

**ANALISIS PERFORMA RELAY DIFFERENSIAL
TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK CILEGON LAMA**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Muhammad Rizki Muharam

14524114

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERFORMA RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR PADA GARDU

INDUK CILEGON LAMA

TUGAS AKHIR

ISLAM

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Muhammad Rizki Muharam

14524114

البعثة الإسلامية
Yogyakarta, 24 Oktober 2018
البعثة الإسلامية

Menyetujui,

Pembimbing 1



Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.

NIK : 145240501

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS PERFORMA RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK CILEGON LAMA

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Rizki Muharam

14524114

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 22 Oktober 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc. , 

Anggota Penguji 1: Wahyudi Budi Pramono, ST, M.Eng. , 

Anggota Penguji 2: Medilla Kusriyanto, ST, M.Eng. , 

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 26 Oktober 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro




Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK : 045240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 12 September 2018



Muhammad Rizki Muharam

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Laporan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada pendidikan Strata Satu Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, selain itu pembuatan laporan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca, peneliti selanjutnya.

Sholawat beserta salam senantiasa penulis haturkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang telah membimbing umat dari zaman kegelapan menuju zaman yang sesuai dengan ketentuan Allah SWT. Selama penulisan laporan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dengan kerendahan hati, penulis ingin berterima kasih kepada :

1. **Allah SWT**, karena telah diberikan segala karunia-Nya sehingga selama kegiatan penulisan laporan skripsi ini dapat berlangsung dengan baik dan lancar.
2. **Kedua Orang Tua dan Keluarga**, terima kasih atas doa dan dukungan yang selalu diberikan kepada saya.
3. **Bapak Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.** , selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya dalam penulisan laporan skripsi ini.
4. **Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. **Bapak Irfan Egi**, selaku *Supervisor JARGDI Peni, MCCI, Mitsui & Cilegon Lama* yang telah memberikan bantuan data Gardu Induk Cilegon Lama dan bimbingan dalam penulisan laporan skripsi ini.

6. **Seluruh dosen dilingkup jurusan Teknik Elektro**, terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang diberikan selama menempuh kuliah dari semester pertama hingga akhir di jurusan Teknik Elektro.
6. **Tim DRM Moh. Farras Afif, Afiat Dzulfikar, Nazaruddin Faruq, Akhid Sulthoni, Mohd. Brado Frasetyo** , yang selalu menemani bermain Dota ketika sedang jenuh mengerjakan skripsi ini.
7. **Semua teman-teman elektro angkatan 2014** yang telah menjadi teman baik saya selama saya kuliah disini.

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
GI	Gardu Induk
CT	Current Transformator (Transformator Arus)
A	Ampere (Satuan)
kV	Kilo Volt (Satuan)
CB	Circuit Breaker
GI	Gardu Induk
PLN	Perusahaan Listrik Negara

ABSTRAK

Transformator adalah komponen utama pada gardu induk. Sistem proteksi wajib menjaga transformator agar kinerja transformator tetap optimal. Relay differensial merupakan sistem proteksi utama pada transformator yang melindungi transformator dari gangguan. Relay differensial bertugas melindungi transformator ketika terjadi perbedaan nominal arus yang mengalir pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dan bekerja tanpa waktu tunda. Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui perbedaan performa setting relay differensial sesuai perhitungan teori dengan setting relay differensial GI Cilegon Lama. Penelitian dilakukan dengan mengambil data di GI Cilegon Lama kemudian dilakukan perhitungan teori untuk mendapatkan setting sesuai perhitungan. Hasil perhitungan teori didapatkan setting relay differensial sebesar 11,76% untuk slope₁, 23,53% untuk slope₂ dan arus setting sebesar 0,449 A. Kemudian dilakukan perhitungan gangguan hubung singkat untuk mengetahui nilai arus differensial ketika terjadi gangguan dan membandingkannya dengan arus setting. Hasil perhitungan menunjukkan relay akan bekerja jika terjadi gangguan arus hubung singkat sebesar 600 A pada sisi 150 kV dan 8000 A pada sisi 20 kV. Selanjutnya hasil setting sesuai perhitungan teori dan setting sesuai GI Cilegon Lama disimulasikan dengan software 87T by Symandari dengan menggunakan data pengujian dari GI Cilegon Lama. Hasil simulasi menunjukkan relay differensial bekerja men-tripkan transformator pada pengujian 2 hingga pengujian 4 dengan setting hasil perhitungan teori. Sedangkan dengan setting sesuai GI Cilegon Lama relay differensial tidak men-tripkan transformator karena tidak ada nilai pengujian yang melewati nilai arus setting 0,3 pu. Mengacu pada data hasil pengujian Relay Differential GI Cilegon Lama, setting sesuai GI Cilegon Lama lebih baik dalam mengamankan transformator dibandingkan setting sesuai hasil perhitungan.

Kata kunci : sistem proteksi, transformator, relay differensial

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Literatur	3
2.2 Tinjauan Teori Mengenai Proteksi Differensial pada Transformator Daya	4
2.2.1 Prinsip Kerja	5
2.2.2 Karakteristik Relay Differensial	8
BAB 3 METODOLOGI.....	9
3.1 Alur Penelitian	9
3.2 Pengambilan Data	10
3.3 Perhitungan Teori Setting Relay Differensial.....	12
3.3.1 Perhitungan Rasio CT	12

3.3.2 Perhitungan Error Mismatch.....	12
3.3.3 Perhitungan Arus Sekunder CT	13
3.3.4 Perhitungan Arus Differensial	13
3.3.5 Perhitungan Arus Restrain	14
3.3.6 Perhitungan Percent Slope	14
3.3.7 Perhitungan Arus Setting	15
3.3.8 Gangguan Hubung Singkat pada Transformator	15
3.4 Simulasi Relay Differensial	16
3.5 Metode Analisis	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Hasil Perhitungan Teori Setting Relay Differensial	18
4.1.1 Perhitungan Rasio CT	18
4.1.2 Perhitungan Error Mismatch.....	18
4.1.3 Perhitungan Arus Sekunder CT	19
4.1.4 Perhitungan Arus Differensial	19
4.1.5 Perhitungan Arus Restrain	20
4.1.6 Perhitungan Percent Slope	20
4.1.7 Perhitungan Arus Setting	21
4.1.8 Gangguan Hubung Singkat pada Transformator	21
4.2 Hasil Simulasi	23
4.2.1 Setting Perhitungan Teori	23
4.2.2 Setting GI Cilegon Lama	24
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Relay Differensial GI Cilegon Lama.....	5
Gambar 2.2 Rangkaian Relay Differensial keadaan arus normal	6
Gambar 2.3 Relay Differensial saat gangguan internal.....	6
Gambar 2.4 Relay Differensial saat gangguan eksternal	7
Gambar 2.5 Karakteristik Relay Differensial.....	8
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	10
Gambar 3.2 Nameplate Transformator 1 GI Cilegon Lama.....	11
Gambar 3.3 Simulasi Test Relay Differensial.....	16
Gambar 3.4 Simulasi Trip Signal Relay Differensial	16
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Perhitungan Gangguan 8000 A sisi 20 kV.....	22
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Perhitungan Gangguan 600 A sisi 150 kV.....	22
Gambar 4.3 Daerah Tripping Relay Differensial Setting Perhitungan Teori.....	23
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Pengujian Relay Differensial Setting Perhitungan Teori.....	23
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Trip Signal Relay Differensial Setting Perhitungan Teori.....	24
Gambar 4.6 Daerah Tripping Relay Differensial Setting GI Cilegon Lama.....	24
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Pengujian Relay Differensial Setting GI Cilegon Lama.....	25
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Trip Signal Relay Differensial Setting GI Cilegon Lama.....	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Transformator 1 GI Cilegon Lama	11
Tabel 3.2 Data Setting Relay Differensial Transformator 1 GI Cilegon Lama	11
Tabel 4.1 Data Perbandingan Setting Relay Differensial	21

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Proteksi merupakan suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang ada guna menghindari kerusakan peralatan dan juga agar stabilitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Tujuan sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan-gangguan yang terjadi dan memisahkan bagian yang terkena gangguan dari bagian lain yang tidak terkena gangguan sekaligus mengamankan bagian tidak terkena gangguan dari kerusakan yang lebih besar akibat adanya gangguan tersebut. Sistem proteksi dikatakan berfungsi dengan baik jika memenuhi persyaratan yaitu andal, selektif, peka, dan cepat. Bagian yang termasuk kedalam sistem proteksi adalah transformator arus (CT), transformator tegangan, wiring atau pengawatan, dan sumber AC/DC [1].

Salah satu proteksi yang paling penting adalah proteksi differensial. Relay differensial sendiri merupakan salah satu proteksi pada transformator. Relay differensial bekerja tanpa koordinasi dengan relay yang lain, karena relay ini bekerja tanpa koordinasi dengan relay yang lain maka dari itu kerja relay ini juga diperlukan waktu yang cepat. Perbedaan antara relay differensial dengan relay yang lain adalah sifat dari relay differensial itu sendiri yaitu : sangat selektif dan cepat dalam mengatasi gangguan, sebagai pengaman utama pada transformator, relay differensial ini juga tidak dapat digunakan sebagai proteksi cadangan dan yang terakhir relay differensial ini mempunyai daerah pengaman yang dibatasi oleh pemasangan transformator arus (CT) [2].

Transformator merupakan komponen vital pada gardu induk. Transformator berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya dan diharapkan beroperasi secara maksimal karena dapat mempengaruhi distribusi tenaga listrik. Karena peran transformator sangat vital dalam distribusi tenaga listrik maka diperlukan sistem proteksi yang handal pada transformator untuk melindungi dari gangguan yang pada transformator.

