

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI PROTEKSI
PADA TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK PAYA PASIR (PT.
PLN PERSERO)**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ARFIANDA
1507220072



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Arfianda

NPM : 1507220072

Program Studi : Teknik Elektro

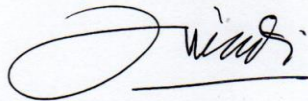
Judul Skripsi : Analisa Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada
Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT. PLN Persero)

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Maret 2019

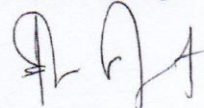
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



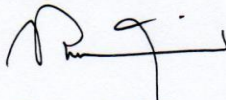
Ir. Yusniati, MT

Dosen Pembimbing II



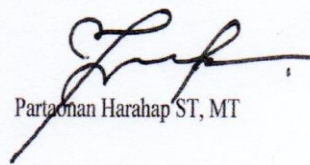
Elvy Sahnur Nasution, ST.,M.Pd

Dosen Pembanding I



Rimbawati ST, MT

Dosen Pembanding II



Partoman Harahap ST, MT



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Arfianda
Tempat/tgl. Lahir : Perlis, 29 Agustus 1998
NPM : 1507220072
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT. PLN Persero)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



MUHAMMAD ARFIANDA

ABSTRAK

Pada transformator daya salah satu pengamanan yang terpasang adalah rele diferensial. Rele diferensial merupakan rele pengamanan pada sebuah transformator yang mampu bekerja seketika tanpa berkoordinasi dengan rele di sekitarnya, sehingga waktu kerja rele diferensial dapat dibuat secepat mungkin. Sistem proteksi yang baik didukung oleh setting yang bagus pada rele diferensial untuk menghindari kegagalan proteksi dan meningkatkan kualitas operasional sistem transmisi. Metode penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari GI Paya Pasir yang kemudian dilakukan perhitungan matematis untuk menentukan rasio current transformator, error mismatch, dan parameter-parameter pada rele diferensial saat kondisi normal, serta menghitung parameter-parameter rele diferensial pada saat kondisi gangguan. Rasio CT yang dipasang pada transformator di sisi tegangan primer 150 kV adalah 300:1 A dan pada sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 2000:5 A. Hasil tersebut diambil dengan pertimbangan hasil perhitungan arus rating yaitu sebesar 254,034 A pada sisi tegangan primer 150 kV dan 1905,256 A pada sisi tegangan sekunder 20 kV. Arus setting yang didapat dari hasil perhitungan yaitu 0,3 A dan diharapkan dengan setting tersebut sistem proteksi transformator dapat bekerja dengan optimal.

Kata kunci : Transformator daya, proteksi, rele diferensial.

ABSTRACT

One of saver which is built-in on power transformer is differential relay. Differential Relay is a safety on a transformer that is able to work instantly without coordinating with relay around it, so that the working time of differential relay can be made as quickly as possible. A good protection system supported by a nice setting in order to avoid differential relay failure protection and improving the quality of the transmission system operations. The research method used secondary data obtained from GI Paya Pasir and then conducted mathematical calculations to determine the ratio of current transformer, mismatch error, and the parameters on differential relay when normal conditions, as well as calculate differential relay parameters at the time of the condition of the interference. The ratio of CT mounted on the transformer primary side voltage is 150 kV is 300:1 A and on the side of the secondary voltage of 20 kV is 2000:5 a. those results taken with consideration of the results of calculation of the current rating that is of 254.034 A on the primary side voltage of 150 kV and A 1905.256 on the side of the secondary voltage of 20 kV. The current settings are obtained from the results of a calculation that is 0,3 A and expected with the setting of the protection system of the transformer can work optimally.

Keyword : Power transformer, protection, differential relay.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya Allah berguna bagi semesta alam. Shalawat dan salam kita sampaikan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar sarjana pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “***Analisa Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT. PLN Persero)***”.

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Munawar Alfansury siregar, S.T, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.

4. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd. Selaku Pembimbing II Dalam Penyelesaian Tugas Akhir Ini.
5. Ibu Ir. Yusniati, M.T. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman Seperjuangan Fakultas Teknik, Khususnya TEKNIK ELEKTRO A-1 Pagi 2015 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

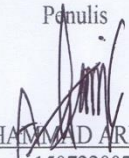
Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, 11 Maret 2019

Penulis


MUHAMMAD ARFIANDA
1507220072

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penulisan	4
1.6 Metode Penulisan	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	7
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Transformator Daya	14
2.2.2 Bagian - bagian Transformator	15
2.3 Transformator Arus	23
2.3.1 Rasio Transformator Arus	24

2.3.2	<i>Error Mismatch</i>	25
2.3.3	Arus Sekunder CT	26
2.4	Dasar-dasar Sistem Proteksi	26
2.4.1	Klasifikasi Rele Proteksi	29
2.4.2	Prinsip Kerja Rele Proteksi	30
2.5	Proteksi Transformator	31
2.6	Gangguan Pada Transformator Daya	32
2.6.1	Gangguan Di Luar Daerah Pengaman	32
2.6.2	Gangguan Di Daerah Pengaman	32
2.7	Rele Diferensial	33
2.7.1	Fungsi Rele Diferensial	35
2.7.2	Sifat Pengaman Rele Diferensial	35
2.7.3	Persyaratan Pada Rele Diferensial	36
2.7.4	Prinsip Kerja Rele Diferensial	36
2.7.5	Karakteristik Rele Diferensial	39
2.7.6	Pemasangan Rele Diferensial	39
2.7.7	Arus Nominal Dan Arus Sekunder	40
2.7.8	<i>Setting</i> Kerja Rele Diferensial	41

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu Dan Tempat Penelitian	42
3.2	Peralatan Penelitian	42
3.3	Data Penelitian	43
3.3	Prosedur Penelitian	44

3.4 Diagram Alir Penelitian.....	45
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Model Perhitungan Matematis	46
4.1.1 Perhitungan Nilai Rasio CT	46
4.1.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	48
4.1.3 Perhitungan Nilai Arus Sekunder CT.....	49
4.1.4 Perhitungan Nilai Arus Diferensial	49
4.1.5 Perhitungan Nilai Arus <i>Restrain</i>	50
4.1.6 Perhitungan <i>Percent Slope</i>	50
4.1.7 Perhitungan Nilai Arus <i>Setting</i>	51
4.1.8 Perhitungan Gangguan Pada Transformator Daya.....	52
BAB 5 PENUTUP	
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Trafo.....	14
Gambar 2.2 Inti Besi Transformator	15
Gambar 2.3 Kumparan Transformator	16
Gambar 2.4 <i>Bushing</i> Transformator.....	16
Gambar 2.5 Konservator	18
Gambar 2.6 <i>Silica gel</i>	18
Gambar 2.7 Minyak Isolasi Transformator	19
Gambar 2.8 Tembaga Yang Dilapisi Kertas Isolasi.....	20
Gambar 2.9 OLTC Pada Transformator	21
Gambar 2.10 Pentanahan Langsung Dan Pentanahan Melalui NGR.....	22
Gambar 2.11 <i>Neutral Grounding Resistor</i> (NGR).....	23
Gambar 2.12 Transformator Arus	23
Gambar 2.13 Kurva Kejenuhan Untuk Pengukuran Dan Untuk Proteksi.....	24
Gambar 2.14 Prinsip Kerja Rele Proteksi	31
Gambar 2.15 Rele Arus Diferensial	34
Gambar 2.16 Rele Persentase Diferensial	34
Gambar 2.17 Single Line Rele Diferensial	35
Gambar 2.18 Rele Diferensial Dalam Keadaan Normal	37
Gambar 2.19 Gangguan Di Luar Daerah Proteksi	38
Gambar 2.20 Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi	38
Gambar 2.21 Karakteristik Rele Diferensial	39

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Arus Diferensial Dan Arus Gangguan	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Macam – macam pendingin tranfo	17
Tabel 3.1 Data Transformator Daya.....	43
Tabel 3.2 Data Rasio CT.....	44
Tabel 4.1 Hasil Hitung Rasio CT Sisi 150 kV	54
Tabel 4.2 Hasil Hitung Rasio CT Sisi 20 kV	54
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus Dan <i>Setting</i> Rele Diferensial	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan komponen utama dalam penyaluran energi listrik pada sebuah sistem kelistrikan, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian sistem yaitu Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi. Jarak antara pembangkit listrik dan beban terletak sangat jauh sehingga membutuhkan transformator daya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan agar rugi – rugi yang dihasilkan selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir. Dalam pengoperasian transformator sering terjadi gangguan yang dapat menghambat kinerja dari transformator, sehingga dibutuhkan pengaman dan pengaturan proteksi yang stabil untuk menjaga kelancaran operasional pada suatu sistem.

Proteksi adalah suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang berguna menghindari kerusakan peralatan dan juga agar stabilitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Bagian dari sistem proteksi adalah trafo arus atau trafo tegangan, pengawatan, dan sumber AC/DC. Trafo arus terbagi menjadi dua fungsi yaitu sebagai pengukuran dan proteksi. Salah satu rele yang digunakan yaitu rele diferensial yang merupakan pengaman utama transformator yang bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain (Subari, Kusumastuti, & Yuniarto, 2015).

Sistem proteksi harus dapat bekerja untuk memutus arus gangguan yang muncul pada sistem dengan cepat dan selektif. Adanya sistem proteksi tersebut berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat adanya arus

gangguan. Selain itu, sistem proteksi juga berfungsi untuk membatasi dampak gangguan sehingga kontinuitas suplai daya ke beban tetap optimal (Distribusi, Rahman, Pujiantara, Wahyudi, & Busbar, 2014).

Pengaman yang terdapat pada transformator daya lebih banyak dibandingkan dengan transformator distribusi dengan daya kecil. Berbagai proteksi terpasang pada trafo daya seperti *Over Current Relay*, *Relay Buchholz*, *Restricted Earth Fault*, Rele Diferensial dan sebagainya. Pada transformator daya salah satu pengaman yang terpasang adalah rele diferensial. Rele diferensial merupakan pengaman utama pada transformator, rele diferensial mengamankan peralatan dari gangguan yang terjadi di dalam transformator.

