TUGAS AKHIR

ANALISIS KERJA RELE *OVERALL* DIFERENSIAL PADA GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PLTG PAYA PASIR PT. PLN PERSERO

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

IO ARISANDY
1507220059

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama	: Io Arisandy
NPM	: 1507220059
Program Studi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: ANALISIS KERJA RELE *OVERALL* DIFERENSIAL PADA GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PLTG PAYA PASIR PT. PLN PERSERO

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

Medan, 12 September 2019

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Penguji/ Pendamping I

(Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc)
Dosen Penguji I

Dosen Penguji / Pendamping II

(Muhammad Adam, S.T., M.T)
Dosen Penguji II

(Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T)

(Partaonan Harahap, S.T., M.T)

Program Studi Teknik Elektro
Ketua

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUM. UTARA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ELEKTRO

(Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Io Arisandy
Tempat /Tanggal Lahir	: Medan / 12 September 1997
NPM	: 1507220059
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

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

"ANALISIS KERJA RELE *OVERALL* DIFERENSIAL PADA GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PLTG 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 orisinil 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, 12 Oktober 2019

Saya yang menyatakan,

Io Arisandy

PT PLN (Persero)
UNIT INDUK PEMBANGKITAN SUMBAGUT
PLN UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN

Jl. P. Sicanang No. 1 Belawan - Medan 20416
Telepon : (061) 6941192, 6940559 (Hunting)
Facsimile : (061) 6941143
E-mail : contactplnsblw@pln.co.id
Website :

Nomor : 0089 /SDM.04.09/UPKBLW/2019 09 Juli 2019
Lampiran : Ada
Sifat : Biasa
Perihal : Permohonan Riset

Kepada :
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara
Jl. Kapten Muchtar Basri No 3, Medan

Sehubungan dengan dengan surat Saudara No 710/II.3-AU/UMSU-07/F/2019 perihal Pengambilan Data tanggal 19 Juni 2019, maka dengan ini disampaikan:

1. PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan bersedia menerima Mahasiswa atas nama:

   1. Io Arisandy **NPM 1507220059**

   Untuk melaksanakan Survey Tugas Akhir di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan pada tanggal 15 Juli 2019 sampai dengan 17 Juli 2019 di bawah bimbingan Manager ULPLTG Paya Pasir.

2. Siswa/i wajib membawa sendiri Alat Pelindung Diri (safety helmet, wearpack, dan safety shoes)

3. Siswa/i wajib mengikuti Standar Prosedur Pelaksanaan PKL di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan (terlampir)

Demikian disampaikan untuk dapat diketahui, atas perhatian diucapkan terima kasih.

MANAGER

PT PLN (Persero) UNIT INDUK PEMBANGKITAN SUMATERA BAGIAN UTARA UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN

SYAHMINAN SIREGAR

Tembusan :

- Manager Pengembangan SDM UIKSBU
- Manager ULPLTG Paya Pasir
- Knowledge Management

ABSTRAK

Sistem proteksi berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan pada saat terjadinya gangguan serta melokalisir 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 overall diferensial yang digunakan untuk melindungi generator dan transformator. Rele ini melindungi generator dan transformator dari gangguan-gangguan internal seperti hubung singkat antar fasa, hubung singkat dari fasa ke tanah, maupun hubung singkat antar belitan. Rele ini bekerja berdasarkan setting arus dan waktu operasi yang sudah ditentukan sehingga bisa bekerja dengan cepat dan tepat sasaran. Rele bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan keluar. Rele akan mendeteksi adanya gangguan dan memerintahkan pemutus tenaga (PMT) untuk membuka (trip). Sistem proteksi yang baik ditunjang oleh setting yang tepat pada rele diferensial guna mencegah terjadinya kegagalan proteksi dan meningkatkan kehandalan dari system. Penelitian ini bertujuan menganalisa kinerja rele overall diferensial dan mensetting rele overall diferensial pada generator dan transformator. Metode yang digunakan untuk menentukan setting rele diferensial yaitu dengan mencari data sekunder di PT PLN (PERSERO) dan mencari referensi jurnal yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

***Kata kunci** : Sistem Proteksi, Rele Diferensial, Rele Overall Diferensian dan Setting Rele*

ABSTRAK

The protection system serves to protect the equipment from damage in the event of interference and to localize interference so as not to expand. With a good protection system, then the unwanted loss can be avoided, especially on the vital equipment such as in the generator and transformer one of the tools that play a role in the protection system is a differential overalls protection rele Which is used to protect the generator and transformer. This rele protects the generators and transformers from internal disruptions such as short-phase interconnect, short-circuited phase-to-ground, or a short-circuited interlocation. This rele works based on the specified current and operating time settings so that it can work quickly and precisely the target. Rele works by comparing incoming and outgoing currents. The rele detects interference and orders a power breaker (PMT) to open (trip). A good protection system is supported by the appropriate settings on differential rele to prevent protection failures and improve the reliability of the system. This study aims to analyze the performance of the researches rele differential and setting rele differential overalls on the generator and transformer. The method used to determine differential rele setting is by looking for secondary data in PT PLN (PERSERO) and looking for a journal reference that corresponds to the research conducted.

***Keywords**: protection system, differential Rele, Rele Overall differentiation and Setting Rele.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawakan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali ke akhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **"ANALISIS KERJA RELE *OVERALL* DIFERENSIAL PADA GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PLTG PAYA PASIR PT. PLN PERSERO"**

Selesainya 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. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ayahanda (Muhammad Yusnan) dan ibunda (Yusnizar Nasution) tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan

membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.

3. Bapak Munawar Alfansury, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap, S.T,M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bpak Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang selalu sabar membimbing, memberikan arahan serta motivasi kepada penulis.
7. Bapak Muhammad Adam, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing II Skripsi yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
8. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu serta Keluarga Besar Teknik Elektro 2015 A1 PAGI yang selalu memberikan semangat, kebersamaan yang luar biasa.
10. Juga terima kasih kepada para pegawai Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu dari proses awal kuliah sampai saya menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancer.
11. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan 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

Medan, 17 September 2019

Penulis

IO ARISANDY
1507220059

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR x

BAB I 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 3

1.6. Metode Penulisan 4

1.7. Sistematika Penulisan 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan 6

2.2 Landasan Teori 12

2.2.1 PLTG 12

2.2.2 komponen utama PLTG 13

2.3 Kinerja PLTG 15

2.4 Proteksi generator dan transformator 17

2.4.1 Generator 17

2.4.2 Proteksi Generator 19

2.4.3 Arus rating. 22

2.4.4 Arus Sekunder CT 22

2.4.5 Arus Diferensial 23
2.4.6 Percent Slope (setting kecuraman) 23
2.4.7 Transformator 24
2.4.8 Proteksi Transformator 30
2.5 Relay Proteksi *Overall* Diferensial pada Transformator 31
2.5.1 Arus rating 33
2.5.2 Error mismatch 33
2.5.3 Arus sekunder CT 34
2.5.4 Arus diferensial. 34
2.5.5 Arus restrain (penahan) 35
2.5.6 Percent Slope (setting kecuraman). 35
2.5.7 Arus *setting* (Iset). 36
2.5.8 Fungsi Rele 36
2.5.9 Klasifikasi Rele. 37
2.5.10 Prinsip Kerja Relay Proteksi. 38
2.6 Relay *Overall* Diferensial Pada Generator dan Transformator 40
2.6.1 Prinsip Kerja Relay *overall* Diferensial Pada Gnerator dan transformator 41
2.6.2 Fungsi Rele *Overall* Diferensial Pada Generator dan Transformator 42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian 43
3.2. Peralatan Penelitian 43
3.3. Data Penelitian 43
3.4 Metode Penelitian 47
3.5 Teknik Analisa Data 48

3.6. Diagram Alir Penelitian 49

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Perhitungan..... 50

4.2 Perhitungan rasio CT..... 50

4.3 Error mismatch..... 52

4.4 Arus sekunder CT 53

4.5 Arus diferensial 53

4.6 Arus restrain (penahan) 54

4.7 Percent Slope (setting kecuraman)..... 55

4.8 Arus setting (Iset)..... 56

4.9 Gangguan pada transformator daya 57

4.10 Mensetting Rele Overall Diferensial Pada Generator..... 59

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 62

5.2. Saran..... 63

DAFTAR PUSTAKA..... 64

LAMPIRAN..... 65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data spesifikasi generator unit 7 44

Tabel 2. Data Transformator unit 7 45

Tabel 3. Data rele *overall* diferensial unit 7 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konstruksi sederhana sebuah generator 18

Gambar 2. Transformator 26

Gambar 3. kumparan Transformator 27

Gambar 4. Inti Besi 28

Gambar 5. Kondisi Gangguan Dalam Rele Diferensial 41

Gambar 6. Kondisi Gangguan Luar Rele Diferensial 42

Gambar 7. Diagram satu garis Generator dan Transformator 43

Gambar 8. Diagram Alir 49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit mempunyai dua proses penting yaitu proses perubahan sumber energi listrik dan proses perubahan tegangan menjadi tegangan lebih tinggi. Pada dua proses ini peralatan penting yang digunakan adalah generator dan transformator step-up. Oleh karena itu kedua peralatan ini harus dilindungi dengan baik oleh rele proteksi.

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, hubung singkat dari fasa ke tanah, maupun hubung singkat antar belitan. Rele ini bekerja berdasarkan setting arus dan waktu operasi yang sudah ditentukan sehingga bisa bekerja dengan cepat dan tepat sasaran. Selain itu, rele ini dilengkapi dengan penahan gangguan eksternal dan harmonisa agar tehindar dari salah kerja.

Karena pentingnya rele *overall* diferensial dalam mengamankan generator dan transformator, maka rele *overall* diferensial harus dapat diandalkan dari gangguan- gangguan yang mungkin timbul. Penggunaan rele *overall* differential mempunyai keunggulan dibandingkan jenis rele lain. Sehingga untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas pelayanan pengoperasian sistem pembangkit memerlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi untuk mencegah terjadinya gangguan yang menganggu 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.

Salah satu jenis rele diferensial adalah Rele *Overall* Differential. Penggunaan rele overall differential mempunyai keunggulan dibandingkan jenis rele diferensial lain. Ini dikarenakan rele *overall* differential mempunyai 3 input arus dari sisi generator, transformator generator dan trafo pemakaian sendiri. Rele ini mengamankan keseimbangan arus dari tiga sisi. Sehingga rele ini dapat mengamankan generator dan transformator secara langsung.

Berdasarkan uraian diatas maka judul tugas akhir ini akan membahas tentang "Analisis Kerja Rele *Overall* Differential pada Generator Dan Transformator PLTG Paya Pasir PT. PLN (Persero)" yang dilakukan untuk mengetahui prinsip kerja rele *overall* diferensial sebagai proteksi pada generator dan transformator, serta umtuk mengetahui settingan dari rele diferensial pada generator dan transformator dalam memproteksi gangguan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah penggunaan rele *overall* differential pada generator dan tansformator dalam memproteksi gangguan ?
2. Bagamanakah *setting* rele *overall* differential di generator dan transformator PLTG Paya Pasir PT. PLN (Persero).

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui penggunaan rele *overall* differential pada generator dan transformator dalam memproteksi gangguan.
2. Untuk mengetahui *setting* rele *overall* differential di generator dan transformator PLTG Paya Pasir PT. PLN (Persero).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah ini meliputi sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya menganalisa prinsip kerja rele *overall* diferensial dalam memproteksi gangguan pada generator dan transformator .
2. Pembahasan hanya menghitung *setting* rele *overall* diferential di generator PLTG Paya Pasir PT. PLN (Persero).

1.5 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberi manfaat,terutama bagi penulis :

1. Mengetahui kinerja sistem proteksi rele *overall* diferential dalam memproteksi gangguan pada generator dan transformator.

2. Mengetahui *setting* rele *overall* diferential di generator dan transformator PLTG Paya Pasir PT. PLN (Persero).

1.6 Metodologi Penelitian

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

1. Studi Literatur/Pustaka

   Pada tahapan ini dilakukan pedalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literature 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 di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

2. Riset

   Riset/Pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi bebagai 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 didalam penulisan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan Tugas Akhir, latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, manfaat penulisan, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus Tugas Akhir, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu komponen komponen utama PLTG,dan penyetinggan rele diferensial pada generator.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanaakannya penelitian, jenis penelitian, jadwal penelitian, serta jalannya penelitian.

BAB 4. ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai analisa data.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian kinerja proteksi rele diferensial dalm memproteksi gangguan serta penyetinggan reley diferensial pada generator.

BAB 2.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yakni :

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana keandalan sistem proteksi generator turbin uap di PT Pabrik Gula Camming di Kabupaten Bone terhadap arus pendek. Keandalan sistem perlindungan generator di Pabrik Gula Camming pada konfigurasi keandalan 1996 hingga 2003 adalah 1. Pada 2004 hingga 2007, reliabilitas serikonfigurasi 0.9994, konfigurasi paralel keandalan 1.0 dan konfigurasi cadangan 0.9995. Pada 2008 hingga 2011, keandalan konfigurasi seri dan paralel adalah 1, sedangkan konfigurasi cadangan adalah 0,9998 di 2012, konfigurasi reliabilitas seri adalah 0,9998, reliabilitas paralel, konfigurasi 0,0007 dan cadangan keandalan konfigurasi adalah 1. Ini menunjukkan keandalan sistem perlindungan generator di Camming Sugar Pabrik diklasifikasikan dengan sangat baik (Nurhani amin, 2012).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTGU) Tambak Lorok merupakan salah satu penyuplai terbesar tenaga listrik untuk area Jawa Tengah. Pada Tambak Lorok Blok 2, sejak pembangkit mulai dioperasikan hingga sekarang, belum pernah dilakukan evaluasi terhadap setting sistem proteksi generator dan trafo generator secara berkala. Untuk meningkatkan performa sistem proteksi maka dilakukan analisis koordinasi proteksi pada PLTGU Tambak Lorok Blok 2 pada generator dan trafo generator dengan software ETAP 12.6.0. Setelah dilakukan

analisis, diketahui bahwa setting rele diferensial generator, rele diferensial trafo, rele keseimbangan tegangan, rele daya balik, dan rele eksitasi lebih masih layak untuk digunakan. Pada rele *overall* diferensial selaku rele utama generator, nilai *input setting* tap 2 berubah dari 2.9 A, menjadi 4.2 A (Uffan yahdian, 2017).

PLTU Tanjung Jati B merupakan salah satu pembangkit terbesar di Jawa Tengah dengan kapasitas daya 4 x 721,8 MW. Sejak pembangkit mulai dioperasikan hingga sekarang, belum pernah dilakukan analisis maupun evaluasi terhadap setting sistem proteksi generator dan trafo step up. Untuk meningkatkan performa sistem proteksi ini maka akan dilakukan analisis setting dan koordinasi rele proteksi pada PLTU Tanjung Jati B Unit 1 khususnya rele proteksi pada generator dan trafo step up dengan bantuan software ETAP 12.6.0. Setelah dilakukan analisis ***setting*** dan koordinasi, pada ***setting*** rele diferensial, setelah dilakukan evaluasi nilai setting input tap 2,2 A menjadi 3,8 A untuk input 2 dan 3,2 A menjadi 5,5 A untuk input 3. Pada ***setting*** rele jarak, setelah dilakukan analisis dan evaluasi, nilai ***setting*** impedansi yang sebelumnya 14,04 Ω menjadi 20,44 Ω. Pada setting waktu tunda rele jarak,dilakukan evaluasi dari 0,3 detik menjadi 1 detik. Pada rele arus lebih trafo step up, sebelum dilakukan evaluasi menggunakan karakteristik instant dengan Iset 15 A, setelah dilakukan evaluasi, ditambahkan elemen invers dengan Time Dial (TD) sebesar 2 detik (Ari, 2015).

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. 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 rela 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 (Syahrial, 2013).

Pabrik memiliki dua peralatan penting yaitu generator dan transformator. Karena itu, harus dilindungi dengan baik oleh relay diferensial keseluruhan. Relay ini harus dapat diandalkan dari gangguan yang mungkin timbul. Dalam penelitian ini simulasi dilakukan untuk mendapatkan dan menguji keseluruhan pengaturan relai diferensial di unit generator 1 PLTA Ketenger. Pemodelan dilakukan dengan MATLAB Simulink 7.0.1 untuk memeriksa keseluruhan sistem perlindungan relai diferensial dari masalah potensial. Model itu diberi beberapa gangguan, yaitu :

1. Gangguan hubung singkat di area keamanan
2. Gangguan hubung singkat di luar area keamanan
3. Petir gangguan saat arester rusak.

Dari hasil simulasi, arus operasi diferensial diferensial keseluruhan adalah 1,73 A (primer sisi) dan 1,64 A (sisi sekunder). Hasil menunjukkan bahwa keseluruhan diferensial relai memberikan respons yang baik, kecuali dalam kilat kesalahan dengan arus di atas 9 x 109 A (terjadi ketidakcocokan). Untuk menangani masalah ini, arester lain harus ditambahkan (Hari prasetijo, 2010).

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 menganggu 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 (Wahyudin, 2017).

Pembangkit Listrik Tenaga Gas di PT Indonesia Power UBP Bali Unit Pesanggaran memiliki total daya terpasang sebesar 125.45 MW dan total daya mampu sebesar 107.5 MW. Salah satu contoh gangguan yang pernah terjadi di Pesanggaran yaitu gangguan yang menyebabkan arus lebih pada generator PLTG 3 terjadi trip (lepas). Analisa perhitungan setting relay over current relay dan ground fault relay pengaman generator PLTG. Untuk mensimulasikan gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan di pesanggaran menggunakan program ETAP. Hasil analisa ini menunjukkan perhitungan setting arus relay OCR generator PLTG 1 & 2 sebesar 35 A, PLTG 3 & 4 sebesar 37 A. Sedangkan perhitungan waktu tunda GFR generator PLTG 1 & 2 sebesar 1,37 detik, PLTG 3 & 4 sebesar 0,79 detik. Perhitungan waktu kerja OCR generator PLTG 1 & 2 sebesar 1,39 detik PLTG 3 & 4 sebesar 1,38 detik. Koordinasi antara relay OCR dan relay GFR terlihat dari jenis gangguan hubung singkat yang terjadi. Pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat antar fasa yang bekerja sebagai pengaman utama adalah relay OCR, sedangkan relay GFR tidak bekerja karena pada gangguan tersebut pada kawat netral tidak mengalir arus gangguan (M.suartika, 2015).

PLTGU Tambak Lorok terdiri dari blok 1 dan blok 2. Blok 1 sejak 2011 beroperasi sebagai pembangkit cadangan dan pada tahun 2015 akan diaktifkan kembali sebagai pembangkit yang menyuplai daya secara terus menerus ke sistem dengan mengganti bahan bakar menjadi gas, akan tetapi sejak 2011 hingga saat ini setting relay di Blok 1 belum dievaluasi. Untuk menghindari kesalahan kerja dari relay ini maka akan dilakukan evaluasi setting relay proteksi di PLTGU Tambak Lorok Blok 1 khususnya relay proteksi pada generator dan trafo generator dengan

menggunakan ETAP 12.6.0. Setelah dievaluasi, setting relay proteksi generator dan trafo generator masih layak untuk digunakan, kecuali relay arus lebih, relay urutan negatif dan *under frequency* relay yang mengalami perubahan dari nilai eksisting. Pada *setting* relay urutan negatif unit 4, setting I2 sebelum dilakukan evaluasi adalah 0,1813 A, sedangkan setting I2 setelah dilakukan evaluasi adalah 0,312 A. Pada *setting* relay arus lebih unit 1, 2, 3, *setting* TMS sebelum dilakukan evaluasi adalah 10 s, sedangkan setting TMS setelah dilakukan evaluasi adalah 1 s. Pada setting under frequency relay unit 4, setting Fpickup sebelum dilakukan evaluasi adalah 48,80 Hz, sedangkan setting Fpickup setelah dilakukan evaluasi adalah 49,49 Hz (Maria octavia fitrini, 2015).

Pembangkit memiliki dua peralatan penting yaitu Generator dan transformer. Oleh karena itu, harus dilindungi dengan baik oleh keseluruhan Relai diferensial. Relay ini harus dapat diandalkan dari gangguan yang mungkin timbul. Indikulasiasi penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan dan menguji pengaturan Relai diferensial keseluruhan pada unit Generator 1 PLTA Ketenger. Pemodelan dilakukan dengan MATLAB Simulink 7.0.1 untuk memeriksa sistem perlindungan Relai diferensial keseluruhan dari masalah potensial. Model ini diberi beberapa gangguan, yaitu 1) kesalahan sirkuit pendek di daerah keamanan, 2) kesalahan sirkuit pendek di luar area keamanan, dan 3) gangguan petir ketika rusak AR rester. Dari hasil simulasi, keseluruhan Relai diferensial operasi saat ini adalah 1,73 A (sisi utama) dan 1.64 A (sisi kedua) (Hari Prasetijo, 2014).

2.2 Landasan teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTG (Pembangkit listrik tenaga gas) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan gas untuk memutar turbin dan generator. Turbin dan generator adalah dua benda dengan satu poros yang sama. Jadi, jika turbin berputar, secara otomatis generator pu ikut berputar. Dan jika generator berputar, maka generator akan menghasilkan beda potensial pada medan magnetnya yang akan menghasilkan energi listrik. PLTG, secara prinsip hampir sama dengan PLTU. Hanya saja uapnya diganti dengan gas. Karena karakteristik uap dan gas secara umum berbeda, maka akan ada beberapa prinsip dasar yang berbeda antara turbin uap dan turbin gas. Selain itu, gas yang dipakai dalam PLTG bisa dibilang lebih mudah untuk disiapkan daripada uap, sehingga sebuah PLTG bisa mulai berproduksi dari keadaan “dingin” dalam hitungan menit, sebut saja sekitar 10 menit sampai 30 menit, jauh lebih cepat dari apa yang bisa dilakukan oleh sebuah PLTU.

Satu hal yang menarik pada PLTG adalah gas yang keluar dari turbin biasanya masih cukup panas. Cukup panas sehingga bila di sebelah PLTG ada sebuah PLTU, maka gas hasil proses di PLTG masih dapat digunakan untuk memanaskan boiler kepunyaan PLTU. Inilah kemudian yang dikenal dengan sebutan combine cycle, sebuah pembangkit yang terdiri dari komponen utama PLTG terdiri atas beberapa peralatan yang satu dengan yang lainnya terintegrasi sehingga menjadi satu unit lengkap yang dapat dioperasikan sebagaimana mestinya PLTG dan PLTU.

2.2.2 Komponen-Komponen PLTG

1. Kompresor Utama

Kompresor utama adalah kompesor aksial yang berguna untuk memasok udara bertekanan ke dalam ruang bakar yang sesuai dengan kebutuhan. Kapasitas kompresor harus cukup besar karena pasokan udara lebih (*excess air*) untuk turbin gas dapat mencapai 350 %. Disamping untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna, udara lebih ini digunakan untuk pendingin dan menurunkan suhu gas hasil pembakaran.

2. *Combustion Chamber*

Ruang Bakar (*Combustion Chamber*) adalah ruangan tempat proses terjadinya pembakaran. Energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi thermal pada proses pembakaran tersebut. Ada Turbin Gas yang memiliki satu atau dua *Combustion Chamber* yang letaknya terpisah dari casing turbin, akan tetapi yang lebih banyak di jumpai adalah memiliki *Combustion Chamber* dengan beberapa buah Combustor Basket, mengelilingi sisi masuk (*inlet*) turbin. Contohnya PLTG di PLTGU Gresik memiliki satu *Combustion Chamber* berisi 18 buah Combustor Basket, sedangkan PLTG Bali memiliki satu *Combustion Chamber* berisi 8 buah Combustor Basket yang terpasang jadi satu dengan casing turbin.

3. Turbin Gas (*gas turbine*)

Turbin berfungsi untuk mengubah energi thermal dari hasil pembakaran di dalam ruang bakar menjadi energi kinetik dalam sudu tetap kemudian menjadi energi mekanik dalam sudu jalan sehingga energi mekanik akan memutar poros turbin.

4. Saluran gas buang

Saluran gas buang adalah suatu bagian dari sistem turbine, dimana gas yang telah dipergunakan untuk memutar poros turbin dan kemudian dibuang pada atmosfer udara. Rangka saluran gas buang dipasang pada bagian *turbine shell* dan diperkuat dengan baut. Pada rangka ini terdapat silinder - silinder luar dan dalam. Pada bagian luar dan dalam terdapat diffuser, dimana aliran gas bekas menjadi radial.

4. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik putaran pada rotor yang terdapat kutub magnet, kemudian menjadi energi listrik pada kumparan stator.

5. Alat Bantu

a. Penggerak Mula (*Prime Mover*), yaitu Diesel, Starting Motor (*Cranking Motor*), Generator sebagai Motor, memutar poros turbin gas sampai kekuatan bahan bakar dapat menggantinya (turbin gas mampu berdiri sendiri). *Hydraulic Ratchet*, berfungsi memutar poros turbin sebelum start, sebanyak 45º setiap 3 menit, untuk memudahkan
b. pemutaran oleh penggerak mula dan meratakan pendinginan poros saat turbin gas *stop*.
c. *Turning Gear*, fungsinya sama seperti juga Ratchet, hanya poros diputar kontinyu dengan putaran lambat (± 6 RPM).
d. *Accessories Gear*, adalah tempat roda gigi untuk memutar alat-alat bantu seperti : pompa bahan bakar, pompa pelumas, pompa hidrolik, main atomizing *air compressor*, *water pump*, tempat hubungan Ratchet.

e. *Torque Converter*, sebagai kopling hidrolik, saat digunakan kopling diisi dengan minyak pelumas. Sedangkan saat dilepas, minyak pelumas di drain.

f. *Load Gear*, disebut juga *Reduction Gear* atau *Load Coupling* untuk mengurangi kecepatan turbin menjadi kecepatan yang dibutuhkan oleh Generator. *Load Gear Westinghouse* dimanfaatkan untuk penggerak pompa bahan bakar dan pelumas.

g. *Exciter*, yaitu peralatan yang berfungsi memberikan arus searah untuk penguatan kutub magnet Generator Utama.

h. *Starting Clutch*, disebut juga *Jaw Clutch*, sebagai kopling mekanik yang berfungsi menghubungkan poros Penggerak Mula dengan poros kompresor saat proses Start.

i. Bantalan (*Bearing*), terdiri dari bantalan aksial dan bantalan luncur. Bantalan luncur disebut juga disebut juga Journal Bearing, yang berfungsi sebagai penyangga berat poros turbin, kompresor dan generator. Sedangkan bantalan aksial disebut juga Thrust Bearing, berfungsi sebagai penahan gaya aksial.

2.3 Prinsip kerja PLTG

Pembangkitan adalah proses produksi tenaga listrik yang dilakukan dalam pusatpusat tenaga listrik atau sentral-sentral dengan menggunakan generator. PLTG adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin sebagai prime mover-nya dengan gas sebagai fluida kerjanya. Dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas , saluran gas buang , generator dan alat bantu. Seperti juga

PLTD, PLTG atau turbin gas merupakan mesin dengan proses pengoperasian dalam (*internal combustion*). Bahan bakar berupa minyak atau gas alam dibakar di dalam ruang pembakaran (*combustor*). Udara yang memasuki kompresor setelah mengalami tekanan bersama-sama dengan bahan bakar disemprotkan ke ruang pembakaran untuk melakukan proses pembakaran. Gas panas ini berfungsi sebagai fluida kerja yang memutar roda turbin bersudu yang terkopel dengan generator sinkron kemudian mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. PLTG merupakan mesin bebas getaran, tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi (bolak-balik). Temperatur turbin gas (900 - 1.300 °C) jauh lebih tinggi dari pada jenis turbin yang lain. Efesiensi konversi thermalnya mencapai 20%-30%. PLTG berfungsi memikul beban puncak karena membutuhkan bahan bakar yang sangat besar dengan biaya mahal (biaya investasi rendah tapi biaya operasi tinggi). Pada gambar-3 berikut, diperlihatkan konsep dasar pembangkitan dengan sistem PLTG. Udara masuk ke dalam kompressor untuk dinaikkan tekanannya menjadi kurang lebih 13 kg/cm2 kemudian udara tekan tersebut dialirkan menuju ruang bakar. Apabila digunakan BBG (Bahan Bakar Gas) maka gas dapat langsung dicampur dengan udara tekan tadi untuk dibakar. Tetapi bila digunakan BBM (Bahan Bakar Minyak), maka BBM tersebut harus dijadikan kabut terlebih dahulu baru dicampur dengan udara tekan untuk selanjutnya dibakar. Teknik mencampur bahan bakar dengan udara dalam ruang bakar sangat berpengaruh pada efisiensi pembakaran.

Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar menghasilkan gas bersuhu tinggi sampai kira-kira 900 - 1.300 oC dengan tekanan 13 kg/cm2 . Gas hasil pembakaran ini kemudian dialirkan menuju turbine untuk disemprotkan kepada

sudu-sudu turbine sehingga energi gas dikonversikan menjadi energi mekanik pada poros turbin. Energi mekanik pada poros digunakan untuk memutar generator yang pada akhirnya menghasilkan energi listrik. Karena pembakaran yang terjadi pada sistem turbin gas mencapai suhu 1.300 oC maka sudu-sudu turbin dan porosnya perlu didinginkan dengan udara atau hidrogen. Suhu yang tinggi inilah yang merupakan sebab utama timbul ke-ausan apabila unit PLTG di start-stop.

2.4. Proteksi Generator dan transformator

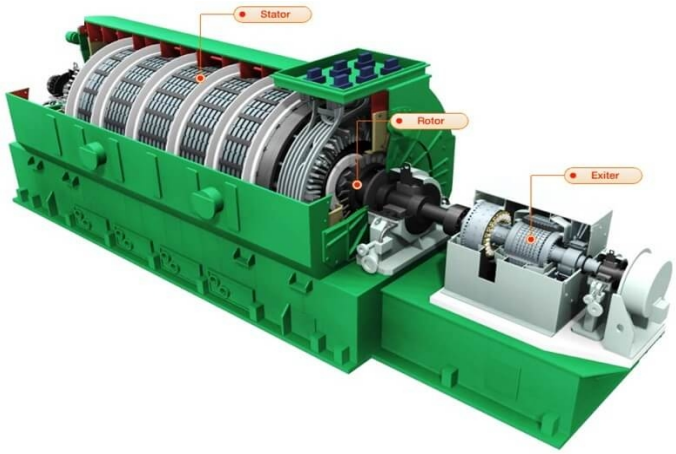
2.4.1 Generator

Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik . Jadi disini generator berfungsi untukmengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai prinsip kerja sebagai berikut:bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnit pada kutub magnit, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel/kawat yang ke dua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincincincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.

Bagian-bagian generator :

a. Rotor, adalah bagian yang berputar yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat-sikat.
b. Stator, adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-

bagian generator, kutub utama beserta belitannya, kutub-kutub pembantu beserta belitannya, bantalan-bantalan poros.



Gambar 1. Konstruksi sederhana sebuah generator (Sunil, 2017).

Macam generator berdasarkan tegangan yang dibangkitkan generator dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Generator Arus Bolak-Balik (AC) Generator arus bolak-balik yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan out put) berupa tegangan bolak-balik.
b. Generator Arus Searah (DC) Generator arus searah yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan out put).berupa tegangan searah, karena didalamnya terdapat sistem penyearahan yang dilakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda.

Berdasarkan sistem pembangkitannya generator AC dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Generator 1 fasa Generator yang dimana dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung

kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu lagi dengan huruf U.

b. Generator 3 fasa Generator yang dimana dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Jadi pada statornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z.

2.4.2 Proteksi Generator

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatanperalatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron. Dengan kata lain sistem proteksi itu bermanfaat untuk:

1. Menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
2. Cepat melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan, menjadi sekecil mungkin.
3. Dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
4. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif, yaitu :

a. Selektivitas dan diskriminasi Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja.
b. Stabilitas Sifat yang tetap inoperatif apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan luar).
c. Kecepatan Operasi Semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kemungkinan kerusakan pada peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagianbagian yang terganggu sebelum generatorgenerator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem.
d. Sensitivitas (kepekaan). Yaitu besarnya arus gangguan agar alat bekerja. Harga ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai presentase dari arus sekunder (trafo arus).
e. Pertimbangan ekonomis Proteksi relative mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital. Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (*back up*).
f. Realiabilitas (kendalan) Sifat ini jelas, penyebab utama dari “outage” rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (*mal operation*).

g. Proteksi pendukung Proteksi pendukung (*back up*) merupakan susunan yang spenuhnya terpisah dan bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu apabila proteksi utama tidak bekerja. Sistem pendukung ini sedapat mungkin independen seperti halnya proteksi utama, memiliki trafo-trafo dan rele-rele tersendiri.

Secara umum, komponen-komponen sistem proteksi terdiri dari:

1. Trafo instrumen (*instrument transformer*) Berupa trafo arus (*current transformer*/CT) dan trafo tegangan (*potential transformer*/PT). Trafo arus berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada sistem tenaga kemudian mentransfer ke arus yang cukup kecil sehingga bisa dipakai sebagai masukan Relai atau alat ukur. Dengan adanya trafo arus maka gangguan arus lebih dapat dideteksi.
2. Relai (*Relay*) Merupakan peralatan pengambil keputusan dalam sistem proteksi. Dengan melihat masukan dari trafo instrumen dan mempertimbangkan setting yang diterapkan pada relai tersebut, maka relai dapat mengambil keputusan untuk memberi order trip atau tidak kepada peralatan pemutus (PMT).
3. Pemutus Tenaga (*Circuit breaker*) Adalah peralatan untuk memutuskan rangkaian sistem tenaga dalam keadaan berbeban maupun mengalami gangguan.
4. Suplai arus searah (DC *supply*) Berupa baterai yang berfungsi untuk memberi suplai kepada relai dan rangkaian kontrol / proteksi.

5. Pengawatan (*Wiring*) Keseluruhan peralatan proteksi tersebut diatas harus dirangkai sehingga merupakan suatu sistem yang disebut *Fault Clearing System* (FCS).

2.4.3 Arus rating

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus rating. Arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT. Perhitungan arus rating menggunakan rumus :

$$I_{rating} = I_{nominal} \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana:

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3}x\ V} \quad \text{.....(2.2)}$$

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (KV).

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah).

2.4.4 Arus sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang di keluarkan CT.

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_n \quad \text{.....(2.3)}$$

2.4.5 Arus diferensial

Arus diferensial merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.

Rumus untuk menentukan arus diferensial yaitu :

$$I_{dif} = I2 - I1 \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana:

I_{dif} = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT_1

I_2 = Arus Sekunder CT_2

2.4.6 Percent Slope (setting kecuraman)

Slope didapat dengan cara membagi antara arus diferensial dengan arus restrain. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus restrain pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, sedangkan slope 2 berguna supaya rele diferensial tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi.

Rumus yang digunakan untuk mencari % slope 1 dan % slope 2 yaitu :

$$Slope_1 = \frac{Id}{Ir} \times 100\% \quad \text{.....(2.5)}$$

$$Slope_2 = (\frac{Id}{Ir} \times 2) \times 100\% \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana :

$Slope_1$: setting kecuraman 1

$Slope_2$: setting kecuraman 2

Id : Arus Diferensial (A)

Ir : Arus Restrain (A)

2.4.7. Transformator

GI atau GITET adalah merupakan kumpulan peralatan listrik tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi yang mempunyai fungsi dan kegunaan dari masing-masing peralatan yang satu sama lain saling terkait sehingga penyaluran energi dapat terlaksana dengan baik. Salah satu peralatan yang utama yang terdapat di gardu induk yaitu transformator.

Transformator atau lebih dikenal dengan nama “transformer” atau “trafo” sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan yang satu ke level tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Tranformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (kumparan primer) dan kumparan yang lain mensuplai listrik ke beban (kumparan sekunder).

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui

kumparan, sehingga fluks magnet yang timbulkan akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (mutual inductance). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder. Bagian utama transformator adalah dua buah kumparan yang keduanya dililitkan pada sebuah inti besi lunak. Kedua kumparan tersebut memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC disebut kumparan primer, sedangkan kumparan yang lain disebut kumparan sekunder.

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC (dialiri arus listrik AC), besi lunak akan menjadi elektromagnet. Karena arus yang mengalir tersebut adalah arus AC, garis-garis gaya elektromagnet selalu berubah ubah. Oleh karena itu, garis-garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan sekunder juga berubah-ubah. Perubahan garis gaya itu menimbulkan GGL induksi pada kumparan sekunder. Hal itu menyebabkan pada kumparan sekunder mengalir arus AC (arus induksi).

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolakbalik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Gambar 2. Transformator

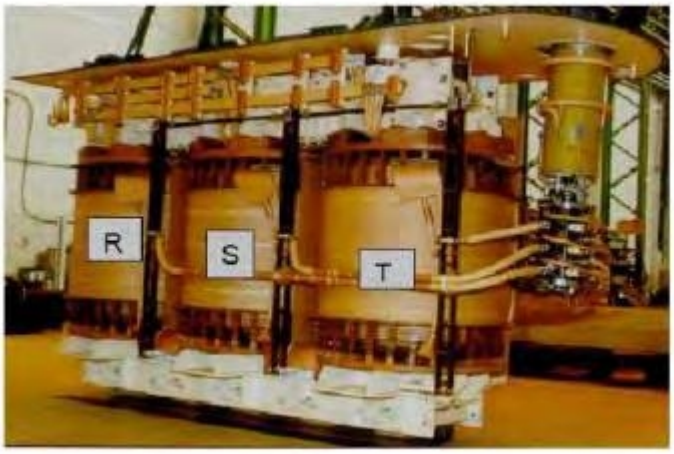
Tranformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumpuran sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolakbalik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Komponen transformator terdiri dari dua bagian, yaitu peralatan utama dan peralatan bantu. Peralatan utama transformator terdiri dari:

1. Kumparan trafo

terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (karton, pertinax, dll) untuk mengisolasi baik terhadap inti besi maupun

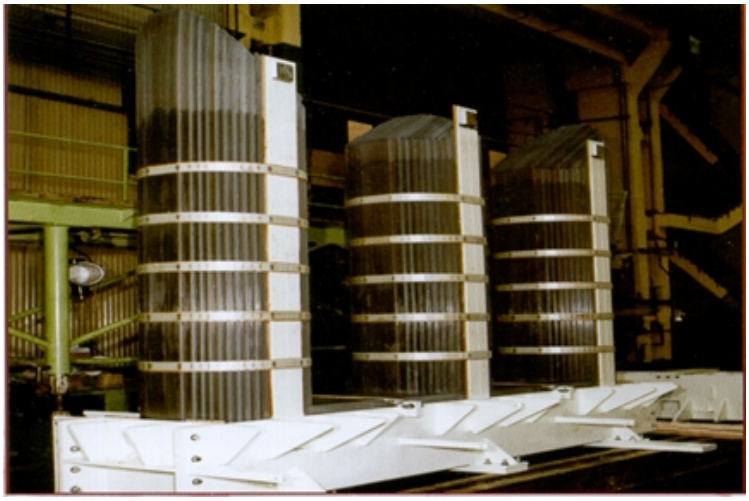
kumparan lain. . Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo sebagai media pendingin. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder.Kadang kala transformator memiliki kumparan tertier. Kumparan tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan delta. Kumparan tertier sering juga untuk dipergunakan penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt.



Gambar 3. kumparan Transformator

2.inti Besi,

Dibuat dari lempengan-lempengan feromagnetik tipis yang berguna untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini juga diberi isolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy “Eddy Current”.



Gambar 4. Inti Besi

3.Minyak Trafo

Berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Minyak trafo mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Pada power transformator, terutama yang berkapasitas besar, kumparan-kumparan dan inti besi transformator direndam dalam minyak-trafo. Syarat suatu cairan bisa dijadikan sebagai minyak trafo adalah sebagai berikut:

1. Ketahanan isolasi harus tinggi (>10kV/mm).
2. Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.
6. Sifat kimia yang stabil

4.Bushing

Sebuah konduktor (porselin) yang menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. Bushing diselubungi dengan suatu isolator dan berfungsi sebagai konduktor tersebut dengan tangki transformator. Selain itu juga bushing juga berfungsi sebagai pengaman hubung singkat antara kawat yang bertegangan dengan tangki trafo.

5.Tangki Dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo ditempatkan di dalam tangki baja. Tangki trafo-trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (cooling fin) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

Peralatan Bantu

Adapun peralatan bantu transformator terdiri dari:

1. Peralatan Pendingin : pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa: udara/gas, minyak dan air.
2. Tap Changer: yaitu suatu alat yang berfungsi untuk merubah kedudukan tap (sadapan) dengan maksud mendapatkan tegangan keluaran yang stabil walaupun beban berubah-ubah. Tap changer selalu diletakkan pada posisi

tegangan tinggi dari trafo pada posisi tegangan tinggi. Tap changer dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (on-load) atau dalam keadaan tak berbeban (off load), tergantung jenisnya.

3. Peralatan Proteksi: peralatan yang mengamankan trafo terhadap bahaya fisis, elektris maupun kimiawi.

2.4.8. Proteksi Transformator

Rele pengaman atau sistem proteksi adalah susunan piranti, baik elektronik, magnetic maupun mekanik yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada peralatan listrik yang membahayakan atau tidak diinginkan. Jika bahaya itu muncul maka rele pengaman akan secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (circuit breaker) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal.

Tujuan daripada proteksi atau pengaman pada sistem tenaga listrik adalah :

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat terjadinya gangguan (kondisi yang tidak normal)
2. Untuk melokalisir atau memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu ke dalam wilayah yang sekecil mungkin.
3. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan yang tinggi dan mutu listrik yang baik.
4. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Syarat terpenting dari sistem proteksi adalah :

a. Sensitivity
b. Realibility
c. Selektif

d. Cepat

e. Ekonomis

Transformator tenaga adalah alat untuk mengkonversi nilai tegangan dan arus listrik ke nilai tegangan dan arus listik yang berbeda secara magnetik. Seperti halnya perlatan listrik yang lain pada transformator diperlukan peralatan pengaman yang dapat membebaskan tegangan pada trafo dari gangguan internal maupun ekstrenal.

Tujuan pengamanan trafo adalah :

1. Menghindari kerusakan pada trafo bila terjadi kegagalan alat pengaman jaringan beban trafo saat terjadi gangguan hubung singkat.
2. Menghindari atau menekan sekecil mungkin kerusakan trafo akibat gangguan.
3. Menjaga stabilitas atau kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

2.5. Rele proteksi *overall* diferensial pada transformator

Sistem proteksi/pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relay pengaman saja tetapi juga *Current Transformer* (CT).pada relay pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relay pengaman dan pemutus tenaga PMT yang akan menerima perintah akhir dari relay pengaman. Gangguan pada pusat pembangkit listrik dapat terjadi kapan saja, untuk itu diperlukan 31ystem proteksi, yang berfungsi selain mengamankan peralatan pada pusat pembangkit juga untuk melokalisir dampak dari gangguan. Alat pendeteksi gangguan adalah rele, yang selanjutnya memberi perintah kepada trip coil untuk membuka pemutus tenaga (PMT).

Salah satu rele proteksi yang digunakan untuk pengaman pada transformator ini adalah rele *overall* diferensial. Prinsip kerja rele overall diferensial berdasarkan Hukum Kirchoff, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut, Titik yang dimaksud pada proteksi rele diferensial adalah daerah pengamanan, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus, Rele diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar. Ketika terjadi perbedaan maka rele akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (trip) apabila terjadi perbedaan. Perbedaan di sini adalah perbedaan nilai arus dan perbedaan besar fasa (stabilitas arus). Rele ini lebih efektif untuk menangani gangguan internal transformator. Pada gangguan di luar daerah pengamanan, trafo tidak akan bekerja karena arus masukan dan keluaran sama besar walaupun melebihi arus dari nominal trafo daya.

Rele *overall* diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain, sehingga kerja rele ini memerlukan waktu yang cepat. Berbeda dengan sifat rele yang lain, rele ini bersifat sangat selektif. Sifat selektif yang dimaksud adalah rele diferensial tidak akan bekerja pada saat normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Rele ini juga tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan dan rele ini memiliki daerah pengamanan yang dibatasi oleh trafo arus (CT).

Perhitungan matematis berupa perhitungan arus nominal dan arus rating untuk menentukan rasio CT terpasang pada trafo daya tersebut. Kemudian menghitung besar error mismatch dan menghitung parameter rele berupa arus

diferensial, arus restrain (penahan), arus slope dan arus setting rele diferensial. Setelah itu akan dilakukan perhitungan arus yang di keluarkan CT pada saat gangguan dan pengarung terhadap rele diferensial.

2.5.1 Arus rating

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus rating. Arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

Perhitungan arus rating menggunakan rumus :

$$I_{rating} = I_{nominal} \quad \text{.....(2.7)}$$

Dimana:

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3x}\,V} \quad \text{.....(2.8)}$$

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (KV).

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah).

2.5.2. 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. Perhitungan besarnya mismatch menggunakan rumus :

$$Error\ Mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana :

$$\frac{CT\ 2}{CT\ 1} = \frac{V1}{V2} \quad \text{.....(2.10)}$$

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V_1 = tegangan sisi tinggi

V_2 = tegangan sisi rendah

2.5.3 Arus sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang di keluarkan CT.

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_n \quad \text{.....(2.11)}$$

2.5.4 Arus diferensial

Arus diferensial merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.

Rumus untuk menentukan arus diferensial yaitu :

$$I_{dif} = I2 - I1 \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana:

I_{dif} = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT_1

I_2 = Arus Sekunder CT_2

2.5.5 Arus restrain (penahan)

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

Rumus yang digunakan untuk menghitung arus restrain yaitu :

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \text{.....(2.13)}$$

Dimana:

Ir = Arus penahan (A)

I_1 = Arus sekunder CT1 (A)

I_2 = Arus sekunder CT2 (A)

2.5.6 Percent Slope (setting kecuraman)

Slope didapat dengan cara membagi antara arus diferensial dengan arus restrain. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus restrain pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, sedangkan slope 2 berguna supaya rele diferensial tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi.

Rumus yang digunakan untuk mencari % slope 1 dan % slope 2 yaitu :

$$Slope_1 = \frac{Id}{Ir} \times 100\% \quad \text{.....(2.14)}$$

$$Slope_2 = \left(\frac{Id}{Ir} \times 2\right) \times 100\% \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

$Slope_1$: setting kecuraman 1

$Slope_2$: setting kecuraman 2

Id : Arus Diferensial (A)

Ir : Arus Restrain (A)

2.5.7 Arus *setting* (Iset)

Arus *setting* didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Arus *setting* inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial.

Rumus matematis Isetting :

$$I_{set} = \%slope \times I_{restrain} \quad \text{.....(2.16)}$$

Dimana :

I_{set} : Arus Setting

% slope : Setting Kecuraman (%)

2.5.8 Fungsi Rele

Relay proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Tugas relay proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal relay hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan.

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

a) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya 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 mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik, dalam sistem tenaga listrik terbagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminimum mungkin.

2.5.9 Klasifikasi Rele

Berasal dari teknik telegrafi, dimana sebuah coil di-energize oleh arus lemah, dan coil ini menarik armature untuk menutup kontak. Rele merupakan jantung dari proteksi sistem TL, dan telah berkembang menjadi peralatan yang rumit. Rele dibedakan dalam dua kelompok :

1. Komparator : Mendeteksi dan mengukur kondisi abnormal, dan membuka/ menutup kontak (trip).
2. Auxiliary relays : dirancang untuk dipakai di auxiliary circuit yang dikontrol oleh rele komparator, dan membuka/menutup kontak-kontak lain (yang umumnya berarus kuat).

Klasifikasi Rele berdasarkan fungsinya yaitu:

a. Overcurrent relay Rele ini berfungsi mendeteksi kelebihan arus yang mengalir pada zona proteksinya.

b. Differential relay Rele ini bekerja dengan membandingkan arus sekunder transformator arus (CT) yang terpasang pada terminal-terminal peralatan listrik dan rele ini aktif jika terdapat perbedaan pada arus sirkulasi.
c. Directional relay Rele ini berfungsi mengidentifikasi perbedaan fasa antara arus yang satu degan yang lain atau perbedaanfasa antar tegangan. Rele ini dapat membedakan apakah gangguan yang terjadi berada di belakang (reverse fault) atau di depan (forward fault).
d. Distance relay Rele ini berfungsi membaca impedansi yang dilakukan dengan cara mengukur arus dan tegangan pada suatu zona apakah sesuai atau tidak dengan batas setting-nya.
e. Ground fault relay Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan ke tanah atau lebih tepatnya mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

2.5.10 Prinsip Kerja Relay Proteksi

Berdasarkan prinsip kerja rele proteksi :

1. Tipe Elektromekanis
2. Tarikan magnit :
    a. Tipe Plunger

Jika kumparan diberi arus melebihi nilai pick-upnya, maka plunger akan bergerak keatas dan terjadi penutupan kontak. Gaya yang ditimbulkan sebanding dengan kwadrat arus pada kumparan.

Rele ini mempunyai waktu kerja yang cepat, sehingga banyak digunakan sebagai rele instantaneous.

b. Tipe Hinged Armature (Kedudukan Engsel)

Jika kumparan diberi arus maka lengan akan tertatik sehingga ujung lengan yang lain akan menggerakkan kontak. Gaya elektromagnetik juga sebanding dengan kwadrat arus kumparan.

Tipe ini banyak digunakan sebagai rele bantu, karena dapat mempunyai kontak yang banyak dan kontaknya mempunyai kapasitas pemutusan arus yang lebih besar

c. Tipe Tuas Seimbang (Balance Beam)

Tipe ini terdiri dari dua kumparan yitu kumparan kerja dan penahan dalam keadaan seimbang, dimana gaya pegas diabaikan maka I1/I2 = K (konstant). Bila I1/I2 lebih besar dari K maka rele akan menutup kontak.

Jika I1/I2 lebih kecil dari K maka rele akan membuka kontak. Tipe ini banyak digunakan sebagai rele differential dan rele jarak.

3. Induksi :

a. Tipe Shaded Pole Induction Disk (kutub cakram induksi)

Terjadi beda sudut fasa antara flux 2 dengan flux 1, kedua flux ini akan menginduksikan arus pusar pada piringan. Interaksi antara kedua flux tersebut akan menimbulkan torsi dan menggerakkan piringan, karena kontak gerak dipasang pada poros maka kontak akan menutup.

b. Tipe Wattmetrik (KWH)

Interaksi antara flux U dan terhadap flux yang diperoleh dari arus pusar yang diinduksikan pada piringan akan menggerakkan piringan untuk berputar. Putaran ini akan menutup kontak. Umumnya karakteristik tunda waktunya adalah invers.

c. Tipe Mangkok (Cup)

Prinsipnya sama seperti motor induksi terdapat rotor aluminium berbentuk silinder yang ditengahnya inti magnetik sehimngga silinder tersebut dapat berputar. Pada silinder dipasang kontak gerak dan dapat menutup kontak kekiri atau kekanan

4. Tipe Thermis
5. Tipe gas : relai buccholz
6. Tipe Tekanan : pressure relay
7. Tipe Statik (Elektronik)
8. Rele berbasis processor

2.6 Rele *Overall* Diferensial Pada Generator Dan Transformator

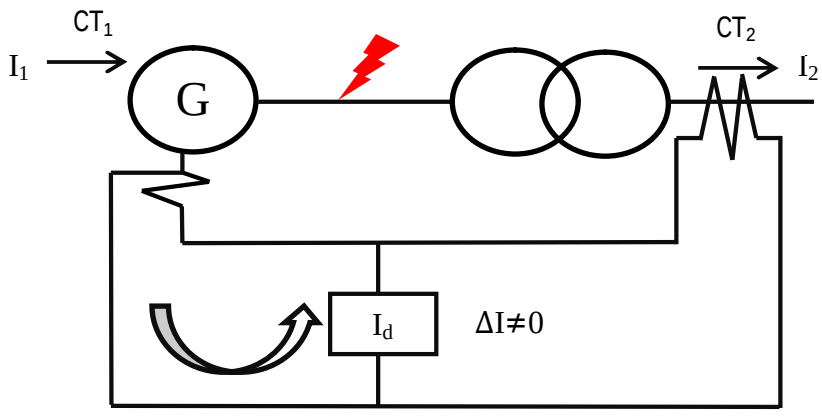
Relai diferensial digunakan untuk mengamankan generator dari kerusakan akibat adanya gangguan internal pada kumparan stator. Dua unit transformator arus (CT) masing-masing dipasang pada kedua sisi kumparan generator, Sekunder CT terhubung bintang yang ujung-ujungnya dihubungkan melalui kawat-kawat pilot. Pada kondisi normal dan tidak ada gangguan internal, besarnya arus kedua sisi kumparan sama, sehingga arus yang mengalir pada sisi-sisi sekunder CT juga sama. Hal ini menyebabkan tidak ada arus yang mengalir pada relai. Pada saat terjadi gangguan pada kumparan generator, mungkin fase dengan fase atau fase dengan ground, maka arus yang mengalir pada kedua sisi kumparan akan berbeda, sehingga ada arus yang mengalir pada relai. Relai bekerja menarik kontak sehingga kumparan triping mendapat tenaga dari catudaya searah yang selanjutnya akan menarik kontak pemutus tenaga untuk memutuskan hubungan generator dengan system.

2.6.1 Prinsip Kerja Relay *Overall* Diferensial Pada Generator Dan Transformator

Rele diferensial untuk melindungi generator dan Transformator dari gangguan akibat hubung singkat (*short circuit*) antar fasa-fase atau fase ke tanah. Prinsip kerja relay differensial adalah dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder, Dalam kondisi normal jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diproteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi di daerah kerja. Jika terjadi gangguan didalam daerah kerja relay differensial, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan relay akan memberi perintah kepada PMT/CB untuk memutuskan arus.

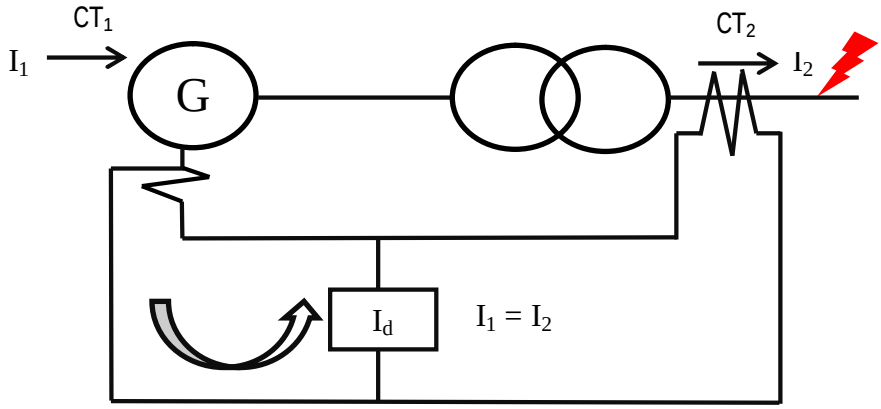
Cara kerja rele *overall* diferensial :

1) Jika terjadi gangguan dalam daerah pengamanannya: Jika rele *overall* diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamannya maka rele diferensial harus bekerja, pada saat CT1 mengalir arus I1 maka pada CT2 tidak ada arus yang mengalir (I2=0). Disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT2 tidak ada arus yang mengalir, maka di sisi sekunder CT2 tidak ada arus yang mengalir (i2=0) yang mengakibatkan i1≠i2 (ΔI≠0) sehingga rele diferensial bekerja.



Gambar 5. Kondisi Gangguan Dalam Rele Diferensial

2) Jika terjadi gangguan luar daerah pengamanannya: Apabila terjadi gangguan luar daerah pengamanannya maka rele diferensial tidak bekerja, pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus I1 dan I2, dengan adanya rasio CT1 dan CT2 yang sedemikian, maka besar arus yang mengalir pada sekunder CT1 dan CT2 yang menuju rele besarnya sama (i1=i2) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada rele sehingga rele tidak bekerja.



Gambar 6. Kondisi Gangguan Luar Rele Diferensial

2.6.2 Fungsi Rele *Overall* Diferensial Pada Generator Dan Transformator

Relai diferensial pada Generator dan Transformator Berfungsi untuk mengamankan generator Dan Transformator dari kerusakan akibat adanya gangguan internal pada kumparan stator. Dua unit transformator arus (CT) masing-masing dipasang pada kedua sisi kumparan generator, Sekunder CT terhubung bintang yang ujung-ujungnya dihubungkan melalui kawat-kawat pilot. Pada kondisi normal dan tidak ada gangguan internal, besarnya arus kedua sisi kumparan sama, sehingga arus yang mengalir pada sisi-sisi sekunder CT juga sama. Hal ini menyebabkan tidak ada arus yang mengalir pada relai. Pada saat terjadi gangguan pada kumparan generator, mungkin fase dengan fase atau fase

dengan ground, maka arus yang mengalir pada kedua sisi kumparan akan berbeda, sehingga ada arus yang mengalir pada relai. Relai bekerja menarik kontak sehingga kumparan triping mendapat tenaga dari catu daya searah yang selanjutnya akan menarik kontak pemutus tenaga untuk memutuskan hubungan generator dengan sistem.

BAB 3.

METEDOLOGI PERCOBAAN

3.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan dengan mengambil data di GI paya pasir PT.PLN (persero) Jalan Titi pahlawan, komplek PLN paya pasir, Rengas pulau, kec. Medan marelan, kota medan, Sumatra utara.

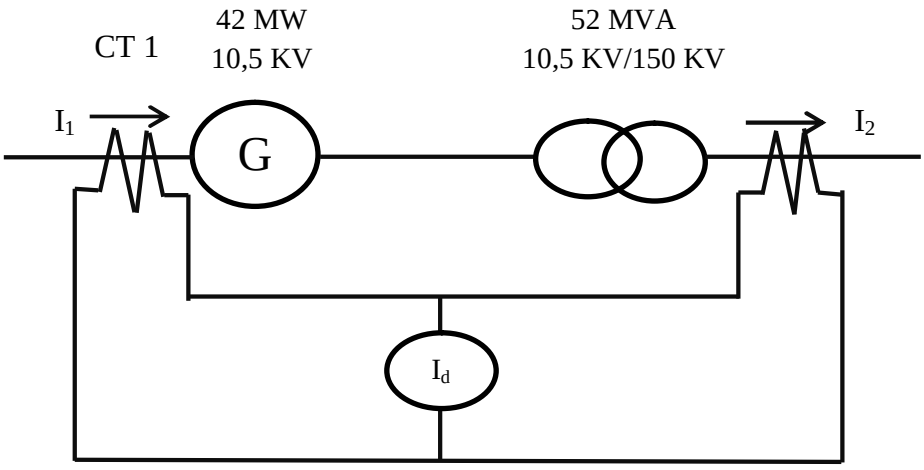
3.2 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian yang dilakukan di GI Paya Pasir berlangsung dari tanggal 15 juli 2019 sampai dengan tanggal 17 juli 2019.

3.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT PLN (PERSERO) GI Paya Pasir, pada unit 7, yang terdiri dari generator, transformator, dan rele *overall* diferensial yaitu :

Rele diferensial yang digunakan untuk generator bersama transformator yang disebut rele overall diferensial seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram satu garis Generator dan Transformator

a.Data spesifikasi generator unit 7

1.Generator	Pabrikan	Nanjing Turbine & Electric Machinery (Group) CO., LDT
	Daya	42 MW (52,5 MVA)
	Tipe	QFR-42-2
	$T_{L=}T_H$	2,9
	Ratio hubung singkat	0,5
	Putaran(r/min)	3000
	Jumlah Kutub	2
	Frekuensi (Hz)	50
	Tegangan Stator (V)	10500
	Arus Stator (A)	2886,8
	Ratio kedua CT	15000A / 5A
	PT Ratio	10500V / 100V
	Power Faktor	0,8
	Hubungan	Y
	X_d	0,6 *pu*
	X_T	12%
	X_{sistem}	J 0,106
	Tegangan Eksitasi (V)	184
	Arus Eksitasi (A)	823

Tabel 1. Data spesifikasi generator unit 7

b.Data Transformator unit 7

2.Tranformator Utama	Daya	52 MVA
	Pendingin	ONAN
	Rasio Elektrikal	10.5 kV/150 kV
3.Transformator Pembantu	Daya	500 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	10,5 kV/400 V
	Daya	500 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	20 kV/400 V
	Daya	630 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	20 kV/400 V

Tabel 2. Data Transformator unit 7

c. Data rele *overall* diferensial unit 7

Type		TAG-2	
Style Number		PY289	PY340
CT Circuit	Rated frequency	50 Hz	60 Hz
	Rated current	5 A AC	
	Rated burden	5 VA or less	
		Minimum operating value: 0,4 A fixed	
Operating characteristic		Operating ratio near rated value: 10 % slope	
		Variable ratio: Above rated value	
Control circuit	Voltage	110 VDC, allowable variation range - 20 % ~+ 30 %	
	Burden	60 W or less	
	Ext. Resistor	Paralel connection of three 500 ohm resistors (80 W rating)	
Contact capacity	Trip circuit	Opening: 110 VDC 0.3 A (less than L/R 40 ms)	
		Closing: 110 VDC 15 A (resistive load)	
	Alarm circuit	Opening: 110 VDC 0.6 A (resistive load)	
		Closing: 110 VDC 5 A (resistive load)	
Case		Type D-D5	
Weight	Relay unit only	10.0 Kg	
	With case	14.5 Kg	

Tabel 3. Data rele *overall* diferensial unit 7

3.4 Metode Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 17 Juli 2019 – 15 Juli 2019 bertempat di Paya Pasir. Objek penelitian ini adalah hal-hal yang berkaitan dengan rele *overall* diferensial masalah pengaman generator dan transformator. Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang di ambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder di dapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal-jurnal, rekap pembukuan Paya Pasir, melakukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik, pegawai PT PLN (PERSERO) bagian HAR (pemeliharaan proteksi) yang bersangkutan sehingga data yang di peroleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif.

Untuk menyelesaikan tugas akhir maka dilakukan beberapa metode :

1. Study Literatur

   Dilakukan dengan membaca dari berbagai sumber yang mendukung dalam penyelesaian tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

   Melakukan pengambilan data pada sistem proteksi.

3. Analisa Data

   Menghittung dan memahami data yang diperoleh sehingga dapat meyakinkan sistem berjalan dengan baik.

4. Kesimpulan

   Membuat kesimpulan berupa hasil setting yang dibutuhkan pada sistem proteksi.

3.5 Teknik Analisa Data

Adapun teknik analisa data yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Melakukan pengumpulan data

Data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini didapatkan di PT PLN (PERSERO) Paya Pasir. Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (PERSERO) Paya Pasir. Data yang diambil yaitu :

1. Data spesifikasi generator
2. Data spesifikasi transformator
3. Data spesifikasi rele *overall* diferensial dan setting

2. Pengolahan data

Data yang sudah didapat akan diolah untuk mendapatkan hasil setting relai *overall* diferensial agar relai *overall* diferensial dapat bekerja sesuai dengan waktu dan ketentuan nya.

3. Analisa Hasil Perhitungan

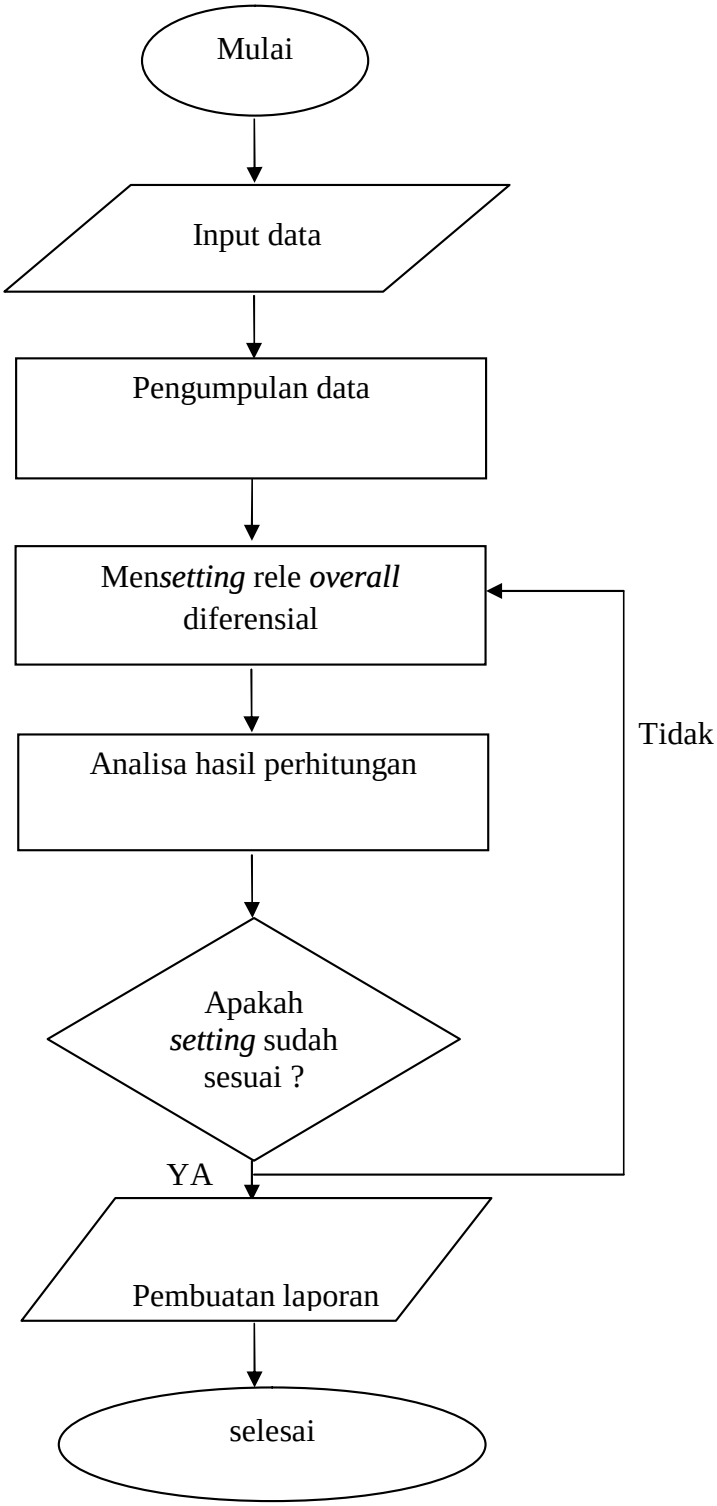
Hasil dari pengolahan data akan di analisa untuk mendapatkan setting relai *Overall* diferensial yang tepat.

4. Pembuatan laporan

Hasil dari keseluruhan akan di tuliskan pada tugas akhir.

3.6 Diagram Alir Peneliian

Berikut adalah diagram alir dari proses metodologi penelitian **:**



Gambar 9. Diagram alir

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Perhitungan

Perhitung berupa hitungan arus rating dan arus nominal yang digunakan untuk menentukan rasio CT pada trafo tersebut, kemudian menghitung arus sekunder CT, Arus defferensial, arus restrain, percent slope, arus setting rele differensial dan gangguan yang ada pada transformator tenaga.

4.2. Perhitungan rasio CT

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus rating. Arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

Perhitungan arus rating menggunakan rumus :

$I_{rating} = I_{nominal}$

Dimana:

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3}x\ V_{L-L}}$$

I_n = Arus Nominal (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (KV).

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah).

Arus nominal tegangan tinggi 150 Kv, dengan daya tersalurkan sebesar 52 MVA:

$$I_n = \frac{52.000.000}{\sqrt{3}x\ 150.000}$$

I_n = 200,15 A

Arus nominal tegangan rendah 10,5 KV, dengan daya tersalurkan sebesar 52 MVA:

$$I_n = \frac{52.000.000}{\sqrt{3} \times 10.500}$$

I_n = 1364,65 A

I_{rating} untuk tegangan tinggi 150 KV, dengan arus nominal sebesar 200,15 A:

I_{rat} = 100% × 200,15

I_{rat} = 220,165 A

I_{rating} untuk tegangan rendah 10,5 KV, dengan arus nominal sebesar 1364,165 A:

I_{rat} = 100% × 1364,65

I_{rat} = 1501,115 A

Hasil dari perhitungan arus nominal yang mengalir pada trafo sisi tegangan tinggi 150 kv sebesar 200,15 A dan di sisi tegangan rendah 10,5 kv sebesar 1364,65 A. Nilai arus rating pada sisi tegangan tinggi 150 kv sebesar 220, 165 A dan di sisi tegangan rendah 10,5 kv sebesar 1501,115 A. Berdasarkan dari hasil perhitungan, maka rasio CT yang dipilih pada sisi tegangan tinggi adalah 300:1 A dan untuk rasio CT pada sisi tegangan rendah dipilih 1400:1 A. Maksud dari rasio yang dipilih adalah, apabila pada trafo sisi tegangan tinggi mengalir arus sebesar 300 A maka *pada* CT tesebut terbaca 1 A. Hal ini berlaku juga pada CT yang dipasang pada trafo di sisi tegangan rendah. Rasio CT dipilih 300 A dan

1400 A karena nilai tersebut mendekati nilai rating arus yang telah dihitung dan CT dengan rasio tersebut ada di pasaran.

4.3. 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. Perhitungan besarnya mismatch menggunakan rumus :

$$\textit{Error Mismatch} = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang}\%$$

Dimana :

$$\frac{CT\ 2}{CT\ 1} = \frac{V1}{V2}$$

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V_1 = tegangan sisi tinggi

V_2 = tegangan sisi rendah

Error Mismatch di sisi tegangan tinggi 150 kv :

$$CT_1\,(\text{Ideal}) = CT_2 \times \frac{V1}{V2}$$

$$CT_1\,(\text{Ideal}) = \frac{1400}{1} \times \frac{22}{150}$$

$$CT_1\,(\text{Ideal}) = 205{,}3\ A$$

$$\textit{Error Mismatch} = \frac{205.3}{300}\%$$

Error Mismatch = 0,68 %

Error Mismatch di sisi tegangan rendah 10,5 kv :

CT_2 (Ideal) = $CT_1 \times \frac{V2}{V1}$

CT_2 (Ideal) = $\frac{300}{1} \times \frac{150}{22}$

CT_2 (Ideal) = 2.045 A

Error Mismatch = $\frac{2.045}{1400}$ %

Error Mismatch = 1,4 %

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai CT1 ideal sebesar 205,3 A dan error mismatch sebesar 0,65%. Error mismatch pada CT2 sebesar 1,4% dengan hasil perhitungan CT2 ideal sebesar 2.045 A. Demikian didapatkan nilai selisih antara trafo arus terpasang dan trafo arus ideal sebesar 94,7 A pada sisi tegangan tinggi dan 645 A pada sisi tegangan rendah.

4.4 Arus sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang di keluarkan CT.

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

Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 150 kv.

$I_s = \frac{1}{300\ A} \times 200{,}15$

I_s= 0,66 A

Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 10,5 kv.

$I_s = \frac{1}{1400\ A} \times 1364{,}65$

I_s = 0,97 A

4.5 Arus diferensial

Arus diferensial merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.

Rumus untuk menentukan arus diferensial yaitu :

$Idif = I2 - I1$

Dimana:

Idif = Arus Diferensial

I_1 = Arus Sekunder CT_1

I_2 = Arus Sekunder CT_2

Perhitungan arus diferensial :

$I_{dif} = 0{,}97 - 0{,}66$

$I_{dif} = 0{,}31\ A$

Selisih antara Isek CT1 dan CT2 yaitu sebesar 0,31 A. Selisih inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus setting rele diferensial.

4.6 Arus restrain (penahan)

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

Rumus yang digunakan untuk menghitung arus restrain yaitu :

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

Dimana:

Ir = Arus penahan (A)

I_1 = Arus sekunder CT1 (A)

I_2 = Arus sekunder CT2 (A)

Maka :

$I_r = \frac{0{,}66 + 0{,}97}{2}$

$I_r = \frac{1{,}63}{2} = 0{,}81$ A

Arus restrain yang didapat dari hasil perhitungan adalah 0,81 A. Ketika arus diferensial naik akibat perubahan rasio di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah yang disebabkan oleh perubahan tap trafo daya maka arus restrain ini juga akan naik. Hal ini berguna agar rele diferensial tidak bekerja karena bukan merupakan gangguan.

4.7 Percent Slope (setting kecuraman)

Slope didapat dengan cara membagi antara arus diferensial dengan arus restrain. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus restrain pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, sedangkan slope 2 berguna supaya rele diferensial tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi.

Rumus yang digunakan untuk mencari % slope 1 dan % slope 2 yaitu :

$Slope_1 = \frac{Id}{Ir} \times 100\%$

$Slope_2 = (\frac{Id}{Ir} \times 2) \times 100\%$

Dimana :

$Slope_1$: setting kecuraman 1

$Slope_2$: setting kecuraman 2

Id : Arus Diferensial (A)

Ir : Arus Restrain (A)

Menghitung *Slope* 1 :

$Slope_1 = \frac{0,31}{0,81} \times 100\%$

$Slope_1 = 38\%$

Menghitung *Slope* 2 :

$Slope_2 = (\frac{0,31}{0,81} \times 2) \times 100\%$

$Slope_2 = 76\%$

Hasil yang didapat dari perhitungan yaitu slope 1 sebesar 38% dan slope 2 sebesar 76%.

4.8 Arus setting (Iset)

Arus setting didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Arus setting inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial.

Rumus matematis Isetting :

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

Dimana :

I_{set} : Arus Setting

% slope : Setting Kecuraman (%)

$I_{restrain}$: Arus Penahan

$I_{set} = 38\% \times 0,81$

$I_{set} = 0,38 \times 0,81$

$I_{set} = 0,30$ A

Arus setting yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 0,30 A, setting yang dibuat adalah 0,3 A atau 30% dengan pertimbangan yaitu : kesalahan sadapan (10%), kesalahan CT (10%), mismatch (4%), arus eksitasi (1%) dan faktor keamanan (5%).

4.9 Gangguan pada transformator daya

Gangguan transformator daya dapat dihitung dengan persamaan :

$Ifrelay = If \times CT_2$

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

$I_d = I_2 - I_1$

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

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

$I_f = I_f relay \times CT_2$

Dimana :

I_f relay : Arus gangguan yang dibaca rele

I_f : Arus yang masuk pada rele

CT_2 : Rasio CT_2

I_2 : Arus sekunder CT_2 sebelum terjadi gangguan

I_d : Arus diferensial

I_1 : Arus sekunder CT_1

$I_{2\,fault}$: Arus sekunder CT_2 saat terjadi gangguan

Arus gangguan sebesar 3800 A disisi tegangan rendah 10,5 kv :

$I_f relay = I_f \times CT_2$

$I_f\ relay = 3800 \times \frac{1}{1400}$

$I_f relay = 2{,}71\ A$

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

$I_{2\,fault} = \frac{2{,}71}{0{,}97}$

$I_{2\,fault} = 2{,}79\ A$

$I_d = I_{2\,fault} - I_1$

$I_d = 7{,}29 - 0{,}66$

$I_d = 2{,}13\ A$

Arus gangguan sebesar 3800 A pada sisi tegangan 10,5 kv menghasilkan arus sekunder pada CT_2 sebesar 7,29 A dan arus diferensial menjadi 2,13 A, maka rele diferensial akan bekerja dan memberikan instruksi kepada PMT untuk memutuskan (trip) karena arus diferensial lebih besar dari arus setting.

Arus gangguan sebesar 950 A pada sisi tegangan rendah 10,5 kv :

$I_f\,relay = I_f \times CT_2$

$I_f\ relay = 950 \times \frac{1}{1400}$

$I_f relay = 0{,}67\ A$

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

$I_{2\,fault} = \frac{0{,}57}{0{,}97}$

$I_{2\,fault} = 0{,}69$ A

$I_d = I_{2\,fault} - I_1$

$I_d = 0{,}32 - 0{,}66$

$I_d = 0{,}03\ A$

Arus gangguan sebesar 950 A pada sisi tegangan 10,5 kv menghasilkan arus sekunder pada CT_2 sebesar 0,69 A dan arus diferensial menjadi 0,03 A, maka rele diferensial tidak akan bekerja karena arus diferensial nilainya lebih kecil dari arus setting rele diferensial.

Gangguan hubung singkat menyebabakan nilai Id menjadi 2,13 A :

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

$I_{2\ fault}$ = 0,66 + 2,13

$I_{2\ fault}$ = 2,79 A

$I_f\ relay = I_{2\ fault} \times I_2$

$I_f\ relay$ = 2,79 × 0,97

$I_f\ relay$ = 2,7 A

$I_f = I_f\ relay \times CT_2$

I_f = 2,7 × 1400

I_f = 3.780 A

Ketika I_d sebesar 2,13 A maka arus gangguan yang mengalir pada sisi tegangan rendah sebesar 3.780 A, artinya batas arus yang diperbolehkan mengalir pada sisi tegangan rendah adalah 3.780 A. Rele akan bekerja jika arus yang mengalir melebihi 3.780 A.

4.10 Mensetting Rele Overall Differensial Pada Generator

Arus Nominal Generator di kedua sisi CT:

$I_{1\&2} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times KV} = \frac{42000000}{\sqrt{3} \times 10.500}$ = 11823 A

Perhitungan Missmatch pada Generator Karena CT pada kedua sisi generator dipasang secara delta maka perhitungan Arus sekunder pada CT kedua sisi generator adalah sebagai berikut:

$I_{1\&2} = \frac{I_{nominal}}{ratio\ CT} = \frac{11823}{15000/5}$ = 3,941 A

Selanjutnya menghitung Ratio Trafo Arus Relay yaitu dengan cara :

$I_{F1\&2} = I_{1\&2} \times \sqrt{3}$

= 3,941 × $\sqrt{3}$

= 6,826012233 A

S = $\frac{I_{F2}}{I_{F1}} = \frac{6{,}826012233}{6{,}826012233} = 1$

Dari nilai S = 1 dapat dilihat dari table ratio trafo didapat nilai $\frac{T_L}{T_H} = \frac{2{,}9}{2{,}9}$, maka dari itu bisa dihitung nilai Missmatch:

M = $(\frac{\frac{I_{f1}}{I_{f2}} - \frac{T_L}{T_H}}{\frac{T_L}{T_H}}) \times 100\%$

= $(\frac{\frac{6{,}826012233}{6{,}826012233} - \frac{2{,}9}{2{,}9}}{\frac{2{,}9}{2{,}9}}) \times 100\%$

= 0%

Karena ratio kedua CT bagian atas dan bawah generator sama, maka menghasilkan nilai Missmatch sebesar 0% Arus di Rele Differensial pada saat beban penuh

I_d = | I_1 | - | I_2 |

= |6,826012233 - 6,826012233|

= 0 A

$I_{r(restrain)} = \frac{I_1 + I_2}{2}$

= $\frac{6{,}826012233 + 6{,}826012233}{2}$

= 6,826012233 A

Setting Slope

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

= $\frac{0}{6{,}826012233} \times 100\%$

= 0%

Setting Rele Differensial Minimum Setting = Kesalahan Generator (%) + Nilai Missmatch (%) + Error CT (%) + Toleransi (%) + Slope (%) Minimum

Setting = 5%+0%+5%+5%+0% Minimum setting = 15% Oleh sebab itu dipilih setting 15% untuk rele differensial.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Rele *Overall* diferensial adalah salah satu jenis peralatan proteksi yang dapat digunakan untuk melindungi Generator sekaligus Transformator dari gangguan-gangguan yang bersifat internal.
2. Pada transformator arus rating didapat dengan dengan cara menghitung arus nominal pada transformator daya. Arus rating nantinya akan digunakan untuk menentukan rasio CT yang terpasang pada trafo daya.
3. Rele diferensial akan bekerja apabila nilai arus diferensial melebihi arus setting dan sebaliknya.
4. Batas arus nominal yang diperbolehkan mengalir pada trafo daya sisi tegangan rendah adalah 3.780 A, apabila melebihi nilai arus nominal yang diizinkan maka rele diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan mengintruksikan PMT untuk memutuskan (trip).
5. Arus setting yang didapat dari hasil pehitungan yaitu 0,3 A dan diharapan dengan setting tersebut sistem proteksi transformator dapat bekerja dengan optimal.
6. Arus nominal pada generator yaitu sebesar 11823 A.
7. ratio kedua CT bagian atas dan bawah generator sama, maka menghasilkan nilai Missmatch sebesar 0%.

8. Setting Rele Differensial Minimum Setting = Kesalahan Generator (%) + Nilai Missmatch (%) + Error CT (%) + Toleransi (%) + Slope (%) Minimum Setting = 5%+0%+5%+5%+0% Minimum setting = 15% Oleh sebab itu dipilih setting 15% untuk rele differensial.
9. rele differensial untuk gangguan dalam generator didapat *minimum setting* 15%.

5.2 Saran

Tentunya penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Salah satunya adalah dengan tidak menggunakan simulasi, Metode simulasi dapat dijadikan salah satu solusi melakukan pengecekan rutin pada rele diferensial. Karena pengecekan rutin tidak dapat dilakukan saat generator dalam kondisi hidup.

DAFTAR PUSTAKA

Anditama NP., T. Haryono, Suharyanto. 2010. Jurnal Penelitian Teknik Elektro Vol. 3 No. 4. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.

Syahrial, Anaa Istimaroh, Nasrun Hariyanto. 2013. Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II. Bandung : Institut Teknologi Nasional (ITENAS).

Oktavia Fitriyani, Maria., Mochammad Facta, dan Juningtyastuti. 2015. Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Dan Trafo Generator Di Pltgu Tambak Lorok Blok 1. Semarang : Universitas Diponegoro.

Wahyudin SN, Retno Aita Diantari, Teuku Mardhi Rahmatullah. 2017. Analisa Proteksi Differensial Pada Generator Di Pltu Suralaya. Jakarta : Sekolah Tinggi Teknik.

Catur Pamungkas, Ari., Juningtyastuti, dan Agung Nugroho. 2015. Analisis Koordinasi Dan Setting Rele Proteksi Generator Dan Trafo Step Up Di Pltu Tanjung Jati B Unit 1. Semarang : Universitas Diponegoro.

Yahdian, Uffan., Juningtyastuti, dan Karnoto. 2017. Analisis Koordinasi Proteksi Generetor Dan Trafo Generator Pada Pltgu Tambak Lorok Blok 2 Menggunakan Software Etap 12.6.0. Semarang : Universitas Diponegoro.

Prasetijo, Hari., Firman Arif Romadona. 2010. Analisis Kerja Rele Overall Differential pada Generator Unit I PLTA Ketenger PT Indonesia Power UBP Mrica. Jawa Tengah : Universitas Jendral Soedirman.

Amin, Nurhani. 2012. Sistem Proteksi Generator Turbin Uap. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.

M. Suartika., I.G.N. Rudy., I. W. Rinas. 2015. Analisa Setting Relay Pengaman Generator Pltg Di Pt Indonesia Power Ubp Bali Unit Pesanggaran. Bali : Universitas Udayana.

Rahmatullah, Sunil. 2017. Analisa Proteksi Differensial Pada Generator Di Pltu Suralaya. Jakarta : Sekolah Tinggi Teknik.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama Lengkap	: IO ARISANDY
Panggilan	: Io
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 12 September 1997
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Alamat	: DUSUN 3 DESA SEI ROTAN
Agama	: Islam
Nama Orang Tua	
Ayah	: Muhammad Yusnan
Ibu	: Yusnizar Nasution
No. HP	: 082364544612
E-mail	: ioarisandi1213@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa	: 1507220059
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro
Perguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD Negeri 105335	2009
2	SMP	SMP NUR ILMI	2012
3	SMK	SMK NEGERI 4 MEDAN	2015
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 Sampai Selesai.		

1. Unit : PLTG Lot 2.2 Paya Pasir (GPP 7)

Prime Mover : Turbin Gas

1.Generator	Pabrikan	Nanjing Turbine & Electric Machinery (Group) CO., LDT
	Buatan	China
	Tipe	QFR-42-2
	T_L=T_H	2,9
	Daya	42 MW (52,5 MVA)
	Putaran(r/min)	3000
	Jumlah Kutub	2
	Frekuensi (Hz)	50
	Tegangan Stator (V)	10500
	Arus Stator (A)	2886,8
	CT Ratio	4000A / 1A
	PT Ratio	10500V / 100V
	Power Faktor	0,8
	Hubungan	Y
	X_d	0,6
	Tegangan Eksitasi (V)	184/5%
	Arus Eksitasi (A) / kesalahan%	823/5%
2.Trafo Utama	Daya	52 MW
	Pendingin	ONAN
	Rasio Elektrikal	10,5 kV/150 kV
3.Trafo Pembantu	Daya	500 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	10,5 kV/400 V
	Daya	500 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	20 kV/400 V
	Daya	630 kW
	Pendingin	ONAF
	Rasio Elektrikal	20 kV/400 V
4.Turbine	Tingkat	3
5.Exciter	Pabrikan	Nanjing Turbine & Electric Machinery (Group) CO., LDT
	Buatan	China
	Tipe	TFLW 195-300; TFY2.85-3000C
	No. Seri	200801005
	Daya	195 kW
	Putaran	3000
	Arus	930
	Kelas Proteksi	IP54
	Kelas Isolasi	F
	Frekuensi Generator Magnetoelectric	400 Hz
	Tegangan Open-circuit Generator Magnetoelectric	230 V
	Field Current of Exciter (75^{0}C) pada beban lebih (AC Brushless Exciter)	6,4 A
	Boost Current Multiple	1,7
6.DVR Excitation Control System	Tipe Regulator	DVR – 2100
	Auxiliary DC Power Supply	110 V

KELOMPOK PANEL PROTEKSI GENERATOR

I.Proteksi Differensial Longitudinal

1. Wiring Information

TA/TV Position	Phasa	Head	End
Generator End Current	Phasa A	1X:1	1X:4
	Phasa B	1X:2	1X:4
	Phasa C	1X:3	1X:4
Generator Neutral Point Current	Phasa A	1X:6	1X:5
	Phasa B	1X:7	1X:5
	Phasa C	1X:8	1X:5
Generator End Voltage	Phasa AB	2X:1	2X:1
	Phasa BC	2X:2	2X:2
	Phasa CA	2X:3	2X:3

2.Signal

Generator Ratio Differential	SG 2
Generator Differential Quick Break	SG 3
Generator TA Disconnected	SG 4
Generator PT Disconected	SG 11

3.Outlet (Trip Mode)

Generator Ratio Differential	Mode 1
Generator Differential Quick Break	Mode 2
Generator TA Disconnected	Signaling
Generator PT Disconected	Signaling

4. Value Setting Reference

Name Of Set Value	Symbol Of Set Value	Set Value	Unit
Starting Current	I_g	0,28	A
Breaking Coefisient	K_z	0,4	
Knee Current	I_g	0,72	A
Rated Current	I_N	0,72	A
Quick Break Multiple	I_{sd}	3	
Negative Squence Voltage	U2	10	V

II. Proteksi Generator Rotor Two-point Ground

1. Wiring Information

TV Position	Phase	Head	End
Generator End TV	AB	2X : 1	2X : 3
	BC	2X : 2	2X : 2
	CA	2X : 3	2X : 1

2. Signal

Generator Rotor Two-point Ground	SC6

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Rotor Two-point Ground	Mode 1

4. Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Second Harmonic Voltage Setting	U2wg	0	V
Delay	T_{21}	0,5	S

III. Proteksi Generator $3U_0$ Stator Ground

1. Wiring Information

TV Position	Phase	Head	End
Generator End TV Opening Δ or Neutral Point TV		2X5	2X6

2. Signal

Generator Stator Ground	SG7

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Stator Ground	Mode 1

4. Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Zero Sequence Voltage	$3U_{0dz}$	8	V
Delay	t	1,5	S

IV. Proteksi Tegangan Rendah dan Arus Lebih Generator Kompon

1. Wiring Information

TV or TA Position	Phase	Head	End
Generator End TV	AB	2X : 1	2X : 2
	BC	2X : 2	2X : 3
	CA	2X : 3	2X : 1
Generator Neutral Point (or Generator End) TA	A	1X : 9	1X : 12
	B	1X : 10	1X : 12
	C	1X : 11	1X : 12

2. Signal

Generator Compound Low Voltage Overcurrent 1	SG8
Generator Compound Low Voltage Overcurrent 2	None

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Compound Low Voltage Overcurrent 1	Mode 1
Generator Compound Low Voltage Overcurrent 2	None

4. Set Value Setting reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Current Set Value	I_{gdz}	1,0	A
Low Voltage Set Value	$\underline{U}_{1dz}$	60	V
Negative Sequence Voltage Set Value	$\underline{U}_{2dz}$	6	V
Delay	t11	1	S
Delay	t2	-	S

Current Memory Time	Tr	-	S

V. Proteksi Invers Time Generator Tertinggal dari Arus Lebih Urutan Negatif

1. Wiring Information

TV Position	Phase	Head	End
Generator Neutral Point (or Generator End) TA	A	1X : 9	1X : 12
	B	1X : 10	1X : 12
	C	1X : 11	1X : 12

2. Signal

Generator Definite Time Lag Negative Sequence Overload ts	SG9
Generator Inverse Time Lag Negative Sequence Overcurrent	SG10

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Inverse Time Lag Negative Sequence Overcurrent	Mode 2

4. Set Value Setting Reference

Name Of Set Value	Symbol Of Set Value	Set Value	Unit
Definite Time Lag Negative Sequence Current Set Value	I_{2ql}	0,06	A
Definite Time Lag Overload Action Time	t11	7	S
Inverse Time Lag Overcurrent Start Set Value	I_{2s}	0,07	A
Inverse Time Lag Overcurrent Quick Break Set Value	I_{2up}	1	A
Coefficient of Heat Emission	K_1	10	
Coefficient of Heat Value	K_2	0,05	
Long Delay Action Time	ts	1000	S
Quick Break Action Time	t_{up}	0,1	S

VI. Proteksi Reverse Power Generator

1. Wiring Information

TV or TA Position	Phase	Head	End
Generator End TV	AB	2X : 1	2X : 2
	BC	2X : 2	2X : 3
	CA	2X : 3	2X : 1
Neutral Point (or Generator End) TA	A	1X : 9	1X : 12
	B	1X : 10	1X : 12
	C	1X : 11	1X : 12

2. Signal

Generator Reverse Power t1	SG12
Generator Reverse Power t2	None

3. Output (Trip Mode)

Generator Reverse Power t1	Mode 2
Generator Reverse Power t2	None

4. Set Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Power Element Set Value	$-P_{1dz}$	-2,5	W

Delay	t1	1	S
Delay	t2	-	S

VII. Informasi Umum pada Kehilangan Medan Generator

1. Wiring Information

TV or TA Position	Phase	Head	End
Generator End TV	AB	2X : 1	2X : 2
	BC	2X : 2	2X : 3
	CA	2X : 3	2X : 1
Neutral Point (or Generator End) TA	A	1X : 9	1X : 12
	B	1X : 10	1X : 12
	C	1X : 11	1X : 12

2. Signal

Generator Loss of Field t0	SG15

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Loss of Field It1	Mode 2

4. Set Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Impedance Circle Center	-Xc	-106,3	Ω
Impedance Circle Center	Xr	97,5	Ω
Action Time	t1	1,5	S
Active Power	Pt	Non-salient Pole is set to Zero	

VIII. Proteksi Tegangan Lebih Generator

1. Wiring Information

TV Position	Phase	Head	End
Generator End TV	AB	2X : 1	2X : 2
	BC	2X : 2	2X : 3
	CA	2X : 3	2X : 1

2. Signal

Generator Overvoltage	SG1

3. Outlet (Trip Mode)

Generator Overvoltage	Mode 3

4. Set Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Action Voltage	U_{gdz}	130	V
Delay	t	0,5	S

IX. Proteksi Generator Superimposed DC Rotor One-point Ground

1. Wiring Information

Rotor	Position
Shaft Negative Terminal	4X : 19
Shaft Ground Terminal	4X : 20

2. Signal

Generator Rotor One-point Ground	SG 5

3. Output (Trip Mode)

Generator Rotor One-point Ground	Signaling

4. Set Value Setting Reference

Name of Set Value	Symbol of Set Value	Set Value	Unit
Ground Resistance Set Value	R_g	8	KΩ
Delay	T_{yd}	3	S

Type		TAG-2	
Style Number		PY289	PY340
CT Circuit	Rated frequency	50 Hz	60 Hz
	Rated current	5 A AC	
	Rated burden / Error CT	5 VA or less / 5%	
		Minimum operating value: 0,4 A fixed	
Operating characteristic		Operating ratio near rated value: : 5 % slope, toleransi 5%, error CT 5%.	
Control circuit	Voltage	110 VDC, allowable variation range - 20 % ~+ 30 %	
	Burden	60 W or less	
	Ext. Resistor	Paralel connection of three 500 ohm resistors (80 W rating)	
Contact capacity	Trip circuit	Opening: 110 VDC 0.3 A (less than L/R 40 ms)	
		Closing: 110 VDC 15 A (resistive load)	
	Alarm circuit	Opening: 110 VDC 0.6 A (resistive load)	
		Closing: 110 VDC 5 A (resistive load)	
Case		Type D-D5	
Weight	Relay unit only	10.0 Kg	
	With case	14.5 Kg	