



**ANALISA SETTING RELAY DIFFERENSIAL TIPE NR 9671
TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA 150 KV DI
GARDU INDUK MABAR**

Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi

S K R I P S I

OLEH :

NAMA : DICKY MULYA DHUDONA
NPM : 1524210255
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2019**

**ANALISA SETTING RELAY DIFFERENSIAL TIPE NR 9671
TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA 150 KV DI
GARDU INDUK MABAR**

**Dicky Mulya Dhudona
Zuraidah Tharo**
Siti Anisah**
Universitas Pembangunan Panca Budi**

ABSTRAK

Kekurangan sistem proteksi telah mendorong timbulnya konsep unit proteksi yang dirancang untuk memproteksi saluran yang menghubungkan dua gardu induk secara serentak pada kedua ujung saluran tanpa memperhatikan koordinasinya dengan sistem pengaman saluran berdekatan. Salah satu unit proteksi yang umum dikenal adalah relay differensial. Bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan yaitu dengan mengukur perbedaan keseimbangan arus yang mengalir pada kedua ujung saluran yang mau diproteksi. Suatu relay differensial dapat melakukan tugas proteksi secara sempurna untuk memproteksi trafo, generator, maupun kabel tanah. Dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan-perhitungan secara teori berdasarkan data yang ada dan dengan melakukan pengujian langsung di lapangan untuk mencari nilai arus kerja minimum relay (pick up), persentase error, slope (kecuraman), nilai arus differensial serta nilai setting differensial. Relay differensial sendiri di setting dalam batasan range paling aman 0,1A - 0,3 A sesuai kebutuhan dan arus minimum kerja gangguan tidak lebih dari 30 % dari gangguan minimum.

Kata kunci : Sistem Proteksi, Relay Differensial, Setting Relay Differensial

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: dickymulya@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PERNYATAAN

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK.....i

KATA PENGANTAR..... ii

DAFTAR ISI.....iii

DAFTAR GAMBAR..... vi

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR PUSTAKA.....

LAMPIRAN.....

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah..... 3

1.4 Tujuan Penelitian..... 3

1.5 Manfaat Penelitian..... 3

1.6 Teknik Pengumpulan data 4

1.7 Sistematika Penulisan 4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Busbar 5

2.2 Gardu induk..... 6

2.3 CT (Current Transformer)..... 7

2.3.1 Kesalahan trafo arus..... 8

2.3.2 Kesalahan fasa 8

2.3.3 Kesalahan komposit 8

2.3.4 Batas akurasi arus proteksi.....	8
2.3.5 Fungsi CT (Current Transformer).....	9
2.4 PMT (Pemutus Tenaga).....	10
2.5 PMS Tanah.....	11
2.6 Bellows	12
2.7 PT (Potential Transformer).....	12
2.8 Trafo Daya	13
2.9 Lightning Arester	14
2.10 CVT (Capasitive Voltage Transformer	15
2.11 Catu Daya AC/DC	16
2.12 Baterai.....	16
2.13 Rectifier.....	18
2.1.4 Trafo PS (Pemakaian Sendiri).....	19
2.1.5 NGR (Neutral Grounding Resistor).....	21
2.16 Perangkat proteksi	22
2.17 Zona Proteksi	23
2.18 Faktor keandalan	25
2.19 Perancangan	25
2.20 Setelan.....	25
2.21 Instalasi	26
2.22 Pengetesan.....	26
2.23 Pemburuan.....	27
2.24 Kinerja syarat proteksi.....	27
2.25 Selektivitas	28
2.26 Stabilitas.....	28
2.27 Kecepatan.....	28
2.28 Sensitivitas	29
2.29 Sistem kontak	29
2.30 Gangguan sistem transmisi	29

2.31	Proteksi trafo tenaga	31
2.3.2	Relay differensial.....	32
2.3.3	Prinsip proteksi differensial	33
2.34	Pola proteksi transformator	36
2.35	Pola proteksi transformator tenaga TT/TM.....	36
2.36	Pola proteksi transformator IBT	37
2.37	Pola proteksi trafo IBT TT/TT(150/70 kV	38
2.38	Over load shedding (OLS) pada Trafo.....	38
2.39	Pola proteksi reaktor.....	38
2.40	Pola proteksi kapasitor	39
2.41	Parameter pengujian relay proteksi.....	39
2.42	Annunciator dan Alarm	40

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metodologi Penelitian.....	42
3.2	Flow Chart.....	47
3.3	Blok Diagram	48

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian dilapangan relay differensial.....	50
4.1.1	Pengujian arus kerja minimum (Pick Up).....	50
4.1.2	Pengujian harmonic bloking.....	50
4.1.3	Pengujian slope differensial.....	51
4.1.4	Pengujian karakteristik relay differensial.....	51
4.1.5	Pengujian waktu kerja.....	51
4.2	Menghitung arus nominal trafo daya di gardu induk mabar.....	54
4.3	Error.....	56
4.4	Menghitung arus sekunder pada CT.....	57

4.5 Mencari Idiff (arus differensial).....	57
4.6 Perhitungan arus restrain pada CT (penahan).....	57
4.7 Mencari slope.....	58
4.8 Mencari arus setting.....	59
4.9 Menghitung arus gangguan pada transformator.....	60

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesinambungan penyaluran energi listrik yang dikelola oleh PT PLN (Persero) khususnya Pusat Penyaluran dan Pengatur Beban Sumatera (P3B) salah satunya ditentukan oleh kesiapan operasi Gardu Induk, karena itu setiap peralatan yang terpasang pada Instalasi gardu induk dalam kurun waktu tidak luput dari gangguan. Definisi sistem tenaga listrik sendiri adalah suatu jaringan listrik yang terinterkoneksi dari pembangkitan, penyaluran dan distribusi.

Sistem tenaga listrik yang cukup besar dan kompleks, tentu banyak dioperasikan berbagai jenis unit pembangkit dan banyak dioperasikan gardu induk dengan jaringan transmisi yang panjang dengan satuan kms yang di *supply* kepada konsumen. Mengetahui tentang sistem tenaga listrik, tentu perlu mengetahui bagaimana cara untuk mengoperasikan sistem tenaga listrik. Seperti yang kita ketahui, bahwa listrik tidak dapat disimpan di gudang sebagai stok semata, maka perusahaan listrik sebagai perusahaan yang memproduksi listrik, serta aset lainya harus selalu memproduksi listrik setiap waktu saat sesuai dengan kebutuhan masyarakat di seluruh pelosok negeri.

Mengoperasikan sistem tenaga listrik diperlukan beberapa langkah yang perlu dilakukan diantaranya menetapkan konfigurasi jaringan sistem tenaga listrik, memperkirakan pemakaian listrik konsumen dalam rencana operasi 5 tahunan, operasi bulanan, rencana harian menggunakan SCADA (*Supervisory Control And*

Data Acquisition) untuk menampilkan parameter seperti besaran arus, frekuensi, dan tegangan yang memberikan indikasi pada panel kontrol dan status peralatan yang dapat dimonitor di sistem yaitu PMT (pemutus tenaga) dan PMS (pemisah) guna bagi *dispatcher* dalam proses pengaturan sistem.

Semua gangguan yang terjadi di dalam atau diluar bisa terjadi karena gangguan sistem atau non sistem yang induknya berasal dari Gardu Induk atau disingkat GI. Peralatan utamanya transformator tenaga untuk menyalurkan tenaga listrik ke masyarakat serta dilengkapi sistem proteksi differensial yang bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan internal dan memisahkan bagian yang terganggu sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dengan tujuan untuk efektifitas dan efesiensi, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara menghitung arus nominal trafo daya 60 MVA Gardu Induk Mabar ?
2. Bagaimana cara mengetahui nilai *error*, arus kerja minimum (*pick up*), *slope*, *restrain*, waktu kerja, berdasarkan pengujian dilapangan dan perhitungan teori ?
3. Bagaimana mencari nilai arus differensial dan arus *setting relay* differensial ?

1.3 Batasan Masalah

1. Tidak ada pengujian *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) yang lebih spesifik
2. Hanya uji karakteristik *relay* differensial

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui besaran arus nominal trafo yang kapasitas 60 MVA
2. Mengetahui persentase error dari setiap pengujian *relay* differensial
3. Mengetahui nilai arus differensial dan arus *setting relay* differensial serta grafik *slope* (tingkat kecuraman)
4. Mengetahui unjuk kerja dan uji fungsi *relay*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan referensi bagi perorangan atau pun kelompok yang akan membahas terkait sistem proteksi differensial

2. Menambah pengetahuan dan pengalaman agar mampu melaksanakan kegiatan yang sama setelah bekerja atau terjun ke lapangan
3. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan sistem proteksi

1.6 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan melakukan studi kasus (penelitian lapangan), kemudian melakukan pengambilan data teknik di lapangan seperti data trafo, single line diagram, dan CT yang terpasang

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam pembuatan skripsi ini yaitu terdiri dari :

- Bab 1. Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan
- Bab 2. Landasan Teori yang memuat tentang penjelasan tentang teori, pengertian dan definisi yang berkaitan dengan pembahasan skripsi.
- Bab 3. Metodologi Penelitian berisi tentang waktu dan tempat penelitian, observasi langsung di lapangan serta teknik pengumpulan data di lapangan
- d. Bab 4. Analisa dan pembahasan berisi tentang hasil analisa pengujian-pengujian parameter *relay* differensial di lapangan dan mencari perhitungan secara teori dengan data yang ada di lapangan
- e. Bab 5. Penutup, berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Busbar

Busbar merupakan bagian utama dalam gardu induk sebagai sarana penghubung bus yang beroperasi pada gardu induk, baik gardu induk konvensional maupun gardu induk gis indoor atau pun outdoor. Pada umumnya gardu induk yang beroperasi di desain sedemikian rupa dengan konfigurasi double busbar dan single busbar. Sistem operasi gardu induk yang beroperasi pada level tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi yaitu beroperasi pada tegangan 500 kV dan 275 kV.

GITET dirancang dengan konfigurasi sistem satu setengah PMT, sedangkan GI umumnya menggunakan konfigurasi 1 breaker atau 1 PMT. Pengoperasiannya busbar dan diameter tidak terlepas dari kondisi abnormal yang disebut sebagai gangguan. Gangguan yang terjadi pada busbar dan diameter adalah gangguan yang bersifat destruktif. Dan bila terjadi gangguan pada busbar atau diameter, kemungkinan terjadi kerusakan pada peralatan instalasi listrik. Otomatis keandalan sistem dalam menyalurkan pasokan daya juga akan terganggu menyebabkan kwh tidak tersalurkan. Proteksi busbar adalah suatu sistem proteksi yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar atau diameter. Yang bekerja secara sensitif, selektif, cepat dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi di luar daerah proteksi busbar atau diameter.

2.2 Gardu induk

Gardu induk adalah suatu instalasi listrik yang menyalurkan tegangan tinggi maupun sebaliknya yang disalurkan melalui jaringan transmisi. Gardu induk terbagi menjadi 3 yaitu gardu induk konvensional, gardu induk gis dan gardu induk mobile yang semua bay peralatan terpasang di atas motor



Gambar 2.1 Gardu Induk Gis
(Sumber :Gardu induk mabar,2019)

Gardu induk gis gardu induk yang isolasi nya menggunakan pegas dan media pemadam busur api menggunakan gas SF₆ ,biasanya gardu induk ini terpasang didaerah perkotaan yang memiliki lahan yang luas, sedangkan gardu induk konvensional yaitu gardu induk yang semua peralatan listrik nya terpasang di luar (*outdoor*), biasanya jenis gardu induk ini terpasang di daeah perkotaan yang ramai penduduk dan dibangun diatas lahan yang luas

2.3 CT (*Current Tranformer*)

CT adalah trafo arus yang terpasang di instalasi listrik tegangan tinggi maupun tegangan rendah yang memiliki kumparan primer yang terhubung seri dengan impedansi biasanya di abaikan karena nilainya sangat kecil dibanding dengan imoedansi sistem tenaga tersebut. Impedansi sistem tenaga ditentukan besarnya rus yang mengalir pada rangkaian primer trafo arus tersebut.serta memiliki belitan serta 4 buah tap rasio disisi primer dan sekunder yang berfungsi untuk mengubah besaran arus tinggi ke rendah atau sebaliknya guna pengukuran dan proteksi



Gambar 2.2 *Current Transformer* pada GIS Mabar (*indoor*)
(*Sumber: Gardu induk Mabar, 2019*)

Data name plate :

Merk : Sprecher energi

Type : BWI 212

BIL : 750 kV

I nominal : 2000 A

Buatan : Switzerland

Tahun operasi : 1988

2.3.1 Kesalahan trafo arus

Kesalahan timbul dengan adanya impedansi penguat yang terhubung paralel dengan beban. Impedansi penguat menyerap arus masukan yang sedikit diperlukan untuk memagnetisasi inti besi sehingga semua arus sekunder yang mengalir ke rangkaian beban.