Rele Diferensial adalah suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vektor dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang telah ditentukan (Manson Russel, 2004)

Berdasarkan uraian di atas maka judul tugas akhir ini akan membahas tentang “Analisa Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir PT. PLN (Persero)” yang dilakukan untuk mengetahui prinsip kerja rele diferensial sebagai rele proteksi pada transformator, serta untuk mengetahui arus *setting* dari rele diferensial dalam memproteksi gangguan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial?
2. Bagaimanakah penentuan besar arus *setting* pada rele diferensial?

1.3 Tujuan Penulisan

Dari latar belakang dan rumusan masalah di atas yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja rele diferensial sebagai rele proteksi pada transformator.
2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui arus *setting* dari rele diferensial dalam memproteksi gangguan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya menganalisa prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial.
2. Pembahasan hanya menganalisa arus *setting* dari rele diferensial dalam memproteksi gangguan.

1.5 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberi manfaat bagi masyarakat, ilmu pengetahuan dan universitas yaitu :

a. Manfaat Bagi Masyarakat

Mengurangi gangguan sehingga penyaluran energi listrik untuk masyarakat tidak terganggu.

b. Manfaat Bagi Ilmu Pengetahuan

Memberikan pemecahan masalah bagi ilmu pengetahuan dalam pengaturan proteksi rele diferensial dalam memproteksi gangguan.

c. Manfaat Bagi Universitas

Menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.

1.6 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur/ Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan pendalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literatur dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data penelitian, informasi, studi literatur juga sangat diperlukan untuk pelaksanaan penelitian.

2. Riset

Riset/ Pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data-data dari tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

3. Bimbingan

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan di dalam penulisan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut :

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang gambaran umum mengenai tugas akhir yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas tentang gambaran umum teori transformator, serta landasan teori proteksi rele diferensial pada transformator daya.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

Melakukan riset di Gardu Induk Paya Pasir yang berkaitan dengan data, membahas tentang prinsip kerja rele diferensial, dan membahas arus *setting* rele diferensial terhadap gangguan.

- **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang perhitungan matematis, perhitungan ratio CT ideal, perhitungan *error mismatch*, perhitungan nilai arus diferensial dan arus *setting* rele diferensial, dan perhitungan nilai *slope* rele diferensial untuk mengetahui kinerja rele diferensial dalam memproteksi gangguan dengan memasukkan data-data yang diperoleh.

- **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulisan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Kualitas sistem tenaga listrik diukur dengan kontinuitas layanan, kontrol yang baik dan pemeliharaan. Kontinuitas layanan yang baik dapat diperoleh jika semua komponen sistem tenaga dapat beroperasi dengan baik di setiap situasi dan kondisi, baik dalam kondisi normal maupun dalam kondisi tidak normal. Dalam kondisi tidak normal, sistem perlindungan memiliki peran penting dalam mendeteksi setiap gangguan dan melepaskan bagian-bagian yang terganggu dari sistem itu. Transformator daya adalah komponen utama dalam gardu induk. Gangguan dalam transformator harus diisolasi agar tidak mengganggu sistem selama distribusi daya listrik ke beban lainnya. Rele diferensial pada transformator daya adalah rele proteksi untuk mendeteksi gangguan internal (Bien & Helna, 2007).

Proteksi transformator berfungsi untuk memproteksi transformator apabila terjadi gangguan, sehingga transformator dapat terhindar dari kerusakan. Dalam jurnal ini akan dibahas tentang rele diferensial yang digunakan untuk memproteksi transformator. Rele ini bekerja apabila terdapat perbedaan arus pada CT sisi primer dan sekunder di zona proteksi. Apabila gangguan terjadi di luar zona proteksi, rele tidak akan bekerja. Penelitian ini berupa simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC versi 4.2. Data-data yang digunakan adalah data dari sistem WSCC 3 Machine 9 Bus Systems. Dalam simulasi ini akan dilihat unjuk kerja dan selektifitas rele diferensial, nilai arus

pada PMT, serta waktu trip rele diferensial di zona proteksi (internal) maupun di luar zona proteksi (eksternal). Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan internal, rele trip (*pick-up*) selama 0,15 detik, yaitu dari 0,22 detik sampai dengan 0,37 detik, sedangkan pada gangguan eksternal rele tidak trip (Syukriyadin & Nakhrisya, 2011).

Generator dan transformator adalah dua peralatan utama untuk menghasilkan listrik. Dalam pengoperasiannya tidak selalu berjalan normal, melainkan kadang-kadang terjadi gangguan yang mengakibatkan keandalannya berkurang dan apabila tidak segera diatasi dapat mengganggu kerja sistem bahkan kerusakan pada peralatan tersebut. Oleh karenanya dibutuhkan yang disebut dengan proteksi. Dari sini akan dibahas bagaimana cara proteksi generator terhadap gangguan arus lebih dan proteksi transformator terhadap kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat. Gangguan yang dimaksudkan adalah gangguan dari arus hubung singkat yang berada pada *wiring* diagram generator unit 7 dan 8 pada transformator unit 4 cirata II. Untuk mempermudah perhitungan dan analisa gangguan, sistem ini disimulasikan menggunakan software dan menghitung manual. Rele proteksi yang digunakan dan di *setting* adalah rele arus lebih dan rele diferensial. Rele ini berfungsi memproteksi arus gangguan terhadap fasa-tanah, fasa-fasa, dan fasa-fasa tanah. Dengan mengetahui arus gangguan tersebut, maka diperoleh *setting* rele arus lebih generator dengan arus yang melewati rele 2,65 A dan waktu *delay* 0,068 detik. Sedangkan pada rele diferensial transformator, dengan cara yang sama diperoleh arus diferensial sebesar 14,01 A (ISTIMAROH, 2013).

Proteksi adalah suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang ada guna menghindari kerusakan peralatan dan juga agar stabilitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Bagian dari sistem proteksi adalah trafo arus atau trafo tegangan, pengawatan, dan sumber AC/DC. Trafo arus terbagi menjadi dua fungsi yaitu sebagai pengukuran dan proteksi. Salah satu rele yang digunakan yaitu rele diferensial yang merupakan pengaman utama transformator yang bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain. Rele diferensial sendiri mempunyai beberapa syarat yang harus dipenuhi sebagai pengaman, diantaranya: CT yang digunakan harus mempunyai ratio perbandingan yang sama sehingga $I_p = I_s$ serta sambungan dan polaritas CT1 dan CT2 sama. Yang kedua pemasangan *Auxiliary* CT yang terhubung Y karena harus membandingkan arus pada dua sisi tanpa perbedaan fasa. Yang terakhir adalah karakteristik kejenuhan CT1 dan CT2 harus sama. Untuk itu perlu dilakukan *setting* rele diferensial dengan perhitungan pemilihan ratio CT, perhitungan ACT, *setting* rele diferensial itu sendiri dan error mismatch. *Error mismatch* pada trafo arus masih dibawah batas maksimal yaitu 5% karena didapat hasil perhitungan masing-masing trafo arus baik pada sisi 150 kV dan 20 kV sebesar 1,129% dan 0,721% (Subari, Kusumastuti, & Yuniarto, 2015).

Sistem proteksi harus dapat bekerja untuk memutus arus gangguan yang muncul pada sistem dengan cepat dan selektif. Adanya sistem proteksi tersebut berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat adanya arus gangguan. Selain itu, sistem proteksi juga berfungsi untuk membatasi dampak gangguan sehingga kontinuitas suplai daya ke beban tetap optimal. Sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki sistem distribusi yang terdiri dari 5 busbar yang membentuk sistem *ring* pada tegangan 33 kV. Adanya

rencana penambahan pembangkit serta beban yang terhubung dengan sistem *ring* tersebut membuat *setting* proteksi yang ada perlu diperhitungkan ulang. *Setting* proteksi busbar pada sistem distribusi *ring* tersebut masih terdapat banyak kesalahan serta belum memperhitungkan adanya penambahan pembangkit dan beban baru. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan ulang mengenai *setting* proteksi busbar yang ada pada sistem distribusi *ring* 33 kV di PT. Pertamina RU V Balikpapan. Hasil analisa *setting* proteksi diharapkan dapat membuat sistem proteksi busbar pada sistem *ring* 33 kV dapat bekerja dengan cepat dan selektif memutus arus gangguan yang muncul (Distribusi, Rahman, Pujiantara, Wahyudi, & Busbar, 2014).

Kualitas sistem tenaga listrik diukur dengan kontinuitas pelayanan, kontrol yang baik dan pemeliharaan. Kesenambungan layanan yang baik dapat diperoleh jika Semua komponen sistem tenaga dapat beroperasi dengan baik dalam setiap situasi dan kondisi, baik dalam kondisi normal atau di kondisi tidak normal. Dalam kondisi normal, sistem perlindungan memiliki peran penting dalam mendeteksi setiap gangguan dan melepaskan bagian-bagian yang terganggu dari sistem. Transformator daya merupakan komponen utama dalam sebuah gardu. Gangguan dalam transformator harus diisolasi agar tidak mengganggu sistem selama distribusi listrik daya ke beban lain. Rele diferensial pada transformator daya sebagai rele pelindung untuk mendeteksi gangguan internal. Penulisan ini membahas penyetelan rele diferensial di gardu Induk Menes. Dalam penyetelan rele diferensial yang akan digunakan pada pengaman transformator, ada beberapa tahap perhitungan untuk mendapatkan setelan dari rele diferensial, diantaranya : Pemilihan perbandingan ratio CT utama, Menghitung besarnya arus sekunder CT

utama pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada transformator, Pemilihan tap dari trafo arus pembantu (Di & Induk, 2012).

Pembangkit tenaga listrik berperan menghasilkan energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen. Oleh Karena itu, pembangkit tenaga listrik diharapkan berada dalam kondisi andal yang artinya dapat menyediakan tenaga listrik secara kontinu dengan kualitas yang baik. Sehingga untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas pelayanan pengoperasian sistem pembangkit memerlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi untuk mencegah terjadinya gangguan yang mengganggu sistem. Sistem proteksi merupakan komponen penting untuk menjaga kelangsungan dan keandalan penyaluran energi listrik. Sistem proteksi berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan pada saat terjadinya gangguan serta meminimalisir gangguan agar tidak meluas. Dengan sistem proteksi yang baik, maka kerugian yang tidak diinginkan bisa dihindarkan, terutama pada peralatan vital seperti pada generator dan transformator. Salah satu peralatan yang berperan dalam sistem proteksi adalah rele proteksi diferensial yang digunakan untuk melindungi generator dan transformator. Rele ini melindungi generator dan transformator dari gangguan-gangguan internal seperti hubung singkat antar fasa atau hubung singkat dari fasa ke tanah. Rele ini bekerja berdasarkan *setting* arus dan waktu operasi yang sudah ditentukan sehingga bisa bekerja dengan cepat dan tepat sasaran (Suralaya, 2017).