Oleh karena latar belakang diatas membuat peneliti ingin menganalisa sistem proteksi relay differensial pada transformator Gardu Induk Cilegon Lama. Peneliti melakukan hal tersebut dengan membandingkan perhitungan setting relay differensial berdasarkan teori dengan setting relay differensial pada transformator Gardu Induk Cilegon Lama serta melakukan simulasi dengan software 87T by Sumandari untuk mengetahui kehandalan sistem proteksi relay differensial pada transformator Gardu Induk Cilegon Lama.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performa relay differensial transformator sesuai setting hasil perhitungan pada GI Cilegon Lama saat terjadi gangguan?
2. Bagaimana perbandingan setting relay differensial hasil perhitungan dengan setting relay differensial pada GI Cilegon Lama dengan menggunakan data pengujian GI Cilegon Lama yang disimulasikan dengan software?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang akan dibahas dalam laporan tugas akhir ini tentang sistem proteksi pada transformator 1 GI Cilegon Lama, mengingat luasnya cakupan masalah tentang sistem proteksi pada transformator 1 Cilegon Lama, maka masalah akan dibatasi pada :

1. Analisa dibatasi hanya pada perbandingan setting relay differensial berdasarkan perhitungan teori dengan setting sesuai rekomendasi software dan setting sesuai GI Cilegon Lama.
2. Pengaruh *Arus Inrush* saat transformator *energize* dan adanya arus eksitasi transformator tidak dipertimbangkan dalam menentukan nilai setting relay differensial sesuai perhitungan teori.
3. Software yang digunakan adalah 87T by Sumandari.
4. Fasa dianggap sama karena keterbatasan software.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui performa relay differensial transformator sesuai setting hasil perhitungan pada GI Cilegon Lama saat terjadi gangguan
2. Mengetahui perbandingan performa setting relay differential berdasarkan perhitungan teori dengan setting relay differential GI Cilegon Lama dengan menggunakan data pengujian GI Cilegon Lama yang disimulasikan dengan software.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui settingan terbaik relay differensial untuk mengamankan transformator pada GI Cilegon Lama.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian tentang analisis pengujian relay differensial pada transformator sudah banyak dilakukan oleh beberapa pihak. Yuniarto, dan kawan-kawan pernah melakukan penelitian ini sebelumnya. Mereka melakukan penelitian di Gardu Induk Kaliwungu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui setting relay differensial terbaik untuk menghindari kegagalan proteksi pada transformator gardu induk Kaliwungu. Untuk mendapatkan hasil setting relay differensial terbaik tersebut, peneliti melakukan perhitungan dan simulasi dengan software ETAP menggunakan data yang diambil dalam penelitian ini yakni data CT sisi 20 kV, data CT sisi 150 kV dan data transformator tenaga. Pertama peneliti melakukan perhitungan untuk menghitung rasio CT, error mismatch, arus sekunder CT, arus differensial, arus restrain, percent slope, dan arus setting. Arus setting yang didapat dari hasil perhitungan adalah 0,3 A, selanjutnya dilakukan perhitungan gangguan hubung singkat pada transformator untuk mengetahui apakah relay differensial bekerja dengan perkiraan arus gangguan yang diberikan. Pada gangguan hubung singkat sebesar 32517,81 A pada sisi 20 kV, relay differensial akan bekerja karena arus differensialnya sudah melewati arus setting dan pada gangguan hubung singkat sebesar 580 A pada sisi 20 kV relay differensial tidak bekerja karena nilai arus differensial tidak melewati nilai arus setting. Kedua peneliti melakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP, hasil perhitungan setting relay differensial tadi digunakan untuk parameter dalam simulasi. Hasil simulasi menunjukkan relay bekerja dengan baik karena mampu mentriapkan CB pada saat gangguan didalam daerah kerja relay differential dengan indikasi arus setting 1,18 A lebih kecil daripada arus operasi yang besarnya 1,49 A. Sedangkan pada gangguan diluar daerah pengaman relay, arus setting yang timbul 1,18 A sama dengan arus operasi yang besarnya 1,18 A sehingga relay tidak bekerja [3].

Penelitian yang sama dilakukan oleh Gandy Altama, dan kawan-kawan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara setting relay differensial sesuai perhitungan dengan setting aktual relay differensial pada *main transformer* di PLTP Kamojang unit 4. Penelitian dilakukan dengan pengambilan data *sheet* transformer yang terpasang pada PLTP Kamojang dan data *sheet* relay differensial yang terpasang. Selanjutnya dilakukan perhitungan sesuai teori untuk mendapatkan setting relay differensial dari data *sheet* yang didapat. Dari hasil penelitian yang dilakukan arus setting hasil perhitungan dengan data aktual adalah sama. Sedangkan *percent slope 1* dan *percent slope 2* terdapat perbedaan hingga 370 % antara setting hasil perhitungan dengan data aktual. Perbedaan ini dilakukan oleh pihak PLTP Kamojang

dengan tujuan agar relay differensial tidak terlalu sensitif terhadap arus yang melewati zona proteksi sehingga setting masing-masing slope diubah menjadi 40% untuk slope 1 dan 80% untuk slope 2 [4].

Dalam jurnal lain, Muhammad Irsyam melakukan penelitian analisa tentang masalah relay differensial terhadap trip CB pada transformator 30 MVA PLTGU Panaran. Penelitian ini dilakukan karena transformator pada PLTGU Panaran mengalami trip karena ada gangguan petir pada saluran transmisi 150 kV padahal seharusnya relay differensial tidak bekerja. Dalam penelitian ini pertama-tama dilakukan pengambilan data yang dibutuhkan seperti data transformator, data CT, dan data arus differensial dan arus restrain saat terjadi gangguan. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai setting differensial, didapatkan nilai slope 1 sebesar 19,266 % dan slope 2 sebesar 38,53 %. Setelah nilai setting didapatkan, dilakukan lah perhitungan untuk mencari nilai arus sisi high voltage M1, arus sisi low voltage M2, arus sisi voltage M3, arus side 1, dan arus side 2 pada transformator. Setelah didapatkan nilai dari perhitungan tersebut, didapatlah nilai arus differensial sebesar 0,0297 A yang mana tidak melewati arus settingnya sebesar 0,3 untuk itu relay seharusnya tidak bekerja. Untuk itu dilakukanlah analisa dari relay differensialnya. Dari analisa tersebut didapatkan bahwa relay bekerja pada fasa S karena adanya polaritas terbalik. Sehingga cara mengatasinya adalah membalik kembali polaritasnya [5].

2.2 Tinjauan Teori Mengenai Proteksi Differensial pada Transformator Daya

Pengembangan suatu sistem tenaga listrik berbanding lurus dengan majunya perkembangan teknologi. Dengan teknologi yang semakin modern akan membuat semakin handalnya sistem proteksi yang digunakan pada transformator daya.

Proteksi transformator daya pada prinsip kerjanya dilakukan dengan menghindarkan transformator daya mengalami panas yang berlangsung pada kurun waktu yang cukup lama. Hal ini membuktikan bahwa transformator daya harus diisolasi untuk menghindari terjadinya gangguan. Secara teknis dan ekonomis, transformator daya kecil dapat diamankan menggunakan relay arus lebih, sedangkan untuk transformator daya yang berukuran besar, setiap gangguan yang terjadi harus diisolasi sesegera mungkin tanpa keterlambatan waktu. Hal ini mengingat besarnya pengaruh gangguan yang terjadi yang dapat memengaruhi stabilitas, keandalan operasi sistem tenaga listrik, dan termasuk faktor ekonomis mengingat harga transformator yang sangat mahal apabila sampai mengalami kerusakan.

2.2.1 Prinsip Kerja

Relay differensial adalah relay proteksi utama pada transformator yang dibuat bekerja secepat mungkin saat terjadi gangguan karena bekerja seketika tanpa koordinasi dengan relay lainnya.

Relay differensial tidak dapat dijadikan sebagai relay cadangan dikarenakan pemasangannya dibatasi oleh kedua transformator arus disisi incoming dan outgoing. Proteksi relay differensial bekerja dengan metode keseimbangan arus yakni sesuai dengan hukum arus kirchoff yaitu , arus yang menuju / masuk sama dengan arus yang meninggalkan / keluar pada titik sambungan / cabang. Gambar 2.1 menunjukkan relay differensial pada Gardu Induk Cilegon Lama yang digunakan untuk memproteksi transformator.

