

**ANALISA SISTEM PROTEKSI RELE DIFERENSIALPADA
TRANSFORMATOR DAYA 60MVA DI GARDU INDUK WONOGIRI**



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

Oleh:

DONNY HAFES ALMER PRATAMA

D 400 140 004

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA SISTEM PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR DAYA 60MVA DI GARDU INDUK WONOGIRI**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

DONNY HAFES ALMER PRATAMA

D 400 140 004

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Umar, S.T. M.T.

NIK.731

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISA SISTEM PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR DAYA 60MVA DI GARDU INDUK WONOGIRI

OLEH
DONNY HAFES ALMER PRATAMA
D 400 140 004

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari kamis, 18 Januari 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

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


(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,

Dr. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi 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 orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

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

Surakarta, 24 Desember 2018

Penulis



DONNY HAFES ALMER PRATAMA

D 400 140 004

ANALISA SISTEM PROTEKSI RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR DAYA 60MVA DI GARDU INDUK WONOGIRI

Abstrak

Transformator tenaga merupakan peralatan yang sangat penting bagi penyaluran daya listrik sehingga perlu adanya perlindungan guna bekerja tetap handal. Sistem proteksi adalah sistem berupa perlindungan pada peralatan listrik guna menghindari kerusakan peralatan serta menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik. Peralatan proteksi yang digunakan salah satunya yaitu rele diferensial. Fungsi rele diferensial yaitu mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di internal. Rele diferensial merupakan suatu rele yang bekerja berdasarkan perbedaan arus yang melalui daerah pengaman. Setting yang tepat pada rele diferensial sangat berpengaruh terhadap bekerjanya sistem proteksi yang baik. Metode yang digunakan untuk menentukan setting rele diferensial yaitu dengan mendapatkan data sekunder dengan melakukan penelitian di Gardu Induk Wonogiri serta mencari referensi jurnal yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Data yang diperoleh selanjutnya diproses dengan perhitungan secara manual. Perhitungan yang dilakukan berupa nilai *ratio current transformer* (CT), perhitungan parameter rele diferensial dalam keadaan tanpa gangguan, dilanjutkan perhitungan nilai parameter rele diferensial terjadi adanya gangguan. Hasil nilai *ratio CT* diperoleh pada sisi 150kV yaitu 300:1 dan pada sisi 20kV yaitu 2000:1. Arus diferensial diperoleh sebesar 0,16A yang diperoleh dari selisih antara nilai arus sekunder pada *current transformer* (CT) sebesar 1,33A pada sisi 150kV dan 1,49A pada sisi 20kV. Nilai arus *setting* diperoleh sebesar 0,16A. Diharapkan dari setting tersebut sistem proteksi pada transformator tenaga mampu beroperasi dengan handal.

Kata Kunci: transformator tenaga, *current transformer*, rele diferensial.

Abstract

Transformer power is a very important piece of equipment for the distribution of electrical power so that the need for protection to work remains a reliable. Protection system is a form of protection on electrical equipment to avoid damage to the equipment as well as maintaining the stability of the electric power distribution. Protection equipment used one that is relay differential. The function of the differential that is relay secure transformer short circuit of the disorder that occurs in the internal. Differential relay is a relay which is a work based on the difference of the current through the security area. The right setting of differential relay on very influential towards works of a good protection system. The methods used to determine the differential that is relay settings by getting secondary data by doing research on Substation Wonogiri and looking for a journal reference in accordance with the research conducted. Further processed data obtained by the calculation manually. Calculations performed in the form of current value ratio transformer (CT), the calculation of parameters in case of differential rele without interruption, followed by the calculation of the value of the parameter differential rele occur the presence of interference. The results of the CT ratio values obtained at the side of the 150kV namely 300:1 and on the side of 20kV namely 2000:1. Differential current acquired for 0, 16A obtained from the difference between the value of the secondary flow on the current transformer (CT) of 1, 33A on side 1, and 49A 150kV on the side of 20kV. The current setting values acquired for 0, 16A. Expected from such settings on the power transformer protection system capable of operating with a reliable.

Keywords: power transformer, current transformer, relay differential.