Rele diferensial pada transformator daya II di Gardu Induk Kapal memiliki *setting* sensitifitas arus sebesar 30 % terhadap arus nominal belitan. Arus gangguan dibawah *setting* tidak dapat terdeteksi karena belum mencapai batas *setting*. Untuk mengatasi arus gangguan dilengkapi dengan Rele *Restricted Earth*

Fault (REF) yang memiliki sensitifitas lebih kecil dari 30%. Analisis dengan metode perhitungan sesuai buku pedoman *setting* rele. Hasil perhitungan *setting* sensitifitas arus rele REF 382,75 A atau titik gangguan pada 22.09% belitan. Rele diferensial 519,6 A atau titik gangguan pada 30% belitan. Hasil perhitungan menunjukkan yang bekerja lebih dulu adalah rele REF daripada rele diferensial. Jadi gangguan pada belitan transformator diatasi oleh rele REF (Dwi et al., 2018).

Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa ke fasa merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam pengoperasian transformator daya pada sistem pembangkitan listrik di PLTD Buntok Kalimantan Tengah. Permasalahan yang dihadapi di sini adalah terjadinya miskordinasi antara pengaman transformator daya sehingga ketika salah satu trafo dari pembangkit mengalami gangguan maka trafo lain juga akan terputus dari saluran sehingga akan mengurangi keandalan atau kontinuitas dari penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Salah satu penyebabnya adalah koordinasi rele pengaman pada masing-masing trafo yaitu OCR, DR, dan GFR yang tidak sesuai dengan standar keandalan yang ditentukan. Untuk meningkatkan kinerja dari rele pengaman, maka perlu dilakukan analisa koordinasi rele pengaman dengan menggunakan ETAP Power Station. Setelah dilakukan koordinasi ulang didapatkan perbaikan seting OCR dan GFR lebih cepat 0,4 detik dari setingan awal, seting DR lebih cepat 0,03 detik dari seting awal 0,05 detik menjadi 0,02 detik. Uji coba menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat di salah satu trafo, hanya PMT dari trafo tersebut yang trip tanpa mengganggu rele pengaman trafo yang lain (Nakhoda, Krismanto, & Usmanto, 2017).

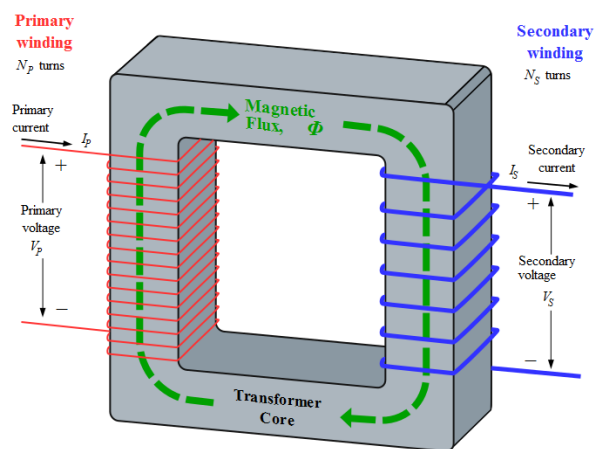
Pembangkit memiliki dua peralatan penting yaitu generator dan transformator. Karena itu, harus dilindungi dengan baik oleh rele diferensial keseluruhan. Rele ini harus dapat diandalkan dari gangguan yang mungkin timbul. Dalam penelitian ini simulasi dilakukan untuk mendapatkan dan menguji keseluruhan pengaturan rele diferensial di unit generator 1 PLTA Ketenger. Pemodelan dilakukan dengan MATLAB Simulink 7.0.1 untuk memeriksa keseluruhan sistem perlindungan rele diferensial dari masalah potensial. Model itu diberi beberapa gangguan, yaitu gangguan hubung singkat di area keamanan, gangguan hubung singkat di luar area keamanan, dan petir gangguan saat arester rusak. Dari hasil simulasi, arus operasi diferensial keseluruhan adalah 1,73 A (sisi primer) dan 1,64 A (sisi sekunder). Hasil menunjukkan bahwa keseluruhan diferensial rele memberikan respon yang baik, kecuali dalam kilat kesalahan dengan arus di atas 9×10^9 A (terjadi ketidakcocokan). Untuk menangani masalah ini, arester lain harus ditambahkan (Generator, Ketenger, Indonesia, & Ubp, 2010).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Transformator Daya

Transformator daya merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas kumparan dan satu induktansi *mutual*. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

Landasan fisik transformator adalah induktansi *mutual* (timbal balik) antara kedua rangkaian yang dibutuhkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika suatu kumparan disambungkan pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl).



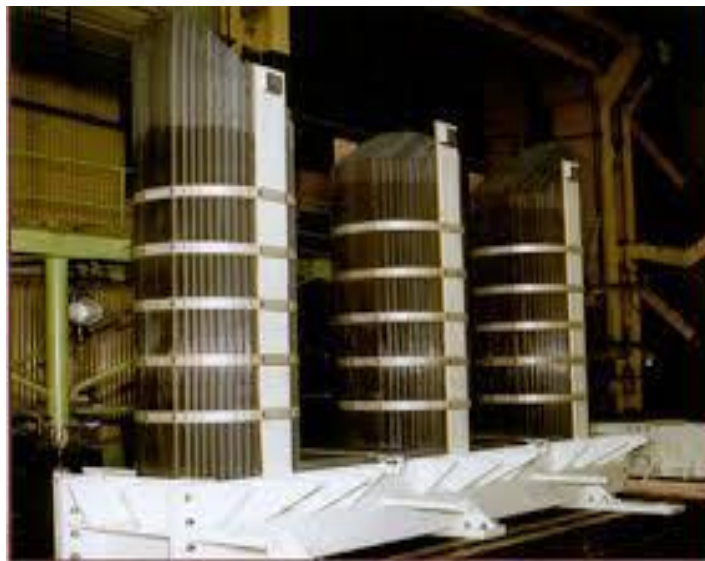
Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Trafo

2.2.2 Bagian – bagian Transformator

Transformator pada umumnya memiliki beberapa bagian-bagian, diantaranya adalah :

1. Inti Besi

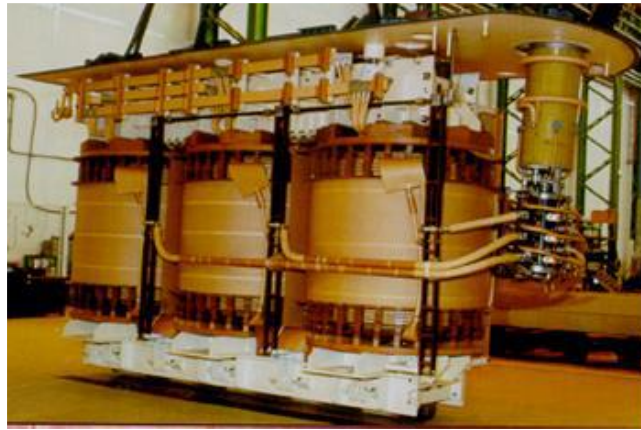
Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya fluks yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi *eddy current* yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, di mana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi (*losses*).



Gambar 2.2 Inti Besi Transformator

2. Kumparan Transformator

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik.



Gambar 2.3 Kumparan Transformator

3. *Bushing*

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank* transformator.



Gambar 2.4 *Bushing* Transformator

4. Pendingin

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu

operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

Tabel 2.1 Macam – macam Pendingin Pada Trafo

No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

5. *Oil Preservation And Expansion* (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.5 Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa *rubber bag*), maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui *silica gel* sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.6 *Silica gel*

Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *breather bag/ rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator.

6. *Dielectric* (Minyak isolasi transformator & isolasi kertas)

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *parafinik*, *naphthanik* dan *aromatic*. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2.7 Minyak Isolasi Transformator

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis.



Gambar 2.8 Tembaga Yang Dilapisi Kertas Isolasi

7. *Tap Changer*

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan keluaran yang stabil sedangkan besarnya tegangan masukan tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah rasio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan keluaran/ sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan masukan/ primernya. Penyesuaian rasio belitan ini disebut *Tap changer*.

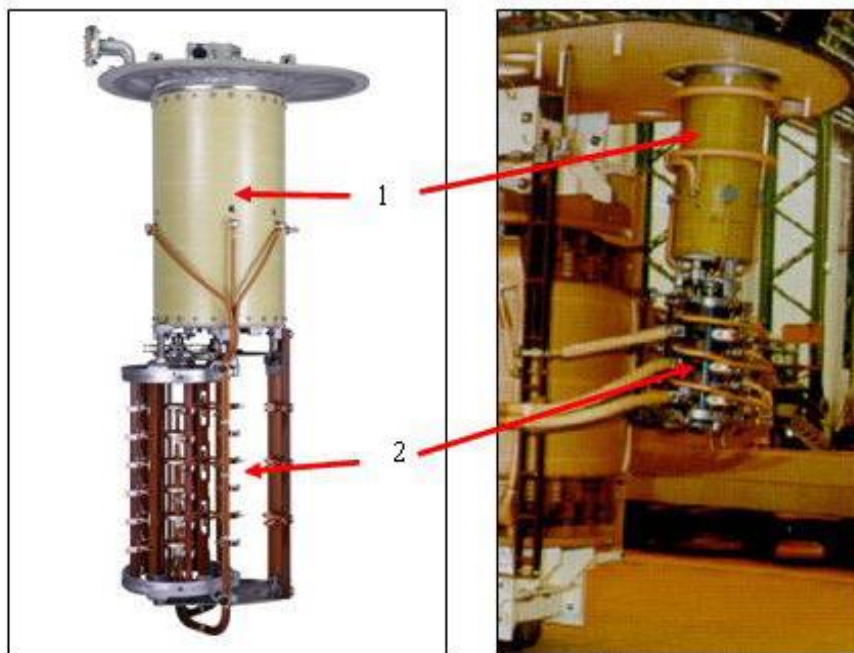
Proses perubahan rasio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off load tap changer*).