2.3.2 Kesalahan fasa

Besarnya kesalahan arus dan sudut fasa tergantung dari pergeseran antar kedua arus tetapi kedua kesalahan tersebut tidak melebihi kesalahan vektor I_e . Akan terlihat menjadi jelas pada besar beban induktif normal, I_s dan I_e akan berada fasa yang hampir sama. Kesalahan fasa dan komponen penguat menyebabkan kesalahan sehingga menyebabkan pengurangan kumparan sekunder satu belitan atau dua belitan.

2.3.3 Kesalahan komposit

Kesalahan perbedaan harga rms antara arus pada rangkaian trafo ideal dengan arus rangkaian sekunder pada trafo arus sesungguhnya. Kesalahan ini termasuk kesalahan arus dan fasa pengaruh harmonis dalam arus penguat.

2.3.4 Batas akurasi arus proteksi

Pada dasarnya perangkat proteksi dirancang untuk tanggap terhadap kondisi gangguan, karena itu perangkat proteksi berfungsi terhadap arus yang nilainya relatif lebih besar dari arus rating normalnya. Kelas proteksi trafo arus memenuhi akurasi kelas tertentu sampai arus yang mungkin mengalir pada rangkaian. Rating pengukuran dinyatakan dalam *rated* beban dan kelas contoh 15 VA kelas 0,5,

sedangkan rating proteksi dinyatakan dalam burden kelas dan limit faktor misal 10 VA kelas 10P10

2.3.5 Fungsi CT (Current Transformer)

Mengubah arus tinggi ke arus rendah maupun sebaliknya pada instalasi listrik tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi guna pengukuran dan proteksi. Mengisolasi rangkaian sisi sekunder ke sisi primer dengan standarisasi arus nominal 1 Amp dan 5 Amp

Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Trafo arus pengukuran

CT pengukuran memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja 5% - 120% arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi

b. Trafo arus proteksi

Trafo arus untuk proteksi dengan tingkat ketelitian tinggi jika terjadi gangguan dimana arus yang mengalir dua kali lipat bahkan lebih dari arus pengenalnya serta tingkat kejenuhan tinggi

Penggunaan trafo arus proteksi untuk *relay* arus lebih (OCR dan GFR), *relay* beban lebih, *relay* diferensial, *relay* daya dan *relay* jarak.

2.4 PMT (Pemutus Tenaga)

CB atau biasa disebut dengan PMT sebuah peralatan *switching* mekanik yang memiliki kemampuan untuk menyambung, menyalurkan dan memutus arus pada kondisi normal dan abnormal sesuai dengan spesifikasi waktu dan kemampuan arus dalam pengoperasiannya PMT digerakkan oleh suatu sistem penggerak yang dapat berupa pneumatik, hidrolik atau kombinasi. Ada 2 jenis PMT, yaitu *single pressure type* dan *double pressure type*.



Gambar 2.3 Pemutus Tenaga pada GIS dengan penggerak motor
Sumber : (Gardu induk Mabar ,2019)

Data name plate :

Merk : Sprecher energi

Type : BHG 114

Buatan : switczerland

I nom : 2000

Tahun operasi : 1988

2.5 PMS (Pemisah Tegangan)

PMS tanah (pemisah tegangan) adalah peralatan *switching* mekanis yang digunakan untuk mengubah koneksi pada rangkaian tenaga atau untuk mengisolasikan rangkaian/peralatan dari sumber daya atau sumber daya ke tanah



Gambar 2.4 Pemisah pada kompartemen GIS
(Sumber :Gardu induk Mabar ,2019)

Data name plate:

Merk : Sprecher energi

Type : BHG 114

Buatan : switczerland

I nom : 2000

Tahun operasi : 1988

2.6 Bellows

Bellows adalah komponen yang berfungsi untuk menghindari pergerakan setelah dilakukan *alignment enclosure*, mengijinkan adanya pergerakan yang diakibatkan oleh ekspansi dan kontraksi, vibrasi dan seismic

2.7 PT (Potensial Transformater)

PT adalah suatu peralatan litrik yang terpasang di switchyard tegangan tinggi maupun tegangan rendah yang berfungsi untuk menaikan tegangan tinggi ke tegangan sistem lebih rendah maupun sebaliknya guna pengukuran dan proteksi



Gambar 2.5 Trafo Tegangan
(Sumber :gardu induk mabar,2019)

Data name plate:

Merk : Balteau

Type : UGB 170

Buatan : Belgium

Class : 0,5

Ratio : $150kV/\sqrt{3}$

Tahun operasi : 1998

2.8 Trafo Daya

Transformator adalah sekumpulan peralatan yang terpasang di instalasi listrik dengan kemampuan menyalurkan listrik yang berbeda sesuai rating kapasitasnya yang berfungsi yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan daya tinggi ke tegangan daya rendah atau juga sebaliknya.



Gambar 2.6 Trafo Daya GI Mabar 150/20 kV
(Sumber: Gardu induk mabar, 2019)

Data name plate:

Merk : Unindo

Type : TTUB 150

Buatan : Indonesia

Daya : 60 MVA

Frekuensi : 50 Hz

Ratio : 150/20

I nom : 1.732

Impedansi : 13,18

Vektor grub : Ynyn0

Tahun operasi : 1994

2.9 Lightning Arrester

LA adalah peralatan instalasi listrik yang terpasang di switchyard berfungsi untuk mengamankan peralatan dari gangguan surja petir atau surja hubung. Prinsip kerja dari La pada saat terjadi surja petir LA bekerja seolah olah sebagai insulator yang mengalirkan arus bocor ke tanah dalam beberapa miliampere pada tegangan sistem berubah menjadi konduktor yang sangat baik lebih rendah tegangan withstand.



Gambar 2.7 Lightning Arester GI Mabar
(Sumber :Gardu induk mabar,2019)

Data name plate :

Merk : ABB

Type : BhowtopEMP

Rated Voltage : 150 kV

2.10 CVT (Capasitive Voltage Transformer)

CVT berfungsi pembagi tegangan tinggi ke tegangan rendah primer yang terdiri dari 2 kapasitor atau lebih, kemudian tegangan di salah satu kapasitor dinaikkan dengan trafo tegangan yang rendah sehingga menghasilkan tegangan sekunder dan menangkap frekuensi lebih yang disalurkan ke PLC



Gambar 2.8 CVT GI Mabar
(Sumber: Gardu induk mabar, 2019)

Data name plate :

Merk : ABB

Type : CCV170

Buatan : India

Class : 0,5

Ratio : $150/\sqrt{3}$

Tahun operasi : 2018

2.11 Catu daya AC/DC

Supply AC/DC sangat penting dalam pergerakan peralatan listrik yang merupakan sekumpulan peralatan listrik yang terpasang di dalam ruangan kontrol berupa lembari pembagi yang didalamnya terdapat MCB,NFB dan fuse-fuse sebagai pengaman gardu induk, memiliki beban masing-masing yang berbeda disetiap komponen.

2.12 Baterai

Baterai mempunyai peran yang sangat penting di dalam instalasi gardu induk, semua peralatan yang ada di gardu induk bersumber dari baterai DC yang salah satu fungsinya untuk menggerakkan motor-motor penggerak PMT,PMS,panel *relay*, lampu lampu annunciator dan sebagainya maka dari itu performance baterai harus tetap terjaga kapasitasnya harus selalu terisi penuh,kondisi airnya (elektrolitnya) berat jenisnya serta kebersihan sel sel battery dan diukur tegangan total per sel nya secara berkala.



Gambar 2.9 Baterai Bank 1 110 V GI mabar
(Sumber :Gardu induk Mabar,2019)

Data name plate :

Merk : Honda

Type : DHD200P

Kapasitas : 200 AH

Jenis battery : Alkalin

Jumlah sel : 87 sel



Gambar 2.10 Baterai 48 V GI Mabar
Sumber : (Gardu induk mabar, 2019)

Data name plate :

Merk : Varta

Type : 55

Kapasitas : 55 AH

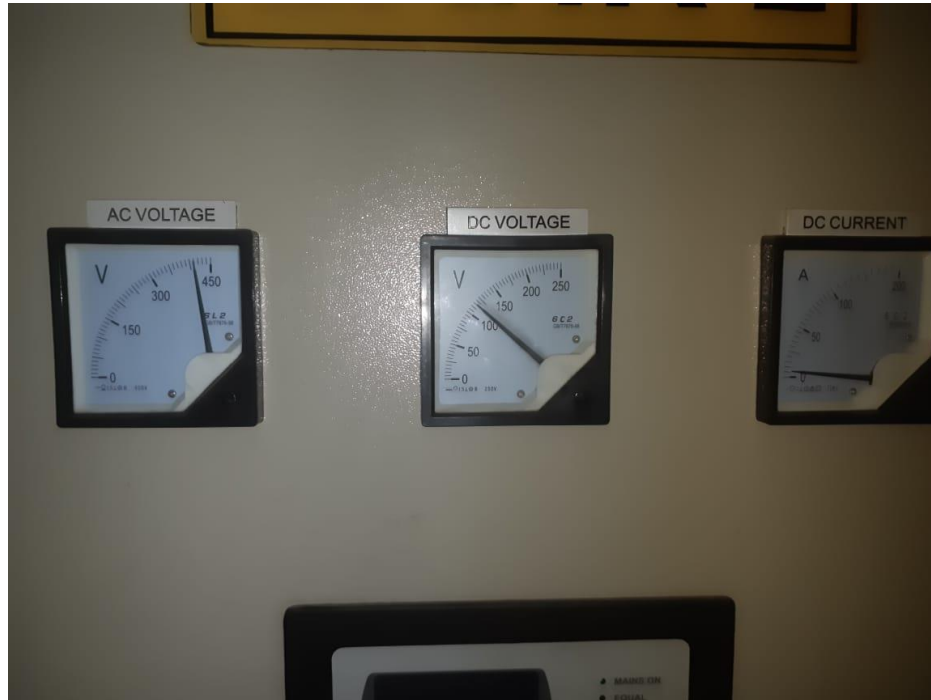
Janis baterai : Alkalin

Jumlah sel : 38 sel

2.13 Rectifier

Rectifier merupakan peralatan listrik yang cara kerjanya mengubah arus bolak balik (AC) ke arus searah (DC) sesuai kapasitasnya. Fungsi dari rectifier ini sebagai

cadangan baterai 110 V & 48 V karena itu rectifier tidak boleh padam harus selalu standby pada posisinya.



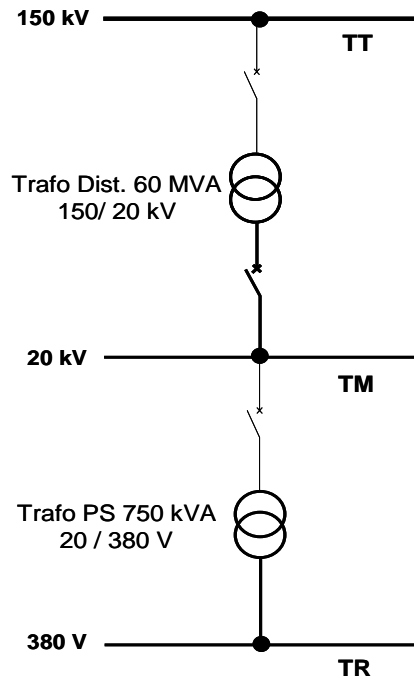
Gambar 2.11 Rectifier Bank 1 GI Mabur

(Sumber : Gardu induk mabar, 2019)

2.14 Trafo pemakaian sendiri (trafo PS)

Pengoperasian Gardu Induk memerlukan pasilitas pendukung yaitu sumber tegangan rendah AC 380 Volt yang diperlukan untuk sistem kontrol proteksi, sistem mekanik penggerak peralatan di Gardu Induk. Gardu – gardu Induk 150 kV sumber AC dipasok dari trafo pemakaian sendiri (PS) sedangkan pada GITET 500 KV, selain Trafo PS dilengkapi juga dengan generator yang diperlukan untuk keadaan darurat atau pada saat trafo pemakaian sendiri (PS) mengalami gangguan atau sedang dipelihara. Di samping itu pemakaian sendiri di Gardu Induk berfungsi untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik peralatan dalam hal memasok daya listrik ke

peralatan di Gardu Induk antara lain yang bersumber dari trafo PS sendiri, peralatan yang didukung antara lain pengisi baterai, motor kipas pendingin motor sirkulasi minyak, motor OLTC, motor Pms, penerangan gedung penerangan panel kontrol, heater dan lain lain.