Karakteristik relay proteksi yang baik yaitu :

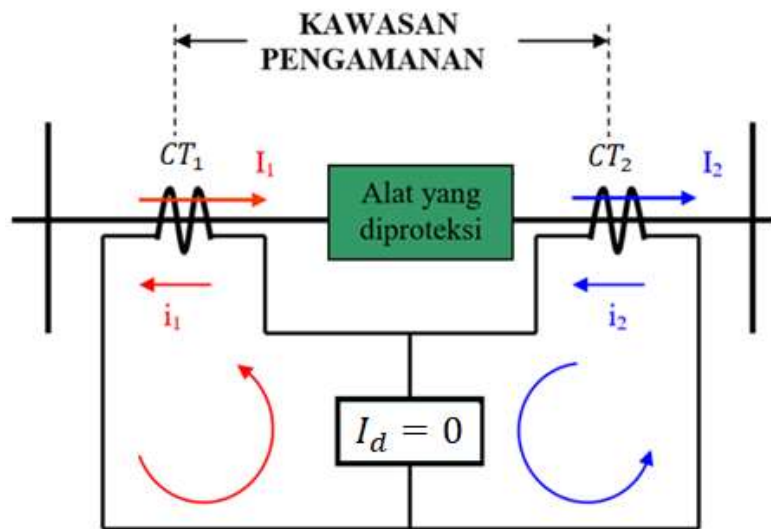
1. Selektif, relay proteksi harus selektif terhadap gangguan yang terjadi sehingga relay akan bekerja apabila terjadi gangguan dan tidak akan bekerja dalam kondisi normal.
2. Handal, relay proteksi harus dapat bekerja apabila terjadi gangguan sehingga diperlukan pengujian secara periodik untuk mengetahui keandalannya.
3. Ekonomis, relay dapat bekerja dengan optimal meskipun dengan biaya yang ekonomis.
4. Sensitif, relay dapat merangsang gangguan yang akan terjadi sehingga arus gangguan dapat terdeteksi.
5. Sederhana, peralatan relay harus fleksibel dari segi bentuk.
6. Cepat, relay dapat bekerja dengan cepat apabila terjadi gangguan sehingga komponen yang dilindungi aman.



Gambar 2.1 Relay Differensial GI Cilegon Lama

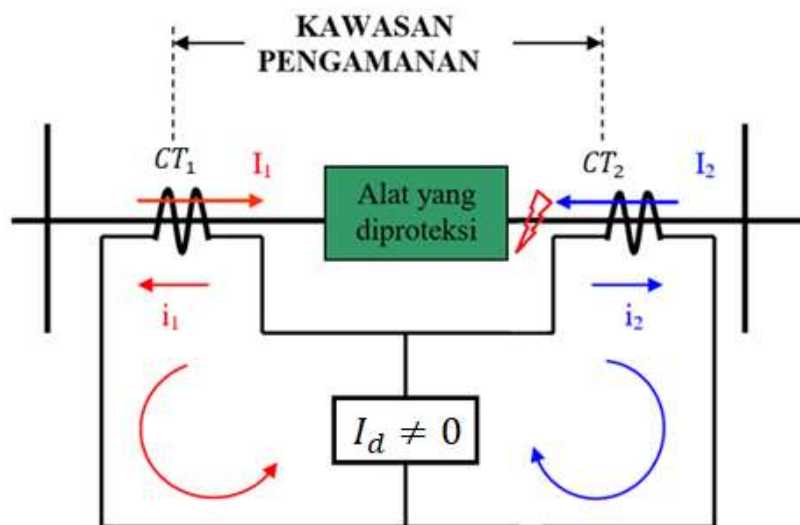
2.2.1.1 Prinsip Kerja Relay Differensial

Prinsip kerja relay proteksi differensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke relay (lihat Gambar 2.2), apa bila pada sisi primer transformator arus (CT_1) dialiri arus I_1 , maka pada sisi sekunder transformator arus (CT_2) akan dialiri arus I_2 , pada saat yang sama sisi sekunder kedua transformator arus, akan mengalir arus i_1 dan i_2 yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya $i_1 = i_2$ maka relai tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus, tetapi jika besarnya arus $i_1 \neq i_2$ maka relai akan bekerja, karena adanya selisih arus.



Gambar 2.2 Rangkaian Relay Differensial keadaan arus normal

2.2.1.2 Relay Differensial Keadaan Gangguan Internal



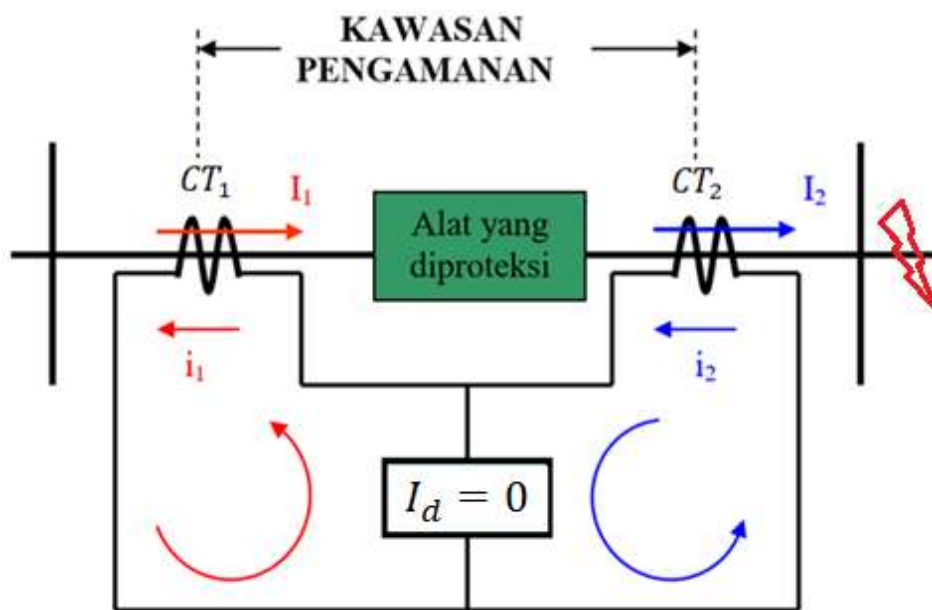
Gambar 2.3 Relay Differensial saat gangguan internal

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi pada daerah pengaman relay differensial (lihat Gambar 2.3). Pada saat terjadi gangguan pada daerah pengaman relay differensial, maka arus akan mengalir menuju titik gangguan tersebut. Sehingga arus yang mengalir pada CT_2 akan berbalik dari arah normalnya menuju titik gangguan tersebut. Gangguan tersebut mengakibatkan keamanan transformator terancam ketika transformator bekerja dan menjadikan sistem tidak seimbang. Asumsi sederhananya adalah sebagai berikut :

$$I_d = |i_1 + i_2| \quad (2.1)$$

Karena $I_d \neq 0$, maka relay differensial harus bekerja dengan memberikan sinyal trip kepada CB karena dapat menyebabkan kerusakan kepada transformator jika gangguan tersebut dibiarkan.

2.2.1.3 Relay Differensial Keadaan Gangguan Eksternal



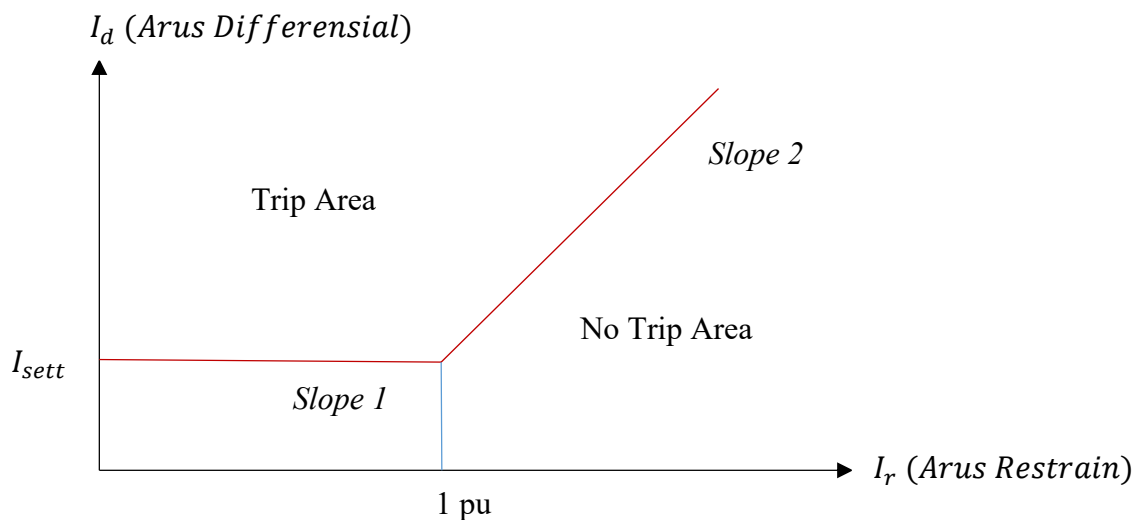
Gambar 2.4 Relay Differensial saat gangguan eksternal

Gangguan eksternal adalah gangguan yang terjadi di luar daerah pengaman relay differensial (lihat Gambar 2.4), seperti gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dan gangguan lainnya. Pada saat terjadi gangguan di luar daerah pengaman relay differensial, relay differensial tidak akan bekerja. Karena arus yang mengalir pada CT_1 dan CT_2 besarnya sama tetapi arahnya berlawanan. Asumsi sederhananya adalah sebagai berikut :

$$I_d = |i_1 + i_2| = 0 \quad (2.2)$$

2.2.2 Karakteristik Relay Differensial

Setiap relay differensial dilengkapi dengan nilai settingannya dan memberikan karakteristik tripping tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan. Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik tripping relay differensial.



Gambar 2.5 Karakteristik Relay Differensial

$Slope_1$ merupakan setting untuk menentukan titik dimana relay differensial mulai bekerja (pick-up relay). Sehingga bisa dibilang $Slope_1$ ini merupakan nilai penentu kapan relay differensial ini akan bekerja. $Slope_1$ bertugas untuk mengenali gangguan internal.