Tap changer terdiri dari :

- *Selector Switch*
- *Diverter Switch*
- Tahanan transisi

Dikarenakan aktifitas *tap changer* lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan *tap changer* dipisah. *Selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi *tap* atau rasio belitan primer. *Diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

Untuk mengisolasi dari bodi trafo (tanah) dan meredam panas pada saat proses perpindahan *tap*, maka OLTC direndam di dalam minyak isolasi yang biasanya terpisah dengan minyak isolasi utama trafo (ada beberapa trafo yang kompartemennya menjadi satu dengan *main tank*). Karena pada proses perpindahan hubungan tap di dalam minyak terjadi fenomena elektris, mekanis, kimia dan panas, maka minyak isolasi OLTC kualitasnya akan cepat menurun. tergantung dari jumlah kerjanya dan adanya kelainan di dalam OLTC.



Gambar 2.9 OLTC Pada Transformator

Keterangan : 1. Kompartemen *Diverter Switch*

2. *Selector Switch*

8. *Neutral Grounding Resistor (NGR)*

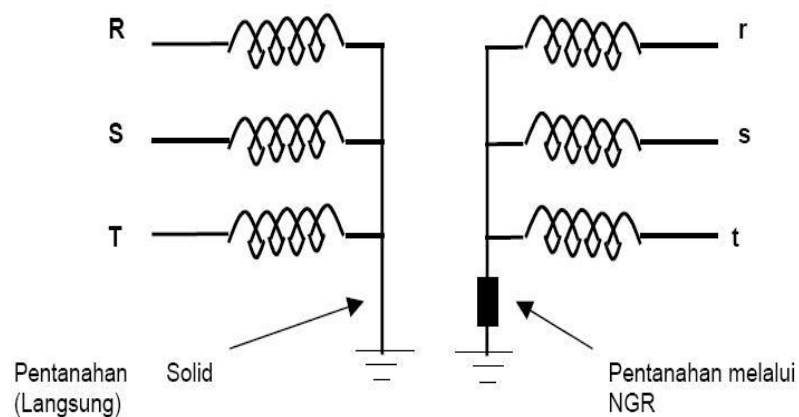
Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke *ground* / tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah. Ada dua jenis NGR, *Liquid* dan *Solid*.

1) *Liquid*

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

2) *Solid*

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.



Gambar 2.10 Pentanahan Langsung dan Pentanahan melalui NGR



Gambar 2.11 Neutral Grounding Resistor (NGR)

2.3 Transformator Arus

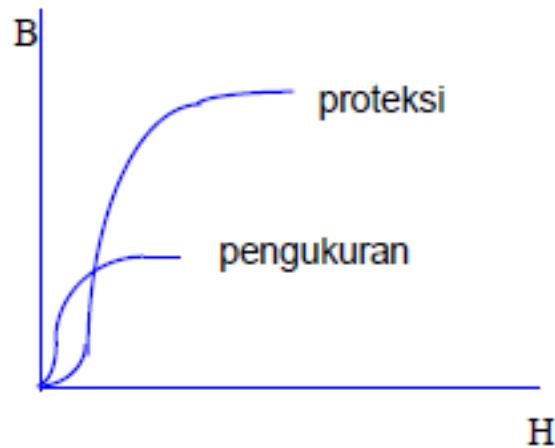
Trafo arus (CT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya mencapai ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi.

Di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi. Dibutuhkan juga untuk keperluan telemeter dan rele proteksi. Kumputan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumputan sekunder dihubungkan dengan meter atau rele proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan rele membutuhkan arus 1 atau 5 A.



Gambar 2.12 Transformator Arus

CT dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Perbedaan mendasar pada kedua pemakaian di atas adalah pada kurva magnetisasinya.



Gambar 2.13 Kurva kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi

- **Untuk pengukuran**, memiliki kejenuhan sampai dengan 120 % arus *rating* tergantung dari kelasnya, hal ini untuk mengamankan meter pada saat gangguan
- **Untuk proteksi**, memiliki kejenuhan cukup tinggi sampai beberapa kali arus *rating*.

2.3.1 Ratio Transformator Arus

Transformator arus pada pengaman rele diferensial dipasang pada sisi tegangan primer dan sisi tegangan sekunder transformator, oleh karena itu rasio transformasi harus dipilih sedemikian rupa sehingga besar arus sekunder pada kedua trafo arus sama atau paling tidak mendekati sama, sebab apabila terdapat

perbedaan arus maka selisih arus ini akan semakin besar ketika berlangsung gangguan hubung singkat diluar daerah pengaman.

Untuk menentukan rasio trafo arus maka diperlukan untuk menghitung arus *rating* terlebih dahulu, karena arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan ratio. Untuk menghitung arus *rating* menggunakan rumus :

$$I_{rat} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Irat = Arus *rating* (A)

In = Arus Nominal (A)

2.3.2 Error Mismatch

Error mismatch merupakan kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

Untuk menghitung besarnya nilai *error mismatch* menggunakan rumus :

$$Error\ Missmatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \% \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

CT (*ideal*) : Trafo arus (*ideal*)

V1 : Tegangan dibagian sisi tinggi

V2 : Tegangan dibagian sisi rendah

2.3.3 Arus Sekunder *Current Transformator* (CT)

Arus sekunder pada CT (*Current Transformator*) adalah arus yang dikeluarkan dari CT itu sendiri. Arus sekunder CT dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots \dots \dots (2.4)$$

2.4 Dasar - dasar Sistem Proteksi

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya,

saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

Dari uraian di atas maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk melaksanakan fungsi diatas maka rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Dapat diandalkan (*reliable*)
- b. Selektif
- c. Waktu kerja rele cepat
- d. Peka (sensitif)
- e. Ekonomis dan sederhana

Untuk mendapatkan penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara selektif dan cepat, sehingga adakalanya harus diadakan kompromi koordinasi. Kita sadari pula bahwa sistem

proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja.

Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) Kegagalan pada rele sendiri.
- b) Kegagalan suplai arus atau tegangan ke rele tegangannya rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c) Kegagalan sistem suplai arus searah untuk *tripping* pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- d) Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan *trip* tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back up Protection*). Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

- 1) Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial.
- 2) Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama.

2.4.1 Klasifikasi Rele Proteksi

Rele-rele yang akan digunakan dalam sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Berdasarkan prinsip kerjanya

a. Rele Temperature (*thermal relay*)

Rele jenis ini bekerja karena pengaruh panas arus listrik yaitu mendeteksi arus dengan pertambahan temperature yang ditimbulkan arus yang melewatinya. Rele ini dapat juga bekerja karena ketidak seimbangan arus yang menyebabkan kenaikan temperatur akibat komponen urutan negatif. Rele jenis ini sering dipakai untuk proteksi terhadap keadaan arus lebih yaitu dengan mendeteksi panas yang terjadi akibat arus lebih tersebut.

b. Rele Elektromagnetik (*Elektromagnetic Relay*)

Jenis rele ini dapat menggunakan sumber arus bolak-balik atau sumber arus searah sebagai tenaga penggerak rele.

c. Rele Statis (*Static Relay*)

Rele jenis statis adalah rele yang bekerja dengan menggunakan komponen-komponen statis, seperti transistor, diode dan lain-lain guna mendapatkan karakteristik yang diinginkan.

b. Berdasarkan besaran ukur dan fungsinya

1. Rele-rele akan bekerja bila besaran ukurnya turun sampai harga tertentu.

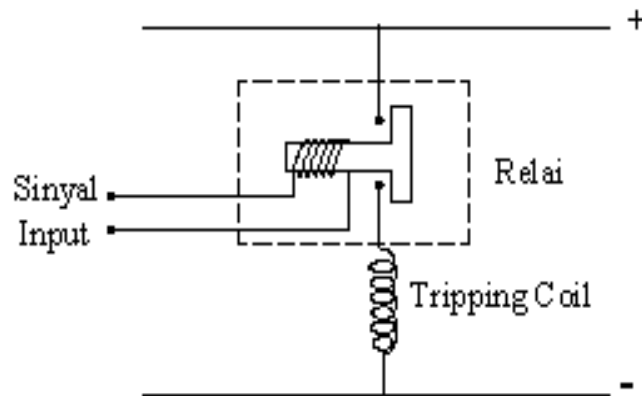
Rele jenis ini misalnya rele tegangan kurang (*under voltage relay*) dan rele frekuensi kurang (*under frekuensi relay*).

2. Rele-rele akan bekerja bila besaran ukurnya melebihi suatu harga tertentu, misalnya : rele arus lebih (*over current relay*) dan rele tegangan lebih (*over voltage relay*).
3. Rele daya adalah jenis rele besaran (*directional relay*) yang akan bekerja bila arah daya mengalir kesuatu arah tertentu yang tidak dikehendaki.
4. Rele diferensial yaitu rele yang akan bekerja berdasarkan perbedaan tegangan, arus atau fasa antar dua tempat atau lebih.
5. Rele jarak yaitu rele yang bekerja berdasarkan pada perbandingan harga tegangan dan arus. Jadi dapat dikatakan bahwa besaran yang dideteksi adalah impedansi.

2.4.2 Prinsip Kerja Rele Proteksi

Rele dapat bekerja apabila mendapatkan sinyal-sinyal input yang melebihi dari *setting* rele tersebut. Besaran ukur yang dipakai untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, pemanasan, pembentukan gas, frekuensi, gelombang eksplosi dan sebagainya. Rele dikatakan kerja (operasi), apabila kontak-kontak dari rele tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya.

Apabila rele mendapat satu atau beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga *pick-up* tertentu, maka rele kerja dengan menutup kontak-kontaknya. Maka rele akan tertutup sehingga *tripping coil* akan bekerja untuk memutuskan beban.



Gambar 2.14 Prinsip Kerja Rele Proteksi

Pada keadaan ini sistem tenaga listrik akan terputus karena disebabkan oleh adanya gangguan.

2.5 Poteksi Transformator

Proteksi transformator umumnya menggunakan Rele Diferensial dan Rele *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan rele arus lebih (OCR) rele gangguan ke tanah *Ground Fault Relay* (GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan.

Rele pengaman transformator daya harus dapat mendeteksi adanya sumber gangguan yang berada di dalam maupun di luar transformator yang berada di daerah pengamannya. Di samping itu adanya gangguan di luar daerah pengamannya bila rele yang terkait tidak bekerja salah satu rele pada transformator harus bekerja.