Gambar 2.12 Diagram satu garis trafo PS

(Sumber : Buku pedoman pemeliharaan sistem pemakaian sendiri PLN,2014)



Gambar 2.13 Trafo PS GI Mabar
 (Sumber :Gardu induk mabar,2019)

2.15 NGR (Neutral Grounding Resistor)

NGR bisa dikatakan tahanan yang terpasang di sisi sekunder transformator sebelum terhubung langsung ke tanah. Fungsi di pasang nya NGR ini sendiri yaitu untuk membatasi arus gangguan/ arus pincang satu fasa ke tanah yang terbaca di alat ukur sistem.

Data name plate :

Merk : Suzuki

Type : NCI PO.39

NO seri : 115403

Voltage : $20/\sqrt{3}$

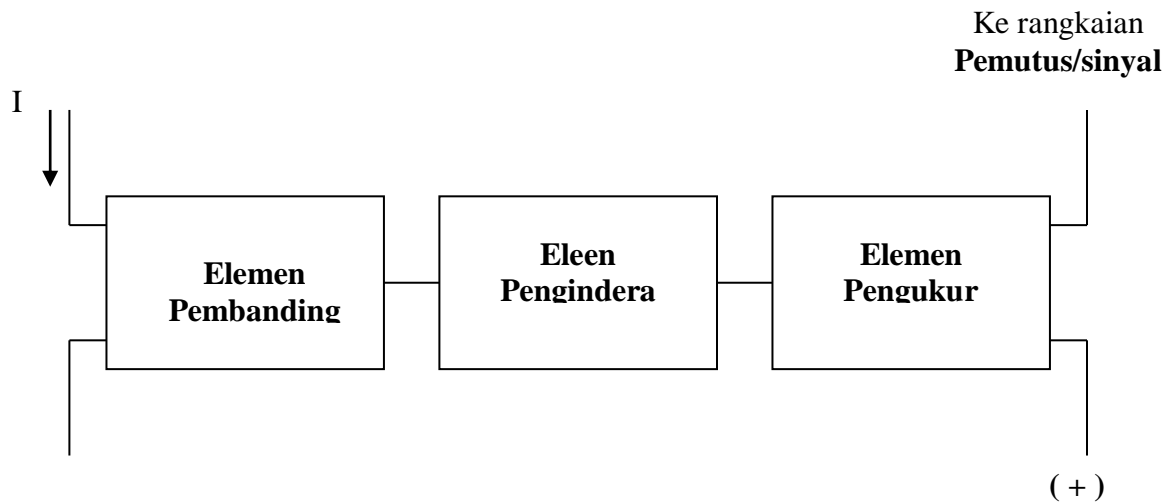
Resistan : 12 Ohm

Tahun operasi : 1987

2.16 Perangkat proteksi

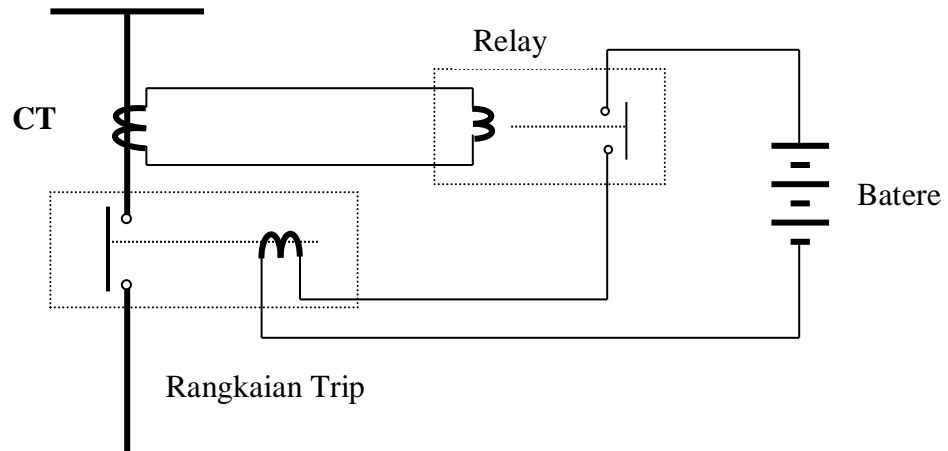
Susunan perangkat proteksi terdiri dari perangkat utama dan perangkat – perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu dengan prinsip prinsip. *Relay* merupakan proteksi utama pada transformator bekerja bila terjadi pembebanan lebih yang dipasok keluaran trafo tersebut dengan daya yang berbeda setiap jam nya dalam kurun waktu operasi 24 jam ketika ada gangguan hubung singkat internal trafo baik itu kumparan dengan kumparan atau phasa-phaasa alat ini bekerja sesuai dengan ettingannya dengan waktu tunda dalam hitungan milidetik.

Dalam proteksi utama tranformator terdapat juga komponen komponen utama pada *relay* proteksi diantaranya Trafo arus atau Trafo tegangan yaitu alat yang berfungsi untuk menaikkan arus listrik dari tinggi ke arus litrik rendah atau juga sebaliknya menaikkan besaran tegangan tinggi ke tegangan rendah guna pengukuran dan proteksi ke sistem,kemudian PMT yang yang disebut pemutus tenaga berfungsi untuk memutuskan arus litrik dalam kondisi berbeban dengan menggunakan media SF6 sebagai pemadam busur api. Disamping itu baterai dan rectifier sebagai jantung nya gardu induk memiliki peran yang sangat vital untuk keberlangsungan penyaluran tenaga listrik dan sumber bekerjanya motor motor PMT,PMS,panel kontrol,proteksi DC 110 V



Gambar 2.14 Blok diagram utama rele proteksi
(Sumber :Buku pedoman pemeliharaan proteksi, 2014)

Blok diagram proteksi terdiri dari sejumlah rangkaian elemen-elemen proteksi dimana elemen tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing, diantaranya elemen pembanding yang bekerja setelah elemen pengindera bekerja yang bertugas membandingkan besaran arus yang disalurkan ke rangkaian pemutus kemudian dibaca oleh elemen pengindera yaitu membaca arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya, bagian ini dapat dirasakan keadaan sistem proteksi bekerja normal atau ada gangguan untuk langsung dikirim besarnya ke elemen pembanding dengan menentukan perubahan sesepat mungkin untuk memberikan order ke PMT untuk membuka atau memberikan sinyal.



Gambar 2.15 Rangkaian rele proteksi sekunder
(Sumber : Buku pedoman pemeliharaan sistem proteksi,2014)

Rangkaian *relay* proteksi sekunder dalam keadaan normal maupun gangguan yang di apit oleh kedua CT serta PMT yang bekerja dengan perbedaan selisih arus dari arus yang telah di *setting* oleh *relay*, apabila besaran tidak seimbang dari yang telah di *setting*, kumparan *relay* akan bekerja dengan cepat untuk menarik kontak dengan waktu tunda serta memberikan *order* pada trip coil untuk memutuskan PMT/CB dengan *supply* baterai 110 V.

2.17 Zona proteksi

Membatasi luas daerah sistem- sistem tenaga harus diisolasi bila terjadi gangguan maka zona proteksi dibuat sangat selektif, namun melihat pertimbangan ekonomi pembentukan zona proteksi sulit dilakukan harus menggunakan dua buah trafo arus yang berbeda. Pemasangan trafo arus dilakukan pada satu sisi PMT agar dapat memproteksi pemutusan pada saat terjadinya gangguan

2.18 Faktor keandalan

Salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perancangan jaringan sistem tenaga listrik dengan tingkat keandalan yang sangat tinggi. Beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan sistem sistem proteksi jaringan tenaga listrik adalah perancangan, setelan *relay*, salah instalasi, pemburukan dan faktor kinerja

2.19 Perancangan

Perancangan sistem proteksi adalah proses yang sangat penting yang dapat menentukan baik atau buruknya sistem proteksi. Pada waktu perancangan, proteksi harus sudah bisa dipertanggung jawabkan bahwa sistem proteksi yang dirancang sedemikian rupa dapat bekerja sesuai parameter operasi dan konfigurasi jaringan. Sistem proteksi harus selalu *standby* pada kondisi normal, secara umum faktor-faktor yang diperhatikan waktu perencanaan sistem proteksi adalah semua parameter sistem tenaga, karakteristik sumber daya, sistem pentanahan dan perangkat proteksi yang dibutuhkan

2.20 Setelan

Setelan *relay* arus dan waktu salah satu faktor penting dalam aplikasi proteksi sistem tenaga listrik. Seorang teknisi khususnya *expert* sistem proteksi harus mampu menentukan setelan yang tepat terhadap setiap *relay* proteksi sesuai lokasinya dengan memperhitungkan semua parameter seperti level arus gangguan, beban normal dan parameter lain. Perlu juga dipertimbangkan jaringan seiring dengan perubahan waktu mengikuti perubahan beban, dan meningkatnya jumlah pembangkit baru yang terhubung dengan jaringan perkembangan perkotaan, oleh karena itu secara periodik setelan *relay*

proteksi harus ditinjau secara berkala dan ditata ulang mengikuti perkembangan sistem sehingga unjuk kerja sesuai kebutuhan realnya.

2.21 Instalasi

Instalasi sistem proteksi mengikuti prosedur instalasi sesuai *standart* instalasi yang berlaku. Mengingat beragamnya diagram sistem interkoneksi dengan fungsi masing-masing wiring maka sistem instalasi harus dibuat dengan menggunakan gambar dan diagram yang menunjukkan setiap fungsi wiring sehingga pada waktu commissioning dan pemeliharaan operator tidak mengalami kesulitan. Oleh sebab itu pengetesan dilapangan sangat penting dilakukan *wiring* ke *wiring* lainnya satu titik ke titik lain sehingga sistem dapat bekerja dengan benar tanpa meniruka semua jenis gangguan

2.22 Pengetesan

Pengetesan harus dilakukan secara lengkap dan bertahap mencakup semua skema proteksi kususnya sebelum masuk ke sistem. Pengetesan dilakukan semaksimal mungkin dan dalam keadaan *real* jaringan yang mau diproteksi. Meskipun pengetesan *relay* proteksi sesuai dengan *standart* yang berlaku sudah dilakukan pengetesan di pabrik namun terlebih dahulu sebelum dioperasikan penting di komisioning secara menyeluruh menguji kebenaran semua instalasi pengawatan, setelan setelan dan semua fungsi lain sesuai kebutuhan

2.23 Pemburukan

Staff pengetesan harus mempunyai kompetensi teknis dengan baik dan mampu mengantisipasi semua kemungkinan yang menyebabkan kegagalan sistem proteksi termasuk faktor pemburukan. Mengingat periode waktu kerja *relay* berlangsung dalam waktu tahunan dan bukan dalam orde hari maka selama periode tersebut suatu *relay* proteksi bisa saja mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi gagal bereaksi terhadap gangguan yang mungkin timbul, faktor ini juga menentukan mengapa perlu dilakukan pengetesan secara periodik. Agar pengetesan dilakukan tidak mengganggu sistem koneksi atau dalam keadaan operasi maka disediakan terminal-terminal atau *test* blok yang digunakan sebagai terminal test dimana para teknisi tidak perlu mencabut satu atau lebih wiring dari tempatnya. Disamping itu rangkaian rawan seperti perangkat supervisi terus diperhatikan pada tangkain cicuit breaker atau saluran kabel plot.

2.24 Kinerja syarat proteksi

Kinerja sistem proteksi dinilai secara statistik, prinsip penilaian *assesment* menghasilkan evaluasi yang teliti terhadap kinerja sistem proteksi secara menyeluruh, yang pada akhirnya dapat digunakan untuk menilai kinerja sistem proteksi yang diharapkan bekerja pada masing-masing gangguan secara benar dan konsisten. Keandalan lengkap tidak mungkin tercapai hanya dengan melakukan perbaikan konstruksi *relay* proteksi bila level kehandalan tunggal saja, maka itu demi peningkatan keandalan dilakukan dengan sistem berlapis yaitu dengan menduplikasi perangkat proteksi tersebut. Idealnya proteksi dirancang dapat bekerja mandiri untuk melakukan fungsi tertentu sesuai kebutuhan, probalitas gagal masing-masing adalah x

per unit maka secara bersama kegagalan dua perangkat X2. Untuk sistem yang kritis, sistem proteksi dapat dilengkapi digital fault simulator yang lebih akurat.