$Slope_2$ bertugas untuk mengenali gangguan eksternal. Nilai $Slope_2$ digunakan untuk melihat adanya gangguan di luar daerah pengamanan. Pada saat gangguan eksternal nilai arus yang melewati transformator sangat besar. Arus yang besar tersebut idealnya ditransformasikan oleh CT bernilai sama besar pada masing-masing sisi transformator. Tetapi setiap CT memiliki karakteristik error yang mengakibatkan arus differensial menjadi besar pada sisi belitan transformator. Untuk membedakan apakah arus differensial itu disebabkan oleh gangguan internal atau gangguan eksternal, maka digunakan perhitungan *arus restrain* (persamaan) untuk mengetahui nilai arus rata-rata yang mengalir pada kedua sisi belitan transformator. Perhitungan *arus restrain* ini yang digunakan sebagai dasar perhitungan $Slope_2$.

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Desain penelitian adalah tahapan atau gambaran yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian, untuk memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian, dibutuhkan desain penelitian [6].

Langkah awal dalam penelitian yaitu mencari literatur yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Manfaat dari mencari literatur ini adalah untuk mengetahui dasar-dasar mengenai relay differensial, cara kerja relay differensial, hingga cara setting relay differensial.

Setelah didapatkan beberapa literatur sebagai pembanding maka selanjutnya adalah mempersiapkan semua kebutuhan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk perhitungan dan simulasi setting relay differensial ini.

Perhitungan setting relay differensial adalah proses perhitungan sesuai teori untuk mendapatkan hasil settingan relay differensial yang akan digunakan dalam simulasi.

Tahap selanjutnya adalah simulasi menggunakan setting relay differensial hasil perhitungan teori dan setting relay differensial GI Cilegon Lama berdasarkan data pengujian relay differensial GI Cilegon Lama dengan menggunakan software 87T Setting by Sumandari.

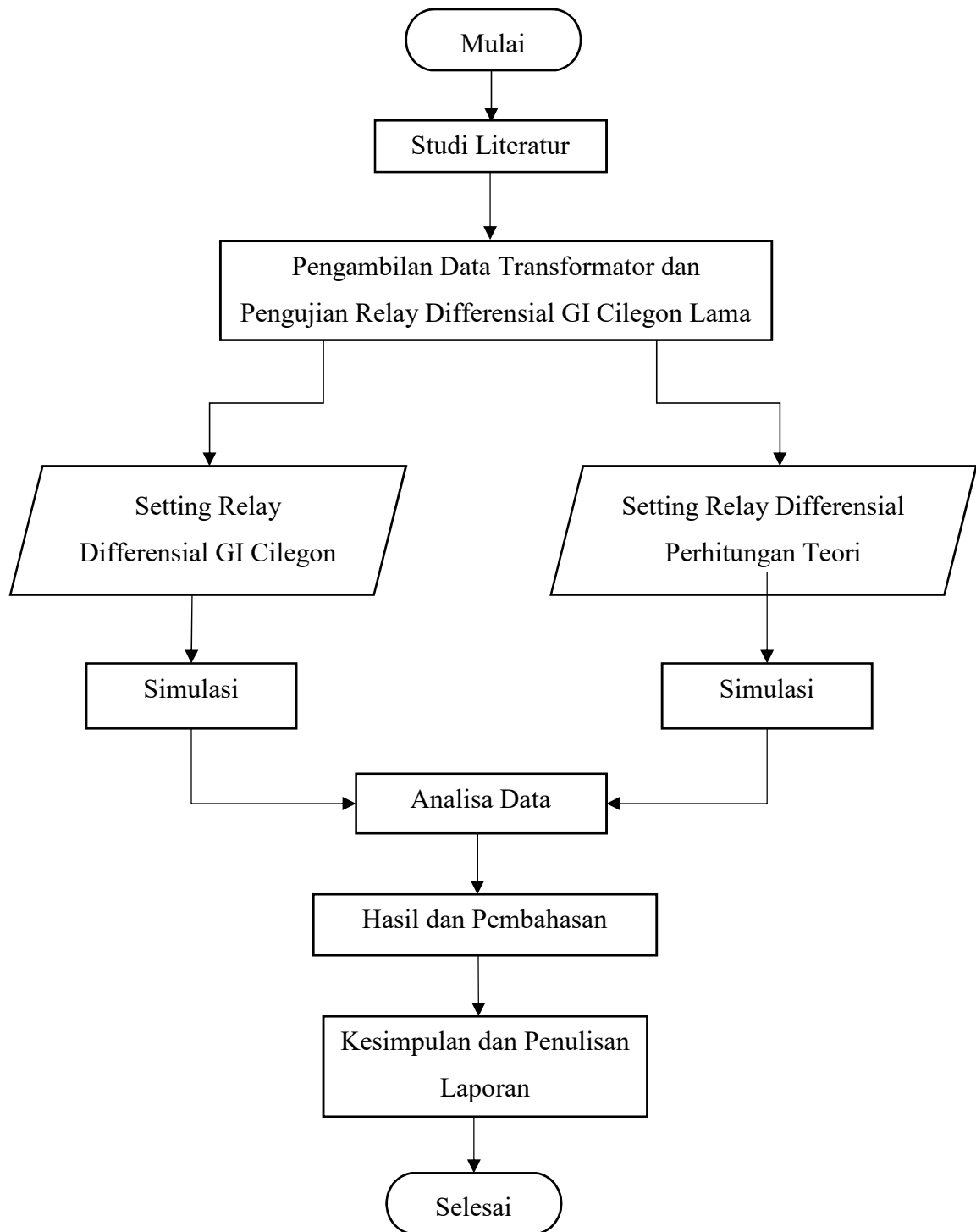
Simulasi yang dilakukan adalah :

- a. Simulasi pengujian relay differensial berdasarkan data dari GI Cilegon Lama
- b. Simulasi tripping signal berdasarkan hasil simulasi pengujian relay differensial

Tahapan setelah dilakukannya pengujian adalah tahap analisa. Analisa dilakukan terhadap simulasi yang dilakukan, apakah hasil simulasi sesuai dengan apa yang diharapkan meliputi perbedaaan performa setting relay differensial sesuai perhitungan teori dengan setting relay differensial GI Cilegon Lama.

Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu membuat kesimpulan dan saran, dimana kesimpulan berisikan hal-hal yang dianggap pokok didalam proses penelitian, dan saran yang berisi merupakan masukan guna kesempurnaan penelitian ini.

Gambar 3.1 menunjukkan tahapan dan alur penelitian yang akan dilakukan :

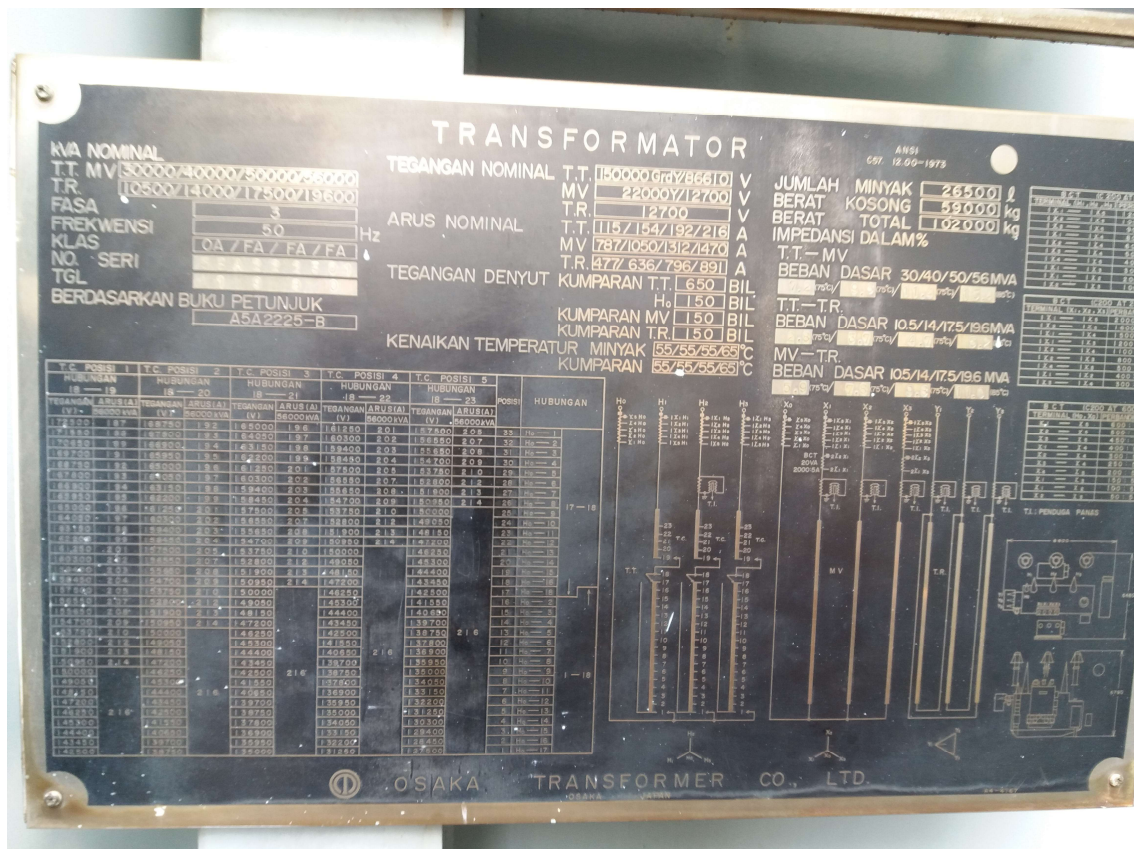


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Gardu Induk Cilegon Lama di kota Cilegon, Provinsi Banten. GI Cilegon lama memiliki 2 buah transformator yakni transformator 1 dengan kapasitas 56 MVA dan transformator 2 dengan kapasitas 60 MVA. Pada penelitian ini data yang diambil

hanya data transformator 1 saja dan data relay differensial yang mengamankan transformator 1. Gambar 3.2 menunjukkan nameplate transformator 1 GI Cilegon Lama.