2.6 Gangguan Pada Transformator Daya

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah pengamanan transformator tetapi juga adanya gangguan di luar daerah pengaman. Justru kerusakan transformator cenderung terjadi karena terlalu seringnya terjadi gangguan di luar daerah pengaman.

2.6.1 Gangguan Di Luar Daerah Pengaman

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubungan singkat fasa ke tanah maupun gangguan antar fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator, sehingga transformator harus dilepaskan/ dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja.

Kondisi beban yang berlanjut dapat di deteksi dengan rele thermal atau termometer yang memberi sinyal sehingga beban berkurang. Untuk kondisi gangguan di luar daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel gangguan, hubung singkat disalurkan keluarannya, maka rele arus lebih dengan perlambatan waktu atau sering digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik, untuk daerah berikutnya yang terkait. Pengaman utama ini di rancang sedemikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut.

2.6.2 Gangguan Di Daerah Pengaman

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengaman di

dalam daerah pengamannya. Gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadinya kebakaran. Gangguan di dalam dapat terjadi karena diakibatkan :

1. Gangguan satu fasa atau antar fasa pada sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah di terminal luar.
2. Hubungan singkat antar lilitan di sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah.
3. Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antar belitan di lilitan tersier.

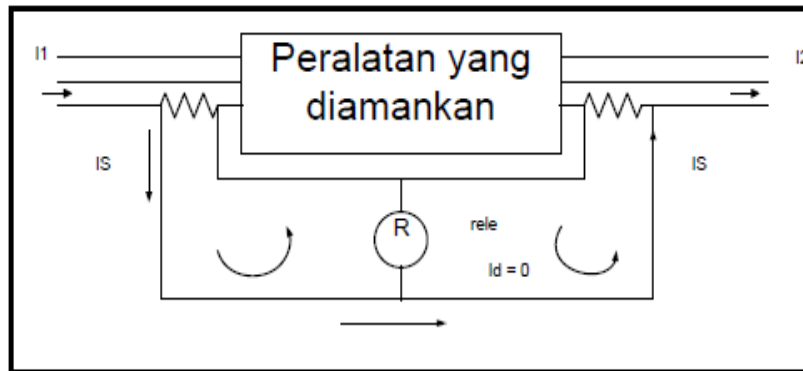
2.7 Rele Diferensial

Rele Diferensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. Sistem proteksi rele diferensial secara universal dipergunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar dan saluran transmisi, ke semua sistem proteksi diferensial tersebut berdasarkan pada prinsip keseimbangan (*balance*), atau membandingkan arus-arus sekunder transformator arus yang terpasang pada terminal-terminal peralatan/ instalasi listrik yang diproteksi.

Jenis – jenis rele diferensial :

1. Rele Arus Diferensial

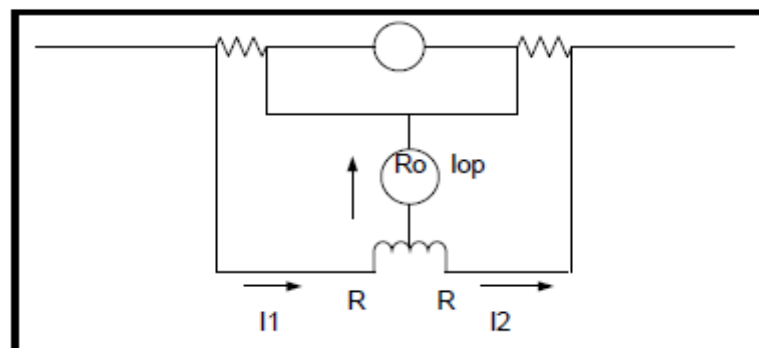
Rele arus diferensial menggunakan besaran-besaran arus yang masuk dan yang keluar dari peralatan yang diamankan untuk dibandingkan di dalam sirkit diferensial. Setiap perbedaan arus digunakan untuk menggerakkan rele tersebut dengan demikian masing-masing fasa dibandingkan.



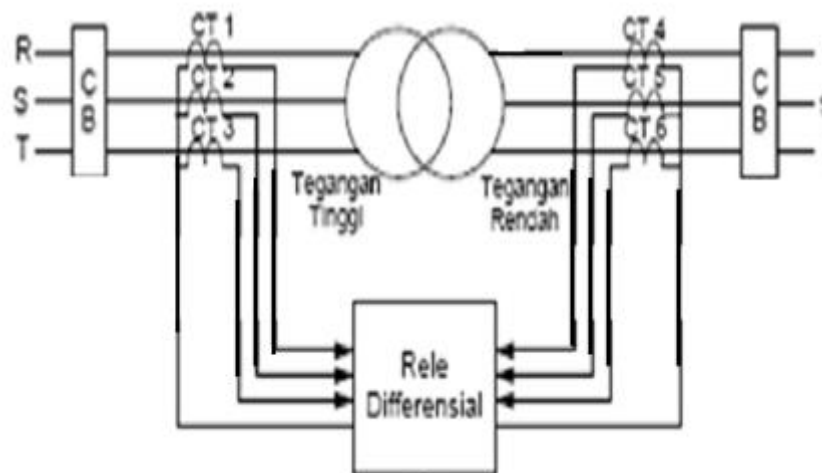
Gambar 2.15 Rele Arus Diferensial

2. Rele Persentase Diferensial

Telah diuraikan cara kerja rele arus diferensial, maka untuk rele persentase diferensial mempunyai ciri kerja yang hampir sama dengan rele arus diferensial, hanya saja rangkaian diferensialnya melalui kumparan penahan (*restraining coil*). Arus diferensial yang diperlukan untuk mengerjakan rele mempunyai besaran yang bervariasi, dengan perkataan lain dimungkinkan adanya *setting* rele. Arus diferensial yang mengalir masuk ke rele sebanding dengan $(I1 - I2)$ dan arus yang mengalir dalam restrain coil sebanding dengan $(I1 + I2) / 2$ karena kumparan kerja dihubungkan ditengah kumparan penahan (*restraining coil*).



Gambar 2.16 Rele Persentase Diferensial



Gambar 2.17 Single Line Rele Diferensial

2.7.1 Fungsi Rele Diferensial

Pengaman rele diferensial merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya, fungsinya antara lain adalah :

1. Mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki.
2. Rele diferensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengamanan.
3. Rele ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan.
4. Rele ini merupakan unit pengamanan dan mempunyai selektifitas mutlak.

2.7.2 Sifat Pengaman Rele Diferensial

Adapun sifat pengaman pada rele diferensial yaitu sebagai berikut :

1. Sangat selektif dan cepat bekerja (*instantaneous*), tidak perlu dikoordinasikan dengan rele lain.
2. Digunakan sebagai rele pengaman utama, tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi / daerah berikutnya.
3. Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana rele diferensial dipasang.

2.7.3 Persyaratan Pada Rele Diferensial

Adapun persyaratan pada rele diferensial yaitu sebagai berikut :

1. Kedua trafo arus yang digunakan harus mempunyai rasio yang sama atau mempunyai rasio sedemikian rupa, sehingga kedua arus sekundernya sama.
2. Karakteristik kedua trafo arusnya sama.
3. Polaritas kedua trafo arusnya benar.

2.7.4 Prinsip Kerja Rele Diferensial

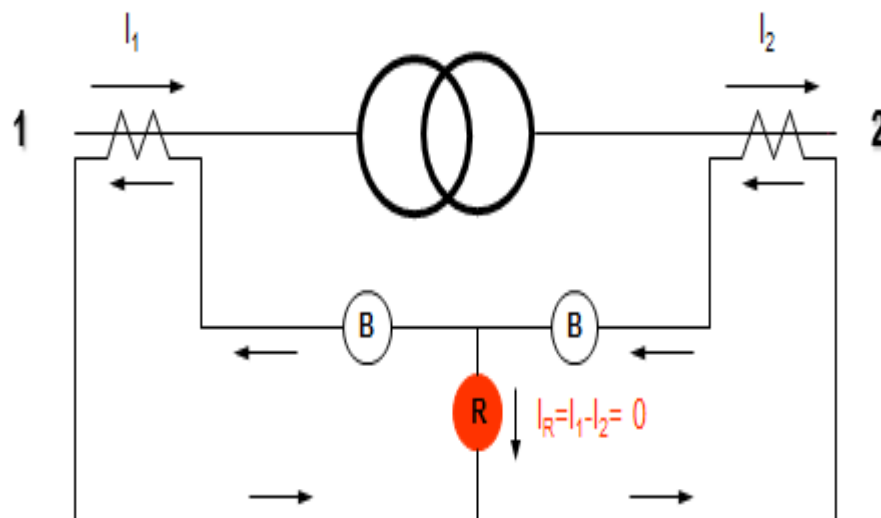
Prinsip kerja rele diferensial ini adalah dengan cara membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele.

Kerja rele diferensial ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua transformator arus tersebut sama besar.

Adapun prinsip kerja rele diferensial ini terjadi dalam tiga keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

1. Rele diferensial pada keadaan normal

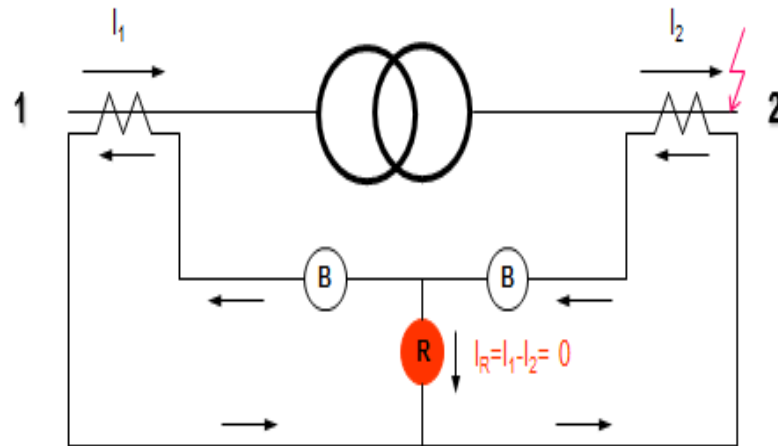
Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan / inslatasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya, dan arus-arus tranformator arus, yaitu I_1 dan I_2 bersirkulasi melalui "path" IA. Jika rele diferensial dipasang antara terminal 1 dan terminal 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.