2.25 Selektifitas

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan *relay* proteksi melakukan tripping secara tepat sesuai yang telah ditentukan waktu mendesain sistem proteksi tersebut, dalam arti harus mampu bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang diamankan

2.26 Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi terkait skema unit proteksi untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristiknya dan tidak terpengaruh faktor luar daerah proteksinya ketika ada arus lebih dan gangguan. Artinya proteksi dirancang tanpa terpengaruh parameter luar

2.27 Kecepatan

Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya akibat kehilangan sinkronisasi sistem yang dapat menurunkan sistem proteksi. Bila pembebanan sistem naik, pergeseran fasa antara dua busbar yang berbeda juga naik maka kemungkinan akan terjadi kehilangan sinkronisasi. Dapat dilihat gangguan fassa mempunyai pengaruh lebih kuat karena itu perlu dihilangkan secara lebih cepat, namun faktor pertimbangan lain faktor stabilitas, faktor ekonomi perlu dipertimbangkan mengingat energi panas yang dipancar selama gangguan ke peralatan sebanding dua kali durasi waktu gangguan

2.28 Sensitivitas

Istilah yang sering dikaitkan dengan besaran penggerak minimum misalnya level arus minimum, tegangan daya dan besaran lain dimana proteksi masih mampu bekerja dengan baik, artinya semakin rendah parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif. Sensitivitas pada *relay* elektromekanikal selalu dikaitkan dengan kepekaan dari perangkat bergeraknya terhadap daya yang diserapnya dalam bentuk Volt Ampere, semakin kecil VA maka *relay* semakin sensitif

2.29 Sistem kontak

Sistem kontak pada *relay* menghasilkan keluaran tripping dan indikasi baik remote maupun lokal, macam kontak kebutuhan *relay* yaitu kontak reset otomatis kontak yang dalam keadaan bekerjanya besaran untuk menggerakkan kontak kembali pada posisi normal dan kontak reset manual hanya bisa direset secara manual dengan menggunakan *relay* elektromagnetik lain. Rata rata proteksi mempunyai jenis *self* reset yang menggunakan *relay* bantu *auxiliary* yang dilengkapi kontaktor tripping.

2.30 Gangguan sistem transmisi

Jaringan tenaga listrik mengalami gangguan harus dapat segera diketahui dan ditindak lanjuti serta dipisahkan dari bagian jaringan lainnya secepat mungkin dengan maksud agar kerugian yang lebih besar dapat dihindarkan. Gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi diantaranya pada pembangkit, jaringan transmisi atau di jaringan distribusi. Penyebab gangguan tersebut tersebut dapat diakibatkan oleh gangguan sistem dan non sistem.

a. Gangguan Sistem

Yang termasuk gangguan sistem adalah gangguan sistem aktif dan gangguan sistem pasif, untuk gangguan sistem aktif jenis gangguan ini perlu dilakukan pemeriksaan dan perbaikan lebih lanjut, karena gangguannya tidak terisolir dengan benar ditandai dengan sistem proteksi tidak selektif dalam mengisolir gangguan, waktu pemutusan gangguan tidak sesuai, sistem proteksi tidak bekerja pada saat dibutuhkan. Sedangkan gangguan sistem pasif yang tidak terisolir dengan benar bukan gangguan hubung singkat antar belitan dan bukan juga kegagalan dari sistem proteksinya, gangguan pasif ditandai dengan ketidakstabilan sistem (*power swing*), naik turun beban secara tiba tiba,kenaikan dan penurunan frekuensi sistem skala 50 HZ serta pembebanan yang lebih dari trafo maupun sistem itu sendiri contoh gangguan aktif antara lain petir, crane, isolator pecah, konduktor putus, layang-layang, pohon dan sebagainya

b. Gangguan Non Sistem

Gangguan yang terjadi ketika sistem proteksi mengalami kegagalan peralatan unjuk kerja sistem proteksi yang harus diganti contoh seperti penurunan tekanan gas sf6 PMT,DC Ground pada baterai,mala kerja *relay* dan lain lain.

2.31 Proteksi trafo tenaga

Pengaman proteksi trafo bertugas mengamankan transformator dari gangguan gangguan hubung singkat didaerah pengaman internal trafo gangguan bisa disebabkan oleh gangguan internal dan gangguan ekasternal, gangguan eksternal bisa disebabkan karena kenaikan beban secara tiba-tiba, gangguan hubung singkat di jaringan dan lain lain sedangkan gangguan internal bisa terjadi gangguan di trafo nya misalnya gangguan inti trafo, gangguan antar kumparan atau belitan di dalam trafo, gangguan tap changer, kerusakan bushing , kebocoran minyak atau rembes mengenai *body* trafo dan kenaikan suhu lebih melebihi batas *setting* suhu yang telah ditetapkan

Jenis proteksi trafo tenaga

a. Relay Bucholz

Relay ini berada di internal trafo yang prinsip kerjanya mendeteksi gelembung gelembung gas di dalam trafo biasanya terjadi adanya gangguan gangguan kecil didalam tangki transformator akibat hubung singkat antar belitan primer maupun sekunder. Gas yang terbentuk akan berkumpul di *relay* diimbangi menuruni level minyak perlahan -lahan akan terjadi kebocoran



Gambar 2.16 Relay Bucholz Gi Mabar
(Sumber :Gardu induk mabar,2019)

b. Relay suhu

Prinsip kerja dari *relay* suhu HV/LV wending temperature bekerja bila kenaikan suhu secara tiba tiba bisa terjadi karena pembebanan yang besar dari daya yang dipikul trafo selama 24 jam .Sedangkan rele oil temperatur bekerja apabila suhu trafo melebihi suhu batas settingannya besarnya kenaikan suhu sebanding dengan pembebanan trafo daya yang dipikulnya

2.32 Relay Differensial

Relay ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi didalam daerah pengaman transformator. Prinsip kerja berdasarkan hukum khircof yang banyaknya arus yang masuk disisi primer sama dengan arus keluar di sisi sekunder artinya *relay* ini bekerja jika ada selisih perbedaan arus dikedua sisi primer dan sekunder atau selisih arus tidak sama dengan nol. *Relay* ini bekerja dengan sangat cepat,selektif dan handal tanpa koordinasi dengan *relay* lainnnya yang mengamankan trafo pada saat terjadi gangguan sistem maupun non sistem yang bekerja di dalam daerah pengaman trafo dan jika terjadi gangguan diluar trafo relay ini tidak bekerja sesuai dengan fungsinya dan prinsip kerjanya



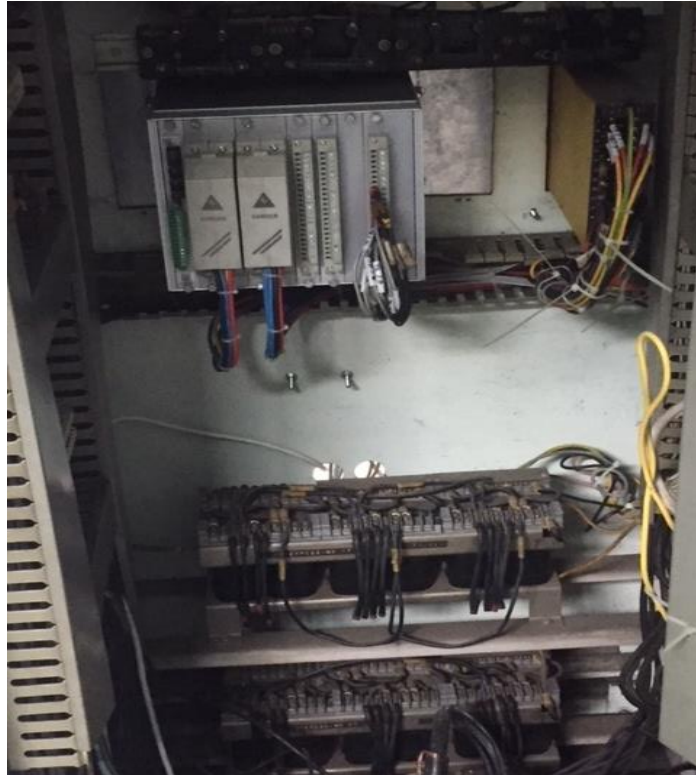
Gambar 2.17 Relay Diferensial Gardu Induk Mabar NR 9671
(Sumber :Gardu induk mabar,2019)

Relay ini bekerja dengan sangat cepat, selektif dan handal tanpa koordinasi dengan *relay* lainnya yang mengamankan trafo pada saat terjadi gangguan sistem maupun non sistem yang bekerja di dalam daerah pengamanan trafo dan jika terjadi gangguan diluar trafo *relay* ini tidak bekerja

2.33 Prinsip proteksi differensial

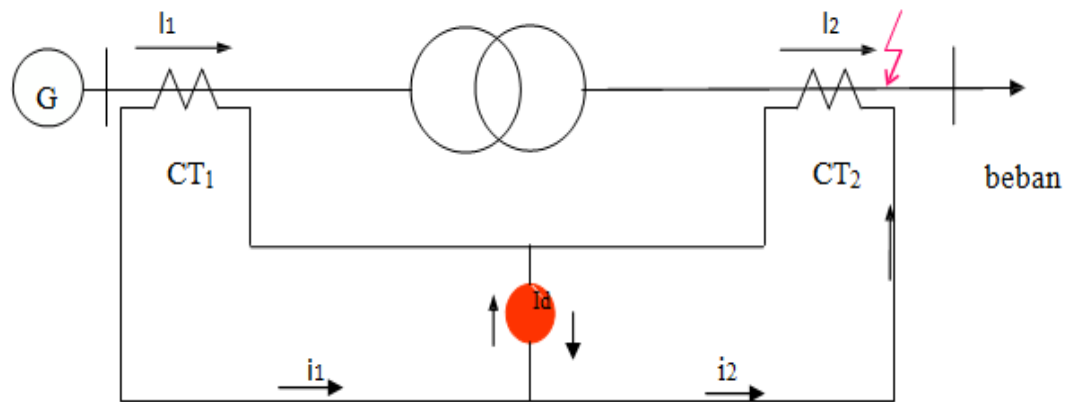
Prinsip kerja dari *relay* differensial dengan banyak saluran sebenarnya diperoleh menerapkan hukum kirchhof pertama. Dengan penggerak *relay* arus sirkulasi akibat penjumlahan arus pada trafo yang terhubung paralel ke *relay* lewat kawat penghubung. Dalam keadaan normal arus sirkulasi yang menuju *relay* sama dengan nol sehingga *relay* tidak bekerja, *relay* tersebut aktif ketika busbar mengalami gangguan hubung singkat ke tanah yang menyebabkan arus yang mengalir lewat

kumparan *relay* tidak sama dengan nol tetapi sudah berubah menjadi arus differensial dengan nilai yang sudah melebihi setelan yang ditentukan



Gambar 2.18 Panel proteksi differensial diapit oleh CT1 dan CT2
(Sumber: Gardu induk mabar, 2019)

Jika terjadi perbedaan arus masuk dan arus keluar berdasarkan hukum kirchoff menandakan terjadinya anomali gangguan yang terjadi didalam daerah pengaman nya secara otomatis *relay* differensial bekerja sesuai waktu *setting* nya artinya arus differensial harus lebih besar dari pada arus setting nya dan proteksi dikatakan baik dapat mengorder sinyal ke PMT untuk memutuskan besarnya arus gangguan hingga tidak melebar.



Gambar 2.19 Gangguan diluar daerah pengaman *relay* differensial
 (Sumber: Buku pedoman pemeliharaan proteksi gardu induk, 2014)

Arus yang mengalir pada *relay*

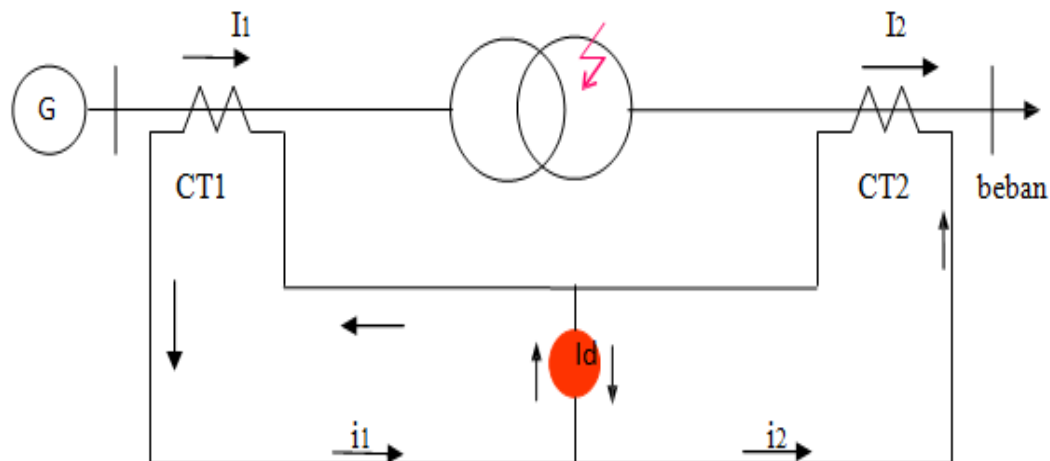
$$I_d = i_1 - i_2 = 0 \quad (2.1)$$

Dimana :

I_1 = Arus yang mengalir di CT1

I_2 = Arus yang mengalir di CT2

Oleh karena itu *relay* hanya bekerja jika terjadi didalam daerah pengaman, dan tidak bekerja diluar daerah pengamannya



Gambar 2.20 gangguan didalam daerah pengaman trafo
(Sumber: Buku pedoman pemeliharaan proteksi gardu induk, 2014)

$$I1=I1$$

$$I2=0$$

$$Id= i1-i2 = i1 \quad (2.2)$$

Maka *relay* akan bekerja, arus mengalir ke arah gangguan sehingga $Id=i1+i2$

2.34 Pola proteksi transformator

Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal transformator hanya memiliki proteksi elektrik. Peralatan proteksi yang dipergunakan berdasarkan kapasitas transformator

2.35 Pola proteksi transformator tenaga TT/TM

Proteksi transformator tenaga umumnya menggunakan *relay* differensial dan *relay Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi

cadangan menggunakan *relay* arus lebih (OCR) *relay* gangguan ke tanah (GFR). Sedangkan *Stanby Earth Faulth* (SBEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor dan fungsinya lebih mengamankan NGR umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan.