Gambar 3.2 Nameplate Transformator 1 GI Cilegon Lama

Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan data yang didapat dari GI Cilegon Lama.

Tabel 3.1 Data Transformator 1 GI Cilegon Lama

Merek	Osaka
No. Seri	5BA222501
Kapasitas Transformator	56 MVA
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Frekuensi	50 Hz

Tabel 3.2 Data Setting Relay Differensial Transformator 1 GI Cilegon Lama

Merek	Alstom
Type	P642
Arus Nominal	5 A
Arus Setting	1,5 A
Setting Slope 1	30 %
Setting Slope 2	80 %
No. Seri	845679T

3.3 Perhitungan Teori Setting Relay Differensial

3.3.1 Perhitungan Rasio CT

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Relai diferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT.

Jika karakteristik CT bekerja dengan baik, maka sistem akan terlindungi oleh relai diferensial ini secara optimal. CT ditempatkan di kedua sisi peralatan yang akan diamankan (transformator tenaga).

Rasio CT untuk relai diferensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai I_{rating} .

$$I_{rating} = 110\% \times I \quad (3.1)$$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \quad (3.2)$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \quad (3.3)$$

Dengan nilai :

- I = Arus Nominal (A)
- S = Daya Tersalur (MVA)
- V_p = Tegangan primer (V)
- V_s = Tegangan sekunder (V)

3.3.2 Perhitungan Error Mismatch

Error Mismatch adalah kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator tenaga.

Error mismatch diharapkan nilainya sekecil mungkin agar proteksi relai diferensial bekerja secara optimal dalam mengamankan transformator tenaga. Dengan syarat kesensitifan relai diferensial dalam pengoperasian Mismatch error tidak boleh lebih dari 5%. Syarat ini ditentukan untuk proteksi agar optimal menjaga sistem tenaga listrik dari gangguan.

Error mismatch didapatkan dari perbandingan nilai ratio CT ideal dengan nilai ratio CT yang terpasang / yang ada dipasaran. Berikut adalah persamaannya :

$$Error\ Mismatch = \frac{rasio\ CT_{ideal}}{rasio\ CT_{terpasang}} \% \quad (3.4)$$

Persamaan untuk menghitung nilai ratio CT ideal adalah :

$$Rasio\ CT_1(Ideal) = rasio\ CT_2 \times \frac{V_s}{V_p} \quad (3.5)$$

$$Rasio\ CT_2(Ideal) = rasio\ CT_1 \times \frac{V_p}{V_s} \quad (3.6)$$

Dengan nilai :

- Rasio CT (Ideal) = rasio transformator arus ideal
- Rasio CT = nilai CT terpasang
- V_p = tegangan primer (V)
- V_s = tegangan sekunder (V)

3.3.3 Perhitungan Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang terbaca oleh transformator arus. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus sekunder CT adalah :

$$i = \frac{1}{rasio\ CT} \times I \quad (3.7)$$

Dengan nilai :

- i = Arus sekunder CT
- I = Arus nominal

3.3.4 Perhitungan Arus Differensial

Arus differensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus differensial adalah :

$$I_d = i_2 - i_1 \quad (3.8)$$

Dengan nilai :

- I_d = arus differensial (A)

- $i_2 =$ arus sekunder CT_2 (A)
- $i_1 =$ arus sekunder CT_1 (A)

3.3.5 Perhitungan Arus Restrain

Arus restrain adalah arus penahan yang digunakan sebagai parameter kerja dari relay differensial. Arus restrain digunakan untuk mengetahui arus rata-rata yang mengalir pada transformator sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

$$I_r = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (3.9)$$

Dengan nilai :

- $I_r =$ Arus restrain (A)
- $i_1 =$ arus sekunder CT_1 (A)
- $i_2 =$ arus sekunder CT_2 (A)

3.3.6 Perhitungan Percent Slope

Dengan membagi arus diferensial dan arus restrain maka diperoleh nilai percent slope. $slope_1$ bertugas untuk menentukan arus diferensial agar dapat bekerja terhadap gangguan internal, sedangkan $slope_2$ bertugas untuk tidak bekerja pada saat gangguan eksternal. Berikut persamaan untuk menghitung *percent slope* :

$$slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% \quad (3.10)$$

$$slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100 \% \quad (3.11)$$

Dengan nilai :

- $I_d =$ Arus differensial (A)
- $I_r =$ Arus restrain (A)
- $slope_1$
- $slope_2$

3.3.7 Perhitungan Arus Setting

Arus Setting merupakan batasan dalam menentukan apakah relay differensial akan bekerja atau tidak dengan cara membandingkan dengan arus differensial. Jika arus differensial nilainya melebihi arus setting maka relay akan bekerja men-tripkan jaringan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung arus setting :

$$I_{sett} = slope_1 \times I_r \quad (3.12)$$

Dengan nilai :

- I_{sett} = Arus setting (A)
- I_r = Arus restrain (A)
- $slope_1$

3.3.8 Gangguan Hubung Singkat pada Transformator

Pada perhitungan gangguan ini digunakan untuk memberikan perkiraan apakah relay differensial akan bekerja atau tidak terhadap arus gangguan yang diberikan dengan. Perhitungan gangguan dapat dilakukan dengan persamaan :

$$I_{f\ relay} = I_f \times Rasio\ CT \quad (3.13)$$

$$i_{1\ fault} = \frac{I_{f\ relay}}{i_1} \quad (3.14)$$

$$i_{2\ fault} = \frac{I_{f\ relay}}{i_2} \quad (3.15)$$

$$I_d = i_2 - i_{1\ fault} \quad (3.16)$$

$$I_d = i_{2\ fault} - i_1 \quad (3.17)$$

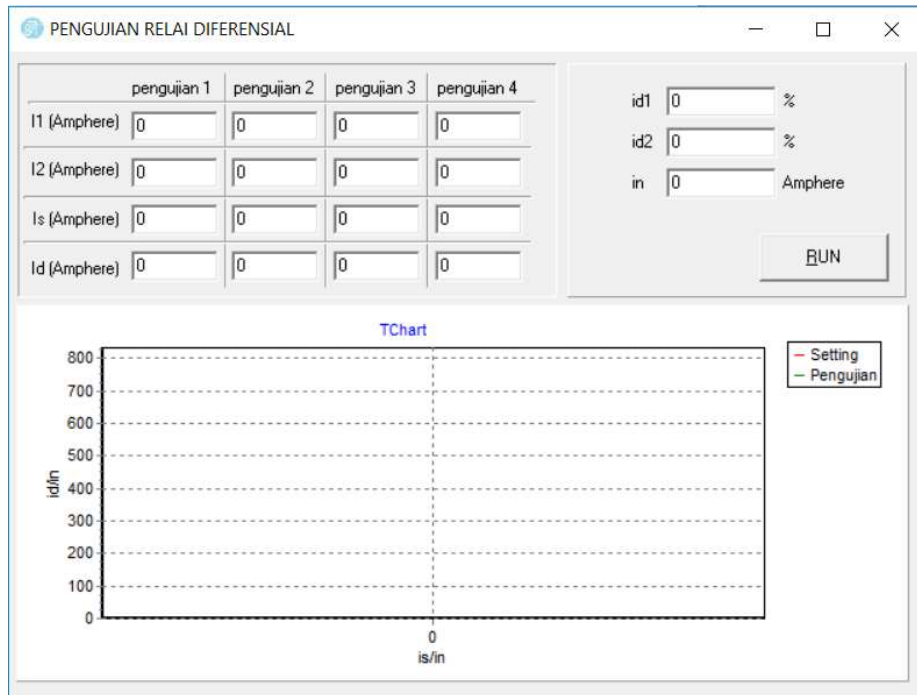
Dengan nilai :

- $I_{f\ relay}$ = Arus gangguan yang dibaca relay (A)
- I_f = Arus gangguan (A)
- Rasio CT
- $i_{1\ fault}$ = Arus sekunder CT_1 saat terjadi gangguan (A)

- $i_{2\text{ fault}} =$ Arus sekunder CT_2 saat terjadi gangguan (A)

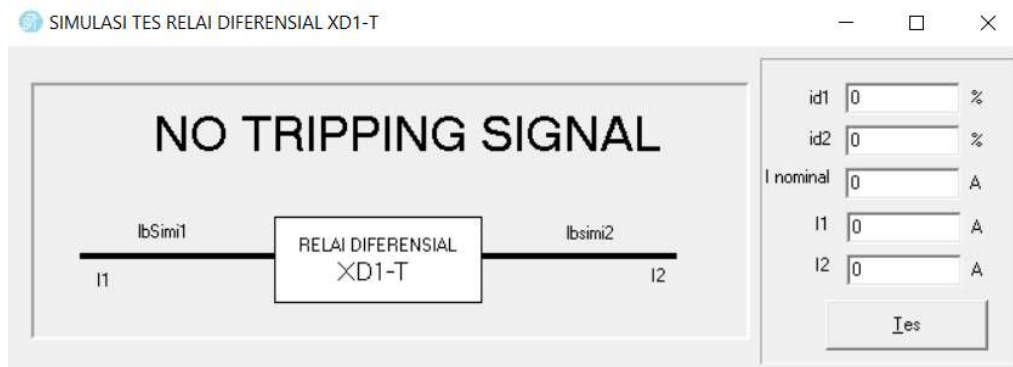
3.4 Simulasi Relay Differensial

Pada simulasi relay differensial ini, software yang digunakan adalah *87T Setting by Sumandari*. Software ini dikembangkan oleh Sumandari selaku teknisi elektrik di PT. Indonesia Power UBP Mrica. Dalam software ini terdapat dua simulasi yang bisa dilakukan yakni simulasi test dan simulasi trip.



