



**ANALISIS SELISIH ARUS SEKUNDER CT DENGAN RELE
DIFERENSIAL SEBAGAI SETTING ARUS PADA TRAFU DAYA
1 GARDU INDUK DENAI**

Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik dari Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Pembangunan Panca Budi

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : ANWAR IBRAHIM HASIBUAN
NPM : 2124210286
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : ENERGI LISTRIK

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2022

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

JUDUL : ANALISIS SELISIH ARUS SEKUNDER CT DENGAN RELE DIFERENSIAL
SEBAGAI SETTING ARUS PADA TRAFU DAYA 1 GARDU INDUK DENAI

NAMA : ANWAR IBRAHIM HASIBUAN
N.P.M : 2124210286
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
TANGGAL KELULUSAN : 27 Desember 2022



DEKAN

KETUA PROGRAM STUDI

Hamdani, ST., MT.

Siti Anisah, S.T., M.T.

DISETUJUI
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II



Surascan Tharo, S.T., M.T.

Siti Anisah, S.T., M.T.

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai Civitas Akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Anwar Ibrahim Hasibuan
NPM : 2124210286
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi Hak Bebas Royalti Non Ekklusif (*Non Exclusive Royalty-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul "ANALISIS SELISIH ARUS SEKUNDER CT DENGAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI SETTING ARUS PADA TRAFU DAYA 1 GARDU INDUK DENAI" beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Ekklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih-formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 25 Januari 2023

Saya menyatakan,



ANWAR IBRAHIM HASIBUAN

2124210286

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Medan, 25 Januari 2023



ANWAR IBRAHIM HASIBUAN
2124210286

YAYASAN PROF. DR. H. W. ...

Analisis Selisih Arus Sekunder CT dengan Rele Diferensial sebagai Setting Arus pada Trafo Daya 1 Gardu Induk Denai

Anwar Ibrahim Hasibuan*

Ibu Hj. Zuraidah Tharo, S.T., M.T.**

Ibu Siti Anisah, S.T., M.T.**

anwarintelijen@gmail.com

Teknik Elektro

ABSTRAK

Suatu alat listrik statis seperti halnya trafo daya yang salah satu fungsinya memindahkan rangkaian suatu daya ke rangkaian lain, baik mengubah tegangan tanpa harus mengubah frekuensi. Proteksi ialah suatu sistem pada kelistrikan dan memiliki fungsi sebagai pengisolasi, pemutus dan pemisah apabila memiliki sebuah gangguan. Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan vektor I_1 arus sisi primer dengan I_2 arus sisi sekunder. Adapun hasil perhitungan matematis arus setting terhadap arus diferensial yang didapatkan yaitu sebesar 0,0961865394 A dan ini berbeda dengan arus setting yang terpasang pada rele diferensial pada trafo daya 1 gardu induk yaitu 0,3 A.”.

Kata kunci : Transformator Daya, Proteksi, Rele Diferensial

Analysis of the Difference in Secondary Current CT with Differential Relays as Current Settings in Power Transformer 1 Denai Substation

Anwar Ibrahim Hasibuan*

Ibu Hj. Zuraidah Tharo, S.T., M.T.**

Ibu Siti Anisah, S.T., M.T.**

anwarintelijen@gmail.com

Electrical Engineering

ABSTRACT

A static electric device is like a power transformer, one of its functions is to transfer a power circuit to another, either by changing the voltage without having to change the frequency. Protection is a system in electricity and has a function as an isolator, breaker and separator if there is a disturbance. The working principle of the differential relay is to compare the primary side current vector I_1 with the secondary side current I_2 . The results of a mathematical calculation of the setting current to the differential current obtained are 0.0961865394 A and this is different from the setting current attached to the differential relay at a power transformer 1 substation, which is 0.3 A.

Keywords: Power Transformer, Protection, Differential Relay

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah ...

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat terutama nikmat kesehatan sehingga dalam penulisan skripsi ini penulis melaksanakannya dengan kondisi sehat walafiat.

Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang kemudian hari kita nantikan safaatnya pada hari yang akan datang dan semoga kita termasuk kaum yang beruntung untuk bertemu dengan beliau.

Kemudian dalam proses penulisan skripsi ini penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak – pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat langsung dalam setiap detik, menit, jam, hari, bulan, sehingga selesai sudah dengan hasil yang baik diantaranya kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, S.E., M.M. selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan yang senantiasa orang yang terdepan memberikan arahan maupun nasehat – nasehat bagi mahasiswa – mahasiswinya yang berjuang untuk mencapai gelar sarjana.
2. Bapak Hamdani, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu memberikan energinya demi kebaikan dan kemajuan fakultas yang didalamnya ada jurusan teknik elektro.
3. Ibu Siti Anisah, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi. Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II serta yang senantiasa selalu terlibat aktif dalam proses awal sampai akhir penulisan juga.
4. Ibu Hj Zuraidah Tharo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa selalu terlibat aktif dalam proses awal sampai akhir penulisan.
5. Kepada para Dosen, Staff dan Jajaran dilingkungan Jurusan Teknik Elektro khususnya dan dilingkungan Fakultas Sains dan Teknologi umumnya, selaku pihak yang senantiasa terlibat dalam proses belajar mengajar dan mendukung

kemajuan para mahasiswa – mahasiswi nya sehingga sampailah mendapatkan gelar sarjana teknik.

6. Bapak Ardiansyah, selaku Manager Unit Pelaksana Transmisi Medan yang telah memberikan izin penelitian sehingga penulis mendapat hak izin dalam setiap proses administrasinya.
7. Bang Erik, selaku Supervisor Jaringan dan Gardu Induk Denai yang telah memberikan banyak pelajaran dan bantuannya sehingga dalam proses penulisan skripsi ini penulis mendapatkan hal – hal yang dibutuhkan setiap detailnya.
8. Kedua orang tua, selaku pihak yang selalu memberikan dukungan baik moral dan material.
9. Kepada Teman – teman baik satu kelas maupun satu angkatan yang selama ini selalu berjuang untuk mencapai cita – cita sebagai generasi penerus anak bangsa dimasa depan.
10. Kepada semua yang terlibat yang tidak bisa disebut satu – persatu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan para pihak yang terlibat didalamnya.

Amiinnn...

Medan, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Metode Penelitian.....	6
1.7 Kerangka Berfikir.....	7
BAB 2 DASAR TEORI	9
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	9
2.2 Transformator Daya	11
2.2.1 Prinsip Kerja Transformator	15
2.2.2 Bagian – bagian Transformator.....	17
2.3 Transformator Arus.....	29
2.3.1 Rasio Transformator Arus.....	30
2.3.2 <i>Error Mismatch</i>	31
2.3.3 Arus Sekunder <i>Current Transformer (CT)</i>	32
2.4 Sistem Proteksi Pada Transformator	32
2.4.1 Persyaratan Sistem Proteksi	33
2.4.2 Perangkat Sistem Proteksi.....	35
2.5 Gangguan Pada Transformator Daya	36
2.5.1 Gangguan Internal.....	36
2.5.1.1 <i>Incipient Fault</i>	36
2.5.1.2 <i>Active Fault</i>	37

2.5.2	Gangguan Eksternal	37
2.6	Relai Diferensial.....	38
2.6.1	Fungsi Relai Diferensial.....	41
2.6.2	Sifat Pengaman Relai Diferensial	42
2.6.3	Persyaratan Pada Relai Diferensial	42
2.6.4	Prinsip Kerja Relai Diferensial	42
2.6.5	Karakteristik Relai Diferensial.....	45
2.6.6	Pemasangan Relai Diferensial.....	46
2.6.7	Arus Nominal Primer dan Sekunder	47
2.6.8	Setting Kerja Pemakaian Relai Diferensial	48
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	51
3.1	Jenis Penelitian.....	51
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	51
3.3	Peralatan Penelitian	51
3.4	Teknik Pengumpulan Data Penelitian	52
3.5	Data Penelitian	53
3.6	Prosedur Penelitian.....	58
3.7	Diagram Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	60
BAB 4	HASIL PENELITIAN	61
4.1	Penelitian.....	61
4.1.1	Perhitungan Matematis.....	61
4.1.1.1	Perhitungan Rasio CT (<i>Arus Rating</i>)	61
4.1.1.2	Perhitungan <i>Error Mismatch</i>	63
4.1.1.3	Perhitungan Arus Sekunder CT	65
4.1.1.4	Perhitungan Nilai Arus Diferensial.....	65
4.1.1.5	Perhitungan Nilai Arus <i>Restrained</i> (Penahan).....	66
4.1.1.6	Perhitungan % <i>Slope</i> (Kecuraman).....	66
4.1.1.7	Perhitungan Nilai Arus <i>Setting</i> Matematis.....	67
4.2	Pembahasan.....	68

4.2.1 Prinsip Kerja dan Pengamanan yang dilakukan Rele Diferensial	68
4.2.2 Menentukan Batas Arus Maksimal yang mengalir pada Trafo Sisi Tegangan Rendah 20 kV sesuai Arus Setting pada Rele Diferensial	68
4.2.2.1 Perhitungan Matematis Gangguan Pada Trafo Daya 1 .	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 KESIMPULAN	73
5.2 SARAN	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam – macam Pendingin Pada Trafo	21
Tabel 3.1 Data Trafo Daya 1 Gardu Induk Denai	53
Tabel 3.2 Data Trafo Arus CT	55
Tabel 3.3 Data Rasio CT	56
Tabel 3.4 Data Alat Rele Diferensial	56
Tabel 3.5 Data Pemutus Tenaga	57
Tabel 4.1 Hasil Hitung Rasio CT Sisi Tegangan Tinggi 150 Kv	71
Tabel 4.2 Hasil Hitung Rasio CT Sisi Tegangan Rendah 20 kV	71
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus Diferensial dan Arus Settingnya	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Trafo.....	12
Gambar 2.2 Trafo Daya.....	14
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Transformator.....	16
Gambar 2.4 Inti Besi Transformator	17
Gambar 2.5 Kumparan Transformator	18
Gambar 2.6 Bushing Transformator	19
Gambar 2.7 Radiator Trafo	20
Gambar 2.8 Konservator	22
Gambar 2.9 Silica Gel	23
Gambar 2.10 Minyak Isolasi Transformator	24
Gambar 2.11 Isolasi Kertas Transformator	25
Gambar 2.12 OLTC pada Transformator.....	27
Gambar 2.13 Pentanahan Langsung dan NGR	28
Gambar 2.14 Trafo Arus	29
Gambar 2.15 Kurva kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi.....	30
Gambar 2.16 Relai Diferensial.....	39
Gambar 2.17 Relai Arus Diferensial.....	39
Gambar 2.18 Relai Persentase Diferensial.....	40
Gambar 2.19 Single Line Relai Diferensial	41
Gambar 2.20 Relai Diferensial Dalam Keadaan Normal.....	43
Gambar 2.21 Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi	44
Gambar 2.22 Gangguan Di Luar Daerah Proteksi	45
Gambar 2.23 Karakteristik Relai Diferensial.....	46
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Flowchart).....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, perkembangan teknologi untuk kepentingan individu sangat penting di era modern ini. Seiring dengan perkembangan teknologi, sumber energi listrik merupakan unsur terpenting di era modern ini dan sangat dibutuhkan oleh masyarakat khususnya industri. Gardu induk merupakan transformator daya yang salah satunya harus dilindungi dari gangguan. Gangguan sering terjadi pada saat penyaluran daya listrik cukup besar sehingga menyebabkan terputusnya kontinuitas daya listrik beban. (Utomo dkk, 2021).

Dalam pendistribusian energi listrik dari sentra-sentra produksi sangat jauh dari pusat beban/konsumen (pembangkit listrik). Penggunaan sistem distribusi dengan sistem tegangan operasi yang berbeda mengurangi kerugian saluran. Pemilihan sistem tegangan terjadi di saluran lain untuk transmisi energi listrik dengan menaikkan dan menurunkan tegangan dari pusat pembangkit ke gardu induk melalui transformator, yang kemudian didistribusikan ke konsumen sesuai menurut konsumen. Pentingnya operasi transformator dalam sistem kelistrikan saat ini, sistem pengamanan transformator daya harus dirancang sebaik mungkin bisa jadi kesalahan internal pada trafo sering terjadi selama operasi dan eksternal. Gangguan tersebut menyebabkan gangguan tegangan dan arus Arus hubung singkat yang besar dapat menyebabkan kebocoran

sehingga mengubah pengoperasian sistem kelistrikan secara keseluruhan dan mengganggu atau menyebabkan kegagalan daya. (Muhammad dkk, 2022).

Gardu Induk memiliki peralatan penting untuk distribusi listrik, peralatan yang sangat penting adalah trafo. Trafo adalah alat yang mengubah energi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya untuk didistribusikan ke masyarakat. Trafo gardu induk merupakan aset termahal dan terpenting bagi pelanggan dalam penyaluran tenaga listrik, sehingga kehandalan trafo harus selalu diperhatikan. Trafo dapat mengalami gangguan sewaktu-waktu, sehingga trafo didukung oleh langkah-langkah keamanan yang diterapkan sesuai dengan kebutuhannya. (Jeckson dkk, 2021).

Transformer dalam sistem kelistrikan memerlukan tingkat perlindungan yang berbeda. Perlindungan ini disediakan oleh berbagai jenis relai, baik elektromagnetik maupun statis. Secara umum tujuan dari proteksi trafo adalah untuk melindungi trafo jika terjadi gangguan, sehingga trafo dapat terhindar dari kerusakan. Relai yang digunakan untuk memproteksi transformator adalah relai diferensial. Relai ini beroperasi ketika terdapat perbedaan antara sisi primer dan sekunder transformator arus [CT]. Jika gangguan terjadi di luar zona proteksi, relai tidak akan beroperasi (Lasiyono, 2021).