2.36 Pola proteksi transformator IBT

Pola proteksi transformator IBT TET/TT yang menggunakan pola duplikasi proteksi, artinya menggunakan 2 buah proteksi utama yaitu utama 1 dan utama 2, sehingga pola yang dipergunakan pada transformator IBT/TET adalah differensial utama1, differensial utama 2, REF utama 1, REF utama 2. Sedangkan OCR/GFR hanya dipergunakan sebagai pengaman cadangan terhadap gangguan eksternal.

Proteksi Mekanik

Tabel 2.1 Proteksi mekanik

1	Relay suhu minyak	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
2	Relay suhu belitan primer	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
3	Relay suhu belitan sekunder	-	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
4	Relay bucholz tangki utama	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
5	Relay tekanan lebih tangki utama	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah
6	Relay tekanan lebih OLTC	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah	1 buah

Sumber:proteksi dan kontrol transformator,2014

Proteksi Elektrik

Tabel 2.2 Proteksi Elektrik

1	Relay differensial	1 buah	1 buah	2 buah	1 buah	1 buah
2	Relay REF sisi primer	-	1 buah	2 buah	1 buah	1 buah
3	Relay REF sisi sekunder	-	1 buah	2 buah	1 buah	1 buah
4	Relay OCR sisi primer	2 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa
5	Relay OCR sisi sekunder	2 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa

Sumber:proteksi dan kontrol transformator, 2014)

2.37 Pola proteksi trafo IBT TT/TT(150/70 kV)

Perbedaan pola proteksi transformator IBT TT/TT memiliki 1 buah *relay* differensial dan 1 buah *relay* REF sisi primer dan 1 buah REF sisi sekunder trafo bila konfigurasi belitan 70 kV atau 60 kV adalah YN). Dan dilengkapi dengan SBEF bila 70 kV atau 66 kV ditanahkan dengan NGR.

2.38 Skema Over load shedding (OLS) pada Trafo

Umumnya skema OLS menggunakan relay OCR bekerja mentripkan parsial beban jika terjadi kenaikan beban tiba-tiba. Skema UFR/OFR menggunakan *relay* frekuensi bekerja apabila terjadi penurunan atau kenaikan frekuensi di sistem. UFR bekerja mentripkan beban untuk menaikkan frekuensi ke kondisi normal, namun OFR mentripkan mentripkan di sisi pembangkit dan menurunkan frekuensi ke kondisi normal.

2.39 Pola proteksi reaktor

Pemasangan pola proteksi reaktor dapat dipasang melalui beberapa cara, salah satunya reaktor dihubungkan seri dengan fasa yang bertujuan membatasi arus gangguan fasa-fasa dan yang kedua reaktor dihubungkan shunt sebagai kompensasi komponen kapasitif akibat jaringan yang panjang. Reaktor yang dihubungkan secara shunt dapat dihubungkan secara langsung ke bus dapat melalui tersier IBT. Reaktor yang dihubungkan secara paralel memiliki proteksi dengan sistem proteksi trafo yang sama untuk kapasitas yang sama, dengan menggunakan pola proteksi *relay* differensial sebagai proteksi utama, OCR/GFR sebagai backup nya. Reaktor TET biasanya menggunakan *relay* differensial yang konstruksi reaktornya 1 fasa dalam 1

tangki, sedangkan *relay* REF biasanya digunakan di reaktor tegangan tinggi dan tegangan menengah yang konstruksi reaktornya 3 fasa dalam 1 tangki utama

2.40 Pola proteksi kapasitor

Pemasangan proteksi kapasitor di desain pada kapasitor yang sama, yang mendeteksi gangguan kapasitor yang berbeda yang ditanahkan dengan kapasitor yang tidak ditanahkan dalam kondisi beban tidak seimbang. Menggunakan *relay* OCR/GFR untuk mengamankannya dari gangguan

2.41 Parameter pengujian relay proteksi :

a. Relay Differensial

Nilai arus kerja minimum menjadi setelan arus minimal yang akan mengerjakan *relay* pada nilai arus restrain, nilai slope merupakan perbandingan pertambahan nilai arus differensial terhadap pertambahan nilai arus restrain ,2nd harmonic restrain, merupakan nilai minimal harmonisasi ke -2 yang akan memblok kerja differensial *relay*, karena itu harus diperhatikan nilai setelahnya bloknya ketika terjadi gangguan.5th harmonic restraint, merupakan nilai minimal harmonisasi ke-5 yang akan memblok kerja differensial *relay*. Ukuran parameter ada tidaknya over eksitasi

b. Relay Restricted Earth Faulth (REF)

Proteksi utama transformator yang prinsip kerjanya sama dengan differensial relay, hanya saja REF sebagai pengaman trafo gangguan phasatanah, khususnya dekat dengan titik bintang reaktor dengan konfigurasi Y diketanahkan. REF ada dua jenis yaitu REF jenis *low* impedansi arus

minimum acuan parameter kerjanya dan REF jenis *high impedance* acuan parameter kerjanya ialah tegangan minimum atau arus minimum

c. *Relay OCR*

Relay ini merupakan *relay* backup trafo jika *relay* utama tidak bekerja, maka *relay* ini sebagai backup nya. Parameter OCR biasanya :

1. Nilai arus kerja minimum yaitu arus yang mengerjakan rele
2. Nilai arus reset/drop off yaitu waktu rele reset setelah menuju waktu pickup
3. Nilai arus kerja high set untuk arus gangguan yang besar
4. Dilanjut karakteristik waktu kerja *relay*
5. *Relay* SBEF atau SEF

Relay yang berada di sisi 20 kV bagian proteksi dari NGR yang berfungsi mengamankan hubung singkat fasa tanah. SBEF hanya ada di Trafo yang pentanahannya menggunakan NGR parameter SBEF/SEF umumnya nilai arus kerja minimum nilai arus reset, karakteristik waktu kerja

2.42 Annunciator dan Alarm

Annunciator merupakan indikasi indikasi yang terpasang di panel kontrol yang dilengkapi dengan alarm berupa peringatan sirine suara yang bekerja bersamaan dengan terjadinya gangguan. Tombol –tombol yang terpasang di annunciator antara lain selector switch, discrepancy control switch, meter, trip circuit supervision (TCS) Pengujian Fungsi waktu pemutusan gangguan. Lama maksimum waktu PMT memutuskan gangguan berdasarkan grid code dapat dibedakan berdasarkan level tegangan. Untuk tegangan sistem 500 kV waktu pemutusanya 90 ms, tegangan sistem

275 kV waktu pemutusnya 100 ms, sedangkan sistem 150 kV waktu pemutus 120 ms, sistem 70 kV sebesar 150 ms perangkat khusus harus digunakan untuk waktu *dead time* yang dibutuhkan pada skema reclosing kecepatan tinggi

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian yang dilaksanakan yaitu penelitian studi kasus (penelitian lapangan) yang dilakukan pada bulan Desember 2018 observasi langsung ke Gardu Induk Mabar 150 kV dibawah naungan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Glugur UPT Medan selama 10 hari, dengan melakukan sejumlah pertanyaan kepada tim har bagian proteksi ULTG glugur. Metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi pustaka

Mencari teori teori atau buku buku terkait *relay* differensial pada Trafo salah satunya dengan membaca sumber buku yang diterbitkan oleh PT.PLN (persero) Sk dir 520 atau buku pedoman pemeliharaan sistem proteksi kontrol transformator, buku manual book dan sebagainya

2. Observasi

Terjun langsung ke lapangan yaitu gardu induk mabar dengan sharing langsung ke bagian tim har proteksi bagaimana cara menghitung, mensetting *relay* differensial dan menguji agar *relay* bekerja dengan optimal

3. Pengumpulan data

Setelah studi pustaka dan dilanjutkan ke tahap observasi yang terakhir mengumpulkan data data yang dibutuhkan antara lain data trafo tenaga eksisting, data CT yang terpasang rasio sisi primer dan sekunder, merk *relay* differensial dan single line diagram gardu induk mabar

Software pengujian

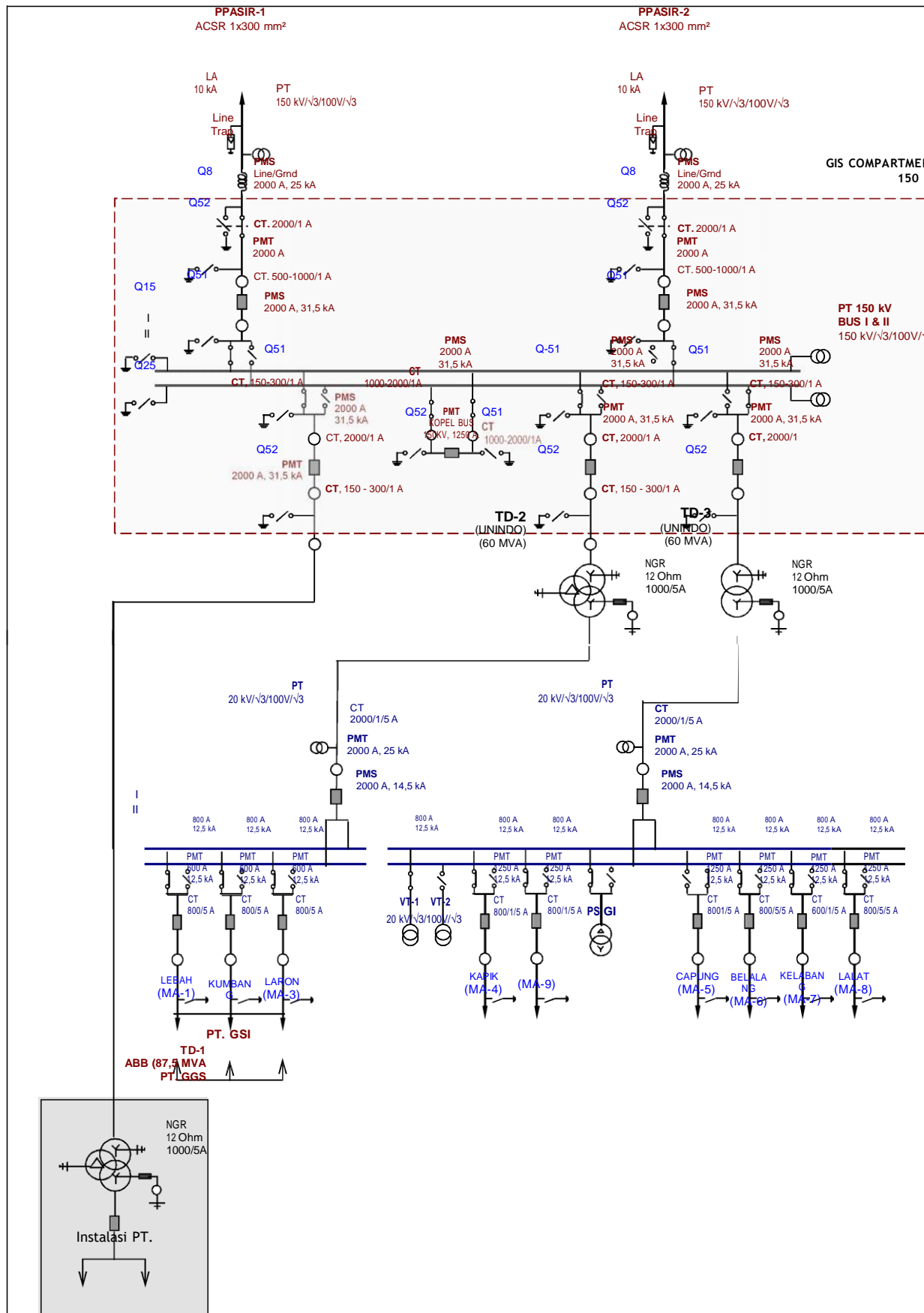
Menjalankan software omicron CMC 356 guna mempermudah dalam melaksanakan pengujian pengujian relay differensial dan mengetahui besaran arus dijalankan sistem proteksi. Adapun Intruksi kerja dalam pengoperasian alat uji Omicron CMC 356