Gambar 3.3 Simulasi Test Relay Differensial

Pada simulasi test relay differensial, dengan memasukkan data pengujian yang didapat dari GI Cilegon Lama dan nilai $Slope_1$ dengan $Slope_2$ kita dapat melihat bagaimana performa dari settingan yang digunakan terhadap gangguan yang terjadi. Apakah relay differensial bekerja dengan baik atau tidak.



Gambar 3.4 Simulasi Trip Signal Relay Differensial

Simulasi trip relay differensial digunakan untuk menguji tripping signal dari hasil simulasi test relay differensial. Apakah tripping signal sesuai dengan hasil simulasi test relay differensial atau tidak.

3.5 Metode Analisis

Teknik analisis data adalah dapat diartikan sebagai cara melaksanakan analisis terhadap data, dengan tujuan mengolah data tersebut menjadi informasi, sehingga karakteristik atau sifat-sifat datanya dapat dengan mudah dipahami dan bermanfaat untuk menjawab masalah-masalah yang berkaitan dengan kegiatan penelitian, baik berkaitan dengan deskripsi data maupun menarik kesimpulan [7].

Pada penelitian ini penulis menganalisis setting relay differensial dalam kondisi gangguan sesuai data gangguan dari GI Cilegon Lama. Data yang akan dianalisis adalah hasil setting relay differensial perhitungan teori dengan hasil setting relay differensial GI Cilegon Lama. Data yang didapat disimulasikan dengan software 87T by Sumandari agar dapat mengetahui perbedaan masing-masing setting relay differensial.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Teori Setting Relay Differensial

4.1.1 Perhitungan Rasio CT

Dari persamaan 3.2 dan 3.3, berikut adalah hasil perhitungan arus nominal pada sisi 150 kV dan 20 kV.

Perhitungan arus nominal pada sisi tegangan 150 kV :

$$I_1 = \frac{56000}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}}$$

$$I_1 = 215,54 \text{ A}$$

Perhitungan arus nominal pada sisi tegangan 20 kV :

$$I_2 = \frac{56000}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}}$$

$$I_2 = 1616,58 \text{ A}$$

Dari persamaan 3.1 berikut adalah hasil perhitungan arus rating pada sisi 150 kV dan 20 kV.

Perhitungan I_{rating} pada sisi tegangan 150 kV :

$$I_{rating} = 110\% \times 215,54$$

$$I_{rating} = 237,094 \text{ A}$$

Perhitungan I_{rating} pada sisi tegangan 20 kV :

$$I_{rating} = 110\% \times 1616,58$$

$$I_{rating} = 1778,238 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka rasio CT yang dipilih pada sisi tegangan 150 kV adalah 300:5 A dan pada sisi tegangan 20 kV adalah 2000:5 A. Rasio CT tersebut dipilih berdasarkan nilai yang terdekat dari hasil perhitungan arus rating dan CT dengan rasio tersebut sesuai dengan yang ada di pasaran.

4.1.2 Perhitungan Error Mismatch

Dengan persamaan 3.4 dan 3.5, berikut adalah hasil perhitungan error mismatch pada CT sisi tegangan 150 kV.

Menghitung error mismatch pada sisi tegangan 150 kV :

$$Rasio CT_1(Ideal) = Rasio CT_2 \times \frac{V_s}{V_p}$$

$$Rasio CT_1(Ideal) = \frac{2000}{5} \times \frac{20 kV}{150 kV} = 53,33 A$$

$$Error Mismatch = \frac{53,33}{60} \% = 0,88 \%$$

Dengan persamaan 3.4 dan 3.6 berikut adalah hasil perhitungan error mismatch pada CT sisi tegangan 20 kV.

Menghitung error mismatch pada sisi tegangan 20 kV :

$$Rasio CT_2(Ideal) = Rasio CT_1 \times \frac{V_p}{V_s}$$

$$Rasio CT_2(Ideal) = \frac{300}{5} \times \frac{150 kV}{20 kV} = 450 A$$

$$Error Mismatch = \frac{450}{400} \% = 1,125 \%$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, error mismatch pada CT₁ sebesar 0,88 % dan error mismatch pada CT₂ sebesar 1,125 %. Error mismatch CT₁ dan CT₂ masih dalam zona aman karena nilainya tidak melebihi 5 %.

4.1.3 Perhitungan Arus Sekunder CT

Dari persamaan 3.7, berikut adalah hasil perhitungan arus sekunder CT.

Menghitung arus sekunder pada sisi tegangan 150 kV :

$$i_1 = \frac{5}{300} \times 215,54 = 3,592 A$$

Menghitung arus sekunder pada sisi tegangan 20 kV :

$$i_2 = \frac{5}{2000} \times 1616,58 = 4,041 A$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai arus sekunder pada CT₁ sebesar 3,592 A dan CT₂ sebesar 4,041 A. Nilai arus sekunder ini digunakan untuk menghitung arus differensial.

4.1.4 Perhitungan Arus Differensial

Dengan menggunakan persamaan 3.8, maka didapatkan hasil dari perhitungan arus differensial.

Menghitung arus differensial :

$$I_d = 4,041 - 3,592 = 0,449 A$$

Dari perhitungan yang dilakukan, nilai arus differensialnya adalah 0,449 A. Nilai arus differensial ini digunakan untuk menghitung setting slope.

4.1.5 Perhitungan Arus Restrain

Dengan menggunakan persamaan 3.9, maka didapatkan hasil dari perhitungan arus restrain.

Menghitung arus restrain :

$$I_r = \frac{3,592 + 4,041}{2} = 3,816 \text{ A}$$

Dari perhitungan yang dilakukan, nilai arus restrainnya adalah 3,816 A. Ketika terjadi gangguan eksternal maka arus yang melewati transformator akan sangat besar. Ketika arus yang masuk sangat besar, maka arus differensialnya pun akan naik sehingga arus restrain pun ikut naik. Nilai restrain ini sebagai parameter relay differensial untuk mengetahui apakah arus differensial ini berasal dari gangguan internal atau eksternal. Nilai arus restrain ini digunakan untuk menghitung setting slope.

4.1.6 Perhitungan Percent Slope

Dengan menggunakan persamaan 3.10, maka didapatkan hasil dari perhitungan slope₁

Menghitung slope₁ :

$$slope_1 = \frac{0,449}{3,816} \times 100 \% = 11,76 \%$$

Dengan menggunakan persamaan 3.11, maka didapatkan hasil dari perhitungan slope₂

Menghitung slope₂ :

$$slope_2 = \left(\frac{0,449}{3,816} \times 2 \right) \times 100 \% = 23,53 \%$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai slope₁ sebesar 11,76 % dan nilai slope₂ sebesar 23,53 %. Slope₁ bertugas untuk mengenali gangguan internal yang arus gangguannya kecil dan sebagai penentu kapan relay differensial mulai bekerja. Slope₂ bertugas untuk mengenali gangguan eksternal yang terjadi di luar daerah pengaman relay differensial yang arus gangguannya besar. Untuk itulah mengapa setting slope₂ dibuat nilainya lebih tinggi dibandingkan slope₁.

4.1.7 Perhitungan Arus Setting

Dengan menggunakan persamaan 3.12, maka didapatkan hasil perhitungan arus setting berikut ini :

$$I_{sett} = 11,76 \% \times 3,816 = 0,449 \text{ A}$$

Arus setting yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 0,449 A. Relay differensial akan bekerja jika terjadi gangguan yang menyebabkan nilai arus differensial melebihi arus setting.

Dengan didapaknya nilai setting relay differensial sesuai perhitungan, maka berikut adalah perbandingan setting relay differensial hasil perhitungan dengan setting relay differensial yang terdapat pada GI Cilegon Lama ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Perbandingan Setting Relay Differensial

Data Setting Relay Differensial	Setting GI Cilegon Lama	Setting Hasil Perhitungan Teori
Arus Setting	1,5 A	0,449 A
Slope #1	30 %	11,76 %
Slope #2	80 %	23,53 %

Dari tabel 4.1, terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara nilai setting relay differensial perhitungan teori dengan nilai setting relay differensial GI Cilegon Lama. Hal ini dikarenakan dalam menentukan setting relay differensial perhitungan teori, tidak mempertimbangkan *arus inrush* saat transformator *energize* dan arus eksitasi transformator. Sedangkan pada setting relay differensial GI Cilegon Lama, semua aspek termasuk *arus inrush* saat transformator *energize* maupun arus eksitasi transformator dipertimbangkan dalam menentukan nilai setting relay differensial. Dan PLN juga sudah memberikan nilai rekomendasi dalam menentukan setting relay differensial yang terdapat pada Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk, seperti nilai slope₁ sebesar 25 % - 35 % dan nilai slope₂ sebesar 50 % - 80 %.

4.1.8 Gangguan Hubung Singkat pada Transformator

Dengan menggunakan persamaan 3.13 hingga 3.17, kita dapat mengansumsikan bagaimana kerja dari relay differensial sesuai setting hasil perhitungan terhadap arus gangguan hubung singkat melalui perhitungan berikut.

Arus gangguan sebesar 8000 A di sisi tegangan 20 kV :

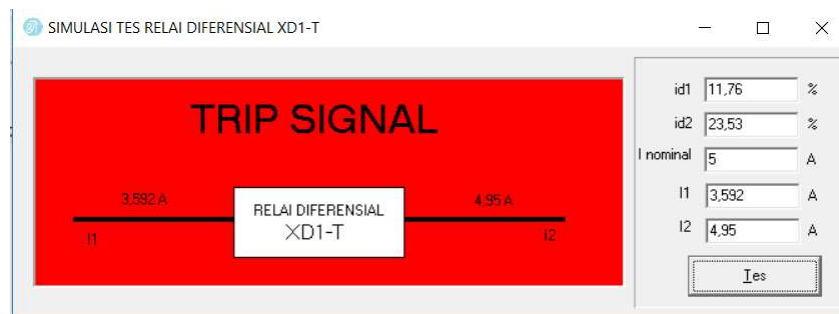
$$I_{frelay} = I_f \times Rasio CT_2$$

$$I_{f relay} = 8000 \times \frac{5}{2000} = 20 A$$

$$i_{2 fault} = \frac{20}{4,041} = 4,95 A$$

$$I_d = 4,95 - 3,592 = 1,358 A$$

Dengan arus gangguan sebesar 8000 A pada sisi tegangan 20 kV, menghasilkan arus differensial sebesar 1,358 A sesuai perhitungan. Untuk itu relay differensial akan bekerja karena nilai arus differensial sudah melebihi arus setting. Untuk membuktikannya dilakukan simulasi tes relay differensial yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Perhitungan Gangguan 8000 A sisi 20 kV

Arus gangguan sebesar 600 A di sisi tegangan 150 kV :

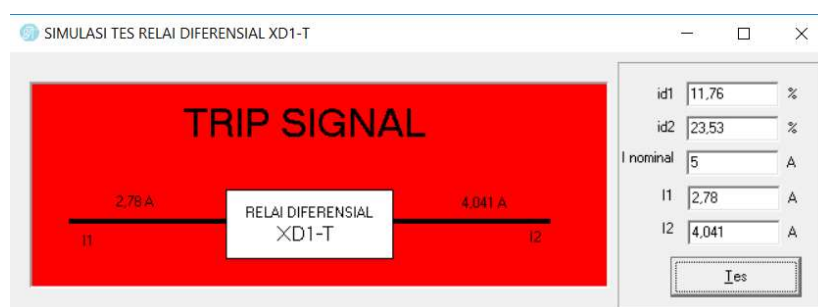
$$I_{f relay} = I_f \times CT_1$$

$$I_{f relay} = 600 \times \frac{5}{300} = 10 A$$

$$i_{1 fault} = \frac{10}{3,592} = 2,78 A$$

$$I_d = 4,041 - 2,78 = 1,261 A$$

Dengan arus gangguan sebesar 600 A pada sisi tegangan 150 kV, menghasilkan arus differensial sebesar 1,261 A sesuai perhitungan. Untuk itu relay differensial akan bekerja karena nilai arus differensial sudah melebihi arus setting. Untuk membuktikannya dilakukan simulasi tes relay differensial yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Perhitungan Gangguan 600 A sisi 150 kV

4.2 Hasil Simulasi

4.2.1 Setting Perhitungan Teori



Gambar 4.3 Daerah Tripping Relay Differensial Setting Perhitungan Teori

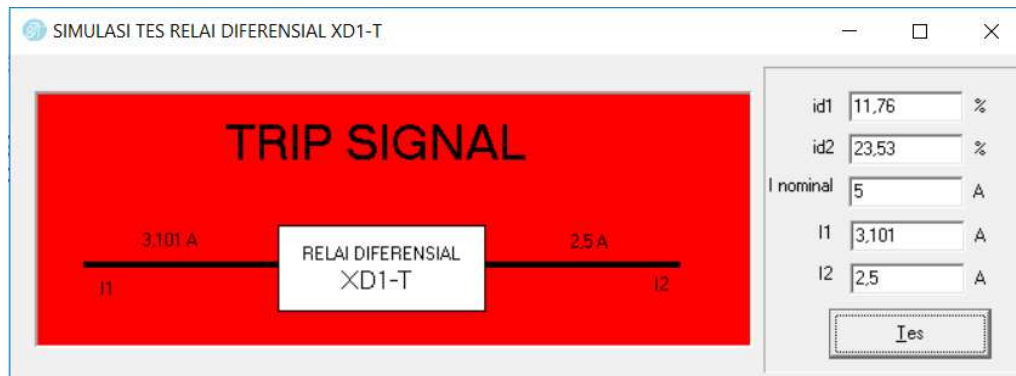
Pada Gambar 4.3 menunjukkan daerah tripping relay differensial sesuai setting perhitungan teori. Titik relay differensial mulai bekerja pada nilai arus differensial 0,11 pu dan nilai arus restrainnya tidak lebih dari 1 pu untuk daerah tripping slope₁. Untuk daerah tripping slope₂, arus restrainnya nilainya harus lebih dari 1 pu.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Pengujian Relay Differensial Setting Perhitungan Teori

Selanjutnya dilakukan simulasi pengujian relay differensial hasil setting perhitungan teori dengan menggunakan data pengujian GI Cilegon Lama (Gambar 4.4). Dari hasil simulasi yang

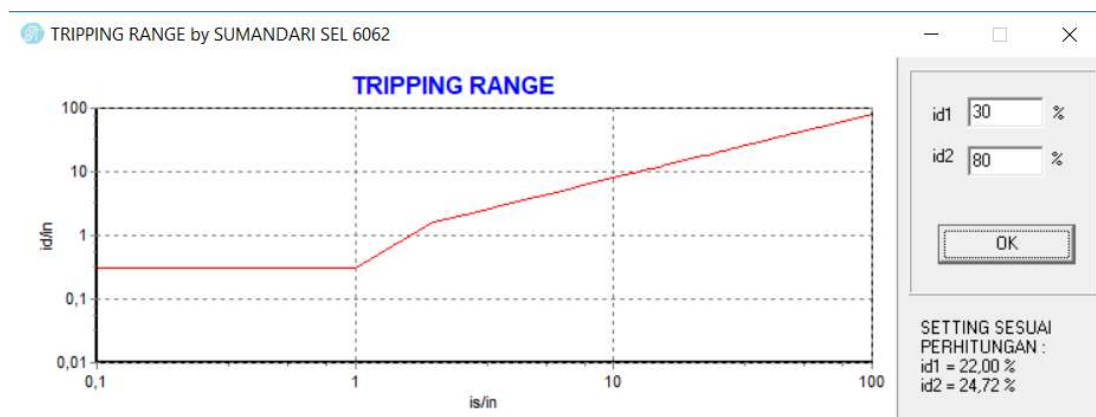
dilakukan, relay differensial trip pada pengujian 2 karena nilai arus differensial sudah melewati titik pick-up relay differensial di daerah trip slope₁. Pengujian 3 dan pengujian 4 berada pada daerah trip slope₂ karena nilai arus restrainnya sudah melewati 1 pu dan dari hasil simulasi relay differensial trip karena sudah melewati titik pick-up relay differensial.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Trip Signal Relay Differensial Setting Perhitungan Teori

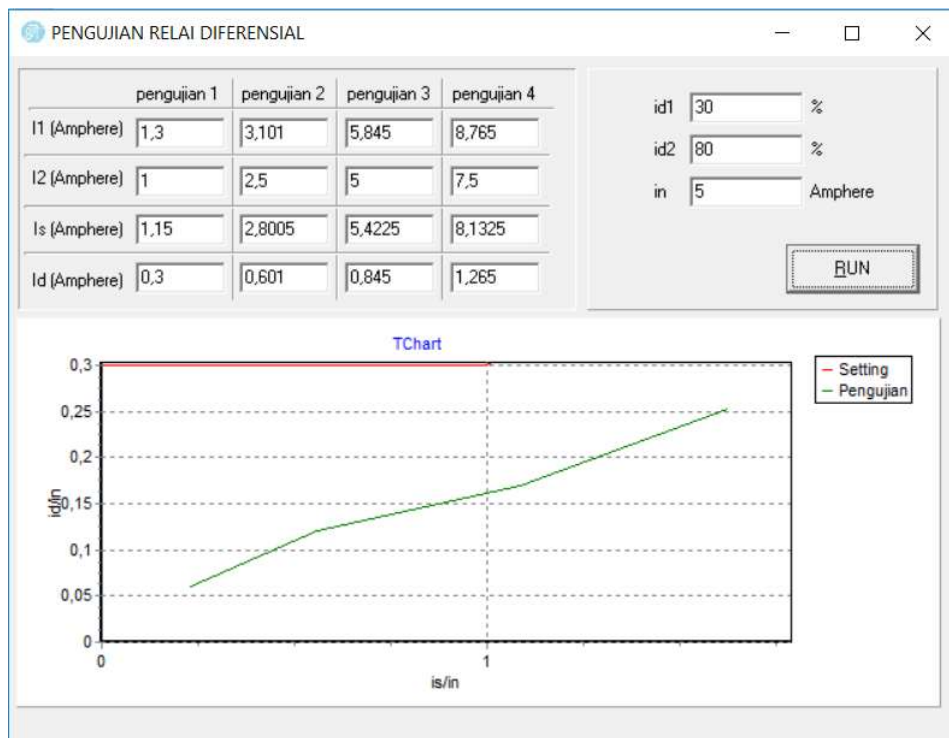
Simulasi selanjutnya adalah simulasi tripping signal sesuai dengan hasil simulasi pengujian relay differensial perhitungan teori (Gambar 4.5). Dalam simulasi ini dipilih pengujian 2 untuk membuktikan apakah relay differensial akan trip atau tidak. Dari simulasi yang dilakukan, dalam pengujian 2 relay akan trip sesuai dengan hasil pengujian relay differensial.

4.2.2 Setting GI Cilegon Lama



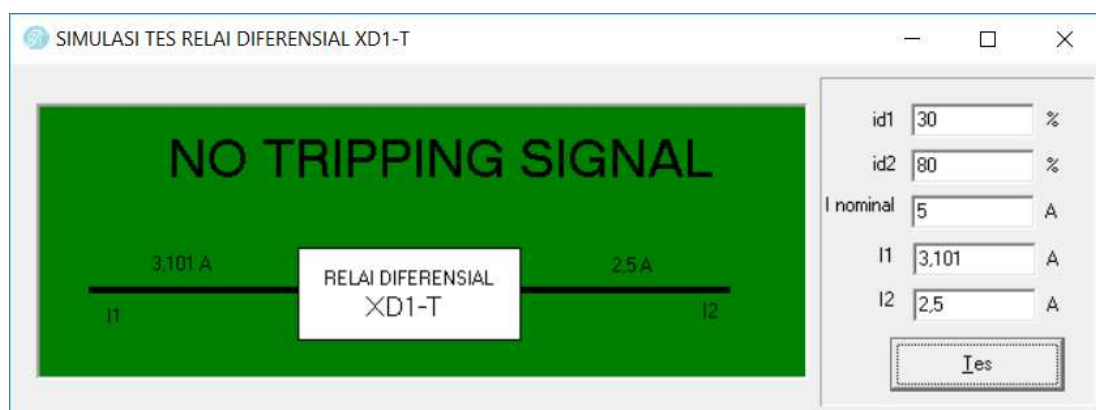
Gambar 4.6 Daerah Tripping Relay Differensial Setting GI Cilegon Lama

Pada Gambar 4.6 menunjukkan daerah tripping relay differensial setting GI Cilegon Lama. Nilai slope₁ sebesar 30 % dan nilai slope₂ sebesar 80 %. Titik relay mulai bekerja jika nilai arus differensialnya 0,3 pu dan arus restrainnya kurang dari 1 pu untuk daerah trip slope₁. Untuk daerah trip slope₂, nilai arus restrain lebih dari 1 pu.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Pengujian Relay Diferensial Setting GI Cilegon Lama

Selanjutnya dilakukan simulasi pengujian relay differensial sesuai setting dari GI Cilegon Lama (Gambar 4.7) dengan menggunakan data pengujian GI Cilegon Lama. Dari hasil simulasi yang dilakukan, relay differensial tidak trip pada pengujian 1 dan pengujian 2 karena tidak melewati titik pick-up relay differensial di daerah trip slope₁. Pengujian 3 dan pengujian 4 juga tidak trip karena tidak melewati titik pick-up relay differensial di daerah trip slope₂.



Gambar 4.8 Hasil Simulasi Trip Signal Relay Diferensial Setting GI Cilegon Lama

Simulasi selanjutnya adalah simulasi tripping signal sesuai dengan hasil simulasi pengujian relay differensial setting GI Cilegon Lama (Gambar 4.8). Dalam simulasi ini dipilih pengujian 2 untuk membuktikan apakah relay differensial akan trip atau tidak. Dari simulasi yang dilakukan, dalam pengujian ke 2 relay tidak trip sesuai dengan hasil pengujian relay differensial.

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan data pengujian relay differensial pada GI Cilegon Lama yang terdapat pada lampiran, maka setting relay differensial berdasarkan perhitungan teori tidak dapat digunakan pada GI Cilegon Lama karena dapat menyebabkan proses distribusi energi listrik terhambat dan menyebabkan banyaknya energi listrik terbuang karena seringnya trip. Ini dikarenakan arus yang melewati transformator yang sudah diukur dalam keadaan gardu induk beroperasi normal saja dapat menyebabkan relay differensial trip karena sudah melewati nilai arus setting. Belum termasuk jika terjadi gangguan hubung singkat pada transformator dan juga arus inrush saat transformator energize yang akan membuat lebih seringnya relay trip jika menggunakan setting relay differensial hasil perhitungan teori. Berbeda dengan setting relay differensial GI Cilegon Lama pada saat arus melewati transformator yang sudah diukur dalam keadaan gardu induk beroperasi normal relay differensial tidak mengalami trip. Dan juga setting relay differensial GI Cilegon Lama sudah mengantisipasi relay tidak akan trip jika terdapat adanya *arus inrush* pada saat transformator *energize*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari perhitungan gangguan yang dilakukan, relay akan bekerja jika terjadi gangguan sebesar 600 A pada sisi 150 kV dan 8000 A pada sisi 20 kV jika menggunakan setting relay differensial dari hasil perhitungan.
2. Setting relay differensial hasil perhitungan teori tidak dapat digunakan di GI Cilegon Lama karena dapat menyebabkan seringnya trip yang menghambat proses distribusi energi listrik dan menyebabkan banyaknya energi listrik terbuang.
3. Pada karakteristik relay differensial, setting slope₁ nilainya lebih kecil dari setting slope₂. Untuk setting relay differensial hasil perhitungan teori nilai slope₁ sebesar 11,76% dan nilai slope₂ sebesar 23,53%, sedangkan untuk setting relay differensial GI Cilegon Lama nilai slope₁ sebesar 30% dan nilai slope₂ sebesar 80%

5.2 Saran


1. Untuk bapak Sumandari coba dikembangkan lagi software relay differensialnya karena masih banyak yang bisa ditambahkan pada software tersebut.
2. Untuk peneliti selanjutnya agar bisa meningkatkan penelitian ini jika masih terdapat beberapa kekurangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sidik, “Analisa Kerja Rele Diferensial Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk Wonosari,” Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia, 2018.
- [2] L. E. Bien and D. Helna, “Studi Penyetelan Relai Diferensial pada Transformator PT. Chevron Pacific Indonesia,” *JETri*, vol. 6, no. 2, pp. 41–68, 2007.
- [3] Yuniarto, A. Subari, and D. H. Kusumastuti, “Setting Relay Differensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi.” *TRANSMISI*, vol. 17, no. 3, pp. 147-152, Juli. 2015.
- [4] G. Altama, “Analisis Proteksi Differential Relay Main Transformer (87 GT) pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Unit 4 (Empat) PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang,” Skripsi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia, 2017.
- [5] M. Irsyam, “Analisa Trouble Differential Relay Terhadap Trip CB (Circuit Breaker) 150 KV Transformator 30 MVA PLTGU Panaran,” *Jurnal Dimensi*, vol.3, no. 2, pp. 1–11, 2016.
- [6] B. Suyanto, B. Susilo, D. Oetomo, D. S. Singgih, E. S. Hendrarso, and H. Subiakto, “Metode Penelitian Sosial,” *J. Penelit. Nas.*, no. 8123313170, 2005.
- [7] R. Qomari, “Teknik Penelusuran Analisis Data Kuantitatif dalam Penelitian Kependidikan,” *J. Pemikir. Altern. Kependidikan*, vol. 14, no. 3, pp. 1–11, 2009.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian Relay Differensial GI Cilegon Lama



PT. PLN (PERSERO) P3B JAWA
BALI
AREA PELAKSANA

PENGUJIAN RELE DIFFERENTIAL

PROTEKSI : 150/20 KV TRAFU 1

MEREK/TYPE : ALSTOM / P642

IN : 5 A

CT SISI 150 KV : 400/5 A

CT SISI 20 KV : 2000/5 A

LOKASI : GI CILEGON LAMA

SETTING SLOPE: 30 % - 80 %

NO. SERI : 845679T

ALAT UJI : DOBLE / F6150

TANGGAL : 13 MARET 2014

1. ARUS KERJA RELE

PHASA	R		S		T	
	150 KV	20 KV	150 KV	20 KV	150 KV	20 KV
SISI TEGANGAN						
ARUS KERJA I_p (Amp)	1.21	0.82	1.21	0.81	1.21	0.81
ARUS KEMBALI I_r (Amp)	1.14	0.76	1.15	0.77	1.15	0.77
RATIO I_r / I_p (%)	94	93	95	95	95	95
WAKTU (Detik)	0.041	0.041	0.041	0.42	0.42	0.041

2. KARAKTERISTIK RELE

PHASA	R					
	I_1 (Amp)	1.29	3.057	5.795	8.75	11.694
I_2 (Amp)	1	2.5	5	7.5	10	12.5
$I_h = (I_1 + I_2) / 2$ (Amp)	0.39	0.88	1.408	1.928	2.404	2.945
$I_d = (I_1 - I_2)$ (Amp)	0.29	0.557	0.795	1.25	1.694	2.249

PHASA	S					
	I_1 (Amp)	1.3	3.101	5.845	8.765	11.755
I_2 (Amp)	1	2.5	5	7.5	10	12.5
$I_h = (I_1 + I_2) / 2$ (Amp)	0.39	0.88	1.408	1.928	2.404	2.945
$I_d = (I_1 - I_2)$ (Amp)	0.3	0.601	0.845	1.265	1.755	2.352

PHASA	T					
	I_1 (Amp)	1.303	3.107	5.857	8.874	11.775
I_2 (Amp)	1	2.5	5	7.5	10	12.5
$I_h = (I_1 + I_2) / 2$ (Amp)	0.39	0.88	1.408	1.928	2.404	2.945
$I_d = (I_1 - I_2)$ (Amp)	0.303	0.607	0.857	1.374	1.775	2.352

3. CATATAN :

HASIL UJI BAIK,

Dikerjakan oleh BC CILEGON
1. TIGOR T