Sistem kelistrikan memiliki komponen utama penyaluran tenaga listrik yaitu trafo, daya listrik yang dihasilkan oleh generator disalurkan ke konsumen melalui sistem kelistrikan. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yaitu pembangkitan,

transmisi dan distribusi. Jarak antara pembangkit listrik dengan beban sangat jauh, sehingga diperlukan transformator daya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan untuk meminimalkan rugi-rugi selama proses penyaluran tenaga listrik. Selama pengoperasian trafo sering terjadi gangguan yang dapat menghambat pengoperasian trafo, oleh karena itu diperlukan tindakan pengamanan dan pencegahan untuk melindungi trafo agar dapat bekerja dengan normal mengingat pengoperasian sistem kelistrikan yang benar. . Proteksi tenaga listrik adalah suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang berperan untuk mencegah kerusakan peralatan dan menjaga stabilitas distribusi tenaga listrik. Pada transformator daya, salah satu mekanisme proteksinya adalah relai diferensial. Salah satu langkah perlindungan transformator yang paling penting adalah relai diferensial. Prinsip operasi relai diferensial adalah ketika ada perbedaan vektor dari dua atau lebih besaran listrik (Keumala dkk, 2021).

Relai diferensial adalah alat pengaman terhadap arus hubung singkat, arus tidak seimbang, dengan prinsip bekerja secepat mungkin untuk mengatasi kerusakan trafo. Dalam kondisi normal, jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang akan diproteksi bersirkulasi dalam loop di kedua sisi area kerja. Jika ada gangguan di area operasi relai diferensial, arus dari kedua sisi dijumlahkan, relai memerintahkan pemutus sirkuit untuk memutus arus, dan relai diferensial beroperasi. (Subianto, 2016).

Tugas proteksi sistem kelistrikan adalah melindungi peralatan jika terjadi kerusakan dengan membatasi jangkauan dan durasi gangguan yang disebabkan oleh

kesalahan manusia, kegagalan peralatan atau fenomena alam yang mengganggu sistem kelistrikan. Kedua, tujuan proteksi sistem kelistrikan juga untuk meminimalkan kerusakan peralatan listrik yang disebabkan oleh gangguan sehingga gangguan tidak merambat ke dalam sistem. Untuk meminimalkan kerugian yang diakibatkan oleh gangguan tersebut (Firdausi dkk, 2020).

Berdasarkan uraian diatas maka judul tugas akhir ini adalah “Analisis selisih arus sekunder CT dengan rele diferensial sebagai *setting* arus pada trafo daya 1 Gardu Induk Denai” dan pembahasan hanya untuk mengetahui prinsip kerja pengamanan yang dilakukan rele diferensial pada transformator, serta untuk mengetahui batas arus maksimal yang mengalir sesuai arus setting untuk mengamankan si trafo dari gangguan.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimanakah prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial terhadap trafo daya 1 gardu induk denai ?
- b. Bagaimanakah menentukan batas maksimal arus yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV dengan nilai arus *setting* pada rele diferensial untuk memproteksi trafo daya 1 gardu induk denai dari gangguan.?

1.3 Batasan Masalah

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

- a. Pembahasan hanya menganalisa prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial terhadap trafo daya 1 gardu induk denai.
- b. Pembahasan hanya menganalisa batas maksimal arus yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV dengan nilai arus *setting* pada rele diferensial untuk memproteksi trafo daya 1 gardu induk denai dari gangguan.

1.4 Tujuan Penelitian

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

- a. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial terhadap trafo daya 1 gardu induk denai.
- b. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batas maksimal arus yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV dengan nilai arus *setting* pada rele diferensial untuk memproteksi trafo daya 1 gardu induk denai dari gangguan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

a. Manfaat Bagi Masyarakat atau Pelanggan PLN

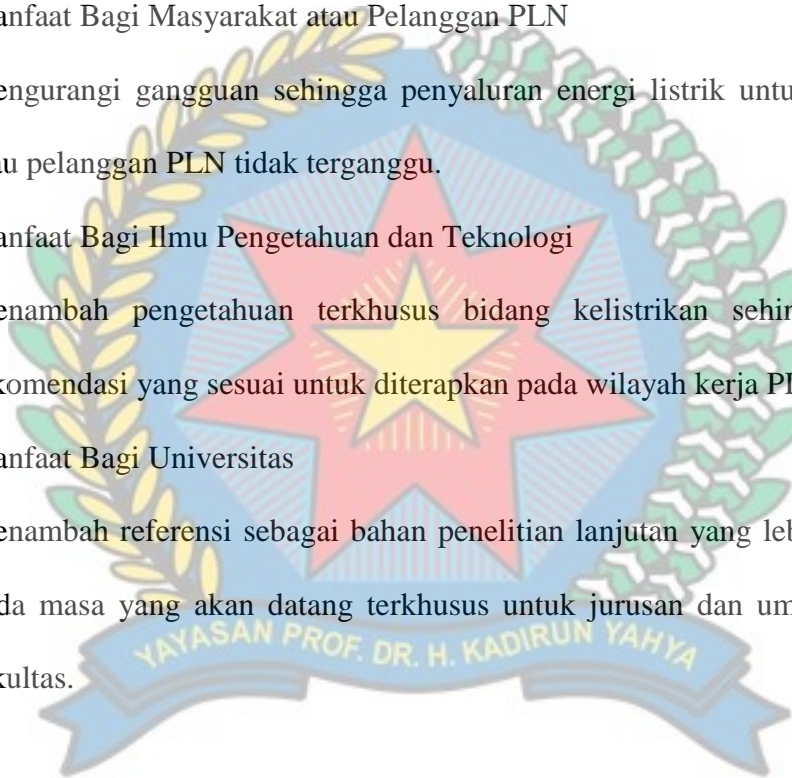
Mengurangi gangguan sehingga penyaluran energi listrik untuk masyarakat atau pelanggan PLN tidak terganggu.

b. Manfaat Bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Menambah pengetahuan terkhusus bidang kelistrikan sehingga menjadi rekomendasi yang sesuai untuk diterapkan pada wilayah kerja PLN

c. Manfaat Bagi Universitas

Menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang terkhusus untuk jurusan dan umumnya untuk fakultas.



1.6 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian dalam penulisan ini yaitu :

a. Studi Literatur/ Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan pendalaman materi tentang penulisan yang sesuai dengan judul penulisan hal ini dilakukan untuk mengembangkan teori agar sesuai dengan topik yang dibahas dalam penulisan seperti halnya buku, jurnal, website diinternet dan lain – lain.

b. Riset

Pada tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan data – data primer yang sesuai dengan topik yang dibahas dengan cara riset atau penelitian langsung

kelengkapan sesuai dengan SOP yang berlaku sehingga bisa di pertanggung jawabkan.

c. Bimbingan

Pada tahapan ini dilakukan agar penulis dalam melakukan penulisan tidak lari dari topik yang diangkat sehingga sesuai dengan topik pembahasan hal inilah yang membuat dosen pembimbing sangat dibutuhkan oleh penulis untuk menyelesaikan penulisan agar sesuai dengan panduan penulisan tugas akhir.

1.7 Kerangka Berfikir

Adapun untuk mempermudah penulisan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yaitu :

- **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 baik trafo arus dan trafo daya, serta landasan teori proteksi rele diferensial pada transformator daya.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

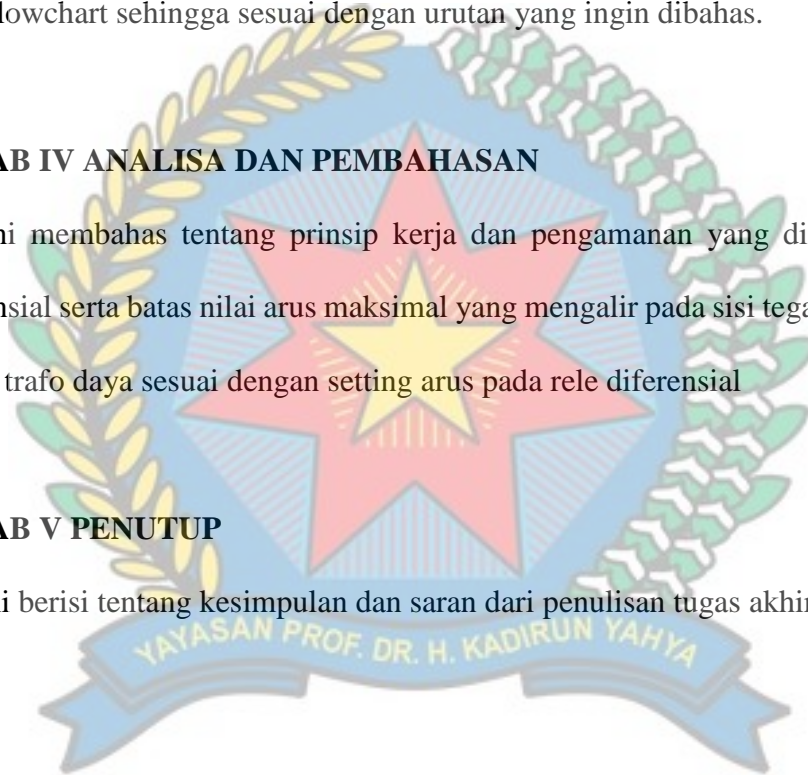
Bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, cara penulis dalam melakukan penulisan, data – data yang berhubungan dengan topik pembahasan serta flowchart sehingga sesuai dengan urutan yang ingin dibahas.

- **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang prinsip kerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial serta batas nilai arus maksimal yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV trafo daya sesuai dengan setting arus pada rele diferensial

- **BAB V PENUTUP**

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



BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Trafo adalah alat atau mesin yang memindahkan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Gangguan daya sering terjadi pada catu daya, sehingga perangkat pelindung diperlukan untuk melindungi dari gangguan ini. Salah satu sistem pengaman yang dapat digunakan pada transformator adalah relai diferensial. Relai diferensial adalah salah satu perangkat proteksi terpenting untuk transformator yang beroperasi pada kecepatan tinggi tanpa koordinasi dengan relai lain. Relai diferensial beroperasi ketika perbedaan vektor antara dua atau lebih besaran listrik melebihi besaran yang telah ditentukan, relai diferensial juga tidak dapat digunakan sebagai cadangan atau proteksi cadangan (Utomo dkk, 2021).

Relay pelindung adalah pengaturan perangkat untuk mendeteksi atau mengukur Mengganggu atau mulai memperhatikan anomali pada perangkat atau bagian dari sistem arus listrik dan secara otomatis memberikan perintah untuk membuka saklar untuk memutus perangkat atau bagian dari sistem yang tidak berfungsi dan memberikan sinyal berupa lampu atau lonceng. Menyampaikan Proteksi dapat mendeteksi atau melihat adanya gangguan pada perangkat yang terhubung mengukur atau membandingkan variabel yang diberikan padanya, mis. B. arus, tegangan, daya, sudut gain, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan ukuran yang telah ditentukan,

lalu ambil kembali keputusan untuk membuka saklar segera atau dengan penundaan. pemutus arus biasanya dipasang di generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sehingga mereka dapat dipisahkan sehingga sistem lain terus beroperasi kebanyakan. (Nasution dkk, 2018).

Trafo arus atau current transformer (CT) adalah alat listrik yang mengubah arus listrik sehingga dapat digunakan untuk keperluan pengukuran dan sebagai relai pelindung. CT digunakan untuk mengukur arus ratusan ampere melalui jaringan, sehingga harus dikonversi agar sesuai dengan peringkat perangkat. Dalam hal ini terlihat bahwa lilitan primer trafo arus dihubungkan secara seri dengan sistem, sedangkan lilitan sekunder dihubungkan dengan relai proteksi. Trafo arus diperlukan untuk mengubah arus kuat menjadi arus lemah 1-5A, sebanding dengan arus primer dan dalam fase. (Firdausi dkk, 2020).

Salah satu langkah perlindungan transformator yang paling penting adalah relai diferensial. Rele diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan relai lainnya, karena relai ini bekerja tanpa koordinasi dengan relai lainnya, sehingga pengoperasian relai ini juga membutuhkan waktu yang cepat. Perbedaan relai diferensial dengan relai lainnya terletak pada sifat relai diferensial itu sendiri, yaitu :

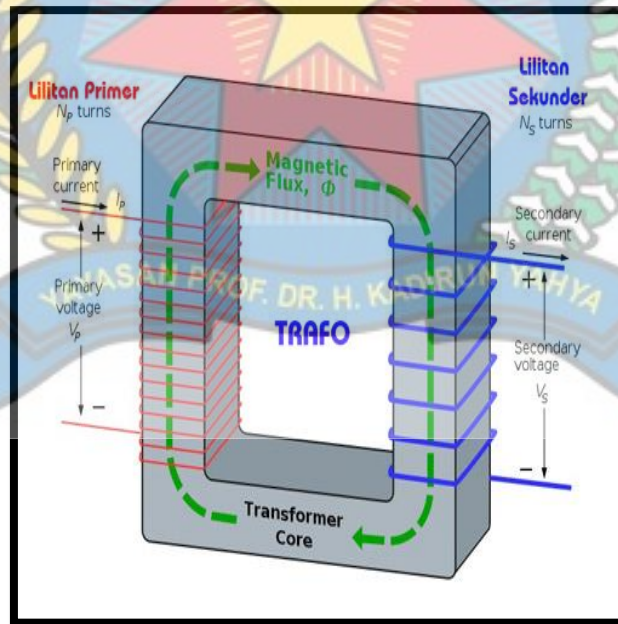
sangat selektif dan cepat mengatasi gangguan tersebut karena relai diferensial ini sebagai proteksi utama trafo juga tidak dapat digunakan sebagai proteksi cadangan atau cadangan dan terakhir relai diferensial ini memiliki zona aman yang dibatasi oleh pemasangan trafo arus (CT) (Zulkarnaini dkk, 2021).

2.2 Transformator Daya

Suatu alat listrik statis seperti halnya trafo daya yang salah satu fungsinya memindahkan rangkaian suatu daya ke rangkaian lain, baik mengubah tegangan tanpa harus mengubah frekuensi. Trafo ini terdiri atas kumparan, satu induktansi *mutual* yang mana kumparan sisi primer si penerima daya dan kumparan sisi sekunder terhubung pada beban. Pada kedua kumparannya itu dibelit pada suatu inti seperti material magnetik berlaminasi.

Trafo merupakan bagian penting dari gardu induk, yang berfungsi untuk mengalirkan listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dan diharapkan dapat bekerja secara maksimal karena dapat mempengaruhi sistem kelistrikan. Karena peran trafo dalam sistem kelistrikan sangat penting, diperlukan sistem proteksi trafo yang handal untuk melindunginya dari gangguan yang terjadi pada trafo (Zulkarnaini dkk, 2021).

Basis fisik transformator adalah induktansi timbal balik antara dua sirkuit yang dibutuhkan oleh fluks magnet umum untuk mengalir melalui jalur resistansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi timbal balik yang tinggi. Ketika koil dihubungkan ke sumber tegangan AC, fluks magnet bolak-balik dihasilkan dalam inti yang dilaminasi. Sebagian besar fluks magnet bolak-balik ini tersangkut di kumparan lain dan menginduksi gaya gerak listrik.



Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Trafo

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

Transformator daya adalah perangkat daya yang membantu mentransfer daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam distribusi tenaga listrik, transformator merupakan jantung dari transmisi dan distribusi tenaga listrik. Pada keadaan ini trafo diharapkan dapat beroperasi secara optimal (bila dibias

secara terus menerus tanpa gangguan). Mengingat kerja keras transformator semacam itu, metode perawatan harus menjadi yang terbaik. Oleh karena itu trafo harus dipelihara dengan sistem dan peralatan yang sesuai dan sesuai. Perlu saya ketahui jika ada. Berdasarkan tegangan kerjanya, dapat dibagi menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV, biasa disebut transformator Interbus (IBT). Trafo 150/20 kV dan 70/20 kV juga disebut trafo distribusi. Titik netral trafo dibumikan seperti yang dipersyaratkan oleh sistem keselamatan/perlindungan. Misalnya, transformator 150/70kV ditanahkan langsung ke sisi netral 150kV, dan transformator 70/20kV ditanahkan ke impedansi rendah atau tanah tinggi. Langsung ke impedansi atau sisi netral 20 kVnya (Hazairin, 2004).

Menurut fungsi atau pemakaian trafo diantaranya :

- **Transformator Mesin (Pembangkit)**

Transformator ini adalah alat energi listrik yang fungsinya untuk mentransfer energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Dalam bisnis distribusi tenaga listrik, transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi tenaga listrik. Pada keadaan ini trafo diharapkan dapat beroperasi secara optimal (sebaiknya terus menerus tanpa gangguan). Mengingat kerja keras transformator semacam itu, kami juga membutuhkan metode perawatan terbaik. Oleh karena itu, transformator harus dipelihara dengan sistem dan peralatan yang tepat dan sesuai. Untuk melakukan hal tersebut, tim maintenance perlu mengetahui bagian-bagian trafo dan bagian mana yang perlu dimonitor lebih dari yang lain.

- **Transformator Gardu Induk**

Gardu Induk adalah subsistem dari sistem distribusi (transmisi) listrik atau bagian integral dari sistem distribusi (transmisi) listrik. Distribusi tenaga (transmisi) merupakan subsistem dari sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, gardu induk merupakan subsistem dari jaringan listrik. Sebagai subsistem dari sistem distribusi (transmisi), gardu induk memegang peranan penting. Secara operasional tidak lepas dari sistem distribusi (transmisi) secara keseluruhan.



Gambar 2.2 Trafo Daya

Sumber : Penulis, 2022

- **Transformator Distribusi**

Trafo distribusi merupakan komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari stasiun distribusi ke konsumen. Rusaknya trafo distribusi mengakibatkan terganggunya kelangsungan pelayanan kepada konsumen (terjadi pemadaman atau pemadaman). Pemadaman adalah kerugian dimana biaya pembangkitan listrik naik sesuai dengan harga KWH yang tidak terjual. Memilih rating trafo distribusi yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban akan mengurangi efisiensi. Penempatan trafo distribusi yang tidak tepat akan mengakibatkan turunnya tegangan ujung ke ujung atau drop/drop pada beban yang mempengaruhi saluran/ujung beban.

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator

Intinya transformator melakukan pekerjaan dengan dasar hukum induksi Faraday “suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup ialah berbanding lurus menggunakan perubahan persatuan ketika daripada arus induksi atau fluks yg dilingkari sang garis lengkung itu”. Selain hukum yg berbunyi di aturan ini, dia jua menggunakan aturan hukum Lorentz arus listrik bolak-kembali yg mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah sebagai magnet serta bila magnet tadi dikelilingi sang suatu belitan maka kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan”.

Secara sederhana, cara kerja yg dipergunakan transformator menjadi prinsip dasar kerjanya ialah mengikuti konsep dasar induksi (mutual induction) rangkaian yang terhubung sebab fluks magnet. Transformator yang terdiri atas 2 kumparan yang

terpisah, terpisah secara kelistrikan tetapi tidak secara magnet, magnet yang terhubung melalui alur induksi. Kumparan tersebut memiliki mutual induction yg sangat tinggi .Jika diantara suatu kumparan itu terhubung dengan tegangan bolak-balik , dari dalam inti besi ada fluks bolak-balik yang terhubung dengan kumparan yang dapat terjadinya ggl induksi yg berasal dari hukum Faraday.

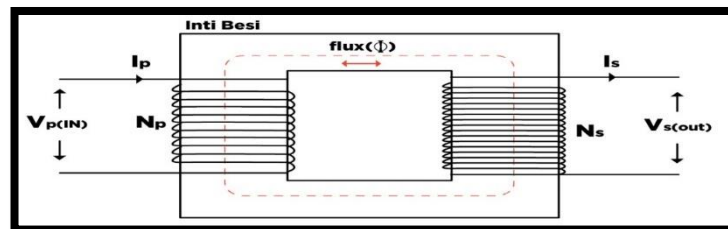
$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

Dimana:

e : Gaya gerak listrik yang diinduksikan

N : Jumlah belitan kumparan

$d\phi/dt$: Perubahan fluks sesaat (Weber)



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Transformator

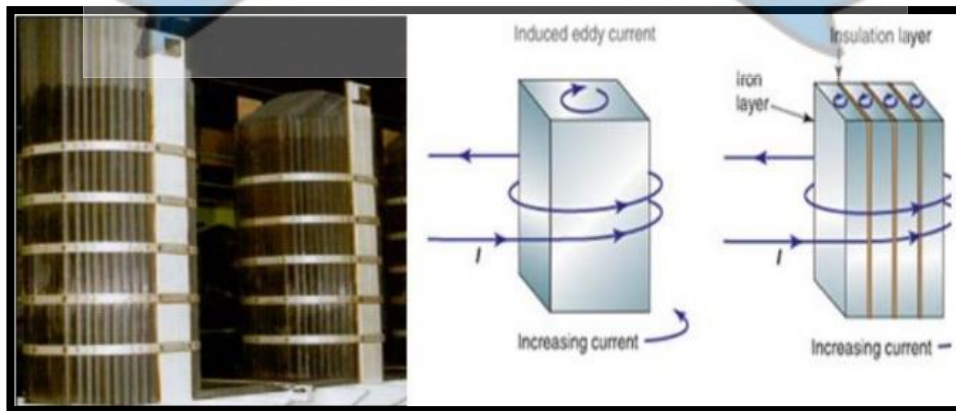
Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

2.2.2 Bagian – bagian Transformator

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

a. Inti Besi

Inti besi bertindak sebagai media aliran fluks magnet yang dihasilkan oleh induksi arus bolak-balik kembali ke kumparan yang mengelilingi inti besi dan diinduksi lagi ke kumparan lainnya. Diproduksi dari lembaran baja berinsulasi tipis yang dimaksudkan untuk mengurangi arus eddy, arus yang mengalir pada inti besi akibat induksi medan magnet dimana arus tersebut menimbulkan rugi-rugi (PT. PLN Persero, 2014).



Gambar 2.4 Inti Besi Transformator

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

b. Kumparan Transformator

Belitan terdiri dari inti besi yang dikelilingi oleh batang tembaga berisolasi. Ketika arus bolak-balik mengalir melalui belitan tembaga, inti besi diinduksi dan fluks magnet dihasilkan (PT. PLN Persero, 2014).



Gambar 2.5 Kumparan Transformator

Sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

c. *Bushing*

Busing adalah sarana koneksi antara belitan dan jaringan eksternal. Busing terdiri dari konduktor yang dikelilingi oleh isolator. Isolator bertindak sebagai penyekat antara konduktor busing dan badan tangki utama trafo.



Gambar 2.6 Bushing Transformator

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

d. Pendingin

Suhu operasi transformator dipengaruhi oleh kualitas tegangan suplai, kerugian pada transformator itu sendiri, dan suhu sekitar. Temperatur operasi yang tinggi akan merusak kertas isolasi trafo. Pendinginan yang efektif karena itu diinginkan. Oli isolasi transformator tidak hanya berfungsi sebagai media isolasi, tetapi juga sebagai pendingin. Saat oli bersirkulasi, panas yang dihasilkan oleh belitan dipindahkan ke oli di sepanjang jalur sirkulasi oli dan didinginkan oleh sirip radiator. Proses pendinginan dapat dibantu oleh kipas dan pompa sirkulasi untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.



Gambar 2.7 Radiator Trafo

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2019

Tabel 2.1 Macam - macam Pendingin Pada Trafo

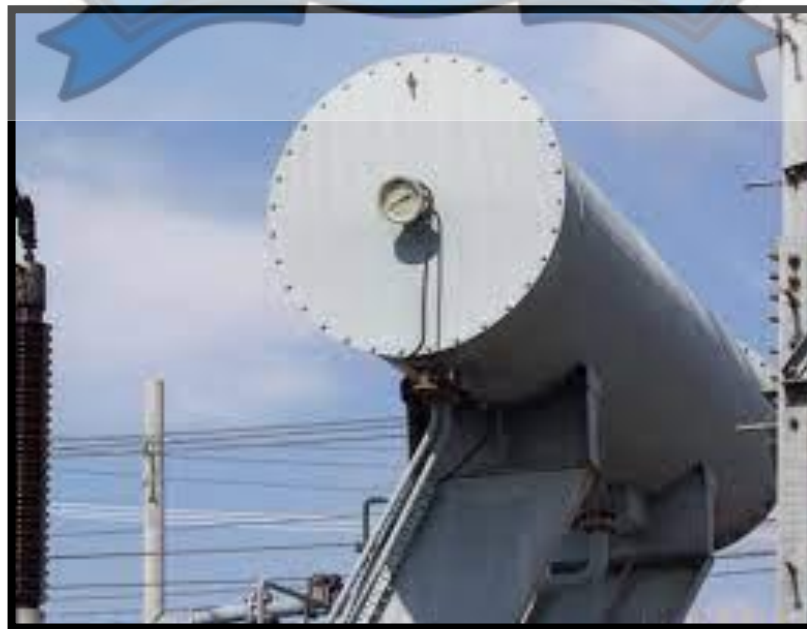
No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Didalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN			Udara	
2	AF				Udara
3	ONAN	Minyak		Udara	
4	ONAF	Minyak			Udara
5	OFAN		Minyak	Udara	
6	OFAF		Minyak		Udara
7	OFWF		Minyak		Air
8	ONAN/ONAF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

10	ONAN/OF AF	Kombinasi 3 dan 6
11	ONAN/OF WF	Kombinasi 3 dan 7

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

e. *Oil Preservation And Expansion* (Konservator)

Dengan meningkatnya suhu operasi transformator, minyak isolasi mengembang dan volumenya meningkat. Sebaliknya, saat suhu operasi turun, oli menyusut dan jumlah oli berkurang. Tangki ekspansi digunakan untuk menyimpan oli saat suhu trafo meningkat.



Gambar 2.8 Konservator

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

Saat volume oli di tangki ekspansi bertambah dan berkurang karena pemuaian dan penyusutan, volume udara di tangki ekspansi juga bertambah dan berkurang. Menambah atau mengurangi udara di konservator berkaitan dengan penggunaan udara luar. Untuk mencegah minyak isolasi trafo terkontaminasi oleh uap air dan oksigen dari luar (untuk konservator tanpa kantong karet), udara yang masuk ke konservator disaring dengan silika gel untuk meminimalkan kadar air.



Gambar 2.9 Silica Gel

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

Dalam mencegah agar minyak trafo tidak bersentuhan langsung dengan udara luar, maka konservator kini dirancang dengan breather bag/karet bag, sejenis bola karet yang ditempatkan di dalam tangki konservator.

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

Minyak isolasi pada trafo berperan sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan terhadap oksidasi. Minyak isolasi transformator adalah minyak mineral dan umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kelas: parafin, naftik, dan aromatik. Jangan mencampur ketiga minyak dasar karena sifat fisik dan kimianya tidak sinkron.



Gambar 2.10 Minyak Isolasi Transformator

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

Fungsi daripada isolasi kertas ini yaitu isolasi, pemberi jarak, memiliki kemampuan mekanis.



Gambar 2.11 Isolasi Kertas Transformator

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

g. Tap Changer

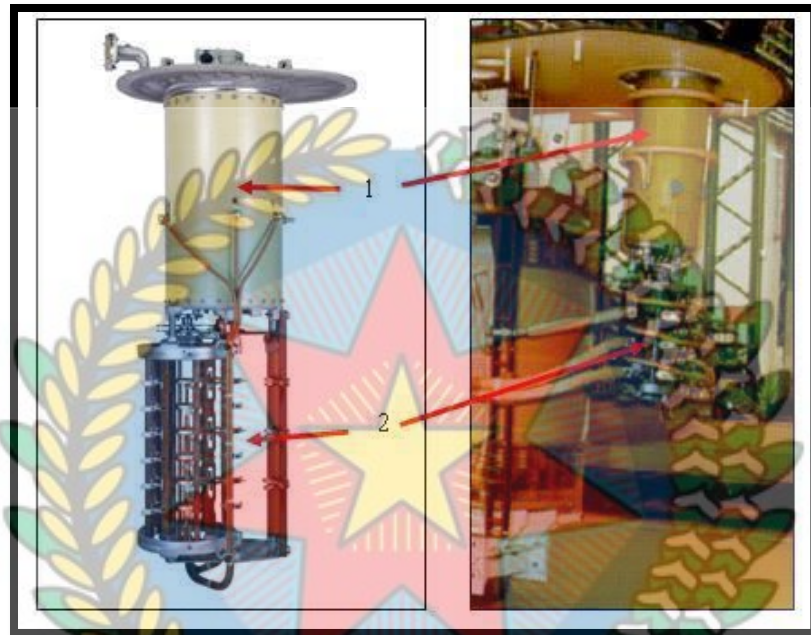
Stabilitas tegangan jaringan disebut kualitas tegangan. Magnitudo tegangan masukan tidak selalu sama, namun trafo membutuhkan nilai tegangan keluaran yang stabil. Dengan mengubah jumlah belitan yang diperlukan pada sisi utama, rasio belitan primer ke sekunder dapat diubah, memungkinkan tegangan output/sekunder disesuaikan dengan kebutuhan sistem secara independen dari tegangan input/primer. Penyesuaian rasio putaran ini disebut tap changer. Rasio belitan ini dapat diubah saat trafo dibebani (onload tap changer) atau saat trafo dibongkar (onload tap changer).

Tap changer ini terdiri dari :

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

Aktivitas *tap changer* lebih dinamis dibandingkan lilitan utama dan inti, sehingga ruang antara lilitan primer dan *tap changer* terpisah. Sakelar pergantian adalah sirkuit mekanis yang terdiri dari terminal yang memilih posisi tap dan rasio putaran primer. Sakelar pengalih adalah sirkuit mekanis yang digunakan untuk membuat atau memutuskan koneksi dengan kecepatan tinggi. Resistansi kontak adalah resistansi sementara yang dilalui arus utama saat keran berubah.

Dalam mengisolasinya dari badan transformator (ground) dan mengurangi panas selama proses transisi tap, OLTC biasanya direndam dalam minyak isolasi yang terpisah dari minyak isolasi primer transformator (chamber yang digabungkan dengan tangki utama). Realitas listrik, mekanik, kimia, dan termal terjadi pada transisi tap-to-oil, sehingga kualitas minyak isolasi OLTC menurun dengan cepat, tergantung pada beban kerja OLTC dan adanya anomali (PT. PLN Persero, 2014).



Gambar 2.12 OLTC pada Transformator

Sumber: Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

Keterangan :

1. Kompartemen *Diverter Switch*
2. *Selector Switch*

h. *Neutral Grounding Resistor (NGR)*

Salah satu metode pentanahan adalah metode pentanahan NGR. NGR adalah resistor yang dirangkai seri dengan netral sekunder trafo sebelum dihubungkan ke ground/pembumian. Tujuan pemasangan NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus

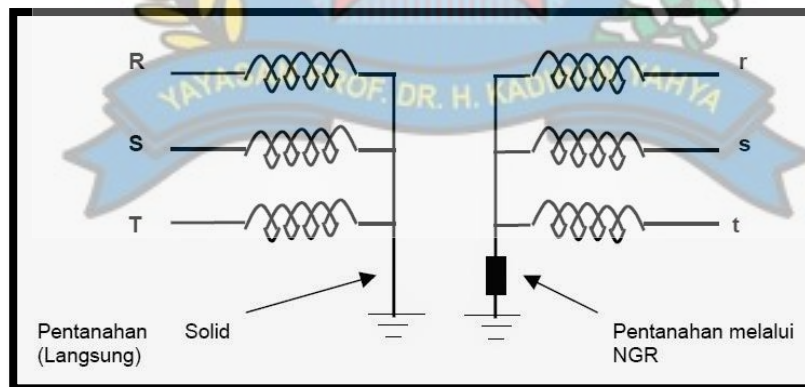
gangguan yang mengalir dari sisi netral ke bumi. Adapun jenis NGR yaitu *Liquid* dan *Solid* yang mana :

- *Liquid*

Artinya resistor menggunakan larutan air murni dalam wadah dan garam (NaCl) ditambahkan untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

- *Solid*

NGR padat, di sisi lain, terbuat dari baja tahan karat, FeCrAl, besi tuang, cupronickel atau nichrome, disetel sesuai dengan nilai resistansinya.



Gambar 2.13 Pentanahan Langsung dan NGR

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014

2.3 Transformator Arus

Trafo arus (CT) adalah suatu alat dalam sistem tenaga listrik berupa trafo yang digunakan untuk mengukur arus yang mencapai ratusan ampere dan mengalir melalui saluran listrik tegangan tinggi. Trafo arus digunakan tidak hanya untuk pengukuran arus, tetapi juga untuk pengukuran daya, dan telemeter serta relai proteksi juga memerlukan daya. Kumparan utama transformator arus dihubungkan secara seri dengan jaringan atau perangkat yang mengukur arus, dan kumparan sekunder dihubungkan ke meteran atau relai pelindung. Meter dan relai biasanya membutuhkan arus 1 atau 5A (PT. PLN Persero, 2014).



Gambar 2.14 Trafo Arus

Sumber : Penulis, 2022

CT sistem daya digunakan untuk tujuan pengukuran dan perlindungan. Perbedaan mendasar antara kedua aplikasi di atas adalah pada kurva magnetnya.



Gambar 2.15 Kurva kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi

Sumber : Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (PT. PLN), 2014

Untuk pengukuran, beberapa kelas jenuh hingga 120% dari arus pengenal, melindungi meteran jika terjadi gangguan. Untuk perlindungan, ada saturasi yang cukup tinggi hingga beberapa kali arus nominal.

2.3.1 Rasio Transformator Arus

Karena trafo arus dari relai proteksi diferensial dipasang pada sisi tegangan primer dan sekunder trafo, rasio trafo harus disesuaikan sehingga arus sekunder dari kedua trafo arus sama, atau setidaknya kira-kira sama untuk memilih. Hal ini karena jika terjadi perbedaan arus dan terjadi gangguan hubung singkat di luar kawasan lindung, maka perbedaan arus akan besar. Untuk menentukan rasio transformator arus, pertama-tama kita perlu menghitung arus nominal. Ini karena arus nominal membatasi pilihan rasio transformasi arus. Hitung arus pengenal menggunakan rumus :

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

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

I_{rat} = Arus *rating* (A)

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya pada transformator (MVA)

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

2.3.2 *Error Mismatch*

Error mismatch adalah kesalahan dalam membaca disparitas arus dan tegangan di sisi primer serta sekunder transformator serta pergeseran fasa pada trafo tersebut. Menghitung besarnya arus mismatch yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal menggunakan CT yang terdapat pada pasaran, menggunakan ketentuan error tak boleh melebihi 5 % asal rasio CT yang dipilih.

Untuk menghitung besarnya nilai *error mismatch* menggunakan rumus :

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

$$CT_1 (ideal) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Error Missmatch = \frac{CT Ideal}{CT Terpasang} \% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

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

V_1 : Tegangan dibagian sisi tinggi

V_2 : Tegangan dibagian sisi rendah

2.3.3 Arus Sekunder *Current Transformator* (CT)

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

:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4 Sistem Proteksi Pada Transformator

Proteksi menunjuk pada sistem kelistrikan dan berfungsi sebagai isolator, pemutus arus dan pemisah jika ada gangguan atau dalam keadaan tidak normal. Sistem proteksi pada sistem jaringan tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting, terutama pada saat terjadi ketidaknormalan secara tiba-tiba pada sistem, gangguan dan gangguan pada jaringan listrik dapat terjadi pada pembangkit, baik pada jaringan distribusi maupun transmisi, dan apabila terjadi gangguan, oleh karena itu tugas di sistem proteksi dapat mengidentifikasi gangguan lebih awal, diikuti oleh pemutus sirkuit pada bagian yang menerima gangguan lebih cepat lebih baik (Hazairin, 2004).

Relai proteksi pada suatu sistem proteksi merupakan komponen utama yang dapat mendeteksi atau menentukan jika terjadi gangguan pada sistem, relai proteksi juga dapat beroperasi secara otomatis dengan memberikan perintah atau memerintah pada pemutus tenaga (CB) melepaskan peralatan sebelum terjadi gangguan . terjadi.

Fungsi relai proteksi adalah :

- a. Mendistribusikan sinyal alarm atau pemutus sirkuit untuk tujuan mengisolasi kesalahan atau kondisi abnormal seperti kelebihan beban, tegangan berlebih, kenaikan suhu, korsleting, dan lain-lain.
- b. Menjatuhkan atau membuang peralatan yang tidak sesuai untuk menghindari kerusakan. Misalnya, perlindungan beban berlebih berperan dalam memastikan keamanan peralatan listrik dan mencegah kerusakan isolasi
- c. Membebaskan atau mengaktifkan peralatan yang terperangkap dengan cepat untuk mengurangi kerusakan terberat. Misalnya, jika mesin dilepaskan dengan cepat setelah hambatan terbentuk di koil, hanya beberapa belitan yang akan gagal. Namun, jika masalah tetap ada maka kemungkinan koil telah rusak dan perlu perbaikan total..
- d. Temukan kemungkinan konsekuensi atau konsekuensi dari masalah dengan peralatan yang tersumbat yang dapat menyebabkan masalah dengan peralatan lain yang berada di dalam sistem.
- e. Langsung membebaskan peralatan atau komponen yang macet untuk menjaga stabilitas sistem. Oleh karena itu, relai proteksi hanya berfungsi untuk mencegah kerusakan, mencegah kerusakan, dan mencegah penjalaran masalah pada sistem.

2.4.1 Persyaratan Sistem Proteksi

Dalam menjalankan fungsinya, sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

:

a. Keandalan (*Reliability*)

Relay reliabilitas dapat dihitung dengan menyamakan angka reliabilitas. Keandalan relai yang baik adalah dari 90% hingga 99%. Keandalan relai pengaman ditentukan dari tahap perancangan, pembuatan, beban, penggunaan dan pemeliharaan.

b. Selektivitas (*Selectivity*)

Dimana relay telah beroperasi untuk memproteksi peralatan atau bagian dari sistem yang didekatinya, maka relay juga harus selektif, yaitu ketika terjadi gangguan maka relay harus dapat membedakan sehingga dapat diklasifikasikan jauh dari gangguan dibandingkan dengan

c. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Relai harus memiliki sensitivitas tinggi minimal (kritis) seperti yang diharapkan. Relai harus dapat beroperasi segera setelah rintangan terbentuk lebih awal. Akibatnya, rintangan akan lebih mudah diatasi di awal acara. Ini memberikan keuntungan ketika kerusakan peralatan yang akan dilindungi rendah

d. Kecepatan kerja

Relai pengaman harus dapat bertindak cepat jika terjadi masalah seperti kebocoran isolasi karena masalah tegangan lebih, karena peralatan listrik yang dilindunginya dapat rusak. Di pembangkit besar atau terdistribusi, kecepatan operasi relai keselamatan sangat penting untuk menjaga stabilitas sistem terhadap kegagalan.

e. Ekonomis

Salah satu pertimbangan utama untuk persyaratan relai keselamatan adalah

masalah harga atau pembayaran. Karena biayanya yang tinggi, relai tidak digunakan dalam sistem tenaga. Keandalan relai, sensitivitas, selektivitas, dan persyaratan kecepatan pengoperasian tidak boleh menaikkan harga relai.

2.4.2 Perangkat Sistem Proteksi

Adapun peralatan proteksi terdiri dari :

- a. Relai pelindung adalah perangkat yang beroperasi secara elektromagnetik dan mengatur untuk masuk ke sirkuit listrik (sirkuit trip dan alarm) untuk memecahkan masalah.
- b. Pemutus arus (PMT) adalah alat yang dirancang untuk memutus arus gangguan rendah ke tinggi ketika terjadi gangguan sistem.
- c. Current Transformers (CT) dan Voltage Transformers (PT) berfungsi untuk mengukur arus dan tegangan serta memberikan isolasi antara kedua sisi tegangan yang sedang diukur atau proteksi dengan meteran atau alat pelindung.
- d. Catu daya DC (baterai) dengan demikian bertindak sebagai perangkat penyimpanan yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik.
- e. Fungsi pengkabelan untuk menghubungkan, mendistribusikan, atau mentransmisikan daya listrik ke komponen yang akan dilindungi.

2.5 Gangguan pada Transformator Daya

2.5.1 Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan yang terbatas pada zona terproteksi transformator, di luar transformator, atau pada lokasi CT yang aman. Kegagalan internal ini memiliki penyebab berikut:

- a. Bocornya minyak
- b. Kendala pada *Tap Changer*
- c. Ketidaktahanan terhadap arus gangguan
- d. Kendala pada *Bushing*
- e. Sistem pendingin yang bermasalah
- f. Terjadinya kegagalan isolasi

2.5.1.1 Incipient Fault

Kegagalan awal adalah interupsi yang terjadi pada proses yang lambat. Gangguan ini meningkat jika tidak dibatasi atau tidak dikenali (PT. PLN Persero, 2014). Ada beberapa jenis kegagalan jenis ini., yaitu :

- a. *Overheating*, gangguan ini dapat disebabkan oleh :
 - Ketidaksempurnaan pada sambungan
 - Kebocoran pada minyak
 - Penyumbatan aliran sistem pendingin.
 - Kipas sistem pendingin atau kegagalan pompa.
- b. *Over Fluxing*

Karena luapan biasanya terjadi ketika terjadi gangguan tegangan lebih atau

kurang tegangan, gangguan ini dapat menyebabkan tambahan kehilangan inti, pemanasan, dan kerusakan pada insulasi papan.

c. *Over Pressure.*

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh banyak faktor, antara lain:

- Akibat overheating sehingga gas terlepas.
- Interupsi arus hubung singkat pada belitan fase tunggal.
- Menyebabkan pelepasan gas sebagai akibat dari proses kimia.

2.5.1.2 *Active Fault*

Gangguan gangguan aktif adalah gangguan yang disebabkan oleh gangguan isolasi atau kegagalan komponen lain yang terjadi sangat cepat dan menyebabkan kerusakan yang sangat serius (PT. PLN Persero, 2014). Gangguan ini biasanya disebabkan oleh hubung singkat, gangguan inti, gangguan tangki, *flashover bushing*.

2.5.2 **Gangguan Eksternal**

Gangguan eksternal adalah gangguan yang terjadi di luar kawasan lindung transformator itu sendiri. Pada umumnya gangguan tersebut biasanya muncul pada jaringan dan mempengaruhi tahanan tersier transformator. Kegagalan ini biasanya:

- a. Kelebihan beban.
- b. Tegangan lebih akibat benturan.
- c. *Under-Frequency (UF)* yang disebabkan oleh gangguan dari sistem.
- d. Sirkuit pendek (SC) sistem eksternal.
- e. Hubungan pendek yang terjadi pada jaringan sekunder dan tersier

menyebabkan berkurangnya waktu operasi (SCF) transformator.

2.6 Relai Diferensial

Relai diferensial adalah relai yang berasal dari kata diferensial yang merupakan selisih atau selisih dan bekerja menurut hukum Kirchhoff. Artinya, ia bekerja dengan membandingkan besarnya arus masukan (I_p) dan besarnya arus keluaran (I_s) di dalam kawasan lindung. Relai diferensial digunakan dalam transformator daya untuk melindungi belitan transformator jika terjadi gangguan hubung singkat. Relai ini memberi tahu PMT untuk trip saat terjadi kesalahan. Jika transformator rusak, relai akan berfungsi jika ada perbedaan antara arus input dan arus keluaran dari transformator. Seperti halnya transformator daya, relai diferensial berfungsi sebagai pelindung utama dan dapat melindungi generator, busbar, dan saluran transmisi dari interferensi dan mencegah kerusakan fatal (PT. PLN Persero, 2014).



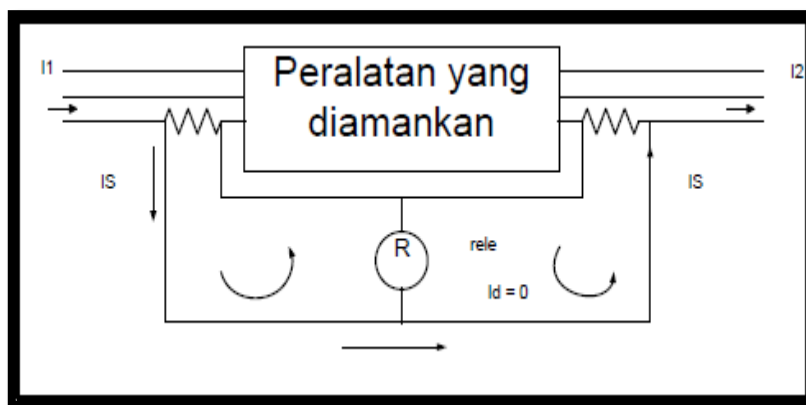
Gambar 2.16 Relai Diferensial

Sumber : Penulis, 2022

Jenis – jenis relai diferensial :

a. Relai Arus Diferensial

Relai arus sisa menggunakan besarnya arus input dan output dari peralatan yang dilindungi dan membandingkannya dalam rangkaian diferensial. Perbedaan arus digunakan untuk membandingkan setiap fase dan menggerakkan relai.

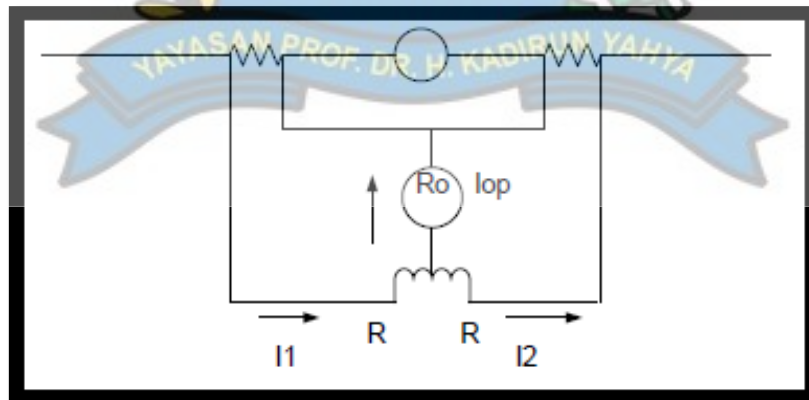


Gambar 2.17 Relai Arus Diferensial

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022

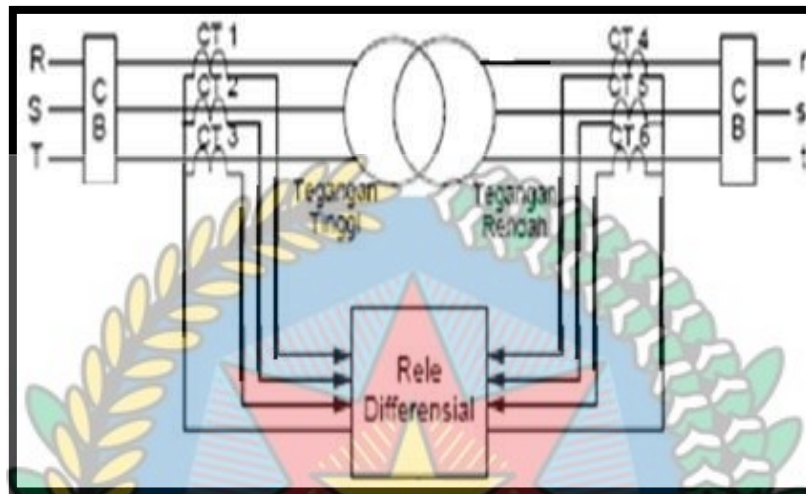
b. Relai Persentase Diferensial

Pengoperasian relai arus diferensial digambarkan memiliki karakteristik operasi yang hampir sama dengan relai arus diferensial, kecuali bahwa untuk relai diferensial persentase, rangkaian diferensial melewati kumparan penahan. Arus diferensial yang diperlukan untuk bekerja pada relai bervariasi. Dengan kata lain, pengaturan relai dimungkinkan. Karena kumparan kerja terhubung ke pusat kumparan penahan, arus diferensial melalui relai sebanding dengan $(I_1 - I_2)$ dan arus melalui kumparan penahan sebanding dengan $(I_1 + I_2)/2$.



Gambar 2.18 Relai Persentase Diferensial

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022



Gambar 2.19 Single Line Relai Diferensial

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022

2.6.1 Fungsi Relai Diferensial

Perlindungan relai diferensial adalah perlindungan paling penting untuk melindungi transformator daya. Fitur-fiturnya adalah:

- a. Melindungi trafo dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam trafo, termasuk hubung singkat koil ke koil atau koil ke tangki.
- b. Relai diferensial arus membandingkan arus yang mengalir melalui kawasan lindung.
- c. Relai ini harus beroperasi pada gangguan di dalam batas aman dan tidak boleh beroperasi pada kondisi normal atau gangguan di luar batas aman.
- d. Relai ini merupakan unit keamanan dan memiliki selektivitas mutlak..

2.6.2 Sifat Pengaman Relai Diferensial

Berikut merupakan sifat pengaman pada relai diferensial diantaranya :

- a. Sangat selektif dan seketika, tidak perlu berkoordinasi dengan relai lain.
- b. Di gunakan sebagai relay keamanan utama. Itu tidak dapat digunakan sebagai keamanan cadangan untuk bagian/area selanjutnya. Kawasan lindung dibatasi oleh sepasang transformator arus yang dilengkapi dengan relai diferensial.

2.6.3 Persyaratan Pada Relai Diferensial

Persyaratan relai diferensial adalah:

- a. Dua transformator arus yang digunakan harus memiliki rasio yang sama atau memiliki rasio sedemikian rupa sehingga kedua arus sekundernya sama.
- b. Karakteristik kedua transformator arus adalah sama.
- c. Polaritas kedua transformator arus sudah benar.

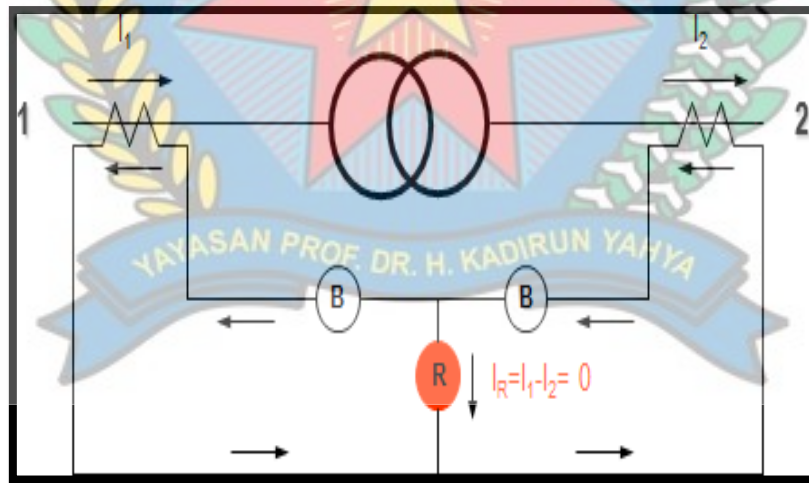
2.6.4 Prinsip Kerja Relai Diferensial

Prinsip kerja relai diferensial ini adalah membandingkan dua arus pada sisi primer dan sekunder sebuah transformator arus (CT) dengan arus yang masuk ke relai.

Pengoperasian relai diferensial ini dibantu oleh dua transformator arus (CT), biasanya transformator arus pertama dan transformator arus kedua sehingga arus di kedua transformator arus itu sama. Ini terjadi dalam tiga situasi. Yaitu, kasus normal dari kondisi keruntuhan di luar zona proteksi dan keruntuhan di dalam zona proteksi. dari.

a. Relai diferensial dalam keadaan normal

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang dilindungi, yaitu transformator daya, dan arus dari transformator arus, yaitu I_1 dan I_2 , bersirkulasi melalui "jalur" IA. Jika relai diferensial dipasang antara terminal 1 dan 2, tidak ada arus yang mengalir dalam kondisi normal a.

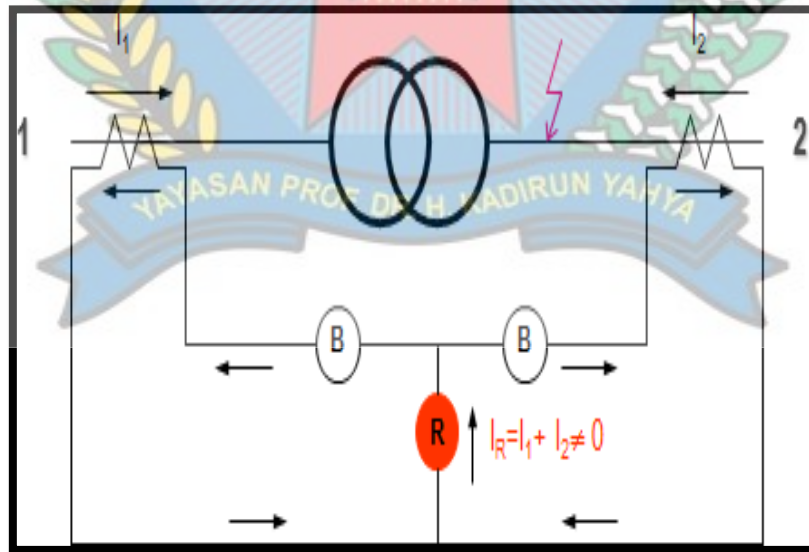


Gambar 2.20 Relai Diferensial Dalam Keadaan Normal

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022

b. Relai diferensial untuk gangguan di dalam kawasan lindung

Ketika perlindungan transformator daya yang dilindungi gagal (gangguan internal), arah aliran arus dibalik di satu sisi dan "keseimbangan" dalam kondisi normal hilang, dan arus I_d mengalir dari terminal 1 ke aliran relai diferensial ke Sambungan ke terminal 2 menciptakan perbedaan arus pada relai yang menyebabkan relai menggerakkan CB dan mati.

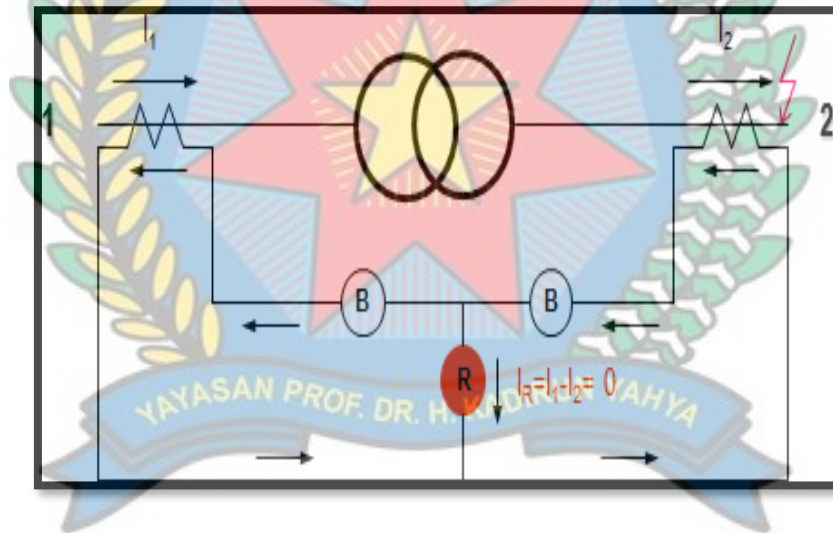


Gambar 2.21 Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022

c. Relai diferensial pada gangguan di luar daerah proteksi

Jika terjadi gangguan di luar transformator daya terproteksi (gangguan luar), arus yang ditarik akan meningkat, tetapi sirkulasi akan tetap sama seperti pada kondisi normal, sehingga relai diferensial tidak akan berfungsi.

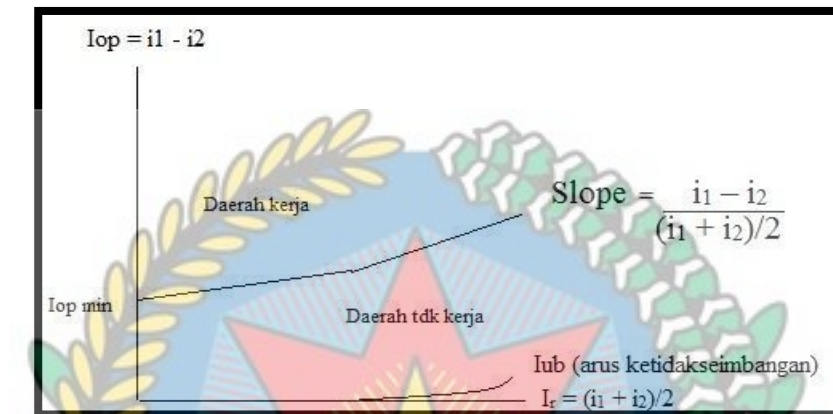


Gambar 2.22 Gangguan Di Luar Daerah Proteksi

Sumber : ISSN(Online) : 2686-6641, 2022

2.6.5 Karakteristik Relai Diferensial

Relai diferensial adalah relai dengan karakteristik operasi berdasarkan skala yang membandingkan arus sekunder dari transformator arus (CT) yang dipasang di terminal perangkat atau instalasi listrik yang dilindungi.



Gambar 2.23 Karakteristik Relai Diferensial

Sumber : <https://123dok.com/document>, 2022

2.6.6 Pemasangan Relai Diferensial

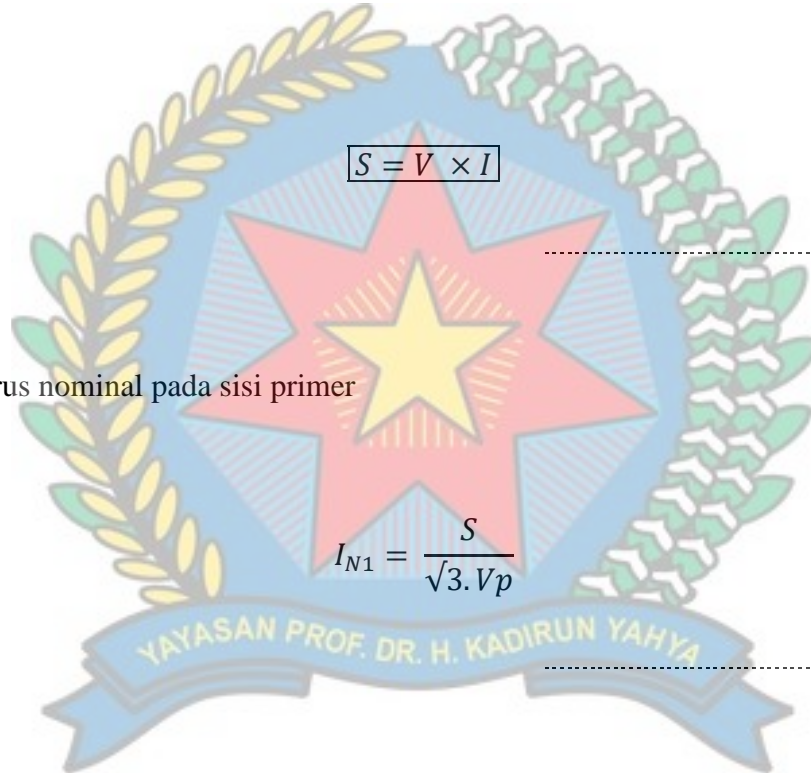
Saat memasang relai diferensial ke transformator daya, sering kali ada masalah dengan akurasi pemrosesan relai, dan sering terjadi kegagalan fungsi relai. Gangguan relai diferensial disebabkan oleh hubungan transformator daya sisi tinggi dan rendah, seringkali tidak sinkron, mengakibatkan arus yang tidak seimbang pada transformator.

Saat memasang relai diferensial pada transformator daya, sangat penting untuk mengetahui persyaratan relai diferensial, yaitu:

- a. Besarnya arus yang memasuki relai harus sama.
- b. Fase harus berlawanan.

2.6.7 Arus Nominal Primer Dan Sekunder

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



$$S = V \times I \quad (2.7)$$

- Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_p} \quad (2.8)$$

- Arus nominal pada sisi sekunder

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s} \quad (2.9)$$

Dimana :

I_{N1} = Arus nominal pada sisi primer

I_{N2} = Arus nominal pada sisi sekunder

S = Daya pada transformator daya

V_p = Tegangan pada sisi primer

V_s = Tegangan pada sisi sekunder

2.6.8 Setting Kerja Pemakaian Relai Diferensial

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

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0 \quad \text{.....(2.10)}$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5 \quad \text{.....(2.11)}$$

$$I_1 = I_2 \quad \text{.....(2.12)}$$

$$I_{\text{Masuk}} = I_{\text{Keluar}} \quad \text{.....(2.13)}$$

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

a. Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah. Rumus arus diferensial adalah :

$$I_d = I_2 - I_1 \quad \text{.....(2.14)}$$

Dimana :

I_d = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT_1

I_2 = Arus Sekunder CT_2

b. Perhitungan Arus *Restrain* (Penahan)

Arus penahan (*restrain*) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder transformator di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah dengan menjumlahkan arus yang keluar pada CT primer dengan arus yang keluar pada CT sekunder dan membaginya dengan dua

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

$I_r = \text{Arus Restrain (Penahan)}$

$I_1 = \text{Arus Sekunder CT}_1$

$I_2 = \text{Arus Sekunder CT}_2$

c. Perhitungan *Slope* (%)

Membagi arus diferensial dengan arus penahan (*restrain*) merupakan cara untuk memperoleh besar nilai *slope*. *Slope* 1 berfungsi sebagai memastikan bahwa apabila terjadi gangguan internal maka rele memiliki sensitifitas yang baik sehingga gangguannya relatif kecil dan memastikan bagaimana kondisi arus diferensial dan arus *restrain*. Sedangkan *slope* 2 berfungsi sebagai ketika nantinya terjadi gangguan pada luar daerah yang diamankan dengan nilai arus gangguan besar maka Rele Diferensial tidak beroperasi. Rumus yang digunakan untuk mencari % *Slope* 1, dan % *Slope* 2 yaitu:

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% \quad \text{.....(2.16)}$$

$$Slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100 \% \quad \text{.....(2.17)}$$

Dimana :

$Slope_1 = \text{Setting Kecuraman 1}$

$Slope_2 = \text{Setting Kecuraman 2}$

$I_r = \text{Arus Penahan (Restraining)}$

$I_d = \text{Arus Diferensial}$

d. Perhitungan Arus *Setting*

Arus *setting* dapat dihitung dengan cara mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* yang didapatkan, nantinya kan dilakukan perbandingan dengan arus diferensial, dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{set} = \% \text{ Slope} \times I_r \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$I_{set} = \text{Arus Setting}$

$\% \text{ Slope} = \text{Setting Kecuraman} (\%)$

$I_r = \text{Arus Penahan (Restraining)}$

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan memakai metode deskriptif. Penelitian kuantitatif artinya suatu metode penelitian yg spesifikasinya mencakup suatu struktur yang sistematis, berkala, jelas serta sempurna. Metode deskriptif merupakan metode yang dipergunakan untuk mendeskripsikan atau memberikan ilustrasi wacana objek penelitian melalui data atau sampel yg dikumpulkan tanpa rekayasa. Metode deskriptif bertujuan buat mendeskripsikan objek penelitian atau yang akan terjadi penelitian.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan pada tanggal 14 September – 30 September 2022 yang bertempat di PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu Induk Denai, Medan Denai, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

- a. 1 Unit Notebook atau Laptop

Merek : HP 14 Notebook PC

Processor : Intel (R) Core (TM) i3-3110M CPU @ 2.40GHz 4(CPU),
2.4GHz

Memory : 6144MB RAM

System Type : 64 bit Operating System

Fungsi : Sebagai alat untuk mencatat data – data yang diperoleh pada penelitian serta untuk penulisan tugas akhir

b. Flashdisk

Merek : Sandisk

Memory : 64 GB

Fungsi : Sebagai penyimpanan data file penting yang diperoleh dari tempat penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan Data Penelitian

a. Studi Literatur

Metode ini dilakukan supaya teori dalam pembahasan berkaitan satu sama lain sehingga bisa dipertanggung jawabkan

b. Studi Bimbingan

Metode ini dilakukan supaya dalam pembahasan dan pengambilan data terarah serta sinkron satu sama lain

c. Studi Wawancara

Metode ini dilakukan dengan mewawancarai langsung para tenaga ahli di tempat penelitian seperti Supervisor tentang yang berkaitan dengan materi penelitian tugas akhir.

d. Studi Lapangan

Dengan meninjau langsung ke lokasi untuk memperoleh data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

3.5 Data Penelitian

Adapun data penelitian yang diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini berasal dari PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu Induk Denai yaitu:

a. Spesifikasi Transformator Daya

Tabel 3.1 Data Trafo Daya 1 Gardu Induk Denai

Data Trafo Daya 1 Gardu Induk Denai	
Lokasi Penempatan	GI 150 KV DENAI BAY TRF#1 150/20kV
Merek Trafo	UNINDO
Type Trafo	N-Range
Nomor Seri Trafo	P060LEC676-02
Jenis Penempatan Trafo	OUTDOOR
Status Trafo Operasi/Tidak Operasi	OPERASI
Negara Pembuat	INDONESIA
Kapasitas Trafo (MVA)	60
Tegangan Operasi Trafo dalam kV	150
Tegangan Sekunder dalam kV	20
(Impedansi Trafo dalam %)	12,5
(Nilai Arus Nominal Sisi Primer)	230
(Nilai Arus Sisi Sekunder)	1732,1

Nilai Arus sisi Tertier)	-
(Nilai BIL trafo dalam kV)	650
(Trafo 1 Phasa atau Trafo 3 Phasa)	RST
(Standar dari Trafo sesuai Name Plate)	IEC 60076
(Vektor Belitan Trafo)	YNyn0(d11)
(Tahun PembuatanTrafo)	2011
(Tanggal Operasi Trafo)	01/06/2012
(Merek OLI Trafo)	NINAS
FUNLOC	TRS-3212-032.032-B0001
Equip No	TRS000000000015371
Maint Plant	3212

Sumber : Data GI Denai, 2022

b. Spesifikasi CT

Tabel 3.2 Data Trafo Arus CT

Data Trafo Arus CT	
Penempatan	GI 150 KV DENAI BAY TRF#1 150/20kV
Merek	AREVA
Type	OSKF 170
Serial ID	1109F1421 1107F1048 1109F1422
Status Operasi/ Tidak Operasi	OPERASI
Buatan	INDIA
Phasa	R,S,T
Pasangan	OUTDOOR
Kelas CT Pada Core 1,2,3,4,5	5P05
Arus Primer	800
Arus Sekunder	1
Tegangan Maksimum CT	170
Bill CT	750
Tegangan Operasi	150
Tahun Pembuatan	2011
Tanggal Operasi CT	01/01/2012

Keterangan	TRS-3212-032.032-B0001
FUNLOC	TRS-3212-032.032-B0001
Equip No	TRS0000000000015690 TRS0000000000015691 TRS0000000000015692
Maint Plant	3212

Sumber : Data GI Denai, 2022

c. Data Rasio CT

Tabel 3.3 Data Rasio CT

Data Rasio CT					
150 KV			20 KV		
Primer	/	Sekunder	Primer	/	Sekunder
300	/	1	2000	/	1

Sumber : Data GI Denai, 2022

d. Spesifikasi Alat Rele Diferensial

Tabel 3.4 Data Alat Rele Diferensial

Data Alat Rele Diferensial	
Merek	SCHNEIDER
Tipe	P632
Serial Number	31723114/02/11

Sumber : Data GI Denai, 2022

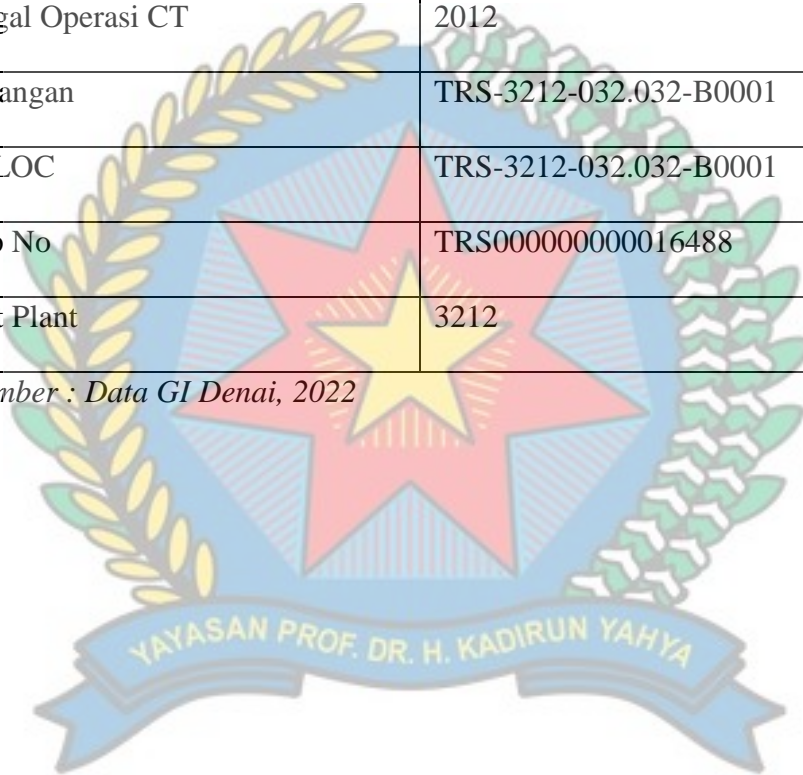
e. Spesifikasi PMT

Tabel 3.5 Data Pemutus Tenaga

Data PMT	
Penempatan	GI 150 KV DENAI BAY TRF#1 150/20kV
Merek	ALSTOM
Type	GL313F1P
Serial ID	9131-10-2040394/9
Jenis	THREE POLE
Phasa	R,S,T
Pasangan	OUTDOOR
Mekanik Penggerak	SPRING
Media Pemadam	SF6
Status Operasi/ Tidak Operasi	OPERASI
Buatan	GERMAN
Tegangan (kV)	150
Rating Arus (A)	3150
Arus Hubung Singkat yang ditahan PMT dalam kV	40
Rating Tegangan PMT	170

Bill PMT	750
Tahun Pembuatan	2011
Tanggal Operasi CT	2012
Keterangan	TRS-3212-032.032-B0001
FUNLOC	TRS-3212-032.032-B0001
Equip No	TRS000000000016488
Maint Plant	3212

Sumber : Data GI Denai, 2022

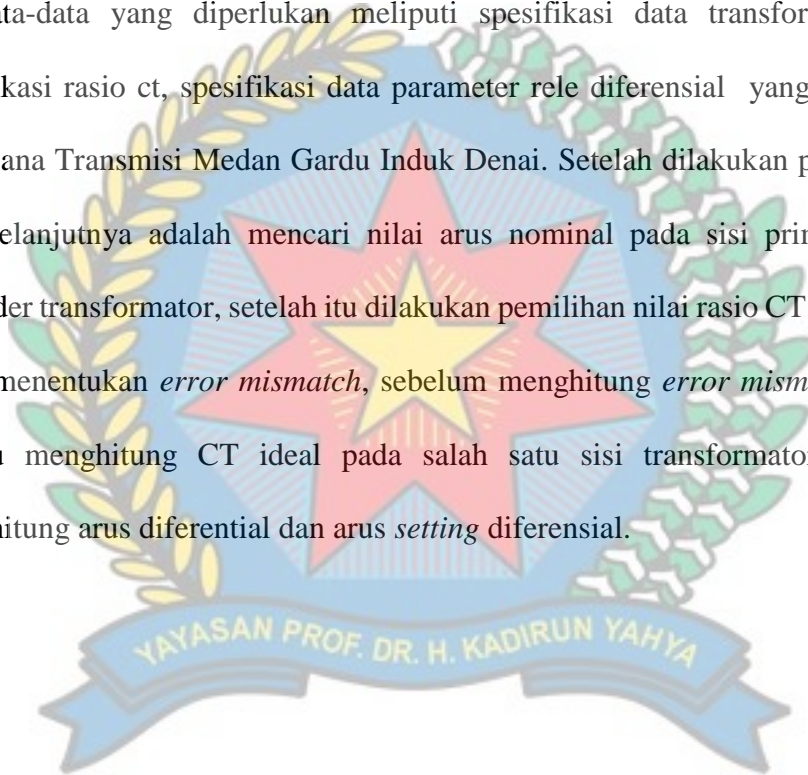


3.6 Prosedur Penelitian

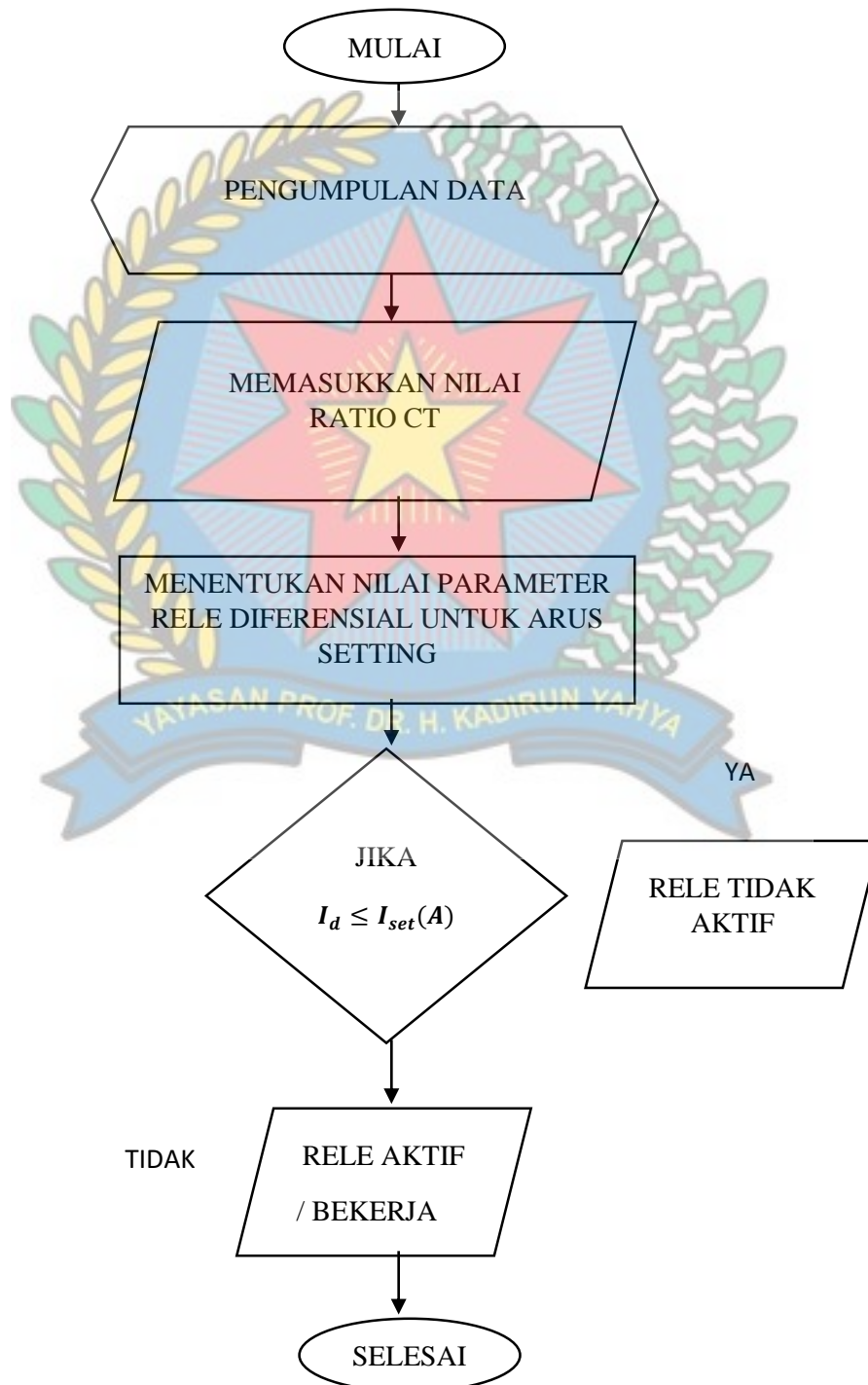
Prosedur penelitian ini menggunakan data sekunder yang di peroleh dari tempat penelitian. Pada tahapan awal menggunakan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman yang berkaitan dengan topik penelitian seperti halnya buku, jurnal, website di internet dan lain sebagainya. Kemudian melakukan observasi langsung ke tempat penelitian untuk mendapatkan data sekunder sesuai topik penelitian di

PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu Induk Denai, Medan Denai, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

Data-data yang diperlukan meliputi spesifikasi data transformator daya, spesifikasi rasio ct, spesifikasi data parameter rele diferensial yang ada di Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu Induk Denai. 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.



3.7 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

Sumber : Penulis, 2022

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian

4.1.1 Perhitungan Matematis

Perhitungan ini digunakan untuk mendapatkan nilai rasio ct pada trafo daya dengan menghitung nilai arus nominal dan arus rating terlebih dahulu, kemudian selanjutnya menghitung *error mismatch*, menghitung arus diferensial, menghitung arus *restrain*, menghitung arus *slope*, serta kemudian menghitung arus *setting* rele diferensial.

4.1.1.1 Perhitungan Rasio CT (Arus Rating)

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada tegangan tinggi dan tegangan rendah, sedangkan arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

- Arus nominal pada sisi tegangan primer 150 kV :

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

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

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

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

- Arus nominal pada sisi tegangan sekunder 20 kV :

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_S}$$

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

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

$$I_{N2} = 1.732,051 \text{ A}$$

- Arus rating 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 sisi tegangan sekunder 20 kV :

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

$$I_{rat} = 110 \% \times 1.732,051 \text{ A}$$

$$I_{rat} = 1.905,256 \text{ A}$$

Maka dari perhitungan ini kita mengetahui bahwa Arus nominal pada sisi tegangan primer 150 kV adalah 230,940 A dan Arus nominal pada sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 1.732,051 A. Kemudian arus rating sisi tegangan primer 150

kV adalah 254,034 A dan arus rating sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 1.905,256 A

Sesuai dengan perhitungan tersebut maka ratio CT yang terpasang pada sisi tegangan primer 150 kV adalah 300:1 A serta sisi pada tegangan sekunder 20 kV adalah 2000:1 A.

Berdasarkan uraian itulah maka arus yang mengalir pada sisi tegangan primer 300 A di CT akan terbaca 1 A. Ratio CT yang dipilih 300 A dan 2000 A karena ini sesuai dengan gardu induk denai.

4.1.1.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Kesalahan dalam membaca besarnya arus di sisi trafo tegangan tinggi dan tegangan rendah, pergeseran fasa pada transformator disebut dengan *error mismatch*. Dilakukan cara perbandingan antara rasio CT dengan CT yang biasanya di pasaran dengan ketentuan tergantung karakteristik kelas CT nya dalam menghitung nilai arus *mismatch*. Sebelum itu juga perlu didapatkan hasil perhitungan dari CT ideal agar nantinya *error mismatch* dapat dibandingkan.

- *Error Mismatch* sisi tegangan tinggi 150 kV :

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

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

$$CT_{1\text{ ideal}} = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$CT_{1\text{ Ideal}} = 2000 \times \frac{20}{150}$$

$$CT_{1\text{ Ideal}} = 2000 \times 0,133$$

$$CT_{1\text{ Ideal}} = 266,66 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{266,66 \text{ A}}{300 \text{ A}} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 0,888 \%$$

- *Error Mismatch* sisi tegangan rendah 20 kV :

$$CT_{2\text{ Ideal}} = 300 \times \frac{150}{20}$$

$$CT_{2\text{ Ideal}} = 300 \times 7,5$$

$$CT_{2\text{ Ideal}} = 2.250 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{2.250 \text{ A}}{2000 \text{ A}} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 1,125 \%$$

Dari hasil perhitungan matematis ini maka diperoleh nilai pada CT1 Ideal sebesar 266,66 A dan *Error Mismatch* sebesar 0,888% kemudian CT2 Ideal sebesar 2.250 A dan *Error Mismatch* sebesar 1,125 %. Maka didapatkan selisih antara trafo arus ideal dengan trafo arus terpasang pada sisi tegangan tinggi sebesar 33,34 A dan pada tegangan rendah sebesar 250 A.

4.1.1.3 Perhitungan Arus Sekunder pada CT

Arus sekunder CT merupakan arus terbaca oleh trafo arus (CT) yang mengalir pada Rele.

- Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 150 kV :

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

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

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

- Arus sekunder CT sisi tegangan rendah 20 kV :

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

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{2000} \times 1.732,051 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 0,8660255 \text{ A}$$

4.1.1.4 Perhitungan Nilai Arus Diferensial

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

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

$$I_{Diferensial} = 0,8660255 \text{ A} - 0,7698 \text{ A}$$

$$I_{Diferensial} = 0,0962255 \text{ A}$$

Dari perhitungan matematis ini selisih hasil nilai antara I sekunder CT sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah sebesar 0,0962255 A, maka nilai inilah yang menjadi pembanding terhadap arus *setting* rele diferensial dalam penerapannya.

4.1.1.5 Perhitungan Nilai Arus *Restrained* (Penahan)

Arus penahan (*restrain*) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder transformator di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah dengan menjumlahkan arus yang keluar pada CT primer dengan arus yang keluar pada CT sekunder dan membaginya dengan dua.

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

$$I_r = \frac{0,7698 \text{ A} + 0,8660255 \text{ A}}{2}$$

$$I_r = 0,81791275 \text{ A}$$

Maka arus *restrain* nya adalah 0,81791275 A .

4.1.1.6 Perhitungan % *Slope* (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 :

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

$$Slope_1 = \frac{0,0962255 \text{ A}}{0,81791275 \text{ A}} \times 100 \%$$

$$Slope_1 = 11,76 \%$$

- Menghitung Slope 2 :

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

$$Slope_2 = \left(\frac{0,0962255 \text{ A}}{0,81791275 \text{ A}} \times 2 \right) \times 100 \%$$

$$Slope_2 = 23,53 \%$$

Hasil perhitungan matematis untuk *slope* 1 yaitu 11,76 % dan *Slope* 2 yaitu 23,53 %

4.1.1.7 Perhitungan Nilai Arus *Setting* Matematis

Arus *setting* dapat dihitung dengan cara mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* yang didapatkan, nantinya akan dilakukan perbandingan dengan arus diferensial.

$$I_{set} = \% \text{ Slope} \times I_r$$

$$I_{set} = 11,76 \% \times 0,81791275 \text{ A}$$

$$I_{set} = 0,1176 \times 0,81791275 A$$

$$I_{set} = 0,0961865394 A$$

Hasil perhitungan matematis nilai arus *setting* tersebut adalah 0,0961865394 akan tetapi pada penyetelan rele diferensial dibuat *setting* arus sebesar 0,3 A pada trafo daya 1 gardu induk denai.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Prinsip Kerja dan Pengamanan yang dilakukan Rele Diferensial

Rele Diferensial merupakan rele yang diambil dari kata diferensial yang artinya perbedaan atau selisih, bekerja berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu dengan cara membandingkan jumlah arus yang masuk (I_p) dengan jumlah arus yang keluar (I_s) pada daerah yang diproteksi. Rele Diferensial digunakan untuk mengamankan belitan trafo bila terjadi gangguan hubung singkat. Rele ini akan memberikan instruksi pada PMT untuk melakukan *trip* ketika terjadi gangguan. Bila terjadi gangguan dalam transformator, Rele akan bekerja ketika timbul selisih perbedaan antara arus yang masuk dan keluar dari transformator. Rele Diferensial berfungsi sebagai proteksi utama yang dapat melindungi terhadap gangguan sehingga si Transformator dapat terhindar dari kerusakan yang fatal.

4.2.2 Menentukan Batas Arus Maksimal yang mengalir pada Trafo Sisi

Tegangan Rendah 20 kV sesuai Arus *Setting* pada Rele Diferensial

4.2.2.1 Perhitungan Matematis Gangguan Pada Trafo Daya 1

- Gangguan hubung singkat yang menyebabkan I_d menjadi 0,3 A sehingga rele diferensial bekerja pada arus *setting* 0,3 A

$$I_{\text{sekunder}ACT} = I_1 + I_d$$

$$I_{\text{sekunder}ACT} = 0,7698 \text{ A} + 0,3 = 1,0698 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}CT} = I_{\text{sekunder}ACT} \times I_2$$

$$I_{\text{sekunder}CT} = 1,0698 \times 0,8660255 = 0,9264740799 \text{ A}$$

$$I_N 20kV = I_{\text{sekunder}CT} \times CT_2$$

$$I_N 20kV = 0,9264740799 \times 2000 = 1.852,9481598 \text{ A}$$

Dari perhitungan matematis ini telah di dapat bahwa batas maksimum arus yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV adalah 1.852,9481598 A. Jadi ketika arus melewati batas tersebut maka rele akan bekerja dengan memberi sinyal ke PMT untuk memutus tenaga.

- Gangguan hubung singkat yang menyebabkan I_d menjadi 0,0961865394 sehingga rele diferensial bekerja pada arus *setting* matematis 0,0961865394 A

$$I_{\text{sekunder}ACT} = I_1 + I_d$$

$$I_{\text{sekunder}ACT} = 0,7698 \text{ A} + 0,0961865394 = 0,8659865394 \text{ A}$$

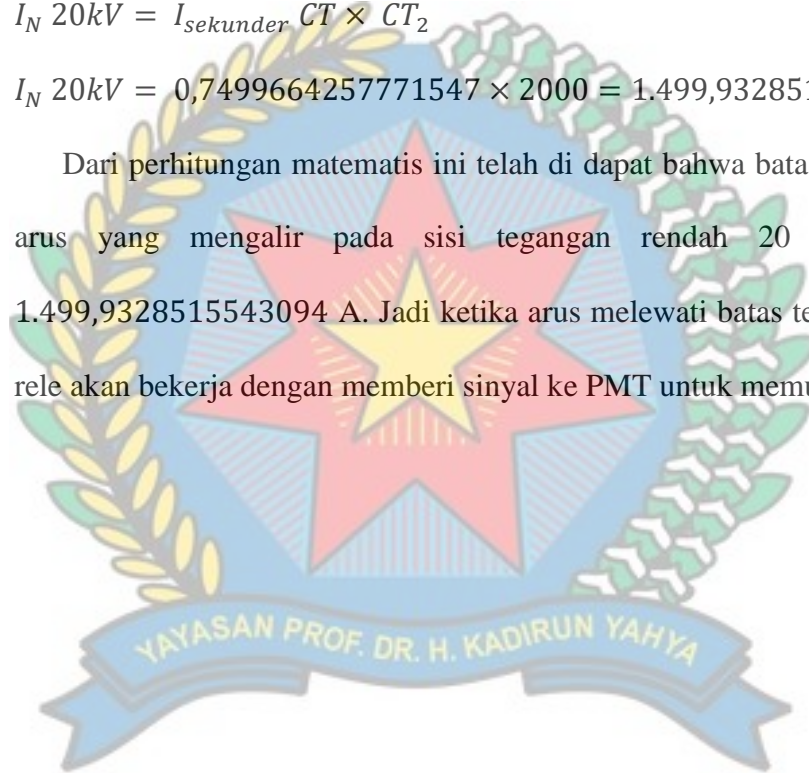
$$I_{\text{sekunder}CT} = I_{\text{sekunder}ACT} \times I_2$$

$$\begin{aligned} I_{\text{sekunder } CT} &= 0,8659865394 \times 0,8660255 \\ &= 0,7499664257771547 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_N \text{ 20kV} = I_{\text{sekunder } CT} \times CT_2$$

$$I_N \text{ 20kV} = 0,7499664257771547 \times 2000 = 1.499,9328515543094 \text{ A}$$

Dari perhitungan matematis ini telah di dapat bahwa batas maksimum arus yang mengalir pada sisi tegangan rendah 20 kV adalah 1.499,9328515543094 A. Jadi ketika arus melewati batas tersebut maka rele akan bekerja dengan memberi sinyal ke PMT untuk memutus tenaga.



Tabel 4.1 Hasil Hitung Rasio CT Sisi Tegangan Tinggi 150 kV

Hasil Data Perhitungan Matematis	
Arus Nominal	230,940 A
I rating	254,034 A
I sekunder CT	0,7698 A
CT 1 Ideal	266,66 A

Sumber : Penulis, 2022

Tabel 4.2 Hasil Hitung Rasio CT Sisi Tegangan Rendah 20 kV

Hasil Data Perhitungan Matematis	
Arus Nominal	1.732,051 A
I rating	1.905,256 A
I sekunder CT	0,8660255 A
CT 2 Ideal	2.250 A

Sumber : Penulis, 2022

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus Diferensial dan Arus Settingnya

Hasil Data Perhitungan Matematis	
Arus Diferensial	0,0962255 A
<i>I restrain</i>	0,81791275 A
<i>% Slope 1</i>	11,76 %

<i>% Slope 2</i>	23,53 %
<i>I Setting</i>	0,0961865394 A

Sumber : Penulis, 2022



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

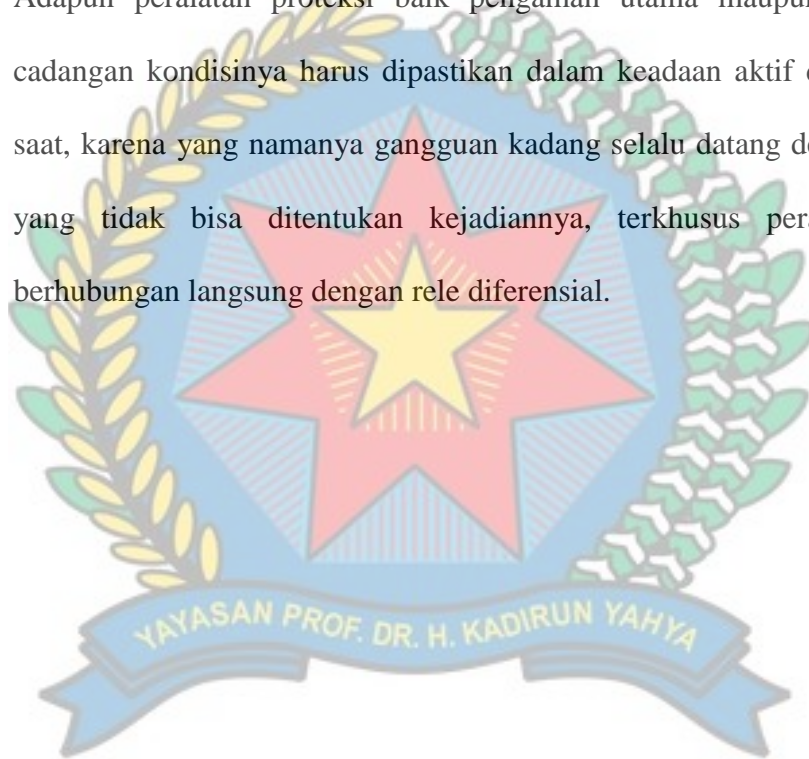
1. Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan vektor I_1 arus sisi primer dengan I_2 arus sisi sekunder. Ketika terjadi gangguan pada trafo daya dengan jumlah arus diferensial melebihi jumlah arus setting pada rele diferensial maka rele akan memberikan sinyal ke pada PMT untuk memutuskan tenaga sehingga trafo daya terhindar dari kerusakan, hal ini sesuai dengan hukum arus kirchoff yang berlaku “ Arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar pada titik tersebut”.
2. Adapun hasil perhitungan matematis arus setting terhadap arus diferensial yang didapatkan ini yaitu sebesar 0,0961865394 A dan ini berbeda dengan arus setting yang terpasang pada rele diferensial pada trafo daya 1 gardu induk yaitu 0,3 A. Dengan begitu, rele diferensial akan aktif ketika arus diferensial melewati arus setting yang telah ditetapkan pada rele harus melebihi 0,3 A.

5.2 Saran

1. Demi berlangsungnya keamanan dan kenyamanan untuk pemakaian jangka panjang pada trafo daya 1, ada baiknya selalu melakukan perawatan sesuai prosedur atau SOP. Karena hanya melakukan seperti itulah maka segala

peralatan akan terjaga dengan baik dan untuk memperpanjang umur pemakaian peralatan terkhusus pada trafo daya 1 gardu induk denai.

2. Adapun peralatan proteksi baik pengaman utama maupun pengaman cadangan kondisinya harus dipastikan dalam keadaan aktif dalam setiap saat, karena yang namanya gangguan kadang selalu datang dengan waktu yang tidak bisa ditentukan kejadiannya, terkhusus peralatan yang berhubungan langsung dengan rele diferensial.



DAFTAR PUSTAKA

- Deuria Keumala, Andik Bintoro, Salahuddin, Habib Muharry Yusdartono. (2021). Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Transformator 66 MVA Di PLTMG SUMBAGUT 2 Peaker Power Plant 250 MW. *Jurnal Energi Elektrik Volume 10 Nomor 01*. Lhokseumawe : Universitas Malikussaleh.
- Elvy Sahnur Nasution, Faisal Irsan Pasaribu, Yusniati, Muhammad Arfianda. (2018). Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. ISSN(Online) : 2686-6641.
- Hazairin. (2004). *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. UNSRI.
- Heri Budi Utomo, Muhammad Ilham R. (2021). Analisa Sistem Proteksi Rele Deferensial Pada Trafo 60 MVA Di Gardu Induk Bandung Utara Menggunakan Software Etap 12.6.0. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Jeckson, Amirudin Sattari, Hendra Widodo. (2021). Analisis Setting Arus Relai Differensial Pada Trafo II 30 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Vol. 3, No.1, Hlm.5-10*. Bandar Lampung : Universitas Muhammadiyah Lampung.
- Mahatir Muhammad, Erbin Barus, Jhonson Siburian. (2022). Sistem Koordinasi Pengaman Transformator Tenaga Pada Gardu Induk Pematang Siantar 150 KV. *Jurnal Teknologi Energi Uda, Vol 11, No. 1*. Medan : Universitas Darma Agung.

M. Munawir Lasiyono. (2021). Setting Relai Differensial Pada Transformator Daya 150 KV Gardu Induk Pondok Indah Menggunakan Protocol Communications Modbus. *Etnik: Jurnal Ekonomi - Teknik, Volume 1 Issue No 3, Pages 204*. Universitas Islam Indonesia.

PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta. Dokumen Nomor : PDM/PGI/01.

PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Arus*. Jakarta. Dokumen Nomor : PDM/PGI/02.

PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tegangan*. Jakarta. Dokumen Nomor : PDM/PGI/03.

PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga*. Jakarta. Dokumen Nomor : PDM/PGI/07.

PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta. Dokumen Nomor : PDM/PGI/15.

Subianto. (2016). Studi Sistem Proteksi Rele Diferensial Pada Transformator PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang. Universitas Palembang.

Teuku Rizki Firdausi, Margo Pujiantara, dan Vita Lystianingrum. (2020). Setting Differential Relay Transformer (87T) dengan Pertimbangan Vector Group pada PLTU Tenayan 2x110 MW. *Jurnal Teknik Its Vol. 9, No. 2*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Zulkarnaini, Fauza Hafni. (2021). Studi Analisa Rele Differensial Pada Proteksi Transformator 60 MVA Gardu Induk Pauh Limo. *Jurnal Teknik Elektro Vol. 9, No. 2*. Padang : Institut Teknologi Padang.