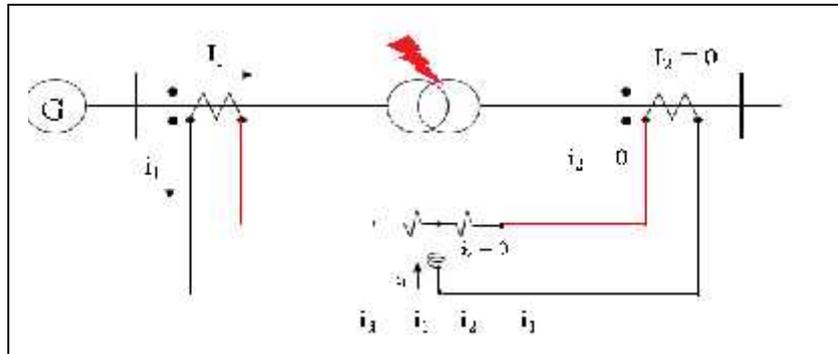
1. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan menjadi elemen yang sangat penting untuk kebutuhan pokok seiring dengan meningkatnya pembangunan yang pesat. Perkembangan ilmu pengetahuan juga memiliki dampak yang sangat besar terhadap dunia industri khususnya pada dunia kerja yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan listrik. Gangguan pada penyaluran daya listrik dengan daya cukup besar sering kali terjadi yang mengakibatkan kerugian bagi pihak penyedia maupun konsumen. Hal ini dapat mengakibatkan timbulnya kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik, khususnya pada transformator, generator, motor industri dan sebagainya. Keandalan dan kemampuan pada sistem tenaga listrik dalam penyaluran daya listrik salah satu hal yang paling utama, sehingga perlu adanya sistem proteksi yang optimal.

Transformator tenaga merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik atau tenaga dari tegangan tinggi menuju tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi pada penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi (Yudha, 2012). Transformator diharapkan mampu beroperasi secara maksimal, namun dalam hal ini transformator seringkali mengalami gangguan-gangguan ketika saat beroperasi. Transformator saat beroperasi memiliki 2 jenis gangguan, yaitu gangguan internal serta gangguan eksternal. Gangguan internal pada transformator adalah gangguan yang disebabkan oleh transformator itu sendiri. Sedangkan gangguan eksternal pada transformator merupakan gangguan yang disebabkan oleh faktor luar. Gangguan yang seringkali terjadi pada transformator yaitu gangguan hubung singkat antar fasa, gangguan hubung singkat antar fasa ke tanah, *bushing* dan *packing body* yang kendur atau kurang kencang, gangguan pada sistem pendingin, penyambungan kumparan yang kurang baik, serta kerusakan pada isolasi (Septiafianie, 2013).

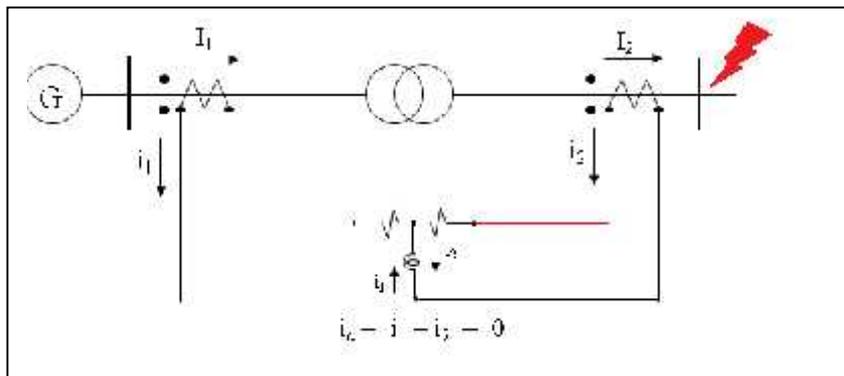
Transformator perlu adanya perlengkapan atau peralatan pengaman guna menghindari kerugian atau mengurangi gangguan sekecil mungkin (Bages, 2011). Peralatan yang dimaksud berupa rele proteksi. Proteksi itu sendiri merupakan suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang guna menghindari kerusakan peralatan serta stabilisasi penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Beberapa persyaratan sistem proteksi yang dikatakan baik yaitu andal, selektif, peka, dan cepat. Salah satu perangkat sistem proteksi berupa rele proteksi. Sedangkan rele proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik yang tidak normal. Rele proteksi yang vital pada transformator daya yaitu rele diferensial. Fungsi rele diferensial yaitu mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di internal. Rele diferensial

merupakan suatu rele yang bekerja berdasarkan perbedaan arus(besaran dan sudut) yang melalui daerah pengaman. Rele diferensial harus bekerja jika terjadi gangguan di daerah pengaman yang dibatasi oleh trafo arus(CT), dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Gambar di bawah menunjukkan kondisi gangguan internal pada transformator daya.



Gambar 1. Gangguan internal pada transformator daya

Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan perbedaan antara dua atau lebih besaran listrik yang sama pada daerah pengaman. Ketika adanya perbedaan tersebut maka rele akan mendeteksi adanya gangguan apabila terjadi perbedaan (Paliwal, 2014). Transformator dalam kondisi normal atau gangguan diluar daerah pengaman, maka arus sekunder trafo yang mengalir pada relai saling meniadakan (lebih kecil dari nilai setting) maka rele tidak bekerja.



Gambar 2. Gangguan eksternal pada transformator daya

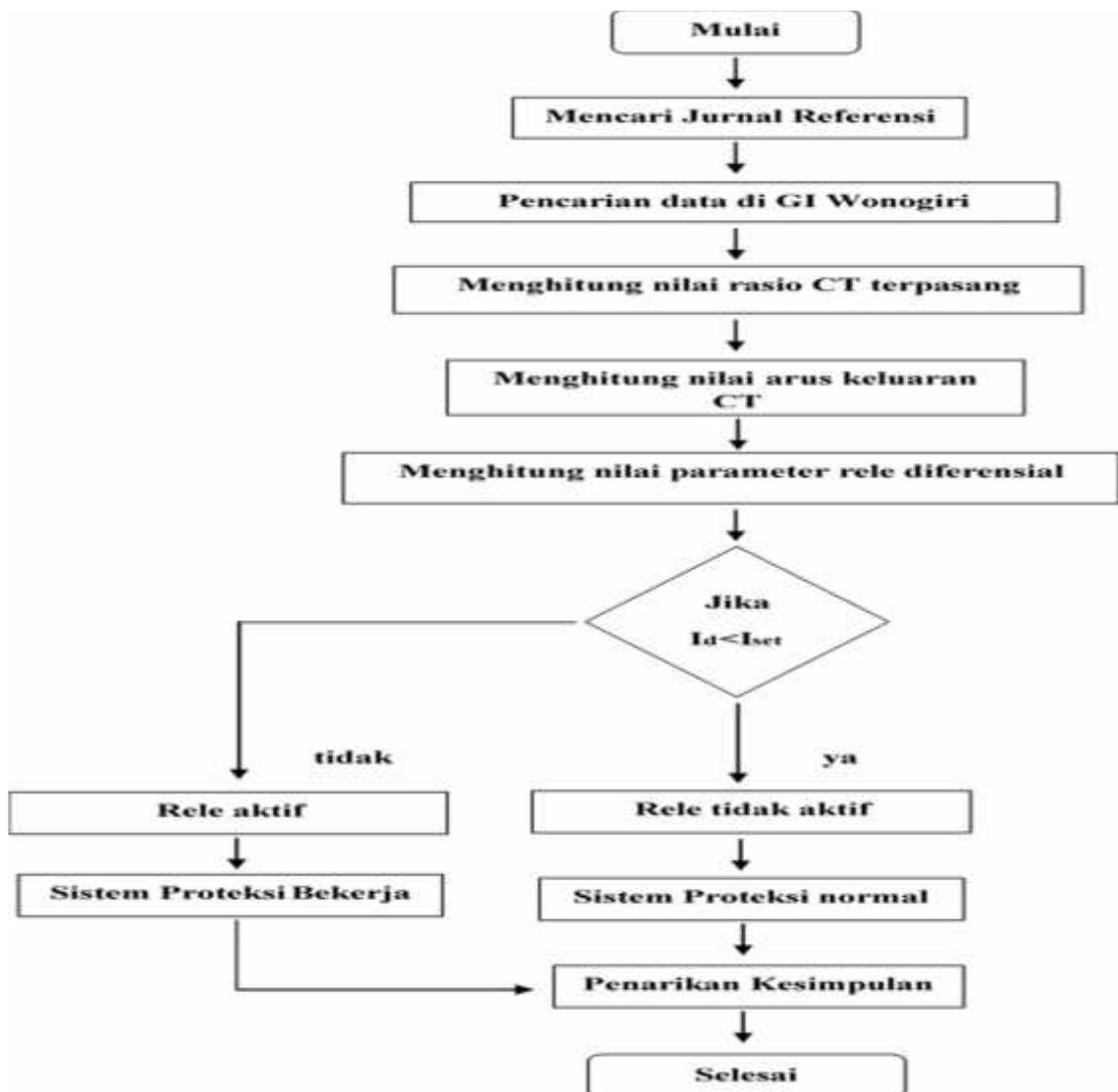
Terjadinya gangguan di daerah transformator, maka arus sekunder trafo arus(CT) yang mengalir pada rele saling menjumlahkan(lebih besar dari nilai setting) atau masuk didaerah karakteristik kerja sehingga rele bekerja. Gardu Induk Wonogiri memiliki transformator daya berkapasitas 60 MVA yang bertujuan untuk penyaluran tenaga listrik sehingga dapat didistribusikan kepada konsumen wilayah Wonogiri, maka perlu adanya rele diferensial sebagai proteksi guna mengurangi kerugian yang tidak diinginkan. Berdasarkan uraian diatas, peneliti bertujuan untuk

menentukan setting rele diferensial secara tepat sehingga sistem proteksi pada transformator dapat bekerja dengan handal, serta minim gangguan.

2.METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu penelitian sekunder dikarenakan sumber data yang diperoleh dari suatu instansi terpercaya dalam berbentuk kumpulan data laporan. Langkah pertama yang dilakukan meliputi mengumpulkan referensi berbentuk jurnal yang berkaitan dengan judul tugas akhir, selanjutnya pengambilan data di Gardu Induk Wonogiri. Setelah data semua terkumpul selanjutnya menghitung arus nominal serta arus rating pada transformator guna memperoleh rasio CT yang terpasang pada transformator. Kemudian menghitung arus sekunder CT, arus diferensial, arus setting diferensial.

Flowchart penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini meliputi data dari penelitian di gardu induk wonogiri dan pembahasan dari hasil perhitungan.

3.1 Data

Tabel 1. Data transformator tenaga 1 di Gardu Induk Wonogiri

Merk	PAUWELS
Type	ORF 60/275
Nomor Serial	3011150081
Kapasitas Trafo	60 MVA
Teg. pada sisi Primer	150 kV
Teg. pada sisi Sekunder	20 kV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,9%
Sambungan	Yn Yn()

3.2 Perhitungan Matematis

Perhitungan matematis bertujuan untuk menghitung arus nominal serta arus rating sehingga dapat diperoleh *ratio* CT pada transformator. Langkah selanjutnya menghitung arus diferensial, menghitung arus *restrain* (penahan), arus *slope* dan arus *setting* rele diferensial, serta menghitung arus keluaran pada CT saat terjadi gangguan dan dampak terhadap rele diferensial.

3.2.1 Perhitungan nilai rasio CT terpasang

Langkah pertama yang dilakukan saat menentukan nilai *ratio* CT dengan melakukan perhitungan nilai arus rating terlebih dahulu. Arus rating bertujuan menentukan batas pemilihan rasio CT. Perhitungan arus *rating* dengan persamaan sebagai berikut :

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

Persamaan :

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

I_{nom} = Arus Nominal (A)

S = Daya yang disalurkan (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (kV)

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada setiap jaringan.

Arus nominal pada sisi 150 kV :

$$I_{\text{nom}} = \frac{6.0.0}{\sqrt{3} \times 1.0} = 230,94 \text{ A}$$

Arus nominal pada sisi 20 kV :

$$I_{\text{nom}} = \frac{6.0.0}{\sqrt{3} \times 2.0} = 1732,050 \text{ A}$$

Arus *rating* di sisi 150 kV :

$$I_{\text{rat}} = 110\% \times 230,94 \text{ A} = 254,034 \text{ A}$$

Arus *rating* di sisi 20 kV :

$$I_{\text{rat}} = 110\% \times 1732,050 \text{ A} = 1905,255 \text{ A}$$

Perhitungan di atas menunjukkan bahwa arus nominal yang mengalir pada trafo sisi 150 kV sebesar 230,94 A dan di sisi 20 kV sebesar 1732 A. Hasil perhitungan pada sisi 150 kV menghasilkan nilai arus *rating* sebesar 254,043 A dan pada sisi 20 kV sebesar 1905,255 A. Melalui perhitungan yang sudah didapat, maka pemilihan rasio CT didapat sebesar 300:1 A pada sisi 150kV serta 2000:1 A pada sisi 20kV. Dari pemilihan rasio CT tersebut, apabila pada trafo sisi 150kV mengalir arus sebesar 300A maka terbaca 1A pada CT serta berlaku juga pada sisi 20kV ketika arus mengalir sebesar 2000A maka terbaca 1A. Penentuan *ratio* CT tersebut dikarenakan nilai tersebut hampir mendekati nilai arus *rating* yang sudah dihitung dan CT rasio tersebut tersedia di pasaran.

3.2.2 Arus sekunder (*Current Transformator*)

Arus sekunder CT yaitu arus yang mengalir dari sisi keluaran CT.

$$I_{\text{sek}} = \frac{1}{\text{ratio CT}} \times I_n \quad (3)$$

Arus sekunder CT pada sisi 150 kV :

$$I_{\text{sek}} = \frac{1}{300} \times 230,94 \times \sqrt{3} = 1,33 \text{ A}$$

Arus sekunder CT pada sisi 20 kV :

$$I_{\text{sek}} = \frac{1}{2000} \times 1732,050 \times \sqrt{3} = 1,49 \text{ A}$$

Diperoleh hasil perhitungan pada Arus sekunder CT pada sisi 150kV sebesar 1,33A sedangkan pada sisi 20kV sebesar 1,49A.

3.2.3 Arus differensial

Arus differensial yaitu arus yang diperoleh dari selisih antara arus keluaran CT pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.

Persamaan :

$$I_{\text{diff}} = I_2 - I_1 \quad (4)$$

Keterangan :

I_{diff} = Arus diferensial

I_1 = Arus keluaran CT₁

I_2 = Arus keluaran CT₂

Perhitungan arus diferensial sebagai berikut :

$$I_{diff} = 1,49 - 1,33$$

$$I_{diff} = 0,16 \text{ A}$$

Arus differensial yang diperoleh sebesar 0,16 A. Nilai tersebut yang akan dibandingkan dengan arus setting rele differensial.

3.2.4 Arus *restrain* (penahan)

Arus *restrain* dapat dihitung dengan menjumlahkan arus keluaran pada CT₁ dengan arus keluaran pada CT₂ kemudian dibagi 2.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (5)$$

Keterangan :

I_r = Arus penahan (A)

I_1 = Arus keluaran CT₁

I_2 = Arus keluaran CT₂

Perhitungan :

$$I_r = \frac{1,33 + 1,49}{2} = 1,41 \text{ A}$$

Arus *restrain* yang diperoleh dari hasil perhitungan diatas menunjukkan sebesar 1,41 A. Ketika terjadi perubahan rasio di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah yang disebabkan oleh perubahan tap trafo tenaga sehingga mengakibatkan arus differensial naik, maka arus *restrain* berubah naik. Hal ini bertujuan agar rele diferensial tidak beroperasi karena bukan termasuk dalam sebuah gangguan.

3.2.5 *Percent Slope* (*setting* Kecuraman)

Perhitungan dari *slope* dapat dilakukan dengan membagi arus diferensial dengan arus *restrain*. Kondisi normal pada arus diferensial dan arus *restrain* ditentukan oleh *Slope* 1 serta memastikan sensitifitas rele pada saat terjadi gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, Pada *Slope* 2 berfungsi agar rele diferensial tidak beroperasi saat terjadi gangguan diluar daerah pengaman dengan nilai arus gangguan besar. (Liem Ek Bien, 2007)

Perhitungan % *slope* 1 dan % *slope* 2 :

$$\text{Slope}_1 : \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{Slope}_2 : \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

Slope₁ : *Setting* kecuraman 1

I_d : Arus Differensial (A)

Slope₂ : *Setting* kecuraman 2

I_r : Arus *Restrain* (A)

Perhitungan *Slope* 1 :

$$\text{Slope}_1 = \frac{0,16}{1,41} \times 100\% = 11,42\%$$

Perhitungan *Slope* 2 :

$$\text{Slope}_2 : \left(\frac{0,16}{1,41} \times 2 \right) \times 100\% = 22,69\%$$

3.2.6 Arus *Setting* (I_{setting})

Arus *setting* merupakan arus dihasilkan dari perkalian antara *slope* dengan arus *restrain*. Nilai dari arus *setting* selanjutnya akan dibandingkan dengan arus differensial.

Persamaan :

$$I_{\text{setting}} = \% \text{Slope} \times I_{\text{restrain}} \quad (8)$$

Dimana :

I_{setting} : Arus *Setting*

I_{restrain} : Arus Penahan

%*Slope* : *Setting* Kecuraman(%)

Perhitungan Arus *Setting* :

$$I_{\text{setting}} = 11,42\% \times 1,41$$

$$I_{\text{setting}} = 0,1142 \times 1,41$$

$$I_{\text{setting}} = 0,16\text{A}$$

Arus *setting* yang diperoleh berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan menghasilkan sebesar 0,16 A, sehingga perhitungan arus *setting* sesuai dengan perhitungan arus differensial.

3.2.7 Gangguan pada transformator daya

Persamaan yang digunakan untuk menghitung gangguan pada transformator daya sebagai berikut :

$$I_f \text{ relay} = I_f \times CT_2 \quad (9)$$

$$I_{2 \text{ fault}} = \frac{I_f \text{ relay}}{I_2} \quad (10)$$

$$I_d = I_2 - I_1 \quad (11)$$

$$I_{2\,fault} = I_1 + I_d \quad (12)$$

$$I_f\,relay = I_{2\,fault} \times I_2 \quad (13)$$

$$I_f = I_f\,relay \times CT_2 \quad (14)$$

Keterangan :

$I_f\,relay$: Arus gangguan yang dideteksi rele

I_f : Arus yang menuju pada rele

CT_2 : Rasio CT_2

I_2 : Arus keluaran CT_2 sebelum adanya gangguan

I_d : Arus diferensial

I_1 : Arus keluaran CT_1

$I_{2\,fault}$: Arus keluaran CT_2 ketika terjadi gangguan

Sisi 20 kV dengan arus gangguan sebesar 5000A :

$$I_f\,relay = I_f \times CT_2$$

$$I_f\,relay = 5000 \times \frac{1}{2000} = 2,5 \text{ A}$$

$$I_{2\,fault} = \frac{I_f\,relay}{I_2}$$

$$I_{2\,fault} = \frac{2,5}{1,49} = 1,67 \text{ A}$$

$$I_d = I_2 - I_1$$

$$I_d = 1,67 - 1,33 = 0,34 \text{ A}$$

Arus gangguan yang terdapat di sisi tegangan rendah 22kV dengan nilai sebesar 5000A diperoleh arus keluaran pada CT_2 sebesar 1,67A, sehingga rele diferensial bekerja serta menginstruksikan PMT untuk trip karena nilai arus diferensial lebih besar dari arus *setting*.

Sisi 150 kV dengan arus gangguan sebesar 4100A :

$$I_f\,relay = I_f \times CT_2$$

$$I_f\,relay = 4100 \times \frac{1}{2000} = 2,05 \text{ A}$$

$$I_{2\,fault} = \frac{I_f\,relay}{I_2}$$

$$I_{2\,fault} = \frac{2,05}{1,49} = 1,37 \text{ A}$$

$$I_d = I_2 - I_1$$

$$I_d = 1,37 - 1,33 = 0,04 \text{ A}$$

Arus gangguan yang terdapat di sisi tegangan rendah 22kV dengan nilai sebesar 4100A menghasilkan arus keluaran CT_2 sebesar 1,37 A, sehingga rele diferensial tidak beroperasi dikarenakan nilai arus diferensial dibawah batas dari arus *setting*.

Nilai I_d menjadi 0,16 A yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat :

$$I_{2\text{ fault}} = I_1 + I_d$$

$$I_{2\text{ fault}} = 1,33 \text{ A} + 0,16 \text{ A}$$

$$I_{2\text{ fault}} = 1,491 \text{ A}$$

$$I_{f\text{ relay}} = I_{2\text{ fault}} \times I_2$$

$$I_{f\text{ relay}} = 1,491 \times 1,49$$

$$I_{f\text{ relay}} = 2,221 \text{ A}$$

$$I_f = I_{f\text{ relay}} \times CT_2$$

$$I_f = 2,221 \times 2000$$

$$I_f = 4442 \text{ A}$$

Ketika nilai I_d sebesar 0,16 A maka arus gangguan pada sisi 20kV sebesar 4442 A. Pengertian pernyataan tersebut menjelaskan bahwa batas arus yang di perbolehkan pada sisi 20kV sebesar 4442 A.

4. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil analisa yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Arus rating yang diperoleh sebesar 254,034 A pada sisi tegangan tinggi 150 kV sedangkan pada sisi tegangan rendah 20 kV sebesar 1905,255 A. Hasil tersebut akan menjadi acuan untuk pemilihan nilai ratio CT yang terpasang pada transformator daya.
2. Hasil dari perhitungan arus diferensial sebesar 0,16 A
3. Batas maksimal arus nominal yang mengalir pada transformator daya sisi 20kV sebesar 4442 A, ketika melewati batas yang ditentukan maka rele diferensial akan bekerja serta menginstruksikan PMT supaya *trip*.
4. Arus *setting* yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 0,16A. Penyetelan *setting* tersebut diharapkan transformator daya dapat beroperasi dengan handal dan minim gangguan.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberi nikmat, kesehatan, dan pencerahan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir tanpa adanya halangan.
2. Orang tua serta keluarga yang selalu memberikan motivasi dan saran.
3. Bapak Umar, S.T, M.T. selaku pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, serta memberikan saran dan masukan.

4. Bapak Eka Purwanta selaku Supervisor di GI Wonogiri yang telah membantu memberikan informasi dan data kepada penulis sehingga membantu untuk penelitian tugas akhir.
5. Muhammad Syahendra dan Widodo Hadi Prabowo rekan seperjuangan penelitian di GI Wonogiri.
6. Puji Prasetyo Utomo, Harun Ageng Pribadi, Rosid, Bandung Romadhonna, David Kurniawan, Dimas Prasetyo Putro, Aditya Ramadhani, dan teman kos An-nur yang senantiasa memberi semangat dan hiburan.
7. Juri Efendi, Naufal 'Afif, Muhammad Viki Lutfiana, Irawan Hermanto, Bayu Aditya Maulana, Dedi Nur Setiawan, Abdul Khamid, Amoreza Ryan Abimantara, Galih Dwi Susanto, Muhammad Bayu Iskandar, Rifki Yurid, Aditya Aji, Gamma Ayu Kartika Sari, Siti Khoiriyah, Dini Nur Hidayati, Shelka Oktamia, Nina Sania, serta teman-teman angkatan 2014 Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu pengerjakan tugas akhir penulis.
8. Nor Ria Fitriani yang telah membantu dan memberi informasi pada penelitian tugas akhir.
9. Bunga Saptira yang selalu mendukung dan menasehati penulis dengan baik.
10. Elly Fatmasari yang saya kagumi dan pemberi inspirasi.

DAFTAR PUSTAKA

- El-Bages, M.S. (2011)Improvement Of Digital Differential Relay Sensitivity For Faults In Power Transformer. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*. 3, 1-5.
- Sutrisno. (2000). *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Paliwal, Nikhil., & Trivedi, A. (2014). *Analysis of Modern Digital Differential Protection for Power Transformer*. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*. 2, 46-53.
- Yudha, Armi. (2012, May 9). Transformator daya. Retrieved from <http://armiyudha.blogspot.co.id/2012/05/transformator-daya.html>.
- Septrifianie, Dera. (2012, January 4). Jenis gangguan Trafo. Retrieved from <http://ravanio.blogspot.co.id/2013/01/jenis-gangguan-trafo.html>.
- Bien, Liem Ek., & Helna Dita.(2007). *Studi Penyetelan Relai Diferensial pada Transformator PT Chevron Pasific Indonesia*. Dosen Jurusan Teknik Elektro-FTI, Fakultas Teknik, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Aldi, Rinaldi. (2013, November 9). *Sistem Proteksi pada Transformator*. Retrieved from <http://tekniklistrikumum.blogspot.co.id/2013/11/sistem-proteksi-pada-transformator.html>
- Toha, M. (2013, April). *Pola Dasar Proteksi Gardu Induk*. Semarang.
- Yuniarto, Arkhan Subari, dan Dinda Hapsari Kusumastuti. (2015, March 17). *SETTING RELAY*

*DIFERENSIAL PADA GARDU INDUK KALIWUNGU GUNA MENGHINDARI KEGAGALAN
PROTEKSI.* Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang