan yang ada dipasaran, dengan pertimbangan tidak melebihi 5% dari besar rasio CT yang dipilih (Oxiandra, 2016). Merupakan hasil kesalahan matematis dalam perbandingan arus dan tegangan disisi primer dan sekunder transformator.

Rumus untuk menentukan error mismatch :

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

$$CT_1 \text{ (ideal)} = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad (3)$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{CT \text{ ideal}}{CT \text{ terpasang}} \% \quad (4)$$

Dengan :

CT ideal : Trafo arus yang ideal

CT terpasang : Trafo arus beban terpasang

V_1 dan V_2 : Tegangan sisi Primer dan Sekunder

Mencari :

$$CT_1(\text{ideal}) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{2000}{5} \times \frac{22}{150} = 58,67 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{58,67}{300} = 0,196 \%$$

$$CT_2 \text{ (ideal)} = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{300}{1} \times \frac{150}{22} = 2045,45 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{2045,45}{2000} = 1,023 \%$$

Pembahasan dari perhitungan yang diperoleh pada CT₁ (ideal) senilai 58,67A dan hasil perhitungan dari error mismatchnya senilai 0,196% kemudian hasil yang diperoleh pada CT₂ (ideal) senilai 2045,45 A dengan error mismatchnya senilai 1,023%. Keduanya masih dibawah standar yang ditentukan yaitu senilai 5%.

3.3.3 Perhitungan pada Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus keluar dari trafo arus. Dalam perhitungan arus sekunder pada CT dengan perbandingan rasio CT dikalikan dengan arus nominal.

Rumus untuk menentukan Arus Sekunder CT :

$$i_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{Rasio CT}} \times I \text{ nominal} \quad (5)$$

Perhitungan arus sekunder CT pada sisi tegangan primer 150kV :

$$i_{\text{sekunder1}} = \frac{1}{300} \times 230,94 = 0,769 \text{ A}$$

Arus sekunder CT pada sisi tegangan sekunder 22kV :

$$i_{\text{sekunder 2}} = \frac{1}{2000} \times 1574,59 = 0,787 \text{ A}$$

Pembahasan dari perhitungan arus sekunder CT yang merupakan keluaran dari trafo arus yaitu pada sisi tegangan primer 0,769 A, pada tegangan sekunder 0,787 A.

3.3.4 Perhitungan Arus Diferensial

Arus yang merupakan hasil pengurangan dari arus sekunder CT pada sisi primer dan sisi sekunder.

Rumus untuk mencari arus diferensial :

$$i_{\text{dif}} = i_2 - i_1 \quad (6)$$

Dimana :

i_{dif} : Arus Diferensial (A)

i_2 : Arus sekunder CT₂ pada sisi sekunder 22kV (A)

i_1 : Arus sekunder CT₁ pada sisi primer 150kV (A)

Perhitungan pada i_{dif} :

$$i_{\text{dif}} = i_2 - i_1 = 0,787 - 0,769 = 0,018 \text{ A}$$

Pembahasan dari perhitungan yaitu arus diferensial (i_{dif}) merupakan hasil pengurangan dari arus sekunder CT pada sisi tegangan sekunder 22kV dan tegangan primer 150kV dengan hasil senilai 0,018 A. Hasil perhitungan selisih dari arus sekunder CT₂ dan CT₁ yang diperoleh yaitu 0,018 A akan dipakai untuk perbandingan hasil dari nilai arus *setting* rele diferensial tersebut.

3.3.5 Perhitungan Arus Penahan

Arus penahan merupakan penambahan dari hasil arus sekunder pada CT₁ dan arus sekunder pada CT₂ dibagi dengan 2.

Rumus untuk menentukan Arus Penahan (i_r):

$$i_r = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (7)$$

Dimana :

i_r : Arus Penahan (A)

i_1 : Arus sekunder pada CT₁

i_2 : Arus sekunder pada CT₂

Perhitungan arus Penahan :

$$i_r = \frac{i_1 + i_2}{2} = \frac{0,769 + 0,787}{2} = 0,778 \text{ A}$$

Pembahasan hasil arus penahan pada perhitungan yaitu senilai 0,778 A. Perbedaan rasio arus CT pada sisi tegangan primer dan sekunder dipengaruhi oleh perbedaan pada rasio transformator daya ketika adanya perubahan pada tap transformator, sehingga arus CT berubah pada sisi tegangan primer dan sisi tegangan sekunder dan menyebabkan nilai arus diferensial dan arus penahan berubah. Hal ini semestinya tidak direspon oleh rele diferensial karena bukan merupakan gangguan.

3.3.6 Perhitungan *Persentase Slope*

Merupakan pembagian nilai arus differensial dengan nilai arus restrain dan menghasilkan *persentase slope*, pada *slope1* dan *slope2*.

Rumus untuk menentukan *persentase slope 1* :

$$Slope_1 = \frac{i_d}{i_r} \times 100\% \quad (8)$$

Rumus untuk menentukan *persentase slope 2* :

$$Slope_2 = \left(\frac{i_d}{i_r} \times 2\right) \times 100\% \quad (9)$$

Dimana :

Slope 1 : setting kecuraman 1 (%)

Slope 2 : setting kecuraman 2 (%)

i_d : Arus diferensial (A)

i_r : Arus penahan (A)

Perhitungan untuk menentukan *Persentase slope₁* :

$$Slope_1 = \frac{0,018}{0,778} \times 100 \% = 2,31\%$$

Perhitungan untuk menentukan *Persentase slope₂* :

$$Slope_2 = \left(\frac{0,018}{0,778} \times 2 \right) \times 100\% = 4,63\%$$

Pembahasan hasil yang diperoleh dari perhitungan *persentase slope* pada *slope₁* senilai 2,31% dan *slope₂* senilai 4,63%.

3.3.7 Perhitungan Arus *Setting Rele Diferensial*

Arus *setting* rele diferensial yaitu hasil dari nilai persentase *slope₁* dikalikan dengan arus penahan.

Rumus untuk menentukan arus *setting* pada rele diferensial :

$$i_{set} = \%Slope \times i_r \quad (10)$$

Dimana :

i_{set} : Arus *setting* (A)

$\%Slope$: *setting* kecuraman (%)

i_r : Arus Penahan (A)

Perhitungan pada arus *setting* rele diferensial :

$$i_{set} = 2,31\% \times 0,778 = 0,018 \text{ A}$$

Hasil yang didapatkan dari perhitungan arus *setting* diferensial senilai 0,018 A, sehingga perhitungan arus *setting* sesuai dengan perhitungan arus diferensial pada saat kondisi ideal, hasil nilai arus diferensial yang ideal yaitu nol dikarenakan hasil pada penyetelan tidak mungkin nol karena ada nilai rasio *current transformer* (CT) yang ditentukan di pasaran. Penyetelan rele diferensial dipengaruhi oleh beberapa faktor dari kesalahan CT (10%), arus eksitasi (1%), mismatch (4%), dan faktor keamanan (5%), kesalahan sadapan (10%) sehingga menghasilkan arus *setting* 0,3 A standart dari PLN. Penyetelan rele dari arus *setting* standart PLN yang dihasilkan 0,3 A + 0,018 A maka arus *setting* rele diferensial sebesar 0,318 A.

3.3.8 Perbandingan Perhitungan Matematis dan Hasil Uji

Perbandingan yang akan dibahas yaitu membandingkan hasil perhitungan matematis dengan hasil uji karakteristik rele diferensial di Gardu Induk Banyudono 150kV.

Tabel 4. Perbandingan Perhitungan dan Hasil Uji

	Hasil Perhitungan	Hasil Uji
i_d (Arus Diferensial)	0,018 A	0,4 A
i_r (Arus Penahan)	0,778 A	0,8 A
i_{set} (Arus Setting)	0,318 A	0,3 A

Hasil yang diperoleh terjadi perbedaan nilai pada perhitungan dan hasil uji dikarenakan pada hasil uji karakteristik rele diferensial itu sendiri didapat arus keluaran dari CT pada sisi tegangan tinggi 150kV sebesar 0,6 A dan sisi tegangan rendah 22kV sebesar 1 A, sehingga hasil arus diferensial yang merupakan selisih dari arus sekunder CT pada sisi tegangan tinggi dan rendah sebesar 0,4 A. Hasil perhitungan matematis yang didapat pada arus sekunder CT pada sisi tegangan tinggi sebesar 0,769 A dan tegangan rendah 0,787 A sehingga diperoleh hasil arus diferensial sebesar 0,018 A hasil perhitungan matematis arus diferensial ini dipakai untuk perbandingan dari nilai arus *setting* rele diferensial pada saat kondisi normal. Hasil dari arus penahan pada hasil uji sebesar 0,8 A dan pada perhitungan matematis sebesar 0,778 A. Kemudian hasil arus *setting* rele diferensial yang ditentukan pada hasil uji sebesar 0,3 A. Hasil dari perhitungan matematis arus *setting* rele diferensial sebesar 0,318 A, selisih antara hasil uji dengan hasil perhitungan tidak menunjukkan adanya perbedaan terlalu jauh, sehingga rele diferensial yang terpasang bekerja secara optimal. Perbedaan nilai itu sendiri dapat terjadi karena beberapa faktor seperti tahanan gangguan, hasil uji di lapangan, dan *human error*. Hasil dari arus *setting* standart dari pln 0,3 A guna untuk mengatasi error dari pembacaan current transformator, dikarenakan arus diferensial yang ideal yaitu nol, ketika terjadi error pada pengukuran trafo arus sehingga kondisi ideal tidak bisa terpenuhi maka arus settingnya dibuat 0,3 A atau 30% dengan asumsi : kesalahan CT (10%), arus eksitasi (1%), mismatch (4%), dan faktor keamanan (5%), kesalahan sadapan (10%).

3.3.9 Perhitungan Matematis pada Gangguan Transformator Tenaga

Perhitungan tersebut merupakan perhitungan yang terjadi gangguan pada trafo daya dengan persamaan :

$$i_{f\ rele2} = i_f \times CT_2 \quad (11)$$

$$i_d = i_{f\ rele2} - i_1 \quad (12)$$

$$i_p = i_2 + i_{set} \quad (13)$$

$$I_p = i_p \times CT_2 \quad (14)$$

Dimana :

$\dot{i}_{f \text{ rele } 2}$: Arus yang masuk pada rele di sisi sekunder 22kV (A)

\dot{i}_f : Arus yang mengalir atau arus gangguan (A)

CT_2 : Rasio pada CT_2 (A)

\dot{i}_2 : Arus sekunder CT_2 saat sebelum terjadi gangguan (A)

\dot{i}_1 : Arus sekunder CT_1 saat sebelum terjadi gangguan (A)

\dot{i}_d : Arus diferensial (A)

\dot{i}_{set} : Arus Setting Rele Diferensial (A)

\dot{i}_{p2} : Arus saat rele mulai bekerja di sisi sekunder 22kV (A)

I_{p2} : Batas arus ketika rele mulai bekerja disisi sekunder 22kV (A)

Menentukan perhitungan arus saat rele mulai bekerja (i_p) di sisi tegangan sekunder 22 kV :

$$\dot{i}_{p2} = \dot{i}_2 + \dot{i}_{set} = 0,787 \text{ A} + 0,3 \text{ A} = 1,087 \text{ A}$$

Kemudian menentukan batas arus ketika rele mulai bekerja dengan asumsi arus setting sebesar 0,3 A di sisi tegangan sekunder 22 kV.

$$I_{p2} = \dot{i}_{p2} \times CT_2 = 1,087 \text{ A} \times 2000 \text{ A} = 2174 \text{ A}$$

Pembahasan pada perhitungan diperoleh batas arus ketika rele diferensial mulai bekerja dengan arus setting 0,3 di sisi tegangan sekunder 22 kV sebesar 2174 A. Jika terdapat arus gangguan (\dot{i}_f) yang mengalir melebihi batas arus sebesar 2174 A di sisi tegangan sekunder maka rele diferensial dapat bekerja jika arus gangguan melebihi batas arus 2174 A, dikarenakan arus yang masuk melebihi arus *setting* 0,3 A maka rele akan bekerja dan membaca adanya gangguan serta memerintahkan circuit breaker untuk *trip*.

Ketika nilai arus gangguan (\dot{i}_f) pada sisi tegangan sekunder 22 kV yaitu sebesar 2500 A, menentukan hasil perhitungan arus yang masuk pada rele pada sisi sekunder 22kV :

$$\dot{i}_{f \text{ rele } 2} = \dot{i}_f \times CT_2 = 2500 \text{ A} \times \frac{1}{2000} \text{ A} = 1,25 \text{ A}$$

Mencari arus diferensial (i_d) dengan rumus :

$$\dot{i}_d = \dot{i}_{f \text{ rele } 2} - \dot{i}_1 = 1,25 \text{ A} - 0,769 \text{ A} = 0,481 \text{ A}$$

Pembahasan dari perhitungan jika terdapat arus gangguan senilai 2500 A pada sisi sekunder 22kV hasil yang diperoleh arus diferensial senilai 0,481 A. Dari perhitungan maka dapat dijelaskan bahwa nilai arus diferensial lebih besar dari arus *setting* 0,3 A maka rele diferensial akan bekerja secara optimal dengan memerintahkan PMT untuk memutuskan (*Trip*).

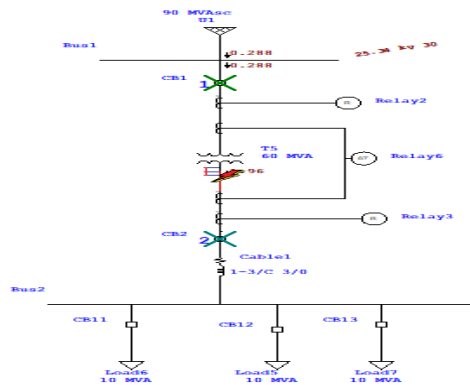
Pembahasan analisa pada gambar 2. Metode yang digunakan dengan simulasi ETAP 12.6 gangguan 3 fasa pada sisi tegangan 22kV ketika terjadi gangguan luar terdapat i_f sebesar 1,963 kA yang dibaca oleh rele OCR. Ketika arus gangguan yang mengalir masuk melalui rele diferensial pada sisi sekunder 22kV sebesar 1,963 kA maka arus yang masuk ke rele diferensial dibuktikan dengan perhitungan :

$$i_{f \text{ rele2}} = 1963 \text{ A} \times \frac{1}{2000} \text{ A} = 0,982 \text{ A}$$

$$i_d = i_{f \text{ rele2}} - i_1 = 0,982 - 0,769 \text{ A} = 0,213 \text{ A}$$

Pembahasan dari perhitungan yang diperoleh arus gangguan yang mengalir melalui rele diferensial pada sisi sekunder 22kV hasil dari arus diferensial senilai 0,213 A. Dari perhitungan membuktikan bahwa nilai arus diferensial 0,213 A lebih kecil dari arus *setting* senilai 0,3 A maka rele diferensial tidak dapat bekerja.

3.3.10.2 Simulasi Gangguan 3 fasa pada Transformator



Gambar 5. Simulasi Percobaan Gangguan 3 fasa pada Transformator

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between T5 & CT4. Adjacent bus: Bus16

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 12-08-2018

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	Relay6		20.0		Phase - 87
47.0	CB1		27.0		Tripped by Relay6 Phase - 87
50.0	CB2		30.0		Tripped by Relay6 Phase - 87

Gambar 6. Analisa Simulasi Gangguan 3 fasa pada transformator

Pembahasan analisa pada gambar 4. Merupakan simulasi percobaan dan analisa kinerja rele diferensial / Relay 6 saat berada di zona nya, ketika transformator terjadi gangguan tiga fasa maka rele diferensial / Relay 6 bekerja dengan memerintahkan CB₁ dan CB₂ untuk trip agar gangguan tidak menjalar ke komponen lain. Gangguan tiga fasa baik dari sisi tegangan primer dan sisi tegangan sekunder pada trafo, rele diferensial akan bekerja ketika trafo terdapat gangguan di bagian zona internalnya saja, di analisa tersebut memperlihatkan bahwa rele diferensial/ Relay6 membaca adanya gangguan dengan delay waktu 20 ms dan memerintahkan CB₁ trip pada delay waktu 27 ms, dan pada CB₂ trip pada delay waktu 30 ms, ketika gangguan eksternal rele diferensial tidak dapat bekerja. Ketika gangguan berada di zona eksternal sudah terdapat rele OCR yang akan mengatur dan akan menugaskan Circuit Breaker untuk *trip*.

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil yang telah diperhitungkan dari uraian diatas dengan penelitian di Gardu Induk Banyudono 150kV, penarikan kesimpulan sebagai berikut :

- a. Rele Diferensial berfungsi untuk mengamankan transformator ketika terjadi gangguan internal pada trafo sehingga arus diferensial yang mengalir lebih besar dari arus setting maka rele akan bekerja.
- b. Perhitungan *setting* rele diferensial tersebut memerlukan rumus untuk mencari nilai rasio CT pada trafo dengan memperhitungkan nilai pada arus nominal dan arus rating, selanjutnya menghitung nilai error mismatch, arus sekunder CT, arus diferensial, arus penahan, persentase slope, arus setting rele diferensial, dan perhitungan saat terjadi gangguan terhadap rele diferensial.
- c. Error Mismatch dapat ditentukan dengan membandingkan rasio CT ideal dengan yang ada dipasaran, dengan pertimbangan tidak melebihi 5% dari besar rasio CT yang dipilih.
- d. Arus sekunder CT merupakan keluaran dari trafo arus. Untuk menentukan arus diferensial yaitu hasil selisih dari arus sekunder CT dari sisi primer dan sisi sekunder.
- e. Pada percobaan simulasi *ETAP 12.6* kinerja rele diferensial jika terdapat skenario gangguan, rele diferensial dapat bekerja ketika terjadi gangguan pada zona internalnya saja dengan memerintahkan circuit breaker untuk *trip*, dan ketika terdapat gangguan pada zona eksternal rele diferensial tidak dapat bekerja dan tidak dapat memerintahkan circuit breaker untuk *trip*.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan waktu yang baik.
2. Bapak Umar S.T,M.T selaku dosen pembimbing yang membimbing penulis dengan sabar memberikan masukan dan saran serta memotivasi penulis agar tugas akhir berjalan lancar dan baik.

3. Bapak dan Ibu yang selalu menyemangati serta memberikan motivasi yang tak pernah henti dan menasehati penulis agar segera menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
4. Pak Bayu selaku Supervisory Proteksi dan operator-operator di GI Banyudono 150kV memberikan wawasan serta data spesifik sehingga memudahkan penulis menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
5. Mas Yoko Yakub Mahasiswa Unisulla dan Mas Doni yang memberikan penulis solusi yang terbaik untuk mengerjakan tugas akhir dengan baik.
6. Kerabat dekat Vicky, Arum, Fendy, Farid, Irvan, Ira dan yang lainnya memberikan semangat dan tidak berhenti mendukung penulis untuk terus menyelesaikan tugas akhir dengan waktu yang tepat.
7. Saudara-saudara dekat yang memberikan semangat kepada penulis agar tugas akhir selesai dengan baik.
8. Teman – teman angkatan 2015 dan adik-adik tingkat Jurusan Teknik Elektro UMS yang telah memberikan semangat yang sangat luar biasa kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulfetah Shobole, Mustafa Baysal, Mohammed Wadi, and Mehmet Rida Tur. (2017). *Protection Coordination in Electrical Substation Part-2 Unit Protections*. Istanbul, Turkey: GU J Sci 30(4): 163-178 (2017).
- Hima A. Patel, V. M. (2015). *Relay Coordination using ETAP*. Canada: International Journal of Scientific & Engineering Research.
- Oxiandra Ali Rizki, Muhammad Mujahidin ST.,MT, & Ibnu Kahfi Bachtiar, ST, M.Sc. (2017). *Analisis Arus Inrush Terhadap Pengaruh Kinerja Relai Diferensial Pada Transformator 150kV*. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Saad M. Saad, Abdelsalam Elhaffar and Khalil El-Arroudi. (2015). *Optimizing Differential Protection Settings for Power*. University of Benghazi, Libya: Journal International.
- Søren Slumstrup, and Filipe Faria da Silva. (2018). *Differential Protection of Transformers*. Aalborg University: EE7-722.
- T.Raja Pandi, MKNM.Sakthi Nagaraj, & N.Panneer Selvam. (2014). *The Analysis of Power Transformer from Differential Protection Using Back Propagation Neural Algorithm*. Madurai, Tamilnadu, India: International Journal ISSN(Online): 2320-9801.
- Yuniarto, Arkhan Subari, & Dinda Hapsari Kusumastuti. (2015). *SETTING RELAY DIFFERENSIAL PADA GARDU INDUK KALIWUNGU GUNA MENGHINDARI KEGAGALAN PROTEKSI*. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang: e-ISSN 2407–6422, 148.