Gambar 2.18 Rele Diferensial Dalam Keadaan Normal

2. Rele diferensial pada gangguan di luar daerah proteksi

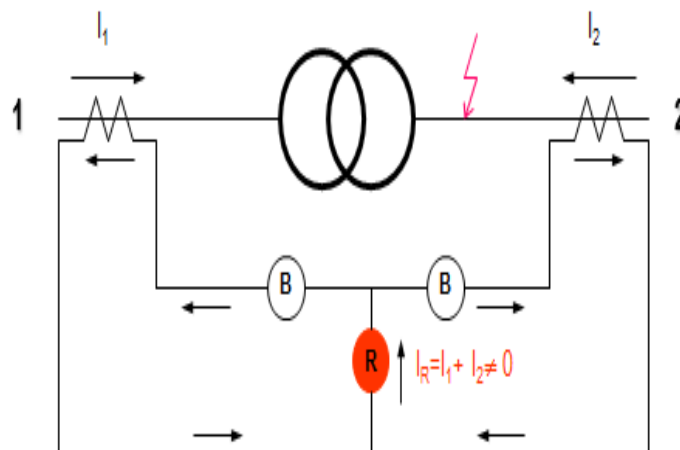
Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang diproteksi (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi akan tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian rele diferensial tidak akan bekerja.



Gambar 2.19 Gangguan Di Luar Daerah Proteksi

3. Rele diferensial pada gangguan di dalam daerah proteksi

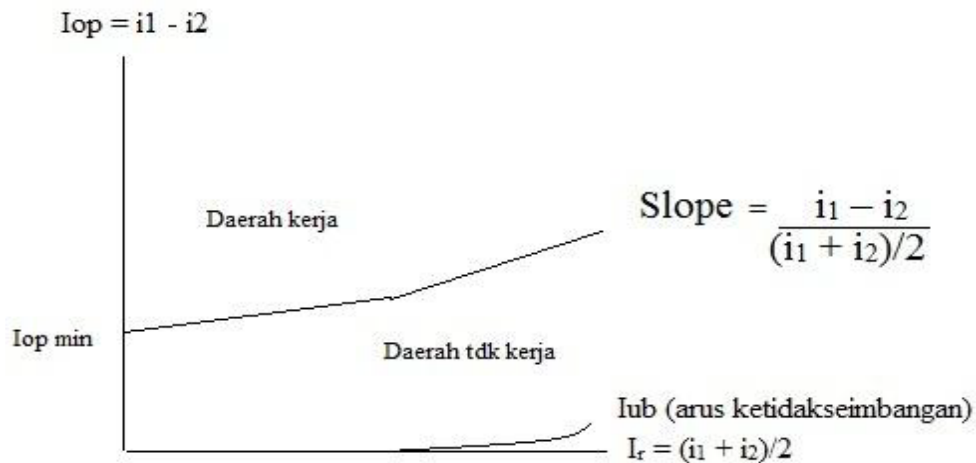
Jika gangguan terjadi didalam proteksinya pada transformator daya yang diproteksi (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan “keseimbangan” pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus I_d akan mengalir melalui rele diferensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam rele, selanjutnya rele tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus.



Gambar 2.20 Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi

2.7.5 Karakteristik Rele Diferensial

Rele diferensial merupakan suatu rele yang karakteristik kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan.



Gambar 2.21 Karakteristik Rele Diferensial

Keterangan : I_{op} = Arus diferensial

I_1 = Arus primer

I_2 = Arus sekunder

2.7.6 Pemasangan Rele Diferensial

Di dalam pemasangan rele diferensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan ketepatan kerja rele, sehingga pada akhirnya rele akan mengalami salah kerja. Salah kerja pada rele diferensial disebabkan oleh hubungan transformator daya disisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi ketidak seimbangan arus pada transformator.

Sehubungan dengan pemasangan rele diferensial ke transformator daya, maka perlu sekali untuk mengetahui persyaratan rele diferensial tersebut, yaitu:

- a) Besar arus-arus yang masuk ke rele harus sama.
- b) Fasa-fasa tersebut harus berlawanan.

2.7.7 Arus Nominal Primer Dan Sekunder

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.11)$$

- Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_p} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Arus nominal pada sisi sekunder

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

IN1 = Arus nominal pada sisi primer

IN2 = Arus nominal pada sisi sekunder

S = Tegangan pada transformator daya

Vp = Tegangan pada sisi primer

Vs = Tegangan pada sisi sekunder

2.7.8 Setting Kerja Rele Diferensial

Rele diferensial bekerja berdasarkan hukum arus *kirchhoff* 1 (*Kirchhoff current law* 1) yang berbunyi “arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar pada titik tersebut”.

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$I_1 = I_2 \dots\dots\dots(2.16)$$

$$I_{Masuk} = I_{Keeluar} \dots\dots\dots(2.17)$$

Untuk menentukan besarnya nilai arus diferensial, arus *restrain* (penahan), *slope* dan arus *setting* pada rele diferensial menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_d = I_2 - I_1 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

$$I_{Setting} = \%Slope \times I_r \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

I_d = Arus diferensial

I_r = Arus *restrain* (penahan)

$I_{setting}$ = Arus *setting* pada rele diferensial

Slope = Batas ambang kemampuan kumparan penahan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah Unit Layanan Dan Transmisi Gardu Induk Paya Pasir dan dilaksanakan pada tanggal 07 Januari 2019 sampai dengan tanggal 19 Januari 2019.

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit Notebook

Merk	: HP
Processor	: Intel (R) Atom (TM) CPU N2600 @ 1.60 GHz
Installed memory (RAM)	: 2.00 GB
System type	: 32-bit operating system
Fungsi	: Berfungsi untuk mencatat data-data yang diperlukan dalam penelitian dan dalam penulisan tugas akhir

2. Flashdisk

Merk	: Sandisk
------	-----------

Space : 32 GB

Fungsi : Berfungsi untuk memindahkan data-data yang dibutuhkan peneliti.

3.3 Data Penelitian

Data yang di ambil dalam penyelesaian tugas akhir ini menggunakan data-data yang diperoleh dari Gardu Induk Paya Pasir PT. PLN (Persero) Medan antara lain sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Transformator Daya

Data Transformator Daya	
Merk/ Tipe	PAUWELS
No. Serial	3011150 093
Pabrik	Indonesia
Kapasitas Trafo	60 MVA
Tegangan Sisi Primer	150 kV
Tegangan Sisi Sekunder	20 kV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	13, 70 %
Sambungan	YNyn0 (d)
Tahun Buatan	2016
Tahun Operasional	2017
Minyak	IEC 60076
Pendingin	ONAN/ ONAF

Tabel 3.2 Data Rasio CT

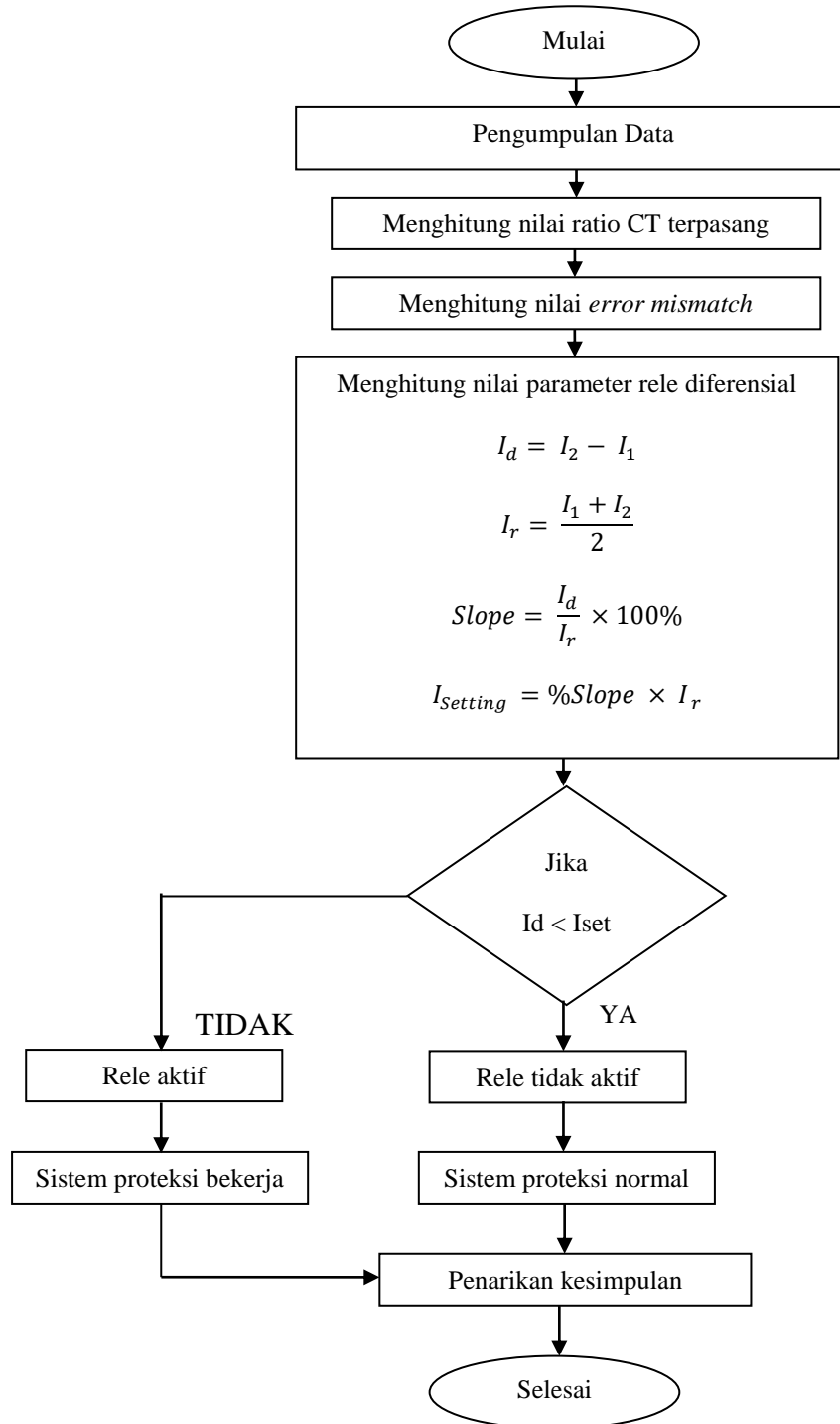
Data Rasio CT					
150 kV			20 kV		
PRIM	/	SEC	PRIM	/	SEC
300	/	1	2000	/	5

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan mengumpulkan data sekunder. Tahapan pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan studi literatur untuk menambah pemahaman dan pendalaman materi terkait tema penelitian dengan mencari dari beberapa buku, jurnal-jurnal ilmiah dan dari referensi lainnya yang berkaitan dengan tema penelitian, selanjutnya melakukan pengumpulan data sekunder di Gardu Induk Paya Pasir PT. PLN (Persero) Medan.

Data-data yang diperlukan meliputi data transformator daya dan data parameter rele diferensial yang ada di Gardu Induk Paya Pasir Medan. Setelah dilakukan pengumpulan data selanjutnya adalah mencari nilai arus nominal pada sisi primer dan sisi sekunder transformator, setelah itu dilakukan pemilihan nilai rasio CT. Selanjutnya yaitu menentukan *error mismatch*, sebelum menghitung *error mismatch* terlebih dahulu menghitung CT ideal pada salah satu sisi transformator, kemudian menghitung arus diferensial dan arus *setting* diferensial.

3.4 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Matematis

Perhitungan matematis adalah perhitungan untuk menentukan rasio CT pada trafo daya, dengan menggunakan perhitungan arus nominal dan arus *rating*. Selanjutnya menghitung *error mismatch*, menghitung arus diferensial, menghitung arus *restrain*, menghitung arus *slope*, dan arus *setting* rele diferensial.

4.1.1 Perhitungan Nilai Rasio CT

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus *rating*. Arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT. In atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah).

- Arus nominal pada sisi tegangan primer 150 kV :

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p}$$

$$I_{N1} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 150.000}$$

$$I_{N1} = \frac{60.000.000}{259.807,62}$$

$$I_{N1} = 230,940 A$$

- Arus nominal pada sisi tegangan sekunder 20 kV :

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s}$$

$$I_{N2} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 20.000}$$

$$I_{N2} = \frac{60.000.000}{34.641,01}$$

$$I_{N2} = 1732,051 \text{ A}$$

- Arus *rating* di sisi tegangan primer 150 kV :

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

$$I_{rat} = 110\% \times 230,940 \text{ A}$$

$$I_{rat} = 254,034 \text{ A}$$

- Arus *rating* di sisi tegangan sekunder 20 kV :

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

$$I_{rat} = 110\% \times 1732,051 \text{ A}$$

$$I_{rat} = 1905,256 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa arus nominal yang menuju ke trafo daya di sisi tegangan primer 150 kV adalah 230,940 A sedangkan di sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 1732,051 A.

Perhitungan arus *rating* pada trafo daya di atas juga dapat diketahui di sisi tegangan primer 150 kV adalah 254,034 A sedangkan pada sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 1905,256 A. Sesuai dengan perhitungan tersebut, maka rasio CT yang terpasang pada sisi tegangan primer 150 kV adalah 300:1 A serta pada sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 2000:5 A. Berdasarkan uraian tersebut maka bila

arus yang mengalir pada sisi tegangan primer sebesar 300 A di CT akan terbaca 1 A. Rasio CT yang dipilih 300 A dan 2000 A sebab pada Gardu Induk Paya Pasir menggunakan nilai tersebut dan rasio itu juga ada di pasaran.

4.1.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

- *Error mismatch* di sisi tegangan tinggi 150 kV :

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

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

$$CT_1(\text{Ideal}) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{2000}{1} \times \frac{20}{150} = 2000 \times 0,1333 = 266,6 \text{ A}$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{266,6}{300} \% = 0,886 \%$$

- *Error mismatch* di sisi tegangan rendah 20 kV :

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

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

$$CT_2(\text{Ideal}) = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{300}{1} \times \frac{150}{20} = 300 \times 7,5 = 2250 \text{ A}$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{2250}{2000} \% = 1,125 \%$$

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai CT1 ideal sebesar 266,6 A dan *error mismatch* sebesar 0,886 %. *Error mismatch* pada CT2 sebesar 1,125 % dengan hasil perhitungan CT ideal sebesar 2.250 A. Demikian didapatkan nilai selisih antara trafo arus terpasang dan trafo arus ideal sebesar 33,4 A pada sisi tegangan tinggi dan 250 A pada sisi tegangan rendah.

4.1.3 Perhitungan Nilai Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang di keluarkan CT.

- Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 150 kV :

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

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{300} \times 230,940 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 0,7698 \text{ A}$$

- Arus sekunder CT sisi tegangan rendah 20 kV :

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

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{2000} \times 1732,051 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 0,8860 \text{ A}$$

4.1.4 Perhitungan Nilai Arus Diferensial

Arus diferensial yaitu arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi terhadap arus sekunder CT sisi tegangan rendah.

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

$$I_{\text{dif}} = 0,8860 - 0,7698$$

$$I_{dif} = 0,1162 A$$

Hasil dari perhitungan mendapatkan nilai selisih antara Isekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah adalah 0,1162 A. Nilai tersebut yang menjadi pembanding dengan arus *setting* rele diferensial.

4.1.5 Perhitungan Nilai Arus *Restrain* (Penahan)

Arus *restrain* diperoleh dengan cara menjumlahkan arus sekunder CT1 dan CT2 kemudian dibagi 2.

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

$$I_r = \frac{0,7698 + 0,8860}{2}$$

$$I_r = 0,8279 A$$

Hasil dari perhitungan diatas maka didapat nilai arus *restrain* 0,8279 A.

4.1.6 Perhitungan *Percent Slope* (*setting* kecuraman)

Untuk mengetahui *slope* didapatkan dari arus diferensial di bagi dengan arus *restrain*. Dari *Slope* 1 dapat diketahui arus diferensial dan arus *restrain* saat kondisi normal dan untuk memastikan rele dapat bekerja saat ada gangguan internal dengan arus gangguan kecil. Untuk *slope* 2 dapat berguna agar rele tidak bekerja saat terjadi gangguan eksternal dengan arus gangguan besar sekalipun.

- Menghitung *slope* 1 :

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$Slope_1 = \frac{0,1162}{0,8279} \times 100\%$$

$$Slope_1 = 14\%$$

- Menentukan *slope* 2 :

$$Slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$Slope_2 = \left(\frac{0,1162}{0,8279} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$Slope_2 = 28 \%$$

Hasil yang didapat dari perhitungan yaitu *slope* 1 sebesar 14% dan *slope* 2 sebesar 28%.

4.1.7 Perhitungan Nilai Arus *Setting* (*I_{set}*)

Arus *setting* didapat dengan mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*.

Arus *setting* inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial.

$$I_{set} = \%slope \times I_{restrain}$$

$$I_{set} = 14\% \times 0,8279 A$$

$$I_{set} = 0,14 \times 0,8279 A$$

$$I_{set} = 0,1159 A$$

Hasil perhitungan nilai arus *setting* di atas adalah 0,1159 A, tetapi pada *setting* rele diferensial dibuat 0,3 A.

4.1.8 Perhitungan Gangguan Pada Transformator Daya

Sebagai contoh kasus pada gardu induk paya pasir pernah terjadi gangguan hubung singkat dengan arus gangguan sebesar 36380 A dan 31545 A di sisi 20 kV yang menyebabkan rele diferensial bekerja. Adapun perhitungan arus gangguannya sebagai berikut :

- a. Arus gangguan di sisi tegangan 20 kV sebesar 36380 A :

$$I_{\text{Sekunder}CT} = \frac{I_f}{CT_2} = \frac{36380}{2000} = 18,19 \text{ A}$$

$$I_{\text{Sekunder}ACT} = \frac{I_{\text{Sekunder}CT}}{I_2} = \frac{18,19}{0,866} = 21,00 \text{ A}$$

$$I_d = I_{\text{Sekunder}ACT} - I_1 = 21,00 - 0,769 = 20,231 \text{ A}$$

Arus gangguan di sisi tegangan rendah 20 kV adalah 36380 A dan menghasilkan arus sekunder di CT2 sebesar 21,00 A serta arus diferensial sebesar 20,231 A, oleh karena itu rele diferensial akan aktif dan memerintahkan PMT agar trip sebab arus diferensial melebihi arus *setting* rele.

- b. Arus gangguan disisi tegangan 20 kV sebesar 31545 A :

$$I_{\text{Sekunder}CT} = \frac{I_f}{CT_2} = \frac{31545}{2000} = 15,77 \text{ A}$$

$$I_{\text{Sekunder}ACT} = \frac{I_{\text{Sekunder}CT}}{I_2} = \frac{15,77}{0,866} = 18,21 \text{ A}$$

$$I_d = I_{\text{Sekunder}ACT} - I_1 = 18,21 - 0,769 = 17,441 \text{ A}$$

Arus gangguan di sisi tegangan rendah 20 kV adalah 31545 A dan menghasilkan arus sekunder di CT2 sebesar 18,21 A serta arus diferensial sebesar

17,441 A, oleh karena itu rele diferensial akan aktif dan memerintahkan PMT agar trip sebab arus diferensial melebihi arus *setting* rele.

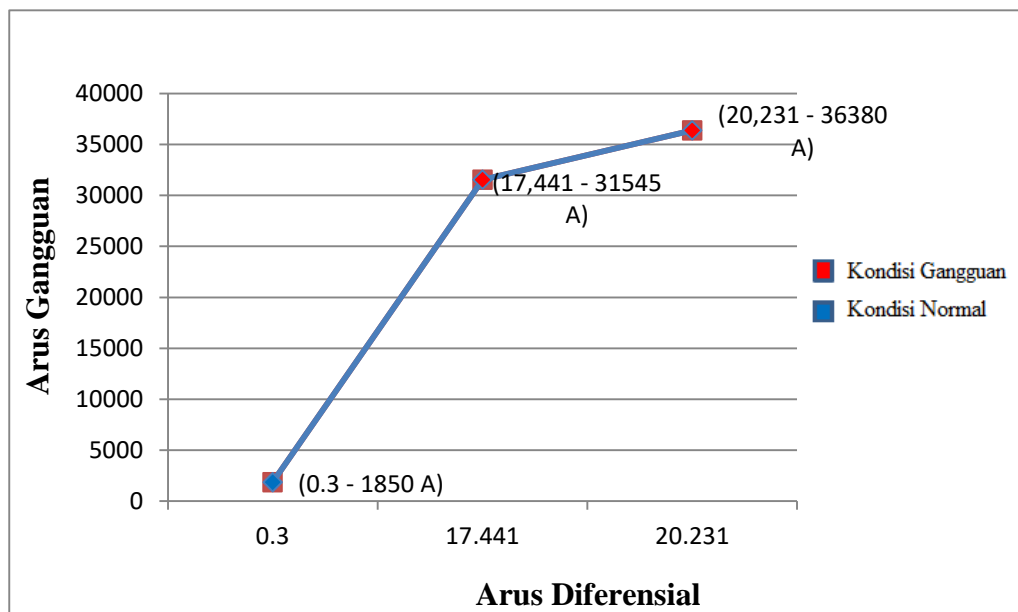
- c. Gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan I_d menjadi 0,3 A :

$$I_{\text{Sekunder ACT}} = I_1 + I_d = 0,769 + 0,3 = 1,069 \text{ A}$$

$$I_{\text{Sekunder CT}} = I_{\text{Sekunder ACT}} \times I_2 = 1,069 \times 0,866 = 0,925 \text{ A}$$

$$I_N \text{ 20 kV} = I_{\text{Sekunder CT}} \times CT_2 = 0,925 \times 2000 = 1850 \text{ A}$$

Pada saat I_d sebesar 0,3 A maka arus maksimal yang mengalir pada sisi tegangan rendah sebesar 1850 A, artinya batas arus yang diperbolehkan mengalir pada sisi tegangan rendah adalah 1850 A. Rele diferensial akan bekerja jika arus yang mengalir melebihi 1850 A.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Arus Diferensial dan Arus Gangguan

Tabel 4.1 Hasil Hitung Rasio CT Sisi 150 kV

Hasil Hitung Rasio CT Sisi 150 kV	
Inom atau arus nominal	230,940 A
Irating	254,034 A
Isekunder CT	0,7698 A
Rasio CT Ideal	300 : 1 A

Tabel 4.2 Hasil Hitung Rasio CT Sisi 20 kV

Hasil Hitung Rasio CT Sisi 20 kV	
Inom atau arus nominal	1732,051 A
Irating	1905,256 A
Isekunder CT	0,8860 A
Rasio CT Ideal	2000 : 5 A

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus Dan *Setting* Rele Diferensial

Hasil Perhitungan Arus Dan <i>Setting</i> Rele Diferensial	
I_d	0,1162 A
$I_{restrain}$	0,8279 A
% Slope 1	14 %
% Slope 2	28 %
$I_{setting}$	0,1159 A

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan vektor arus I1 (arus sisi primer) dan I2 (arus sisi sekunder). Pada waktu tidak terjadi gangguan/ keadaan normal atau gangguan berada diluar daerah pengaman I1 dan I2 sama atau mempunyai perbandingan serta sudut fasa tertentu, dalam hal ini rele tidak bekerja. Pada waktu terjadi gangguan di daerah pengaman I1 dan I2 tidak sama perbandingan serta sudut fasanya berubah dari keadaan normal disisi rele akan bekerja. Rele diferensial ini bekerja berdasarkan hukum arus *kirchhoff* 1 (*Kirchhoff current law* 1) yang berbunyi “arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar pada titik tersebut”.
2. Hasil perhitungan arus *setting* adalah 0,1159 A, tetapi pada *setting* rele diferensial dibuat 0,3 A. Maka dari itu rele diferensial akan bekerja apabila nilai arus diferensial melebihi arus *setting* dan sebaliknya.

5.2 Saran

Untuk menghindari kemungkinan gangguan yang tidak diinginkan maka disarankan untuk melakukan pemeliharaan dengan baik terhadap rele pengaman utama maupun rele pengaman cadangan beserta peralatan bantu lainnya. Tidak hanya pemeliharaan saja namun ada baiknya bila rele tersebut di uji coba dalam

jangka waktu yang ditentukan untuk mengetahui apakah rele tersebut benar-benar bekerja dengan baik bila terjadi gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bien, L. E., & Helna, D. (2007). Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT Chevron Pacific Indonesia, *6*, 41–68.
- Di, K. V., & Induk, G. (2012). Setting Relai Diferensial Pada Transformator Daya.
- Distribusi, S., Rahman, W. I., Pujiantara, M., Wahyudi, R., & Busbar, A. (2014). Setting Rele Diferensial Bus, *2*(1), 1–6.
- Dwi, I. M., Jaya, C., Arjana, I. G. D., Maharta, A. A. G., Studi, P., Elektro, T., ... Udayana, U. (2018). STUDI KOORDINASI KERJA RELE DIFERENSIAL DAN RELE RESTRICTED EARTH FAULT SETELAH UPRATING PADA TRANSFORMATOR II DI GI KAPAL, *5*(1), 49–54.
- Generator, U. I., Ketenger, P., Indonesia, P. T., & Ubp, P. (2010). Analisis Kerja Rele Overall Differential pada Generator Unit I PLTA Ketenger PT Indonesia Power UBP Mrica Overall Differential Relay Work Analysis to, *6*(2).
- ISTIMAROH, A. (2013). Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II. *Reka Elkomika*, *1*(2), 131–141.
- Nakhoda, Y. I., Krismanto, A. U., & Usmanto, M. (2017). Analisa Koordinasi Rele Pengaman Transformator Pada Sistem Jaringan Kelistrikan di PLTD Buntok, *1*(September), 39–46.
- Subari, A., Kusumastuti, D. H., & Yuniarto. (2015). Setting Relay Diferensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. *Transmisi*, *3*.
- Suralaya, D. I. P. (2017). ANALISA PROTEKSI DIFERENSIAL PADA GENERATOR, *9*(1), 84–92.
- Syukriyadin, S., & Nakhrisya, C. R. (2011). Analisis Proteksi Relay Diferensial

Terhadap Gangguan Internal dan Ekternal Transformator Menggunakan PSCAD / EMTDC, 9(3).

Bonggas L. 2012. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Erlangga.

Hazairin. 2004. *Dasar-dasar sistem proteksi tenaga listrik*. UNSRI.

Ir. Kadir Abdul. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Universitas Indonesia.

PT. PLN (Persero). *Buku Petunjuk Transformator Tenaga*.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD ARFIANDA
NPM : 1507220072
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL
SEBAGAI PROTEKSI PADA TRAFU DAYA GARDU
INDUK PAYA PASIR (PT. PLN PERSERO)

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	29/1/18	abstrak tidak pakai tab	J3
		flow chat ket. YA atau Tidak. Daftar Pustaka berurutan	
2.	13/12/18	Acc proposal	J3
3.	09/1/19	Konsultasi Pergantian Judul	J3
4.	01/2/19	Grafik perbandingan kondisi normal dan gangguan.	J3
5.	4/2-19.	Acc untuk diselesaikan.	J3

Pembimbing I

Ir. Yusniati, MT



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD ARFIANDA
NPM : 1507220072
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL
SEBAGAI PROTEKSI PADA TRAFU DAYA GARDU
INDUK PAYA PASIR (PT. PLN PERSERO)

No	Tanggal	Catatan	Paraf
	12/01-2019	Abstrak	
		Tulisan dan b. Inggris	
	15/01-2019	Format diperbaiki	
	21/01-2019	Prms / Ang Dibsd penjelasannya	
		Flow Chart,	
	24/01-2019	Ang Gangguan Abstrak penjelasannya	
		Daftar Pustaka diperbaiki	
		Kempulan diperbaiki	
	29/01-2019	Ace Fiminar.	

Pembimbing II

Elvy Sahnur Nasution, ST., MPd



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 56/3/IL3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Elektro Pada Tanggal 12 Januari 2019 ini menetapkan

Nama : MUHAMMAD ARFIANDA
Npm : 1507220072
Program Studi : TEKNIK Elektro
Semester : VI1 (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI PROTEKSI PADA TRAFU DAYA GARDU INDUK PAYA PASIR PT PLN (PERSERO)

Pembimbing 1 : IR. YUSNIATI . MT
Pembimbing 11 : ELVY SAHNUR NASUTION ST.MP.d

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 06 Jumadil Awal 1440 H
12 Januari 2019 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202

Cc. File



PT PLN (Persero)
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN SUMATERA
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MEDAN



Jalan Listrik No. 12 Medan - 20112

Telepon : (061) 4579900 (hunting)

Facsimile : (061) 4577700

E-mail : upt_medan@p3b-sumatera.co.id

Nomor : 0002 /SDM.06.03/UPTMDN/2019 07 Januari 2019
Sifat : Biasa
Lampiran : -
Perihal : Ijin Pengambilan Data

Kepada :
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(Fakultas Teknik)
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Nomor :3096/II.3-AU/UMSU-07/F/2018 pada Tanggal 12 Desember 2018 Perihal Pengambilan Data atas Nama :

No.	NAMA MAHASISWA	NPM	JURUSAN
1.	Muhammad Arfianda	1507220072	Teknik Elektro

Dengan ini kami mengijinkan Pengambilan Data di Gardu Induk Paya Pasir mulai Tanggal 07 Januari 2019 sampai dengan Tanggal 19 Januari 2019 dengan ketentuan sbb:

1. Tidak dibenarkan melakukan tindakan yang dapat mengganggu kegiatan Operasional di Gardu Induk Paya Pasir.
2. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Medan tidak memberi uang saku selama Pengambilan Data.
3. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Medan tidak menanggung biaya apapun apabila mengalami Kecelakaan selama melaksanakan Pengambilan Data.
4. Mengikuti Peraturan Jam Kerja yang ada di Tragi dan Gardu Induk.
5. Mematuhi segala peraturan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) berikut rambu-rambu yang ada di Gardu Induk.
6. Tidak diperbolehkan mempublikasikan hal-hal yang bersifat Rahasia.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya, terimakasih.



Tembusan :
1. MAN ULTG Paya Pasir
2 Supervisor Gardu Induk Paya Pasir

DATABASE TRAFODAYA GI PAYA PASIR TAHUN 2018

ID	GI	No_Trafo	Mark/Type	Seriail Number	Pabrik	MVA	ratio_teg	Vektor	Ta_buat	Ta_ops	Impedansi	OLTC	Minyak	pendingin	conservator	Ket
	PAYA PASIR	1	PASTI/CR160/275	914.4053	INDONESIA	60	150/20	Ynynd [1 1]	1992	1995	13,70 %		IEC 296	ONAN/ONAF		
	PAYA PASIR	2	PAUMWELS	3011150 083	INDONESIA	60	150/20	Ynynd [1 1]	2016	2017	13,70 %		IEC 60076	ONAN/ONAF		