- 1 Baca buku manual book imicron cmc 356
- 2 Software rele yang akan diuji
- 3 Sebelum melaksanakan pengujian terlebih dahulu koordinasi dengan petugas lapangan
- 4 Siapkan buku wiring untuk mengetahui letak terminal CT
- 5 Pasang kabel pembumian CMC hubungkan ke terminal
- 6 Siapkan sumber DC dari alat uji
- 7 Kembalikan ke settingan awal setelah melakukan pengujian
- 8 Setelah pengujian selesai save hasil pengujian

Peralatan uji :

- 1 CMC 356
- 2 Laptop
- 3 Power cord cable
- 4 Groundingg cable
- 5 USB
- 6 Measurement cable
- 7 Cable adapte

SINGLE LINE DIAGRAM GARDU INDUK MABAR



Gambar 3.1 single line diagram gardu induk mabar
(Sumber: Gardu induk mabar, 2019)

Data-data teknik yang dibutuhkan :

Data Trafo tenaga yang beroperasi di Gardu induk Mabar

Tabel 3.1 Transformator tenaga

NO TRF	MERK	TYPE	BUATAN	NO. SERI	TAHUN		DAYA (MVA)	FRQ (Hz)	RATIO (kV)	In (Amp)	IMPEDANSI %	VECTOR GROUP
					OPRS	BUATAN						
1	UNINDO	TTUB 150/60000	INDONESIA	A91159901	1994	1991	60	50	150/20	1,732	13,18	YNyn0

Sumber : Buku kuning gardu induk mabar, 2019

Berikut data spesifikasi Trafo daya Gardu induk Mabar yang beroperasi sejak tahun 1994 dengan merk Unindo type TTUB 150/6000 dengan kapasitas daya maksimal yang dapat ditampung 60 MVA pada frekuensi 50 Hz, ditambah dengan tahanan 13,18 % menggunakan hubungan belitan YnYn0

Data CT yang beroperasi di Gardu Induk Mabar sisi 150 kV

Tabel 3.2 Curret transformer (CT)

TEG		MERK	TYPE	TAHUN		NO	RATIO
OPR	NOM			BUATAN	OPRS	SERI	ARUS
150	170	BALTEAU	SEV 150	1987	2003	75/53631/02	150-300/5-5-5A
150	170	BALTEAU	SEV 150	1987	2003	75/53631/01	150-300/5-5-5A
150	170	BALTEAU	SEV 150	1987	2003	75/53631/03	150-300/5-5-5A

Sumber : Gardu Induk Mabar, 2019)

Berikut data spesifikasi CT di sisi primer dalam tegangan operasi 150 kV gardu induk Mabar yang beroperasi tahun 2003 dengan merk Balteau type SEV 150 rasio yang terpasang disisi primer 300/5 A

Data CT yang beroperasi di Gardu induk Mabar sisi 20 kV

Tabel 3.3 Current transformer (CT)

20	24	TRAFINDO	CTB-242	1987	2003	17CI 11789	2000/5
20	24	TRAFINDO	CTB-242	1987	2003	17CI 11840	2000/5
20	24	TRAFINDO	CTB-242	1987	2003	17CI 11795	2000/5

Sumber: Gardu induk mabar, 2019

Berikut data spesifikasi CT sisi sekunder 20 kV Gardu induk mabar merk Trafindo tahun operasi 2003 Type CTB-242 mempunyai rasio 2000/5 yang terpasang disisi sekunder 20 kV

Data Relay differensial Gardu induk Mabar

Tabel 3.4 Relay differensial

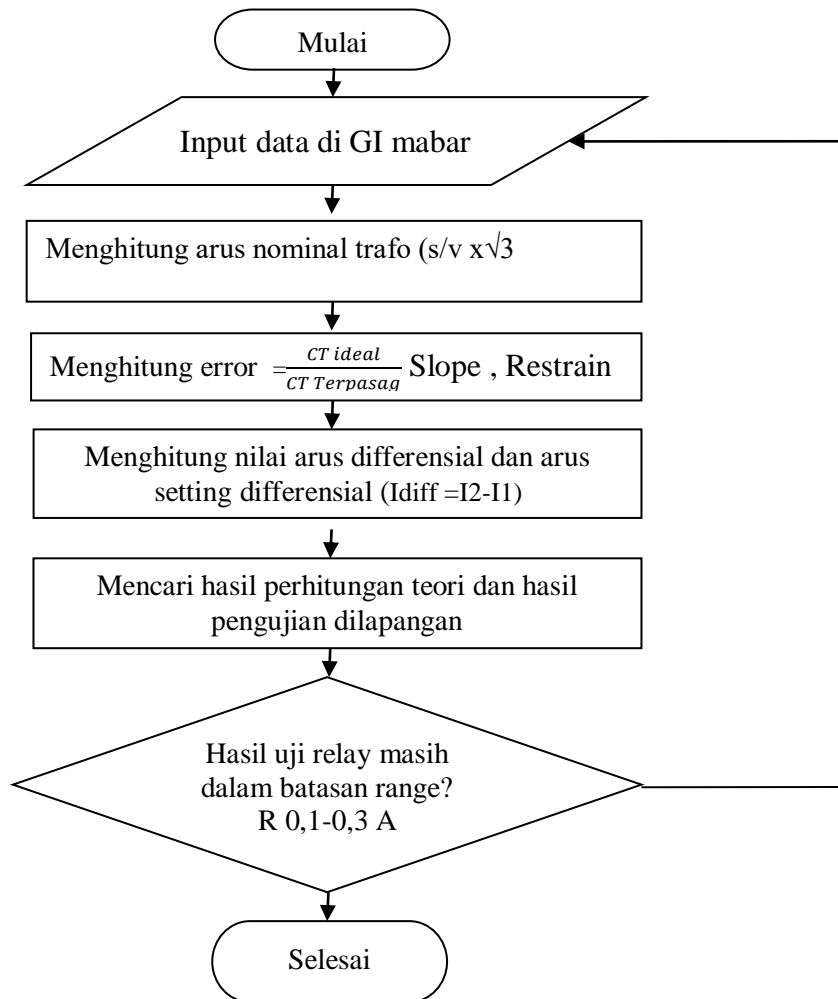
Merk	Type	No seri	I Rating
PCS-9671-EN-150159	NR NR9671	NRJB2090891540020	1A

Sumber: Gardu induk mabar, 2019

Berikut data spesifikasi *relay* differensial Gardu induk Mabar yang beroperasi saat ini menggunakan merk PCS 9671-EN-150159 dengan Type NR 9671 yang dapat dilalui arus rating nya sebesar 1 A yang bernomor seri NRJB2090891540020

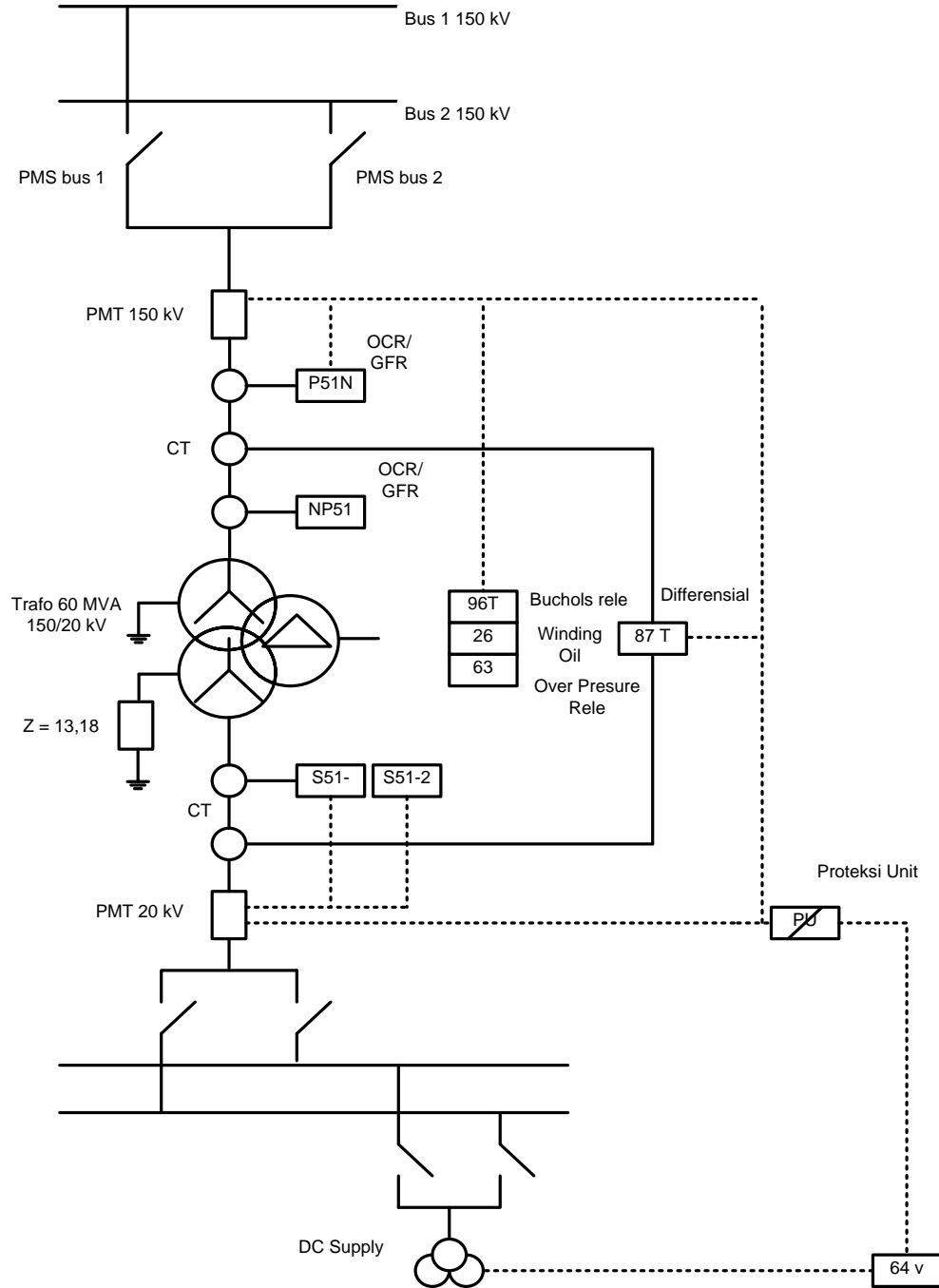
3.2 Flowchart

Secara garis besar pengamatan penelitian ini digambarkan secara singkat melalui Flowchart sebagai berikut :



Gambar 3.2 Flowchart
(Sumber : penulis, 2019)

3.3 Blok diagram



Gambar 3. 3 Blok Diagram

(Sumber : penulis, 2019)

Blok diagram atau single line diagram yaitu diagram satu garis dengan tujuan untuk menyederhanakan notasi dari kelistrikan 3 fasa atau analisis aliran daya yang terdiri dari komponen listrik 3 fasa seperti Busbar, Transformator, Current Transformer, PMT, Lightning Arrester, Relay proteksi, Relay cadangan dan sistem DC yang ditampilkan dalam bentuk standart simbol skematik. Single line diagram yang efektif harus menunjukkan dimana area sumber kelistrikan terhubung dari tegangan sistem 150 kV hingga ke tegangan sistem 20 kV sampai masuk ke setiap beban. Sehingga setiap jenis peralatan mempunyai rating tegangan, ukuran, konfigurasi, kapasitas dan kuat hantar arus masing masing peralatan listrik. Mula-mula tegangan berada di Busbar 1 dan Busbar 2 lalu dikirim ke PMS bus dan ujung tegangan dipisahkan sampai di PMS bus kemudian di supply kembali ke PMT 150 kV di sisi primer dan PMT 20 kV sisi sekunder yang diapit oleh kedua trafo arus selanjutnya tegangan masuk ke trafo dengan hubungan vektor bintang-bintang dengan kemampuan 60 MVA di dalamnya terdapat *relay* utama trafo yaitu differensial serta *relay* internal trafo diantaranya Bucholz, Sudden Pressure, Winding Oil yang bekerja pada saat trafo mengalami gangguan internal, sebelum arus gangguan terbaca oleh *relay* terlebih dahulu arus gangguan yang masuk disisi primer dan sekunder dibaca oleh dua buah trafo arus, jika ada perbedaan selisih arus maka *relay* differensial bekerja memberikan order ke PMT untuk trip, jika arus gangguan lebih besar dari arus setting maka relay bekerja. Di samping itu supply DC 110 V yang berfungsi untuk menggerakkan motor penggerak PMT, PMS dan panel Relay.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian dilapangan relay differensial

Lokasi /Gardu induk : Gi Mabar

Bay : Trafo daya 3

Merk : NR 9671

No seri :NRJ2090891540020

Rasio CT primer : 300/5

Rasio CT sekunder : 2000/5

I nominal : 1 A

4.1.1 Pengujian arus kerja Minimum (Pick Up)

Setting I op : 0.3 A

tegangan HV : 150000

Tegangan LV : 20000

Hasil uji : 3 fasa IR,IS,IT sisi primer (HV) dan (LV) sisi sekunder

Tabel 4.1 hasil uji arus kerja minimum

HV		LV	
Pickup	Reset	Pickup	Reset
1.15	1.11	1.29	1.22
1.15	1.11	1.29	1.22
1.15	1.11	1.29	1.22

Sumber: Penulis, 2019

4.1.2 Pengujian harmonic bloking : Tidak di uji

Setting 2nd harmonic bloking : 15 %

Setting 5th harmonic blocking : 30 %

Hasil uji 2nd harmonic blocking : 0

5th harmonic blocking : 0

4.1.3 Pengujian slope differensial :

Setting slope 1 : 0.3 %

Setting Slope 2 : 0.7 %

Hasil uji Slope 1 : 0.292

Slope 2 : -

4.1.4 Pengujian karakteristik *relay* differensial

Tabel 4.2 Pengujian karakteristik differensial

Fasa	Pengukuran	Stn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	I1	Amp	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
	I2	Amp	2.39	3.01	3.77	4.53	5.29	6.05	6.81	7.56	8.31	9.065
	Iop	Amp	7.303	7.635	8.776	9.916	11.06	12.2	13.34	14.42	15.5	16.61
	(I1+I2)/2	Amp	10.15	13.56	17.38	21.2	25.01	28.83	32.65	36.44	40.23	44.03
S	I1	Amp	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
	I2	Amp	2.39	3.01	3.77	4.53	5.29	6.05	6.81	7.56	8.31	9.065
	Iop	Amp	7.303	7.635	8.776	9.916	11.06	12.2	13.34	14.42	15.5	16.61
	(I1+I2)/2	Amp	10.15	13.56	17.38	21.2	25.01	28.83	32.65	36.44	40.23	44.03
T	I1	Amp	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
	I2	Amp	2.39	3.01	3.77	4.53	5.29	6.05	6.81	7.56	8.31	9.065
	Iop	Amp	7.303	7.635	8.776	9.916	11.06	12.2	13.34	14.42	15.5	16.61
	(I1+I2)/2	Amp	10.15	13.56	17.38	21.2	25.01	28.83	32.65	36.44	40.23	44.03

Sumber: Penulis, 2019

4.1.5 Pengujian waktu kerja waktu

Tabel 4.3 Pengujian waktu kerja

Fasa	Arus Op. Coil	Stn	200%	300%	400%
R	Waktu kerja	Sec.	0.0284	0.0285	0.0284
S	Waktu kerja	Sec.	0.0284	0.0285	0.0284
T	Waktu kerja	Sec.	0.0284	0.0285	0.0284

Sumber: Penulis, 2019

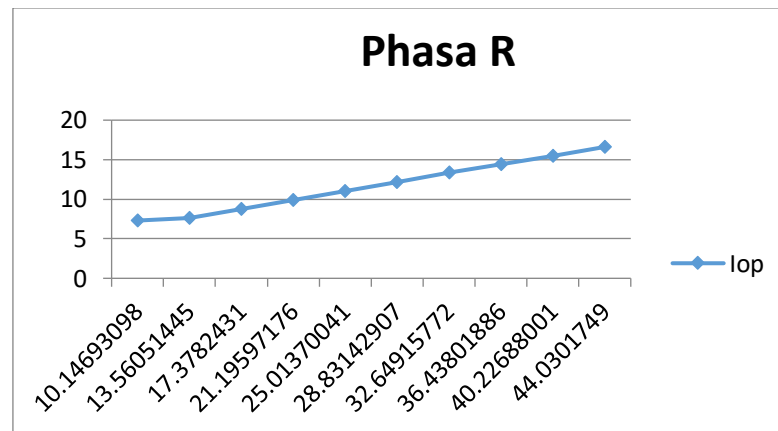
Commissioning atau pengujian ini dilakukan dalam keadaan padam atau sistem tidak bertegangan menggunakan alat uji *relay* proteksi yaitu omicron CMC 356 untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja relay apakah masih sesuai dengan

standartnya dan mengetahui lebih dini anomali anomali yang ada pada *relay* proteksi dengan beberapa item pengujian diantaranya pengujian arus kerja minimum, pengujian slope differensial, arus restrain (arus penahan) pengujian waktu kerja dan pengujian harmonic blocking di bay trafo daya 3 berlokasi di gardu Induk mabar. Rasio CT yang terpasang di kedua sisi primer dan sekunder 300/1 dan 200/5 dengan arus setting differensial 0,3 A, hasil uji pengujian arus kerja pick up mendapatkan hasil 1,15 dan arus reset 1,11 per fasanya yang di injek di kedua sisi primer dan sekunder, adapun hasil uji slope yang disetting untuk slope 1 0,3 dan slope 2 0,7 % mendapatkan hasil 0,292 A untuk slope 1, sedangkan slope 2 tidak di uji, untuk waktu kerja *relay* 0,0284 atau s 28,4 ms per fasa nya

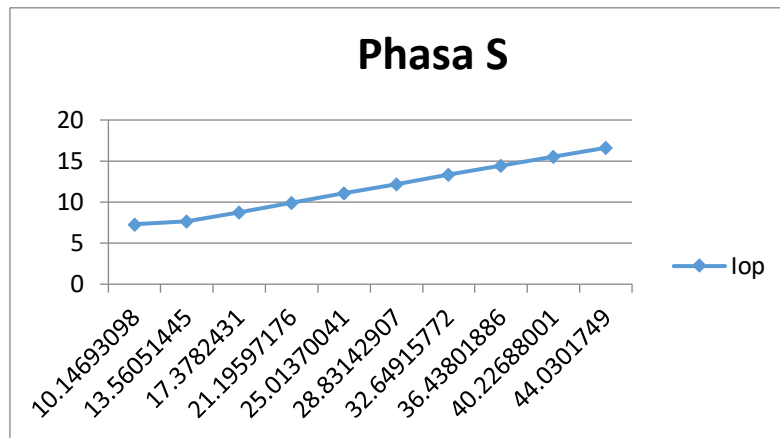
Tabel 4.4 Assesmen pengujian karakteristik relay diferensial

R	I1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
	I1 match	6,495191	9,7427858	12,99038	16,237976	19,48557	22,73317	25,98076	29,22836	32,47595	35,72355
	I2	2,39	3,01	3,77	4,53	5,29	6,05	6,81	7,56	8,31	9,065
	I2 match	13,79867	17,378243	21,76611	26,153967	30,54183	34,92969	39,31755	43,64768	47,97781	52,3368
	Iop	7,303481	7,6354573	8,775724	9,9159909	11,05626	12,19652	13,33679	14,41932	15,50185	16,61325
	Irest	10,14693	13,560514	17,37824	21,195972	25,0137	28,83143	32,64916	36,43802	40,22688	44,03017
	SLOPE		0,0972516	0,298677	0,2986767	0,298677	0,298677	0,298677	0,298677	0,285714	0,285714
S	I1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
	I1 match	6,495191	9,7427858	12,99038	16,237976	19,48557	22,73317	25,98076	29,22836	32,47595	35,72355
	I2	2,39	3,01	3,77	4,53	5,29	6,05	6,81	7,56	8,31	9,065
	I2 match	13,79867	17,378243	21,76611	26,153967	30,54183	34,92969	39,31755	43,64768	47,97781	52,3368
	Iop	7,303481	7,6354573	8,775724	9,9159909	11,05626	12,19652	13,33679	14,41932	15,50185	16,61325
	Irest	10,14693	13,560514	17,37824	21,195972	25,0137	28,83143	32,64916	36,43802	40,22688	44,03017
			0,0972516	0,298677	0,2986767	0,298677	0,298677	0,298677	0,298677	0,285714	0,285714
T	I1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
	I1 match	6,495191	9,7427858	12,99038	16,237976	19,48557	22,73317	25,98076	29,22836	32,47595	35,72355
	I2	2,39	3,01	3,77	4,53	5,29	6,05	6,81	7,56	8,31	9,065
	I2 match	13,79867	17,378243	21,76611	26,153967	30,54183	34,92969	39,31755	43,64768	47,97781	52,3368
	Iop	7,303481	7,6354573	8,775724	9,9159909	11,05626	12,19652	13,33679	14,41932	15,50185	16,61325
	Irest	10,14693	13,560514	17,37824	21,195972	25,0137	28,83143	32,64916	36,43802	40,22688	44,03017
			0,0972516	0,298677	0,2986767	0,298677	0,298677	0,298677	0,298677	0,285714	0,285714

Sumber : Penulis, 2019

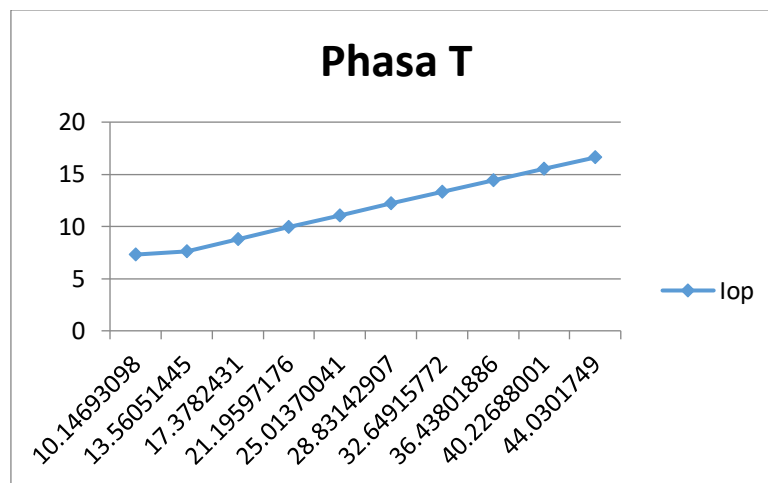
**Gambar 4.1 Slope differensial fasa R**

Sumber : Penulis, 2019



Gambar 4.2 Slope differensial fasa S

Sumber : Penulis, 2019



Gambar 4.3 Slope differensial fasa T

Sumber : Penulis, 2019

Dengan data data yang ada dilapangan dapat dilakukan perhitungan *relay* differensial secara teori sebagai berikut :

4.2 Menghitung arus nominal trafo daya di gardu induk induk Mabar dengan

daya yang terpasang berkemampuan 60 MVA dengan menggunakan rumus

sebagai berikut :

$$I_n = \frac{S}{V \times \sqrt{3}}$$

$$I_n = \frac{S}{150 \times 1,732}$$

I_n = Arus nominal (A)

S = Daya tersalurkan (MVA)

V = Arus pada sisi primer dan sekunder

Menghitung I_P (arus nominal sisi primer) :

$$I_n = \frac{60000}{150 \times 1,732}$$

$$I_n = 230,94 \text{ A}$$

Menghitung I_S (arus nominal sisi sekunder) :

$$I_n = \frac{60000}{20 \times 1,732}$$

$$I_n = 1732,05 \text{ A}$$

$$\text{Rasio CT ideal sisi primer} = 110\% \times I_n = 110 \times 230,95 = 254,03 \text{ A}$$

$$\text{Sisi sekunder} = 110\% \times 1732,05 = 1905,25 \text{ A}$$

Sebelum mencari Rasio CT terlebih dahulu harus mencari arus nominal trafo yang dipasok dari gardu induk tersebut. Oleh karena itu beban penyulang yang di *supply* ke trafo dapat kita monitor in dan out nya, dan dari situ kita dapat menentukan setting overload *relay* nya Untuk arus nominal yang mengalir disisi primer sebesar 230,95 A sedangkan disisi sekunder sebesar 1732 A

4.3 Error

Standart besar rasio eror tidak boleh lebih dari 5 % dapat dilakukan dengan cara melakukan perbandingan antar kedua trafo arus, Menghitung Error pada relay differensial dengan menggunakan rumus :

$$\text{Error mismatch} = \frac{CT \text{ ideal}}{CT \text{ Terpasag}} \%$$

Dimana :

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

$$CT \text{ (Ideal)} = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1}$$

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V1 dan V2 = Tegangan sisi primer dan sekunder

Menghitung Error Mismatch pada sisi Primer:

$$CT_1 \text{ (Ideal)} = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad CT_1 \text{ (Ideal)} = \frac{2000}{5} \times \frac{20 \text{ kV}}{150 \text{ kV}} = 53,33 \text{ A}$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{53,33}{300} = 0,17\%$$

Menghitung Error pada sisi sekunder :

$$CT_2 \text{ (Ideal)} = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} \quad CT_2 \text{ (Ideal)} = \frac{300}{5} \times \frac{150 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = 450 \text{ A}$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{450}{2000} = 0,22 \%$$

Berdasarkan perhitungan teori didapat CT₁ nilai ideal yaitu 53,33 A dengan nilai error 0,17%, sedangkan pada CT₂ nilai ideal nya 450 A dengan nilai error yang sedikit 0,22 %

4.4 Menghitung arus sekunder pada CT

Arus yang dikeluarkan pada trafo arus adalah arus sekunder perhitungan sebagai berikut :

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

Menghitung pada sisi primer :

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{300} \times 230,94 = 0,769 \text{ A}$$

Menghitung pada sisi tegangan sekunder :

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{2000} \times 1732,05 = 0,866 \text{ A}$$

4.5 Mencari Idiff (arus differensial)

Arus differensial pada CT dapat dicari dengan mengurangi selisih arus sekunder CT1 dan CT2

Idiff = Arus differensial

I_1 = Arus sekunder CT1

I_2 = Arus sekunder CT2

Menghitung arus diferensial :

$$I_{\text{diff}} = 0,866 - 0,769 = 0,097 \text{ A} = 0,1 \text{ A}$$

Hasil Arus differensial didapat dengan menggunakan rumus Selisih arus sekunder CT₁ dengan arus sekunder CT₂ menghasilkan selisih sebesar 0,097 atau 0,1 dapat dijadikan pembanding *relay* differensial

4.6 Perhitungan arus Resrain pada CT (penahan)

Arus penahan yang diapit oleh kedua CT dapat dihitung dengan persamaan rumus :

$$I_{\text{restain}} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$I_{\text{restain}} = \frac{0,769 + 0,866}{2} = 0,817$$

I_r = Arus penahan (A)

I1= Arus penahan CT1 (A)

I2 = Arus penahan CT2 (A)

4.7 Mencari Slope

Slope disetting sesuai standart yang berlaku yaitu 30-70 % dengan tujuan menentukan arus differensial yang mengalir ke *relay* ,sedangkan slope 2 menentukan arus differensial dan arus restrain bekerja pada saat gangguan eksternal.

Persamaan rumus mencari Percent slope *relay* differensial :

$$\text{Slope1} = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \%$$

$$\text{slope1} = \frac{0,1}{0,817} \times 100 \%$$

$$= 12,23 \%$$

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

$$\text{Slope2} = \left(\frac{0,2}{0,817} \times 2 \right) \times 100 \%$$

$$= 24,47 \%$$

Dimana :

Slope 1 : setting kecuraman 1

Slope 2 : setting kecuraman 2

Id : Arus differensial (A)

Ir : Arus restrain (A)

Hasil yang diperoleh dari perhitungan slope 1 12,23 % sedangkan slope 2 24,47 %

4.8 Mencari arus setting (Iset) differensial relay

Arus setting sendiri disetting sedemikian dengan tujuan agar proteksi handal, akurat dan mampu bekerja bila dibutuhkan

$$I_{set} = \% \text{ slope} \times I_{restain}$$

Menghitung arus setting

$$I_{set} = 12,23 \% \times 0,817$$

$$= 0,1223 \times 0,817$$

$$= 0,099 = 0,1A$$

Dimana :

Iset : Arus setting

% slope : Setting kecuraman (%)

Tabel 4.5 Data perbandingan setting relay Differensial

Data Setting <i>Relay</i> Differensial	Setting GI Mabar	Setting Hasil Perhitungan Teori
Arus setting	0,3 A	0.1 A
Slope #1	30 %	12,23 %
Slope #2	70 %	24,47 %

Sumber : Penulis, 2019

Perhitungan Iset dengan mengalikan slope 1 dan I restain mendapatkan nilai arus setting sebesar 0,096 A, akan tetapi arus setting sendiri dibuat 0,3 A atau 30% dengan alasan kesalahan sadapan 10% kesalahan CT 10%, error 4%, arus eksitasi 1 % dan faktor keamanan 5 %.

4.9 Menghitung gangguan pada Transformator Daya

Persamaan gangguan pada Transformator Daya yaitu:

$$I_f \text{ relay} = I_f \times CT2$$

$$I_f \text{ relay} = \frac{I_f \text{ relay}}{I_2}$$

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

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

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

$$I_f = I_{2 \text{ relay}} \times CT2$$

Dimana :

$I_f \text{ relay}$: Arus gangguan yang dibaca *relay*

I_f : Arus yang masuk pada *relay*

$CT2$: Rasio $CT2$

I_2 : Arus sekunder $CT2$ sebelum terjadi gangguan

I_d : Arus differensial

I_1 : Arus sekunder $CT1$

$I_{2 \text{ fault}}$: Arus sekunder $CT2$ saat terjadi ganggguan

Menghitung arus gangguan sebesar 6100 A pada sisi tegangan 20 kV

$$\begin{aligned} I_f \text{ relay} &= 6100 \times \frac{1}{2000} \\ &= 3,05 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{2 \text{ fault}} &= \frac{3,05}{0,866} \\ &= 3,521 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_d = 3,521 - 0,769$$

$$= 2,752 \text{ A}$$

Hasil arus gangguan sebesar 3,521 A dengan arus differensial sebesar 2,752

A. Perhitungan tersebut diketahui differensial akan aktif untuk memberikan sinyal ke PMT untuk memutuskan ,karena nilai arus differensial lebih tinggi dari setting arus yang telah ditentukan sebelumnya.

Menghitung arus gangguan sebesar = 1600 pada sisi tegangan 20 kV:

$$I_f \text{ relay} = 1600 \times \frac{1}{2000} = 0,8 \text{ A}$$

$$I_2 \text{ fault} = \frac{0,8}{0,866}$$

$$= 0,923 \text{ A}$$

$$I_d = 0,923 - 0,769$$

$$= 0,154 \text{ A}$$

Nilai yang didapatkan dari perhitungan arus gangguan sebesar 0,923 A dengan arus differensial yaitu 0,154 A. Artinya *relay* differensial tidak akan bekerja karena nilai arus differensial masih lebih kecil dari nilai setting arus setting

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Arus nominal trafo yang berkapasitas 60 MVA di sisi primer sebesar 230,94 sedangkan di sisi 20 kV sebesar 1732,04
2. Hasil pengujian arus kerja minimum differensial (Pick Up) di sisi primer mencapai angka 1,15 dan *relay* akan mereset di angka 1,11 per Fasanya, sedangkan di sisi sekunder arus Pick Up nya 1,29 arus reset nya 1,22 A
3. Error pada trafo arus gardu induk Mabar masih dibawah batas maksimal 5% masing-masing 0,17% sisi primer dan 0,22 sisi sekunder, sedangkan dari hasil pengujian dilapangan error didapat 0,292 tidak jauh berbeda
4. Untuk pengujian waktu kerja *relay* masih di bawah angka standart di bawah 30 ms untuk level tegangan 150 kV yaitu 28,4 ms
5. Berdasarkan hasil uji di lapangan semakin besar arus differensial yang di injek di kedua sisi primer dan sekunder, maka semakin besar pula slopenya sebesar 0,292A, sedangkan hasil perhitungan manual 12,23 %
6. Semakin besar nilai hasil uji di arus primer dan sekunder CT semakin besar juga arus restrain (penahan) CT tersebut yaitu 44,03A per fasanya, sedangkan di hasil perhitungan manual sebesar 0,817 A
7. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan dilapangan hasil uji relay masih dalam kondisi bagus/baik

8. Arus setting differensial didapat 0,1 A sistem proteksi mampu bekerja sesuai kebutuhan nya

5.2 Saran

1. Agar untuk pengujian kedepannya tidak hanya dengan melakukan pengujian satu merk *relay* saja
2. Lakukan pengujian-pengujian secara rutin untuk mencegah anomali sedini mungkin terhadap unjuk kerja *relay* secara menyeluruh

DAFTAR PUSTAKA

- Alstom Transmission and Distribution Protection and Control, *Protective Relays Application Guide*, 3rd Edition, 1987
- Bonar Pandjaitan, *Teknologi Pengendalian Sistem Tenaga Listrik Berbasis SCADA*, Prehalindo, Jakarta 1998
- Bien, L. E., et. (2007). "Studi Penyetelan Relai Differensial Pada Transformator PT Chevron Pacific Indonesia JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, 41-68
- CEE Relays, *Application guide for the choice of protective relays*, Manual Book
- El-Bages, M.S. (2011) "Improvement Of Digital Differential Relay Sensitivity For Faults In Power Transformers" *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*. 3
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- Hardinata, R. S. (2019). Audit Tata Kelola Teknologi Informasi menggunakan Cobit 5 (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan). *Jurnal Teknik dan Informatika*, 6(1), 42-45.
- Herdianto, H. (2018). Perancangan Smart Home dengan Konsep Internet of Things (IoT) Berbasis Smartphone. *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, 6(2).
- Hendrawan, J., & Perwitasari, I. D. (2019). Aplikasi Pengenalan Pahlawan Nasional dan Pahlawan Revolusi Berbasis Android. *JurTI (Jurnal Teknologi Informasi)*, 3(1), 34-40
- Khairul, K., Haryati, S., & Yusman, Y. (2018). Aplikasi Kamus Bahasa Jawa Indonesia dengan Algoritma Raita Berbasis Android. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 11(1), 1-6.
- Khairul, K., Ilhami Arsyah, U., Wijaya, R. F., & Utomo, R. B. (2018, September). Implementasi Augmented Reality Sebagai Media Promosi Penjualan Rumah. In *Seminar Nasional Royal (SENAR) (Vol. 1, No. 1, pp.429-434)*.
- Muttaqin, Muhammad. "Analisa Pemanfaatan Sistem Informasi E-Office Pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan Dengan Menggunakan Metode Utaut." *Jurnal Teknik dan Informatika* 5.1 (2018): 40-43.

- PT.PLN (persero) “Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik Transformator Tenaga(No.Dokumen:01 22/HARLUR-PST/2009)”,SKDIR\PLNPUSAT No.114.K/DIR/2010, JAKARTA, 2010
- PT.PLN (persero) “Buku Pedoman Pemeliharaan PROTEKSI DAN KONTROL TRANSFORMATOR (No.Dokumen:PDM/SGI/16:2014)”,SK DIR PLN PUSAT No.520.K/DIR/2014
- Ramadhani, S., Suherman, S., Melvasari, M., & Herdianto, H. (2018). Perancangan Teks Berjalan Online Sebagai Media Informasi Nelayan. *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, 6(2).
- Russel Mason, *The Art & Science Of Protective Relay*, General Electric
- Rizki, Alvian Novia., & Sri Sartono, (2014). “Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150/20 kV di Gardu Induk Ungaran” *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang*
- Sihombing, Fransiscus, (2012) “Penyetelan Relai Differensial pada Transformator PT Chevron Pacific Indonesia” *Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan*
- Suherman, S., & Khairul, K. (2018). Seleksi Pegawai Kontrak Menjadi Pegawai Tetap Dengan Metode Profile Matching. *IT Journal Research and Development*, 2(2), 68-77.
- Utomo, R. B. (2019). Aplikasi Pembelajaran Manasik Haji dan Umroh berbasis Multimedia dengan Metode User Centered Design (UCD). *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, 3(1), 68-79.
- Wijaya, R. F., Utomo, R. B., Niska, D. Y., & Khairul, K. (2019). Aplikasi Petani Pintar Dalam Monitoring Dan Pembelajaran Budidaya Padi Berbasis Android. *Rang Teknik Journal*, 2(1).
- Wahyuni, S., Lubis, A., Batubara, S., & Siregar, I. K. (2018, September). Implementasi algoritma crc 32 dalam mengidentifikasi Keaslian file. In *Seminar Nasional Royal (SENAR) (Vol. 1, No. 1, pp. 1-6)*.
- Yuniarto, Arkhan Subari, dan Dinda Hapsari Kusumastuti. (2015). Setting Relay Differensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. *Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang*