

ANALISIS GANGGUAN GROUND FAULT PADA BUSBAR 11,5
KV TERHADAP TRIP PMT 150 KV MESIN GENERAL ELECTRIC
1 PADA PT PLN PERSERO UNIT LAYANAN PLTG TELLO



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ADAM PRATAMA PUTRA
442 18 001

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Analisis Gangguan Ground Fault Pada Busbar 11,5 kV Terhadap Trip PMT 150 Kv Mesin General Electric 1 Pada PT.PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello" oleh Adam Pratama Putra NIM 44218001 dinyatakan layak untuk di ujikan

Pembimbing I



Ir. Herman Nauwir, M.T.

NIP. 19610623 198903 1 002

Makassar, Agustus 2022

Pembimbing II



Sonong, S.T., M.T.

NIP. 19621202 199203 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Ir. Chandra Buana, M.T.

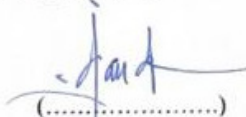
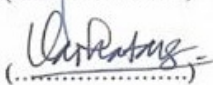

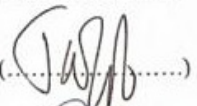
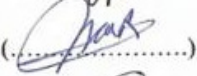

NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Jumat tanggal 16 Agustus 2022, tim penguji seminar Skripsi telah menerima hasil seminar Skripsi oleh mahasiswa: Adam Pratama Putra NIM 44218001 dengan judul "Analisis Gangguan Ground Fault pada Busbar 11,5 kV terhadap Trip PMT 150 kV Mesin General Electric 1 Pada PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello".

Makassar, Agustus 2022

Tim Penguji Seminar Skripsi :

1. Ir. Chandra Bhuana, M.T.	Ketua	 (.....)
2. Marhatang, S.ST., M.T.	Sekretaris	 (.....)
3. Dr.Ir. Firman, M.T.	Anggota	 (.....)
4. Ir. Remigius M., Eng.Sc.	Anggota	 (.....)
5. Ir. Herman Nauwir, M.T.	Pembimbing 1	 (.....)
6. Sonong, S.T., M.T.	Pembimbing 2	 (.....)

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Adam Pratama Putra

NIM : 442 18 001

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “**Analisis Gangguan Ground Fault pada Busbar 11,5 kV terhadap Trip PMT 150 kV Mesin General Electric I pada PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello**” merupakan gagasan dan hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh pengurus lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang telah ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2022

Yang Menyatakan,



Adam Pratama Putra
NIM 442 18 001

Analisis Gangguan Ground Fault Pada Busbar 11,5 kV Terhadap Trip PMT 150 kV Mesin General Electric 1 Pada PT PLN Persero Unit Layanan Pltg Tello

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gangguan PMT 150 kV Trip arah pada General Eletrik 1 serta mengetahui relay proteksi yang bekerja pada gangguan PMT 150 kV agar mengetahui penyebab bekerjanya Relay 59 BN pada ULPLTG Tello.

Ada 2 Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dan Metode RCFA (Root Cause Failure Analisis) Alat analisis yang digunakan adalah High Voltage Insulation Tester model 3125.

Penelitian sebelum perbaikan busbar melakukan pemeriksaan pengujian Insulation Resistance pada busbar 11.5 kV phase R, S, T maka Hasil pemeriksaan dan pengujian Insulation Resistance pada busbar 11.5 kV phase SPLTG/U Tello didapat nilai sebesar **14.1 MΩ** (phasa to ground) dari batasan nilai 23 MΩ sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti tidak baik.

Adapun hasil setelah perbaikan busbar Hasil pemeriksaan dan pengujian Insulation Resistance pada BUSBAR 11.5 kV setelah perbaikan isolasi dengan menggunakan Corium Z202R didapat nilai sebesar 1.46 GΩ (phasa r to ground), 1.60 GΩ (phasa s to ground), dan **1.31 GΩ** (phasa t to ground) dari batasan nilai **23 MΩ** sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.

Kata kunci: PMT, Busbar 11,5 kV, Rele 56 BN, Rele 87T, Rele 86 T.

**Analysis of Ground Fault Faults on the 11.5 kV Busbar Against Trip
PMT 150 kV General Electric 1 Machines at PT PLN Persero PLTG Tello
Service Unit**

SUMMARY

This study aims to determine the direction of the PMT 150 kV trip interference on General Electric 1 and to find out the protection relay that works on the 150 kV PMT interference in order to find out the cause of the operation of the 59BN Relay on the Tello ULPLTG.

There are 2 analytical methods used in this study, namely quantitative methods and RCFA (Root Cause Failure Analysis) methods. The analytical tool used is the High Voltage Insulation Tester model 3125.

Research before repairing the busbar conducted an examination of the Insulation Resistance test on the 11.5 kV phase R, S, T busbar. The results of the inspection and testing of the Insulation Resistance on the 11.5 kV phase S PLTG/U Tello busbar obtained a value of 14.1 M Ω (phase to ground) from the limit value of 23 M Ω according to PUIL 2011 reference with a working voltage of 11.5 kV which means it is not good.

The results after repairing the busbar. The results of inspection and testing of Insulation Resistance on the BUSBAR 11.5 kV after repairing the insulation using Corium Z202R obtained a value of 1.46 G Ω (phase r to ground), 1.60 G Ω (phase s to ground), and 1.31 G Ω (phase t to ground). ground) from the limit value of 23 M Ω according to the PUIL 2011 reference with a working voltage of 11.5 kV which means good.

Keywords: PMT, Busbar 11.5 kV, Relay 56 BN, Relay 87T, Relay 86 T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Analisis Gangguan Ground Fault pada Busbar 11,5 kV terhadap Trip PMT 150 kV Mesin General Electric 1 Pada PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello".

Dalam penulisan Skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami;
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin kepada Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D;
4. Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi kepada Bapak Ir. Chandra Buana, M.T.
5. Bapak sebagai pembimbing I Ir. Herman Nauwir, M.T. dan Sonong, S.T.,M.T. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi.
7. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri ujung Pandang.

8. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan dukungannya;
9. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Agustus 2022



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
RINGKASAN	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan Penelitian	3
1.4.2 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pemutus Tenaga	5
2.1.1 GAS SF6.....	8
2.1.2 Unsur-unsur kimia dalam gas SF 6	10

2.1.3 Cara kerja pemutus tenaga (PMT) dengan media Gas SF6	10
2.1.4 Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga.....	13
2.1.5 Karakteristik Gas SF6	13
2.1.6 Pengatur busur api listrik	17
2.2. Sistem Proteksi.....	18
2.3 Fungsi Proteksi.....	19
2.4 Syarat-syarat Rele Pengaman.....	20
2.5 Daerah Sistem Proteksi	21
2.6 Rele Diferensial.....	22
2.6.1 Prinsip Kerja Rele Diferensial	24
2.6.2 Karakteristik rele diferensial.....	26
2.7 Rele Bucholz	27
2.7.1 Kelebihan dan Kekurangan Rele Bucholz	32
2.8 Aplikasi Rele Bucholz.....	32
2.8.1 Kondisi Operasi Rele Bucholz.....	33
2.9 Proteksi Arus Lebih dan gangguan tanah.....	34
2.9.1 OCR dan GFR.....	34
2.9.2 Koordinasi Rele Arus Lebih dan Ground.....	39
2.10 Busbar	41
2.10.1 Material Busbar.....	43
2.11 Root Cause Failure Analysis (RCFA).....	45
BAB III METODE PENELITIAN.....	46
3.1 Tempat dan Waktu	46
3.2 Prosedur Penelitian.....	46
3.3 Rincian Kegiatan	47
3.4 Alat dan bahan.....	48
3.5 Diagram Alur Penelitian	49
3.6 Teknik Pengumpulan Data.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51

4.1 Hasil	51
4.1.1 Permasalahan.....	51
4.1.2 Kronologi	51
4.2 Analisa Data	53
4.2.1 Tindak lanjut dan rekomendasi	53
4.2.2 RCPS	59
4.2.3 Analisa Gangguan	60
4.2.4 Tes Report	67
 BAB V PENUTUP.....	 83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 <i>Saran</i>	84
 DAFTAR PUSTAKA.....	 85
LAMPIRAN.....	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa media isolasi	15
Tabel 2.2 Perbandingan jarak antar fase antara media gas SF6 dan udara.....	16
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	46
Tabel 4.1 Aspek Lingkungan dan K3	56
Tabel 4.2 Identifikasi dan Mitigasi Risiko.....	56
Tabel 4.3 Mitigasi Risiko.....	56
Tabel 4.4 List Kompetensi dan Responsibilitas Personil.....	56
Tabel 4.5 List Pengecekan Rele.....	57
Tabel 4.6 Pengecekan Rele	57
Tabel 4.7 Relay Proteksi Travo.....	61
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Nilai Insulation Resistance Busbar.....	66
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Busbar.....	68
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Nilai Insulation Resistance Busbar 11,5 kV	73
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Polarization Index Winding.....	75
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi	77
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Polarization Index Winding Main Transformer.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PMT satu katup 245 kV dengan gas SF ₆	6
Gambar 2.2 Lokasi PMT 150 kV.....	7
Gambar 2.3 Terjadinya busur api listrik pada PMT gas SF ₆	18
Gambar 2.4 Blok Diagram Proteksi.....	20
Gambar 2.5 Daerah Pengamanan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	22
Gambar 2.6 Rangkaian Rele Diferensial.....	24
Gambar 2.7 Daerah Pengamanan Rele Diferensial.....	25
Gambar 2.8 Rele Diferensial Keadaan Gangguan Internal.....	26
Gambar 2.9 Rele diferensial saat gangguan Internal.....	26
Gambar 2.10 Rele diferensial saat gangguan Eksternal.....	27
Gambar 2.11 Karakteristik Rele Diferensial.....	27
Gambar 2.12 Kondisi fisik rele.....	28
Gambar 2.13 Penempatan Rele.....	29
Gambar 2.14 Mekanisme operasi rele buzholz.....	29
Gambar 2.15 Penggambaran skematis terhadap penampang bujur dan bagian-bagian pada rele Buchholz.....	30
Gambar 2.16 Rele bucholz.....	32
Gambar 2.17 Penempatan Rele Bucholz.....	34
Gambar 2.18 Sistem Radial menggunakan pemisahan berdasarkan waktu.....	36
Gambar 2.19 Sistem Radial menggunakan pemisahan berdasarkan Arus.....	38
Gambar 2.20 Impedansi dari titik sumber ke gangguan.....	41

Gambar 2.21 Busbar	42
Gambar 3.1 Titik gangguan PMT 150 kV	48
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian	49
Gambar 4.1 Display Alarm pada HMI GE#2	52
Gambar 4.2 Display Alarm pada panel Mimik.....	52
Gambar 4.3 Display Alarm pada panel GI 150 kV.....	53
Gambar 4.4 RCPS PMT 150kV Trip.....	58
Gambar 4.5 Connection diagram marshalling cubicle.....	59
Gambar 4.6 Relay 87T.....	62
Gambar 4.7 Name Plate	62
Gambar 4.8 Line Diagram Kontrol dan Proteksi pada sistem	63
Gambar 4.9 Rele 87T (1), 87T (2), 87T (3).....	64
Gambar 4.10 Kondisi Fisik Rele Ground Fault ULPLTG Tello	64
Gambar 4.11 Line Diagram Hubungan antara Proteksi 86T, 87T dan 59 BN.....	65
Gambar 4.12 Pengukuran phase R 11,5 kV.....	67
Gambar 4.13 Pengukuran phase S 11,5 kV	67
Gambar 4.14 Pengukuran phase T 11,5 kV.....	67
Gambar 4.15 Kebocoran Isolasi Busbar	68
Gambar 4.16 Corium Z202R	69
Gambar 4.17 Corium Isolator Z202R	70
Gambar 4.18 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Busbar 11,5 kV	72

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 High Voltage.....	80
Grafik 4.2 Medium Voltage	80



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
θ_0	°C	Temperatur Awal
θ_1	°C	Temperatur akhir
$\Delta\theta$	<i>m/s</i>	Kecepatan aliran
Ω	<i>R</i>	<i>Hambatan</i>
P	<i>M</i>	Panjang kawat
A	<i>m²</i>	<i>Luas penampang kawat</i>
ρ	$\Omega \text{ m}$	Hambatan Jenis kawat
R_0	$^{\circ}\text{C} (\Omega)$	Nilai hambatan pada suhu ruangan
R_t	Ω	Nilai hambatan setelah terjadi perubahan suhu
α	-	Koefisien suhu sesuai dengan jenis logam
Z	<i>Ohm</i>	Impedansi
V	<i>Volt</i>	Tegangan
I	<i>Ampere</i>	Arus

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang semakin maju dan serba muktahir ini seperti sekarang ini khususnya dalam lingkungan perindustrian dan perkembangan teknologi yang sangat cepat. Tentunya kebutuhan akan listrik mengalami peningkatan yang luar biasa maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan peningkatan pada pembangkit listrik yang ada baik dalam peningkatan kapasitas produksi, pengelolaan serta teknologinya dan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pembangkit listrik yang tujuannya sebagai penyuplai energi listrik kemajuan bagi suatu negara bahkan salah satu tolak ukur berkembang dan majunya suatu negara adalah jumlah energi listrik.

Adapun penelitian sebelumnya membahas mengenai analisis pengukuran tahanan kontak dan tahanan pertanahan pada pemutus tenaga yang dilakukan oleh Zahra Farras Sumarna dan Eki Ahmad Zaki Hamidi mahasiswa jurusan Teknik Elektro, UIN Sunan Gunung Djati Bandung pada tahun 2021. Dalam pengukuran tahanan kontak dan tahanan pentanahan pada objek PMT bay Cikarang I Gardu Induk 150 kV Jababeka telah dianalisis dan dilakukan perbandingan antara pengukuran dengan micro ohm meter dan perhitungan manual. Nilai tahanan kontak PMT pada masing-masing fasa R, S, T, sebesar 38 $\mu\Omega$, 89 $\mu\Omega$, 40 $\mu\Omega$. Hal ini menunjukkan bahwa tahanan kontak pada PMT masih dibawah batas normal, menurut standar PLN sebesar $R < 100 \mu\Omega$. Presentase kesalahan untuk perbandingan antara pengukuran tahanan kontak menggunakan

micro

ohm

meter



dengan perhitungan manual pada masing-masing fasa R, S, T sebesar dibawah 1%. Nilai pengukuran tahanan pentanahan PMT di setiap fasa R, S, T sebesar 0,23 Ω , 0,19 Ω , 0, 31 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa sistem pentanahan masih baik, menurut standar PUIL 2000 sebesar $\leq 1 \Omega$.

Maka dari itu seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dalam bidang kelistrikan ini sehingga PLTG GE unit layanan PLTG Tello dipasang sebuah alat bernama pemutus tenaga (PMT) di setiap kubikel. PMT adalah sakelar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus/daya listrik sesuai ratingnya. Yang berfungsi untuk menghindari perluasan gangguan.

Adapun kejadian di PT. PLN PERSERO Unit layanan PLTG Tello pada unit General Eletric 1 terjadi alarm 86 T Differential Trafo Lock Out yang menyebabkan PMT Trafo 150 kV Trip sehingga sistem penyaluran tenaga listrik di pusat pembangkit terganggu. Ada beberapa Indikasi yang membuat alarm 86 T Differential Trafo bekerja maka dari itu peneliti akan melakukan Metode RCFA (Root Cause Failure Analisis) adalah metode pemecahkan masalah-masalah dengan menelusuri akar penyebab setelah terjadinya PMT Trafo 150 kV Trip. Metode ini lebih aplikatif pada bidang maintenance ataupun produksi (Mobley, 1999) maka penulis mengangkat judul: “Analisis Gangguan Ground Fault pada Busbar 11,5 kV terhadap Trip PMT 150 kV Mesin General Electric 1 Pada PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mencari penyebab terjadinya Alarm 86 T bekerja?
2. Bagaimana Rele proteksi yang mentrigger trip PMT?
3. Bagaimana penyebab kenapa Rele 59BN bekerja?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Sesuai dengan permasalahan dan tujuan dari penelitian ini, maka ruang lingkup penelitian ini di batasi di permasalahan yang terjadi di General Electric 1 PLTG Tello yakni di area switch yard, adapun peralatan utama yang akan terfokuskan olehpeneliti yakni busbar 11,5 kV.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Untuk mengetahui gangguan PMT 150 kV Trip arah GE 1.
2. Untuk mengetahui Rele proteksi yang bekerja pada gangguan PMT 150kV.
3. Untuk mengetahui penyebab bekerjanya Rele 59BN.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Bagi Perusahaan

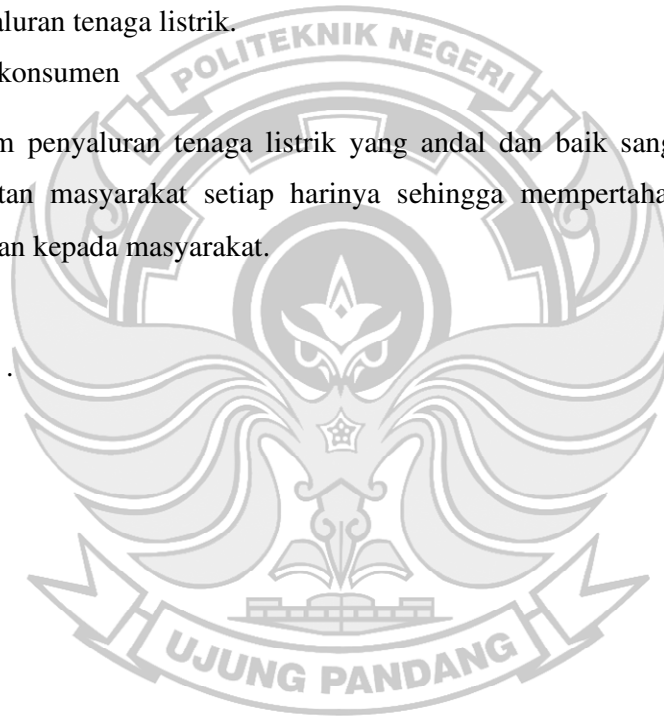
Menjaga kesiapan serta meningkatkan keandalan agar tetap andal dalam penyaluran tenaga listrik pembangkit unit layanan PLTG Tello.

2. Bagi penghasilan

Sistem penyaluran tenaga listrik yang andal dan di tunjang oleh sistem proteksi dapat menghindari kerugian besar bagi perusahaan di bidang penyaluran tenaga listrik.

3. Bagi konsumen

Sistem penyaluran tenaga listrik yang andal dan baik sangat membantu kegiatan masyarakat setiap harinya sehingga mempertahankan kualitas layanan kepada masyarakat.

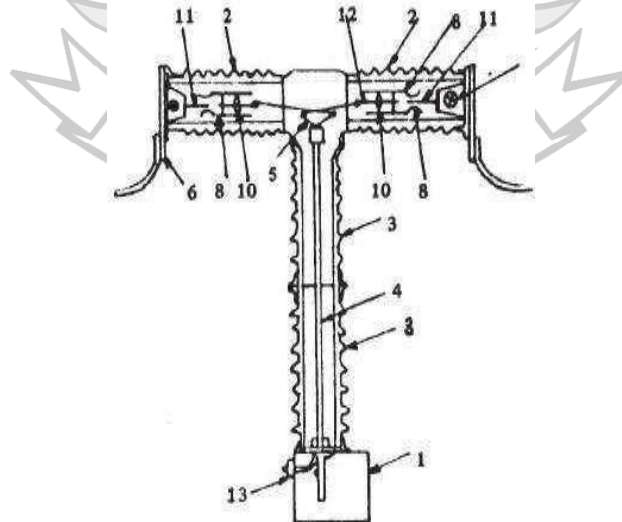


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemutus Tenaga

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar atau switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit atau hubung singkat. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat). (Endi Permata dan Dimas Aditama, 2020).



Gambar 2.1 PMT satu katup 245 kV dengan gas SF6
(Sumber: FA Pamungkas, 2015)

Keterangan:

1. Mekanisme penggerak (operating mechanism)
2. Pemutus (interrupter).
3. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelen).
4. Batang penggerak.
5. Penyambung diantara no.4 dan no. 12 (linkages).
6. Terminal-terminal.
7. Saringan (filters).
8. Silinder bergerak (movable cylinder).
9. Torak tetap (fixed piston)
10. Kotak tetap (fixed contact)



Gambar 2.2 lokasi PMT 150 kV
(Sumber: Rahmat Hidayat dkk, 2021)

1. Syarat yang harus dipenuhi oleh PMT antara lain:

- a) Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus
- b) Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan.
- c) Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem.

Pemadaman busur api listrik saat pemutusan atau penghubungan arus beban atau arus gangguan dapat dilakukan oleh beberapa macam bahan, yaitu: Gas, Udara, Minyak atau dengan hampa udara (Vacum). PMT dengan media pemutus dengan Gas. Media gas yang digunakan pada tipe PMT ini adalah Gas SF₆ (Sulphur Hexafluoride). Sifat-sifat gas SF₆ murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada temperatur diatas 150° C gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF₆ ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik. (Aslimeri dkk,2008)

2. Pengujian Fungsi PMT, Alarm, dan Annunciator

Annunciator adalah peralatan bantu yang berfungsi memberikan tanda peringatan kepada operator gardu induk mengenai fungsi proteksi mana yang bekerja. Annunciator mengambil input dari masing-masing rele proteksi. Alarm dapat di-reset setelah operator mencatat dan menekan tombol “silence”, “acknowledge” dan “reset”. Alarm dilengkapi dengan Annunciator.

Audible Alarm berupa peringatan suara (sirene, bell, horn, buzzer) yang bekerja bersamaan dengan terjadinya gangguan. (Hanif fatkhurahman,2014).

2.1.1 Gas SF6

Gas SF6 merupakan salah satu media isolasi yang baik, dapat berfungsi sebagai penyekat antara bagian bertegangan dengan ground hanya dengan jarak yang sangat pendek jika di bandingkan dengan isolasi udara. Selain itu jika terjadi percikan api busur api pada peralatan yang di isolasi gas SF6, maka gas tersebut akan berfungsi sebagai pemadam busur api, sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih parah padaperalatan tersebut. (Adieliveline, 2013).

1. Sifat-sifat Fisik

SF6 yang murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah tercampur. Berat jenis SF6 pada temperatur 200°C dan pada tekanan 760 mmHg adalah 6,135 kg/m³. Jika dibandingkan dengan berat jenis udara adalah lima kalinya. Gas ini akan mencair pada temperatur yang rendah, temperatur pencairan bergantung pada tekanan yang diberikan. Pada temperatur 100°C dan tekanan 15 atm, gas akan mencair. Jika tekanan gas ini tinggi, temperatur pencairan tinggi. Biasanya tekanan yang digunakan pada pemutus tenaga tegangan menengah adalah 7 bar (kopling galvanic/cm²). Dengan tekanan sebesar itu, kekuatan dielektrik menjadi besar sehingga dapat menahan tegangan transien yang terjadi pada waktu pembukaan kontak-kontaknya. (Adieliveline, 2013).

2. Sifat-Sifat Dielektrik SF₆

Kekuatan dielektrik SF₆ adalah 5 kali kekuatan dielektrik udara pada tekanan beberapa atmosphere. Kekuatan dielektrik unsur gas ini akan bertambah besar menurut tekanannya. (Adieliveline, 2013).

3. Sifat-sifat Kimiawi SF₆

Di dalam sebuah molekul SF₆, atom sulfurnya terdapat pada daerah valensi tertinggi dari daerah valensi molekulnya. Sedangkan keenam ikatan molekulnya ialah kovalen, yang mana ini merupakan kelebihan dari molekul ini yang stabil. Susunan molekul dari SF₆ merupakan bidang delapan yang pada keenam sudutnya ditempati atom fluoride.

SF₆ adalah gas yang tidak mempunyai sifat kimia yang aktif sampai di atas 1500°C dan tidak akan merusak logam, plastik dan bahan lain yang biasa digunakan pada komponen pemutus tenaga. Hal ini dapat dibuktikan dengan memanaskan gas tersebut sampai 5000°C tanpa terjadi penguraian. Pada temperatur tinggi yang disebabkan oleh busur api listrik, gas akan terurai dalam beberapa unsur, yaitu SF₂ dan SF₄ dalam jumlah yang kecil dan unsur-unsur S₂, F₂, S, F. Bila unsur SF₂ ini bereaksi dengan air, akan membentuk unsur hydrogen fluoride yang mempunyai sifat korosif terhadap porcelain. Semua unsur yang terurai akan berkombinasi kembali menjadi unsur SF₆ seperti semula setelah temperaturnya turun. Unsur SF₆ yang murni terdiri dari 21,95% sulfur dan 78,05% fluoride. Atom fluoride mempunyai sifat elektronegatif, dan ini berfungsi untuk menangkap elektron bebas ke bentuk muatan ion yang negatif,

yang tidak dapat digunakan sebagai pembawa arus. Sifat elektronegatif ini menyebabkan waktu pembusuran pendek, kekuatan dielektrik dengan cepat dapat terbentuk. Kestabilan yang tinggi dari gas ini disebabkan enam ikatan kovalen dari molekul-molekulnya. Di samping itu, ikatan ini berada diantara atom sulfur, sedangkan enam atom fluoride membentuk suatu bangun octahedron. Karena unsur SF₆ tidak mempunyai sifat kimia yang aktif, maka akan sangat menguntungkan bila dipakai pada pemutus tenaga tegangan menengah.

Bagian-bagian logam dan kontak-kontak yang dialiri arus dalam unsur SF₆ tidak akan rusak. (Adieliveline, 2013).

2.1.2 Unsur-unsur kimia dalam gas SF 6

Unsur-unsur kimia yang terkandung dan tingkat kemurnian pada Gas SF₆ menurut (Adieliveline, 2013), antara lain adalah:

- a) Carbon tetrafluoride (CF₄) 0,03%
- b) Oxygen + nitrogen (air) 0,03
- c) Water 15ppmM SF₆: 99,9%
- d) CO₂ traces
- e) HF 0,3ppmM

2.1.3 Cara kerja pemutus tenaga (PMT) dengan media Gas SF₆.

Gas SF₆ memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada temperatur diatas 150°C gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF₆

mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2 - 3 kali dari udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF₆ ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol. Pada PMT tipe tekanan tunggal, diisi gas SF₆ dengan tekanan kira-kira 5 Kg/cm². Selama pemisahan kontak-kontak, gas SF₆ ditekan kedalam suatu tabung atau silinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan gas SF₆ ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang memadamkan busur api. Pada tipe tekanan ganda, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemadaman busur api. Pada tipe tekanan tinggi tekanan gas kurang lebih 12 Kg/cm dan pada sistem gas tekanan rendah tekanan gas kurang tekanan tinggi. (Burhanulloh, 2017: 5).

4. Dampak gas SF₆

a) Terhadap Manusia

- Pencemaran Gas SF₆ adalah mengandung racun yang berakibat pada kulit, mata dan dapat merusak selaput lendir dan bila terpegang lama akan mengganggu pangkal tenggorokan dan gangguan paru-paru, hati dan peredaran napas terhenti seperti pingsan.
- Dengan suatu konsentrasi SF₆ melebihi 35% volume dalam udara itu berbahaya dan dapat berakibat mati lemas kekurangan Oksigen

b) Terhadap Peralatan

- Dalam kurun waktu yang tertentu akan terjadi pengapuran pada Kontak-kontak metalik dan terjadi pengumpulan berupa serbuk.

5. Kelebihan:

- a) Pengurangan sejumlah pemutus dalam hubungan seri per fasa pada rating tegangan yang digunakan.
- b) Karena waktu durasi yang pendek dari busur api, maka bunga api kontak yang terjadi dibatasi meskipun untuk arus hubung singkat yang sangat tinggi.
- c) Hasil busur api yang kebanyakan terdiri dari serbuk dengan sifat isolasi yang baik dapat dipindahkan saat perbaikan.
- d) Gas blast tidak di-discharge (pelepasan muatan) ke atmosfer sehingga saat bekerja akan lebih tenang jika dibandingkan dengan Air Blast Breaker.
- e) Memiliki sifat kimia yang lamban, stabil, tidak mudah terbakar dan tidak beracun.
- f) Pemutus dari gas SF₆ mempunyai dimensi yang lebih jika dibandingkan dengan Air Blast Breaker.

6. Kekurangan :

- a) Relatif lebih mahal dari segi pembiayaan.
- b) Walaupun dalam jumlah yang kecil, apabila terjadi kerusakan maka membutuhkan waktu yang lama untuk perbaikan
- c) Gas SF₆ harus dipompa ke dalam tabung penyimpan apabila ada penelitian dan maintenance.
- d) Karena titik lelehnya sangat rendah yaitu 100°C dan tekanan 1,520 kN/m², maka perlu dipakai alat pengukur suhu untuk pengontrolan (Elvansyah,

2016).

2.1.4 Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga

Pemenuhan terhadap nilai sistem tegangan, arus, dan frekuensi, PMT harus dengan (i) kemampuan saat pemutusan (*breaking capacity*), (ii) kemampuan saat penyaluran (*making capacity*), dan (iii) kemampuan saat waktu pendek (*short-time capacity*). Peningkatan permintaan terhadap penggunaan pemutus tenaga paling andal, telah berdampak kepada tuntutan terhadap penemuan terobosan baru di bidang teknologi media isolasi yang berkaitan dengan cara pemutusan arus melalui pemisahan kontak-kontaknya dengan teknik yang sesuai, sehingga diperoleh beberapa cara dan medium untuk pemadaman busur api. Ruang pemutusan/penghubungan dipasangkan pada isolator penyangga dan tiap tabung ruang pemutusan terdapat satu unit kontak tetap dan kontak bebas. Kontak bebas digerakkan oleh medium penghubung atau batang penghubung. Mekanisme penggerak pada PMT dengan energi yang dibutuhkan untuk pembukaan atau penutupan kontak-kontak PMT, saat busur api timbul disebabkan oleh kontak-kontak yang teraliri arus yang sebelumnya terpisah menjadi tertutup atau sebaliknya. Keberadaan medium pemadam busur api, maka PMT dibedakan berdasarkan pemakaian medium tersebut, yaitu PMT bermedia (minyak, hampa udara (*vacuum*), udara hembus (udara bertekanan), dan gas SF₆. (Jurnal EECCIS Vol.12, No 12, 2018)

2.1.5 Karakteristik Gas SF6

Seiring perkembangan teknologi, maka dikembangkan suatu metode pengisolasian dengan gas pada akhir tahun 1970 an dengan penelitian terhadap gas SF6 sudah dicapai tahap komersial dan mulai dimanfaatkan sebagai media pada pemutus tenaga tegangan tinggi. Gas SF6 sekarang ini cukup banyak digunakan sebagai isolasi. Alasan penggunaan gas SF6 sebagai media isolasi, yaitu: andal dan ekonomis.

Andal, Penggunaan gas SF6 pada PMT, adalah untuk penyelesaian permasalahan pada switching overvoltages

Ekonomis, Biaya pemeliharaan yang lebih murah, karena hanya diperlukan pengecekan ulang terhadap gas untuk jangka waktu operasional yang cukup lama (sekitar 10 sampai 20 tahun kemudian).

Standar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas SF6 baru pertama kali digunakan dengan kemurnian 99,99% dan kandungan unsur-unsur lain berupa Carbon Tetra Fluoride (CF4) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, oksigen dan nitrogen (udara) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan Hydrogen Fluoride (HF) sebesar 0,3 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas SF6 pada peralatan listrik. Penguraian unsur dari gas SF6 terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500°C, maka gas SF6 terurai menjadi unsur sulfur, fluoride, SF2, dan unsur SF4. Semua unsur terurai tersebut berkombinasi kembali menjadi unsur SF6 seperti semula setelah temperatur

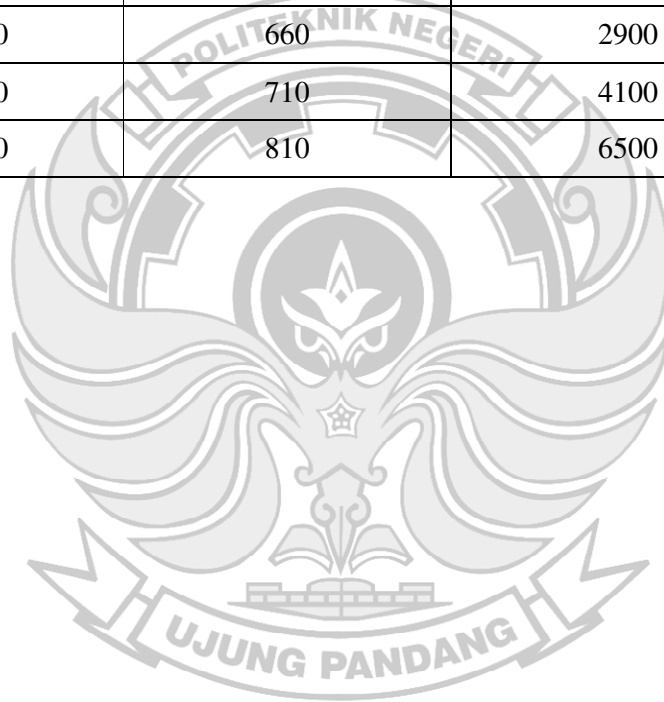
kembali ke temperatur ruang. Berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pada peralatan listrik, maka di perlukan tekanan gas SF6 pada kisaran 5-6 bar (Arief Goeritno dkk.,2014).

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa media isolasi

Media Isolasi	Rating Tegangan	Rating Arus	Kapasitas Pemutusan	Metode Pemutusan	Pemanfaatan
Udara Biasa	<1 kV	hingga 400 A	16 KA	Busur api padam dengan sendirinya	PMT Tegangan Rendah
Minimum Oil (Less Oil)	Sampai 20 kV	hingga 1250 A	20 KA	Busur api dipadamkan oleh keberadaan minyak	PMT Tegangan sampai 24 kV
Vakum Udara	Sampai 72 kV	hingga 5000 A	50 KA	Busur api dicegah, karena kondisi kevakuman	PMT Tegangan hingga 72 kV
Gas SF6	Sampai 800 kV	hingga 5000 A	50 KA	Busur api ditarik oleh keberadaan gas SF6	PMT Tegangan tinggi/ekstra tinggi

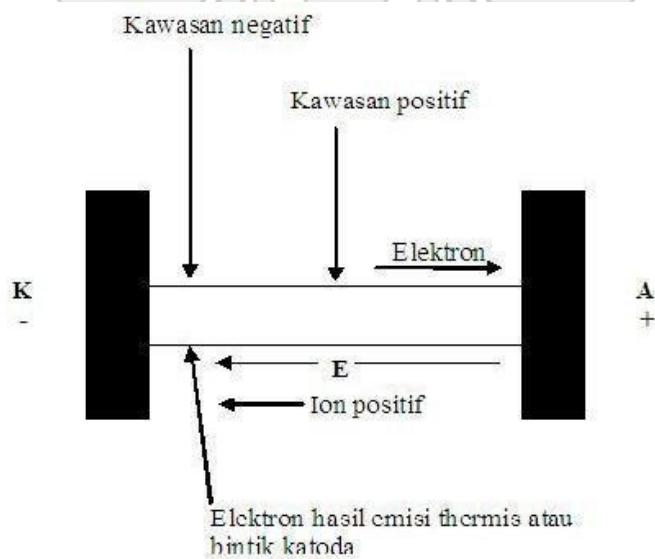
Tabel 2.2 Perbandingan jarak antar fase antara media gas SF6 dan udara

Tegangan	Jarak Antar Fase (mm)	
	Gas SF6	Udara
72,5	305	700
123	370	1100
145	370	-
170	-	1550
245	460	2200
420	660	2900
550	710	4100
800	810	6500



2.1.6 Pengatur busur api listrik

Pengatur busur api listrik pada pemutus tenaga dengan media gas SF₆ ini prinsip kerjanya terdiri dari beberapa macam, silinder bergerak terhubung dengan tabung kontak bergerak yang dapat mengikuti gerakan sepanjang bagian penyangga kontak bergerak. Pada waktu pembukaan silinder bergerak akan terpisah dengan jari-jari kontak tetap, sehingga arus akan mengalir melalui batang busur, jari-jari busur, tabung kontak bergerak, kontak tetap berfungsi sebagai piston tetap (*fixed piston*), dengan secara berangsur-angsur gas SF₆ yang berada dalam silinder bergerak akan tertekan ke arah batang busur melalui nozzle. Dan busur api listrik yang terjadi sewaktu batang busur terpisah dengan ujung kontak akan dipadamkan oleh gas SF₆ yang tertekan tersebut. (Riezky Satya Dharma,2014)



Gambar 2.3 terjadinya busur api listrik pada PMT gas SF₆
(Sumber: Iman Setiono,2017)

1) Bagian penyangga.

Bagian penyangga terbuat dari porselin, dipasang vertical pada rangka tangki (*freme tank*) dan berfungsi sebagai penyangga dari ruang pemutus tenaga. Didalam bagian ini terdapat batang penggerak dari bahan isolasi (*insulating rod*) dari mekanis penggerak pemutus tenaga. Sedangkan gas SF6 didalam bagian penyangga berfungsi untuk mengisolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dan bagian yang bertegangan dengan badan.

2) Mekanis penggerak

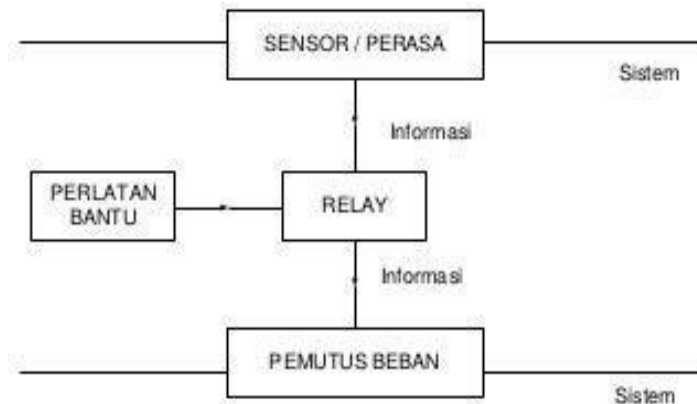
Mekanis penggerak berfungsi untuk menggerakkan kontak bergerak untuk pemutusan dan penutupan dari pemutus tenaga. Pemutusan dan penutupan oleh mekanis penggerak dapat secara:

- a) Mekanis.
- b) Pneumatic.
- c) Hidrolis.
- d) Elektris.

Pemilihan mekanis penggerak ini adalah tergantung dari perencanaan pemutus tenaga dan letak pengoperasiannya.

2.2 Sistem Proteksi

Yang dimaksud dengan proteksi sistem tenaga listrik adalah system proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi tidak normal operasi sistem itu sendiri. (Drs. F.J. Tasiyam, M.Pd., 2017)



Gambar 2.4 Blok Diagram Proteksi
(Sumber: Ir. Makmur Saini, 2015)

2.3 Fungsi Proteksi

Untuk melindungi peralatan terhadap gangguan yang terjadi dalam system diperlukan alat-alat pengaman, alat-alat pengaman yang kebanyakan berupa rele mempunyai 2 fungsi yaitu :

- Melindungi peralatan terhadap gangguan yang terjadi dalam system jangan sampai mengalami kerusakan.
- Melokalisir gangguan jangan sampai meluas dalam system.

Kegagalan sistem proteksi dapat terjadi pada kondisi:

- Bekerjanya diferensial rele saat terjadi gangguan eksternal.
- Bekerjanya REF rele saat terjadi gangguan eksternal.
- Tidak bekerjanya diferensial rele pada saat terjadi gangguan internal.
- Tidak bekerjanya REF rele pada saat terjadi gangguan internal.

- Bekerjanya GFR transformator pada saat terjadi gangguan penghantar.
- Penggantian peralatan primer dan sekunder yang membutuhkan pengujian/pemeriksaan

2.4 Syarat-syarat Rele Pengaman

Untuk menjamin keandalan, rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Kecepatan Bereaksi

Saat mulai ada gangguan sampai pelepasan pemutus (CB), dimana kadang-kadang diperlukan kelambatan waktu:

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots (2-1)$$

t_{op} = waktu total

t_p = waktu bereaksi dari unit rele

t_{cb} = waktu pelepasan CB

Kecepatan pemutus arus gangguan dapat mengurangi kerusakan serta menjaga stabilitas operasi mesin-mesin.

- Kepekaan Operasi (sensitivity)

Kemampuan rele pengaman untuk memberikan respon bila merasakan gangguan.

$$K_s = I_{hsmin}/I_{pp} \dots\dots\dots (2-2)$$

$I_{hs min}$ = arus hubung singkat minimum

I_{pp} = arus pick-up pada sisi primer trafo arus

- Selektif (selectivity)

Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik dimana gangguan muncul dan memutuskan rangkaian dengan membuka CBterdekat.

- Keandalan (reliability)

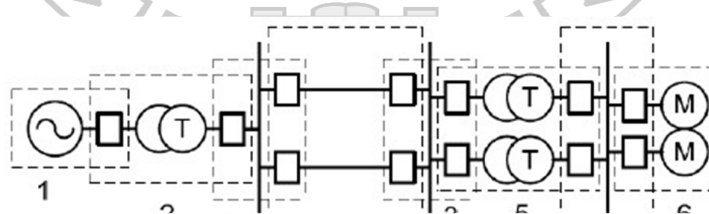
Jumlah rele yang bekerja atau mengamankan terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele yang baik adalah 90-99 %

- Ekonomis

Penggunaan rele selain memenuhi syarat diatas, juga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan.

2.5 Daerah Sistem Proteksi

Di dalam sistem proteksi tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/rele pengaman. Untuk mencapai hal ini, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah-daerah (zona) pengaman seperti terlihat pada gambar 2.1 berikut ini



Gambar 2.5 Daerah Pengamanan Pada Sistem Tenaga Listrik
(Sumber : Ir. Makmur Saini, 2015)

Keterangan:

1 = Zone Generator

4 = Zone Transmisi

2 = Zone Transformator Step-Up

5 = Zone Transformator Step-Down

3 = Zone Busbar

6 = Zone Beban

Setiap daerah proteksi pada umumnya terdiri atas satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Misalnya generator, busbar, transformator, transmisi, dan lain-lain. Agar seluruh sistem tenaga listrik dapat diamankan, maka harus ada daerah yang tumpang-tindih (overlap). Artinya ada elemen sistem yang diamankan oleh dua daerah pengamanan. Setiap daerah pengamanan dijaga oleh rele yang sesuai dengan karakteristik peralatan yang diamankan. Pada umumnya yang menjadi batas pengamanan antar daerah pengamanan adalah trafo arus yang mencatu ke rele.

2.6 Rele Diferensial

(N Suci Wulandari, 2014) sistem proteksi Rele diferensial adalah suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vektor dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang telah ditentukan.

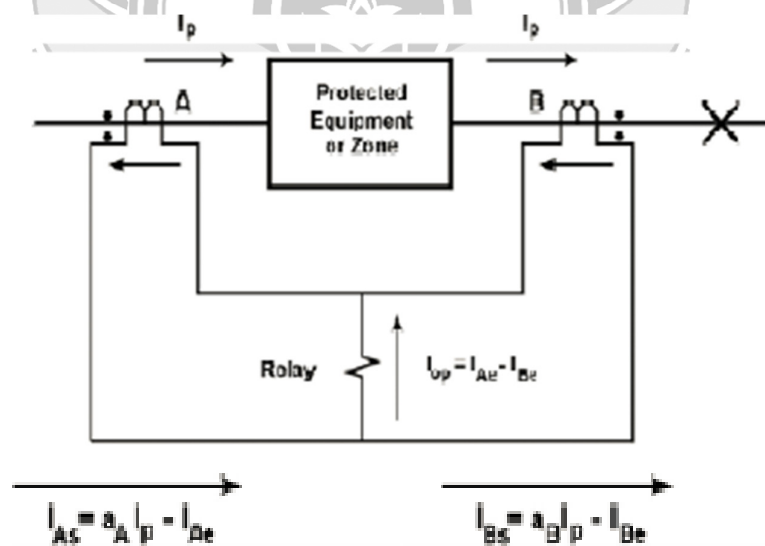
Dengan demikian setiap jenis rele, bila dihubungkan dengan cara tertentu dapat dibuat bekerja seperti rele diferensial. Dengan perkataan lain tidak begitu banyak susunan rele yang telah dihubungkan dengan cara tertentu dalam sirkit yang membuat rele tersebut bekerja sebagai suatu rele diferensial.

Rele diferensial juga berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam daerah pengamanan transformator.

Rele ini merupakan pengaman utama (main protection) yang sangat selektif dan cepat, sehingga tidak perlu dikoordinir dengan rele lain dan tidak memerlukan time delay.

Sifat pengaman dengan rele diferensial:

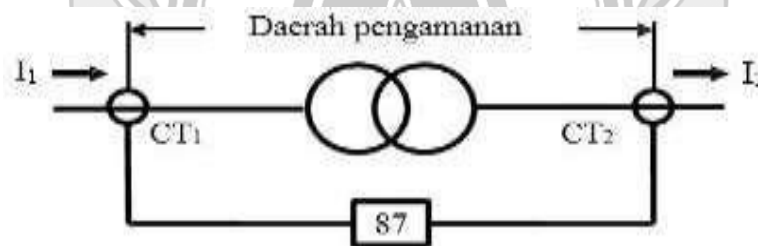
- a) Sangat efektif dan cepat, tidak perlu koordinasi dengan rele lain
- b) Sebagai pengaman utama
- c) Tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi/daerah berikutnya
- d) Daerah pengamannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana rele diferensial dipasang



Gambar 2.6 Rangkaian Rele Diferensial
(Sumber: N Suci Wulandari, 2014)

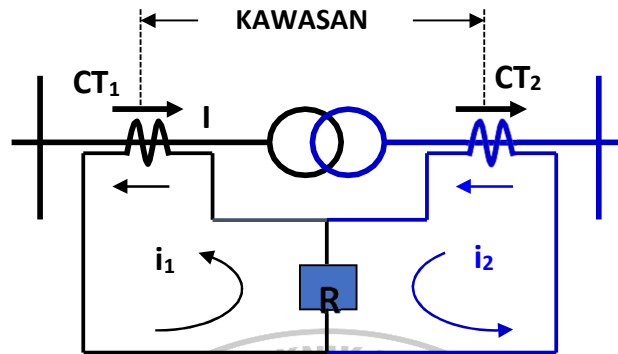
2.6.1 Prinsip Kerja Rele Diferensial

Anggi Pindo Winata (2020: 82) Tinjauan rele diferensial unit 2 PLTGU Muara Karang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (balance), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan rele diferensial sebagai rele pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, busbar, dan saluran transmisi. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama (main protection) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Rele ini sangat selektif dan system kerjanya sangat cepat.

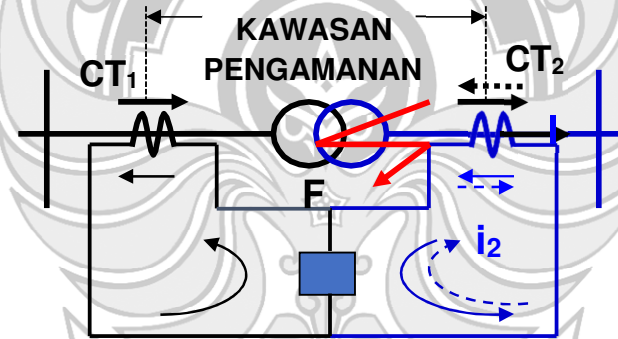


Gambar 2.7 Daerah Pengamanan Rele Diferensial
(Sumber: Juara Mangapul Tambunan dan Anggi Pindo Winata,2020)

Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke rele (lihat Gambar 4), apabila pada sisi primer transformator arus (CT1) dialiri arus I_1 , maka pada sisi sekunder transformator arus (CT2) akan dialiri arus I_2 , pada saat yang sama sisi sekunder kedua transformator arus, akan mengalir arus i_1 dan i_2 yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya $i_1 = i_2$ maka rele tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus, tetapi jika besarnya arus $i_1 \neq i_2$ maka rele akan bekerja, karena adanya selisih arus

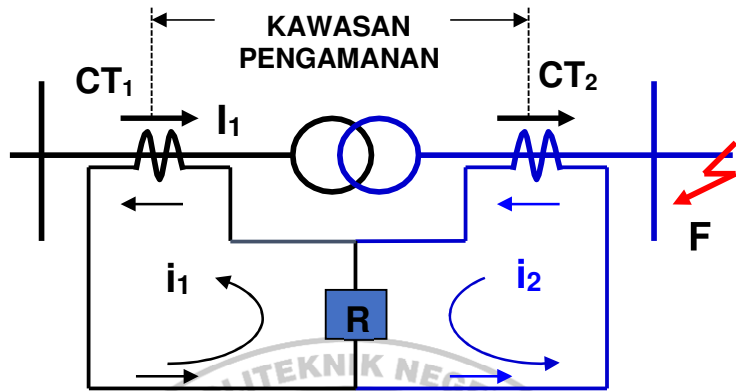


Gambar 2.8 Rele Diferensial Keadaan Gangguan Internal
 (Sumber : Juara Mangapul Tambunan dan Anggi Pindo Winata, 2020)



Gambar 2.9 Rele diferensial saat gangguan Internal
 (Sumber : Juara Mangapul Tambunan dan Anggi Pindo Winata, 2020)

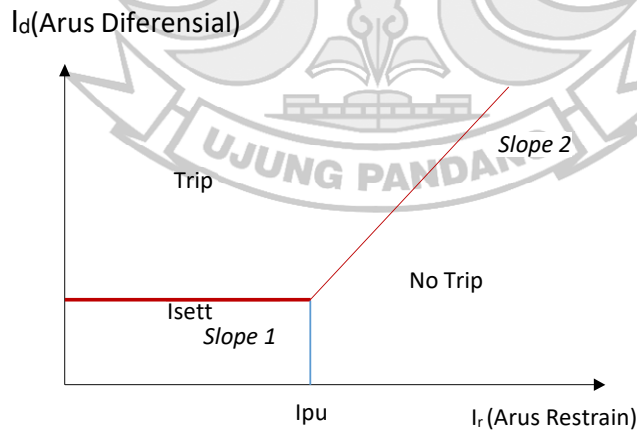
Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi pada daerah pengaman rele diferensial. Pada saat terjadi gangguan pada daerah pengaman rele diferensial, maka arus akan mengalir menuju titik gangguan tersebut. Sehingga arus yang mengalir pada $CT2$ akan berbalik dari arah normalnya menuju titik gangguan tersebut.



Gambar 2.10 Rele diferensial saat gangguan Eksternal
 (Sumber: Juara Mangapul Tambunan dan Anggi Pindo Winata,2020)

2.6.2 Karakteristik rele diferensial

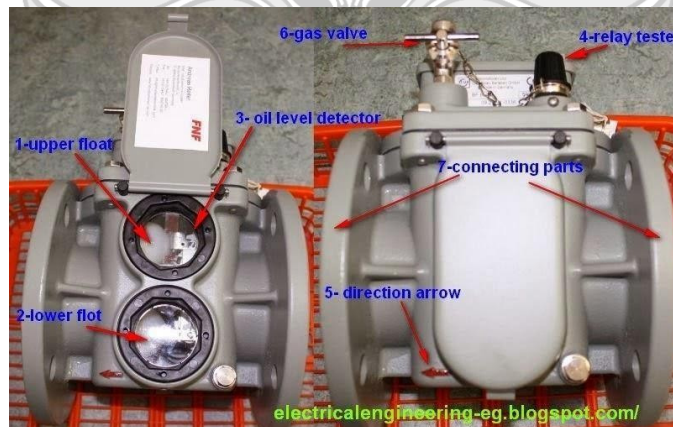
Setiap rele diferensial dilengkapi nilai settingannya dan memberikan karakteristik tripping tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan, dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2.11 Karakteristik Rele Diferensial
 (Sumber: Juara Mangapul Tambunan dan Anggi Pindo Winata, 2020)

2.7 Rele Buchholz

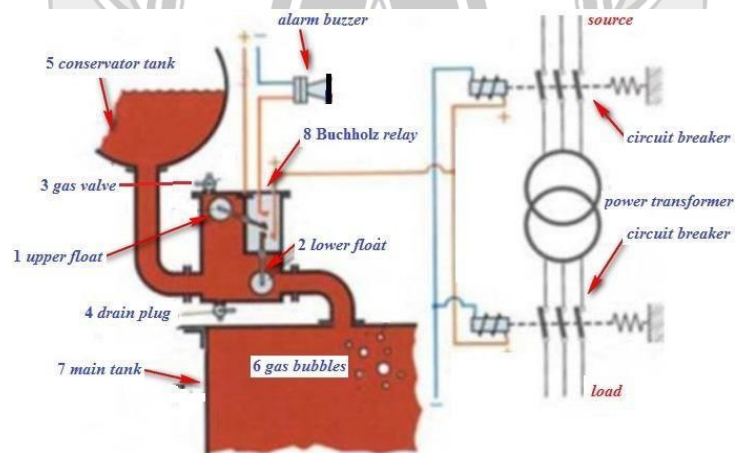
Jurnal EECCIS Vol. 13, No. 1 (2019, p-19) Rele Buchholz merupakan jenis rele mekanis yang mekanisme pengoperasiannya dipengaruhi oleh minyak dan gas dalam tangki transformator. Penggunaan rele Buchholz difungsikan sebagai rele pelindung pada transformator daya untukantisipasi terhadap gangguan internal yang mungkin terjadi, seperti kegagalan fungsi minyak sebagai media pendinginan dan isolasi, atau kegagalan isolasi padat dan cair pada kumparan, atau sebab lain. Pemasangan rele Buchholz dan pengukuran kinerjanya yang dipasang pada transformator daya kapasitas 60 MVA dengan sistem tegangan 150/20 kV di gardu induk (Tryvena Valentine Todingan dan Deby Haningsih, 2020)



Gambar 2.12 Kondisi fisik rele
(Sumber: Arief Goeritno dan Syofyan Rasiman, 2019)



Gambar 2.13 Penempatan Relé
 (Sumber : Arief Goeritno dan Syofyan Rasiman, 2019)

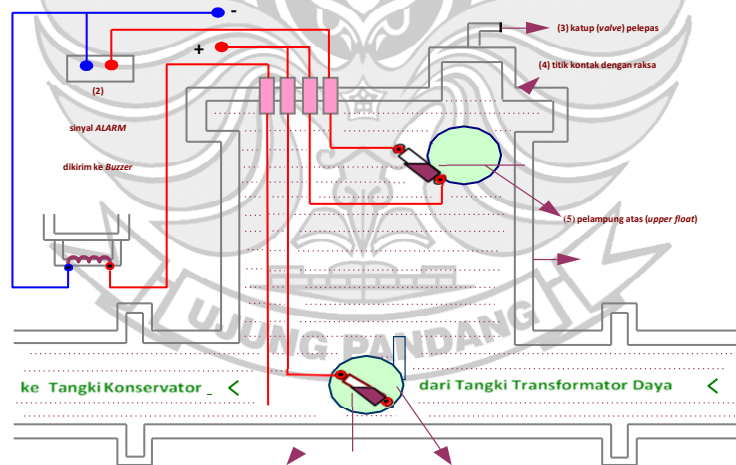


Gambar 2.14 Mekanisme operasi rele buzholz
 (Sumber: Arief Goeritno dan Syofyan Rasiman, 2019)

Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan, bahwa jenis gangguan yang terjadi dan harus diatasi oleh rele Buchholz, yaitu i) gangguan ringan yang berakibat muncul gelembung (*bubble*) gas yang teralirkan ke bagian atas rele dan

terjadi penekanan yang berakibat pelampung atas (*upper float*) bergerak ke bawah, sehingga kontak raksa terhubung dan pemberian sinyal *alarm*, sehingga *alarm buzzer* berbunyi dan ii) gangguan berat yang berakibat timbul gas dan minyak kejut dan terjadi penekanan yang berakibat pelampung bawah (*lower float*) bergerak ke bawah, sehingga titik kontak terkonduksi raksa dan terjadi pemberian sinyal *trip*.

Rele Buchholz berfungsi untuk pendeteksian keberadaan gas yang ditimbulkan oleh pemanasan setempat dan/atau surja tekan dalam minyak transformator. Ilustrasi untuk fenomena *alarm* dan/atau *trip* digambarkan dalam bentuk diagram skematis. Penggambaran skematis terhadap penampang bujur dan bagian-bagian pada rele Buchholz, seperti ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2.15 Penggambaran skematis terhadap penampang bujur dan bagian-bagian pada rele Buchholz
(Sumber: Arief Goeritno dan Syofyan Rasiman, 2019)

Penjelasan berdasarkan diagram skematis, dalam keadaan normal rele Buchholz terisi penuh dengan minyak transformator. Pemberian kondisi dengan gangguan awal/kecil (*incipient fault*), dimisalkan terjadi hubung singkat dalam

belitan transformator, maka ditimbulkan gas akibat pemanasan setempat dari isolasi padat dan cair. Gas tertimbulkan berkumpul pada permukaan atas rele Buchholz dan apabila telah cukup banyak, maka terjadi penekanan terhadap pelampung atas (*upper float*), sehingga pelampung berubah posisi yang berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa (kontak sinyal *alarm*). Diagram skematis pengoperasian titik kontak terkonduksi raksa pada rele Buchholz untuk pemberian sinyal alarm (Arief Goeritno dan Syofyan Rasiman 2019: p20) kinerja rele bucholz diukur melalui pemberian simulasi fenomena incipient fault terhadap oil immersed transformer.

Rele Bucholz adalah rele yang berfungsi mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan transformator yang menimbulkan gas. Timbulnya gas dapat diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

- a) Hubung singkat antar lilitan pada atau dalam fasa
- b) Hubung singkat antar fasa
- c) Hubung singkat antar fasa ke tanah
- d) Busur api listrik antar laminasi
- e) Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.

Rele yang biasa digunakan pada sebuah transformator daya sebagai pengaman pada saat terjadi gangguan adalah Rele bucholz dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung design trafonya apakah dikedua pipa tersebut dipasang rele bucholz. Rele bucholz berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas. Selama transformator beroperasi normal,

rele akan terisi penuh dengan minyak. Pelampung akan berada pada posisi awal.



Analisa gas yang terkumpul didalam rele bucholz:

- H₂ dan C₂H₂

Menunjukkan adanya busur api pada minyak antara bagian-bagian konstruksi.

- H₂, C₂H₂ dan CH₄

Menunjukkan adanya busur api sehingga isolasi phenol terurai, misalnya terjadi gangguan pada sadapan.

- H₂, C₂H₄ dan C₂H₂

Menunjukkan adanya pemanasan pada sambungan inti.

- H₂, C₂H₂, CO₂ dan C₃H₄

Menunjukkan adanya pemanasan setempat pada lilitan inti.



Gambar 2.16 rele bucholz
(Sumber: Aji Fitriyan Hidayat, 2019)

1) Kelebihan dan Kekurangan Rele Bucholz

a) Kelebihan Rele Bucholz

- 1) Rele ini menentukan kesalahan antar belokan yang terjadi karena pemanasan inti dan membantu dalam pencegahan kesalahan yang ketat.
- 2) Lingkungan dan kekerasan dari kesalahan akan menentukan tanpa memisahkan terpisah dari transformator dengan memeriksa sampel udara.

b) Kekurangan Rele Bucholz

- 1) Rele semacam ini berlaku untuk transformator yang diserap oli.
- 2) Rele ini hanya dapat mendeteksi ketika level oli di bawah.
- 3) Rele ini tidak melindungi kabel penghubung. Jadi keamanan terpisah diperlukan untuk kabel.
- 4) Ini memiliki waktu respons yang tinggi.
- 5) Waktu operasi paling tidak dari rele Bucholz adalah 0.1 detik.

2.8 Aplikasi Rele Bucholz

Berbagai jenis kesalahan transformator dapat dilindungi oleh rele Bucholz



dan yang diidentifikasi oleh alarm. Aplikasi rele Bucholz meliputi yang berikut

Gambar 2.17 Penempatan Rele Bucholz

(Sumber: Aji Fitriyan Hidayat, 2019)

- a) Rele Bucholz dapat digunakan pada saat Masuknya gelembung udara dalam

minyak

- b) Kegagalan isolasi baut Inti
- c) Rele Bucholz dapat digunakan di mana pengurangan level oli akan rendah karena kebocoran
- d) Rele ini dapat digunakan pada kontak listrik yang longgar dan buruk
- e) Bushing menembus
- f) Hubungan pendek (konsleting) antar tahap
- g) Korsleting Gulungan

1. Kondisi Operasi Rele Bucholz

Rele Bucholz bekerja di tiga kondisi yaitu:

- a) Kapan saja gelembung gas terbentuk di dalam transformator karena kesalahan parah.
- b) Setiap kali jumlah minyak dalam trafo turun.
- c) Setiap kali minyak dalam transformator mengalir dengan cepat dari tangki konservasi ke tangki utama atau dari tangki utama ke tangki konservasi.

2.9 Proteksi Arus Lebih dan gangguan tanah

2.9.1 OCR dan GFR

(Hendra Marta Yudha, 2008) Proteksi Rele: Prinsip dan Aplikasi Proteksi terhadap arus lebih merupakan sebuah sistem proteksi yang pertama dipergunakan. Dari sini dikembangkan prinsip-prinsip tingkatan arus lebih, yaitu suatu pemisahan proteksi gangguan. Hal ini seharusnya tidak dibingungkan dengan proteksi beban lebih, yang umumnya menggunakan rele dengan waktu operasi didasarkan atas derajat kapabilitas termis dari elemen yang diproteksi. Sedangkan proteksi arus lebih secara langsung akan mengisolir

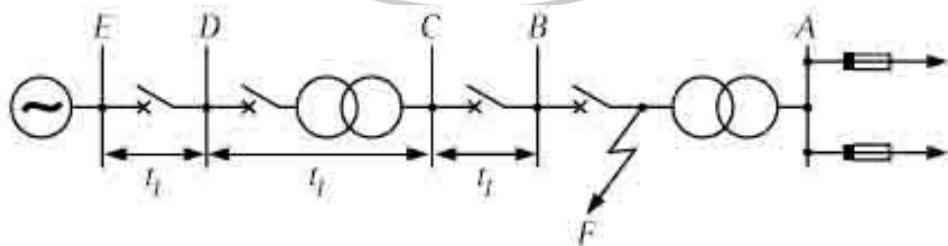
gangguan, meski penyetelan umumnya tetap mengadopsi pengukuran dari proteksi beban lebih

1. Prinsip-prinsip tingkatan arus waktu

Dari sekian banyak metode yang mungkin digunakan untuk mendapatkan koordinasi Rele yang benar, baik menggunakan tingkatan waktu, arus atau kombinasi keduanya. Tujuan utama dari metode tersebut adalah memperoleh pemisahan yang benar. Dengan kata lain, setiap metode harus dapat memilih dan mengisolasi hanya bagian sistem yang mengalami gangguan dan menjaga bagian lainnya tetap beroperasi.

2. Pemisahan Berdasarkan Waktu

Pada metode ini, pada setiap Rele yang mengendalikan suatu pemutus tenaga (PMT) diberikan interval waktu operasi yang meyakinkan bahwa PMT yang paling dekat dengan titik gangguan yang akan membuka pertamakali. Dalam Gambar diberikan ilustrasi penggunaan metode ini pada sebuah sistem distribusi radial sederhana. PMT diletakkan pada B, C, D dan E yang merupakan titik-titik awal dari suatu seksi atau awal dari titik injeksi setiap seksi dari sebuah sistem tenaga. Masing-masing unit proteksi dilengkapi dengan Rele arus lebih tipe



‘definite time delay’ dimana operasi Rele diinisiasi oleh elemen ‘time delay’

Gambar 2.18 Sistem Radial menggunakan pemisahan berdasarkan waktu

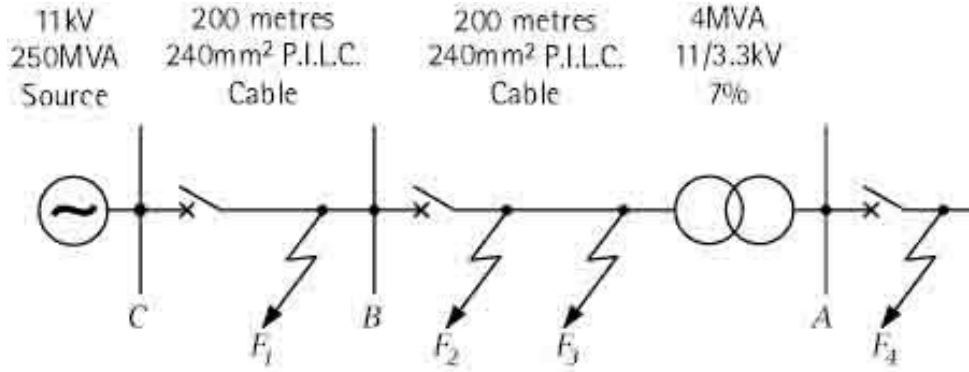
(Sumber: Ir Makmur Saini, 2015)

Bila penyetelan elemen arus dilakukan berdasarkan arus gangguan maka elemen ini tidak akan berperan dalam menentukan pemisahan yang diinginkan. Karena alasan, Rele jenis ini kerap kali dijelaskan sebagai Rele dengan 'independent definite time delay rele' karena waktu operasinya dalam pemakaiannya tidak tergantung pada besar kecilnya level arus gangguan. Elemen 'time delay' yang akan menentukan pemisahan. Rele pada B disetel dengan waktu tunda terkecil yang memungkinkan Fuse yang terpasang disisi sekunder Transformator A bekerja lebih dahulu bila gangguan yang terjadi disisi sekunder Transformator A.

Tipikal besarnya waktu tunda 0,25s sudah memadai. Jika gangguan terjadi dititik F, Rele pada B akan beroperasi dalam 0,25s dan berdasarkan urutan operasinya, PMT pada B akan membuka guna mengisolir gangguan sebelum Rele-Rele pada C, D dan E mempunyai cukup waktu untuk menyelesaikan urutan operasinya. Kelemahan utama dari pemisahan berdasarkan waktu ini adalah bila gangguan terjadi dekat pada sumber tenaga, maka waktu operasi pemutusan membutuhkan waktu yang cukup lama sedangkan arus gangguan yang terjadi dalam level (MVA) tertinggi.

3. Pemisahan Berdasarkan Arus

Pemisahan berdasarkan arus didasarkan pada kenyataan bahwa besar arus gangguan bervariasi terhadap lokasi gangguan, karena perbedaan besarnya impedansi antara titik gangguan dan sumber. Karenanya, tipikal Rele yang mengendalikan PMT disetel untuk beroperasi pada besaran tertentu sehingga Rele yang terdekat dengan titik gangguan yang akan mengoperasikan PMT nya, seperti disajikan dalam Gambar



Gambar 2.19 Sistem Radial menggunakan pemisahan berdasarkan Arus
(Sumber: Ir Makmur Saini, 2015)

Untuk gangguan pada F1, arus gangguan hubung singkat yang terjadi adalah:

$$A = \frac{6350}{Z_s + Z_{L1}} \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana Z_S dan Z_{L1} Masing-masing adalah impedansi sumber dan impedansi kabel antara C dan B, dengan harga masing-masing sebagai berikut:

$$Z_s = \frac{(11)}{250} = 0,485 \Omega \text{ dan } Z_{L1} = 0,24 \Omega \dots \dots \dots (2-4)$$

Sehingga,

$$I = \frac{6350}{0,485} = 0,800 \text{ A}$$

Dengan demikian Rele yang mengendalikan PMT disisi C disetel untuk beroperasi pada arus gangguan sebesar 8.800A yang secara teoritis akan mampu melindungi keseluruhan kabel antara C dan B. Namun demikian, ada dua hal yang akan mempengaruhi metode koordinasi dengan cara ini, yaitu:

Sangat tidak praktis untuk membedakan gangguan yang terjadi antara titik F 1 dan F2, mengingat jarak keduanya hanya beberapa meter karena itu perubahan arus gangguan hanya sebesar 0,1%.

Dalam prakteknya akan terdapat variasi dalam level sumber gangguan, tipikali antara 250MVA dan 130MVA. Pada level yang rendah arus gangguan tidak akan melebihi 6.800A, meski gangguan tersebut terjadi pada kabel yang dekat dengan C, sehingga bila Rele di setel pada arus 8.800A maka tidak akan ada bagian kabel yang terproteksi dengan baik.

Oleh karena itu pemisahan berdasarkan arus tidak mencapai tingkatan pemisahan yang benar antara PMT pada C dan B, namun persoalan menjadi berbeda bila terdapat impedansi yang cukup signifikan antara kedua PMT. Hal ini dapat dilihat bila kita tinjau kembali tingkatan yang dibutuhkan antara PMT pada B dan A, seperti terlihat pada Gambar. Misalkan gangguan terjadi di F 4, besar arus gangguan yang terjadi diberikan oleh:

$$I = \frac{6530}{Z_s + Z_{L1} + Z_{L2} + Z_T} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana Z_s , Z_{L1} , Z_{L2} dan Z_T masing-masing adalah impedansi sumber, Impedansi Kabel antara C dan B, Impedansi Kabel antara B dan Transformator 4MVA dan Impedansi Transformator, dengan besaran sebagai berikut:

$$Z_s = \frac{(11)^2}{250} = 0,485 \Omega \quad ; \quad Z_{L1} = 0,24 \Omega \quad ; \quad Z_{L2} = 0,04 \Omega \quad \text{dan} \quad \dots\dots(2-6)$$

$$Z_t = 0,07 \frac{(11)^2}{4} = 2,120 \Omega$$

Dengan demikian:

$$I = \frac{6350}{Z_s + Z_{L1} + Z_{L2}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Berdasarkan ini, Rele yang mengendalikan PMT pada B disetel untuk beroperasi pada arus gangguan sebesar 2.200A ditambah dengan margin keamanan agar tidak beroperasi bila gangguan terjadi di F4 dan harus dipisah dengan Rele di A. Bila diasumsikan margin keselamatan 20% dan 10% lagi untuk variasi perbedaan impedansi sistem, sangat masuk akal bila disetel pada 130% x 2.200A atau sebesar 2.860A untuk Rele di B. Sekarang bila gangguan terjadi di F3 yang merupakan bagian ujung dari kabel yang memasok Transformator A, arus gangguan yang terjadi adalah

$$I = \frac{6350}{Z_s + Z_{L1} + Z_{L2}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Jika diasumsikan level MVA gangguan adalah 250MVA, maka:

$$I = \frac{6350}{(0,485) + (0,24) + (0,04)} = 8.300A$$

Alternatif lain bila level MVA sebesar 130MVA, maka:

$$Z_s = \frac{(11)^2}{130} = 0,93\Omega \dots\dots\dots(2-8)$$

$$I = \frac{6.350}{(0,930) + (0,24) + (0,04)} = 5.250 A$$

Dengan kata lain, untuk kedua level sumber, rele di B akan bekerja secara benar untuk semua gangguan yang terjadi sepanjang kabel 11 kV yang memasok Transformator A.

2.9.2 Koordinasi Rele Arus Lebih dan Ground

Gangguan hubung singkat, Berbahaya bagi Peralatan sehingga mengganggu pelayanan. Perlu diketahui besarnya arus sebelum kejadian sesungguhnya. Oleh sebab itu, dicarikan cara menghitung yang mudah, cepat, sehingga bisa segera digunakan. Adapun rumus yang digunakan, yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2-9)$$

Keterangan:

I = Arus Gangguan

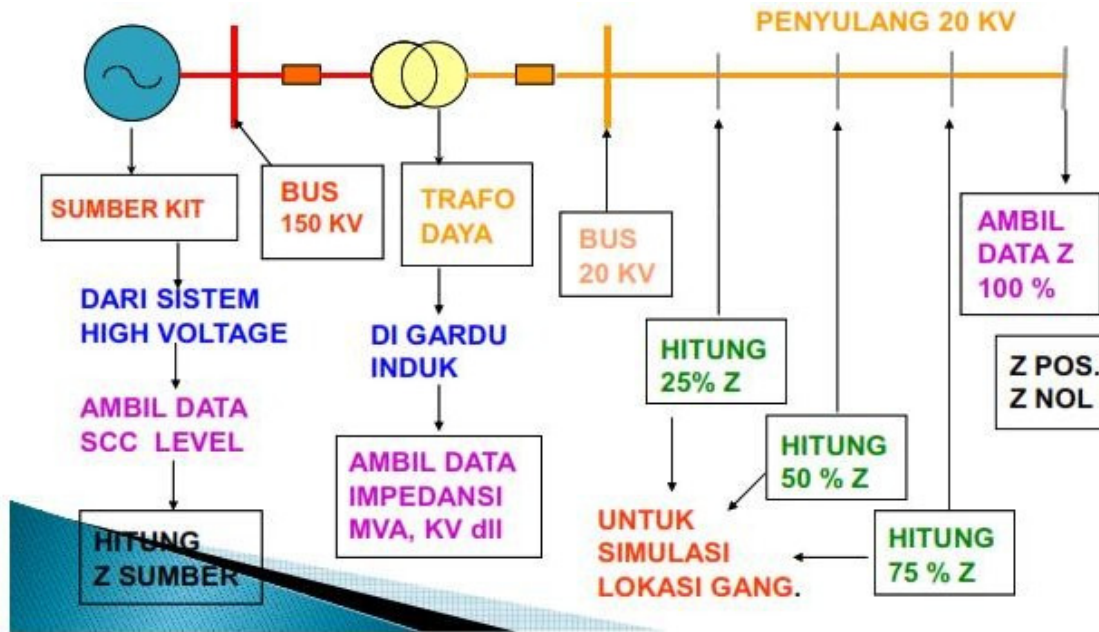
V = Tegangan Sumber

Z = Impedansi dari sumber ke titik gangguan, Impedansi Ekuivalen

(biasanya nilai impedansi ekuivalen yang membingungkan para pemula)

Dari ketiga jenis gangguan, perbedaannya ada pada:

- a) Untuk gangguan 3 Fasa: Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif nilai ekuivalen Z_1 Tegangannya adalah E_{fasa} .
- b) Untuk gangguan 2 Fasa: Impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif + urutan negative. Nilai ekuivalen $Z_1 + Z_2$ Tegangannya adalah $E_{\text{fasa-fasa}}$.
- c) Untuk gangguan 1 fasa: Impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif + urutan negative + Urutan nol. Nilai ekuivalen $Z_1 + Z_2 + Z_3$ Tegangannya adalah E_{fasa} .



Gambar 2.20 Impedansi dari titik sumber ke gangguan
(Sumber: Ir Makmur Saini, 2015)

2.10 Busbar

Busbar adalah suatu penghantar dengan impedansi rendah dimana beberapa sirkit listrik dapat dihubungkan secara terpisah. Dalam dunia kelistrikan, busbar biasanya digunakan untuk menghubungkan listrik antar satu peralatan listrik ke peralatan listrik lainnya. Busbar biasanya terbuat dari tembaga dan pemasangan atau penyambungannya hanya dapat dilakukan dengan mur baut karena pengeboran lubang berulir pada tembaga tidak dianjurkan.



Gambar 2.21 Busbar
(Sumber: Ir Makmur Saini, 2015)

Busbar tembaga harus dicat dengan warna sebagai berikut:

- 1) Busbar Fasa : Merah, Kuning, Hitam.
- 2) Busbar Netral : Biru.
- 3) Busbar Penumbumian : Hijau dengan strip kuning.

Setiap sambungan busbar harus diberi lapisan timah atau perak. Untuk pemberian warna pada busbar hanya diberi warna yang sesuai standar pada kedua ujung busbar untuk menunjukkan warna R, S, T, N, dan PE pada busbar.

Untuk teknik penyambungan busbar harus memperhitungkan berdasarkan lebar busbar itu sendiri. Misalkan jika lebar busbar 20 mm atau 2 cm, maka jarak sambungan antar busbar harus melebihi 2 cm untuk keamanan rangkaian agar pada saat arus mengalir, titik sambungan dapat menahan arus (Sudarto, 1998).

1. Busbar sebagai penghantar listrik.

Media penghantar tenaga listrik dari sumber tegangan ke beban

2. Perbedaan Busbar dan Kabel

Busbar adalah batang penghantar masif (single solid conductor). Penghantar telanjang biasanya berbahan tembaga. Sedangkan kabel adalah penghantar listrik yang terbungkus isolasi

1. Material Busbar

Busbar termasuk komponen jenis konduktor yang berarti terbuat dari bahan penghantar yang baik. Sebagai penghantar listrik, busbar harus memiliki sifat dasar penghantar listrik sebagai berikut:

1. Sifat Dasar Penghantar

a) Daya hantar listrik

Arus yang mengalir dalam suatu penghantar akan mengalami hambatan. Hambatan jenis bahan adalah besarnya nilai hambatan untuk setiap meter dengan luas penampang 1mm persegi pada suhu 20° C.

$$R = \rho \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2-10)$$

Keterangan:

R = Hambatan (Ω)

P = Panjang kawat (m)

A = Luas penampang kawat (m^2)

ρ = Hambatan jenis kawat (Ω m)

b) Koefisien suhu tahanan/hambatan

Bahan penghantar akan mengalami perubahan volume jika mengalami perubahan suhu.

$$R_1 = R_0 \times (1 + a \times \Delta\theta) \dots\dots\dots (2-11)$$

Keterangan:

θ_0 = Temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)

θ_1 = Temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$)

$\Delta\theta$ = Selisih antara temperature akhir dengan temperature awal ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 = Nilai hambatan pada suhu mula-mula suhu ruangan 20°C (Ω)

R_1 = Nilai hambatan setelah terjadi perubahan suhu (Ω)

a = Koefisien suhu sesuai dengan jenis logam

c) Daya hantar panas

d) Kekuatan tegangan Tarik

e) Timbulnya daya elektromotoris-thermo

2. Macam bahan busbar sebagai penghantar

Penghantar yang lazim digunakan; Aluminium, Tembaga, Baja, Wolfram, Molibdenum, Platina dan Air raksa.

a) Aluminium

Massa Jenis, $2,7 \text{ g/cm}^3$, titik leleh 658°C , daya hantar $35 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ (64,7% daya hantar tembaga), kekuatan Tarik 9 kg/mm^2

b) Tembaga

Massa Jenis, $8,96 \text{ g/cm}^3$, daya hantar $57 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pada suhu 20°C , titik didih 1.083°C , kekuatan Tarik $20\text{-}40 \text{ kg/mm}^2$

c) Rugi Tegangan

Adalah berbanding lurus dengan Panjang salura dan beban serta berbanding terbalik dengan penampang penghantar

d) Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Sangat dipengaruhi oleh suhu penghantar, jenis bahan penghantar.

3. Macam Susunan Busbar

Busbar yang digunakan pada GI adalah berpenampang persegi (rectangular) atau bulat (circular dengan inti pejal (solid). Busbar berlubang digunakan pada GI SETUT (EHY) untuk mengurangi efek korona.

2.11 Root Cause Failure Analysis (RCFA)

RCFA adalah langkah-langkah logika proses pengisolasian fakta-fakta kejadian atau kegagalan dengan mencari akar penyebabnya. Metode RCFA lebih banyak digunakan tim investigasi untuk memecahkan masalah-masalah kega galan operasi, proses maupun desain dengan menelusuri akar penyebab setelah terjadinya kegagalan. Metode ini lebih aplikatif pada bidang maintenance ataupun produksi (Moblely, 1999).

Metode RCFA lebih banyak digunakan tim investigasi untuk memecahkan masalah-masalah kegagalan operasi, proses maupun desain dengan menelusuri akar penyebab setelah terjadinya kegagalan. Metode ini lebih aplikatif pada bidang maintenance ataupun produksi (Moblely, 1999). Metode FMEA merupakan tindakan preventif untuk menghindarkan permasalahan pada produk /desain dan proses manufaktur sebelum permasalahan tersebut terjadi (Ben-Daya, 2009; Stamatis, 2003). Namun demikian, dalam langkah brainstorming tim FMEA juga sering menggunakan metode RCFA untuk mencari “benang merah” terjadinya kegagalan dengan penyebab dan dampaknya

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung selama 8 bulan mulai bulan Januari sampai bulan Agustus 2022. Penelitian ini dilaksanakan di PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello, penelitian dan pengambilan data mulai pada bulan April 2022.

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam menyelesaikan laporan Skripsi ini, Peneliti mengikuti langkah-langkah yang terstruktur agar laporan ini dapat dikerjakan secara sistematis dan terarah. Berikut langkah-langkah yang menjadi acuan dari peneliti:

1. Mengenali objek yang akan diteliti berupa observasi langsung (Studi Lapangan).
2. Melakukan pengambilan data kegiatan yang dibutuhkan.
3. Melakukan pengolahan data kegiatan yang telah diperoleh dengan mengacu pada tinjauan pustaka.
4. Melakukan perancangan terhadap data-data yang telah diolah, salah satunya dengan membandingkan hasil pengolahan data terhadap teori sesuai standar dan ketentuan yang ada, dan menjadikan rumusan masalah serta tinjauan pustaka sebagai acuan perancangan.

5. Memberikan solusi atau saran.
6. Menarik kesimpulan dari hasil perancangan yang telah dilakukan sehingga tujuan ataupun rumusan masalah dari objek kegiatan dapat terjawab.

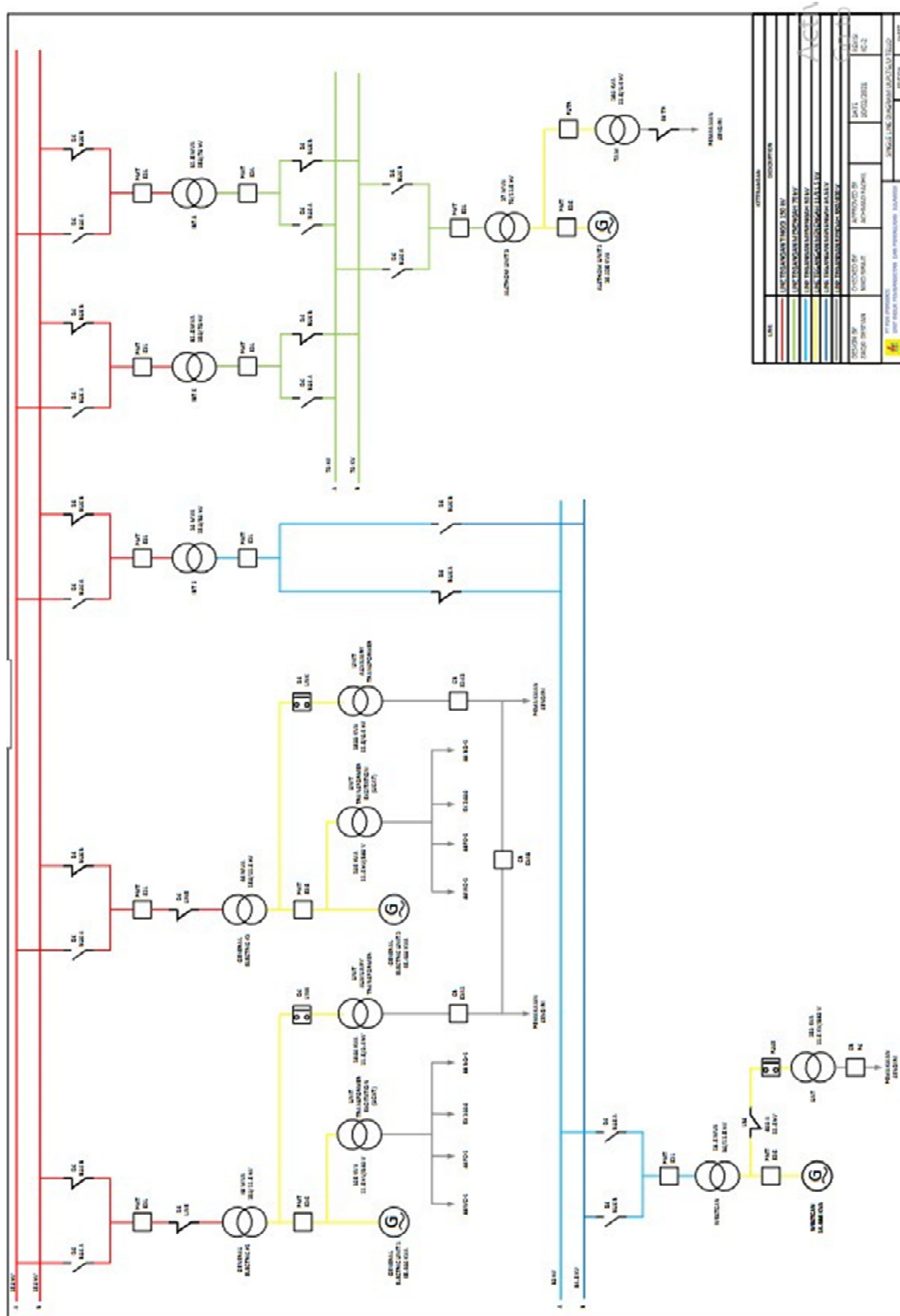
3.3 Rincian Kegiatan

Langkah-langkah penelitian dengan RCFA (Root Cause Failure Analysis)

- 1) Membuat IK penanganan gangguan PMT 150 kV Trip
- 2) Membuat Checklist pengecekan rele saat terjadi gangguan PMT 150 kV
Trip
- 3) Perbaiki busbar

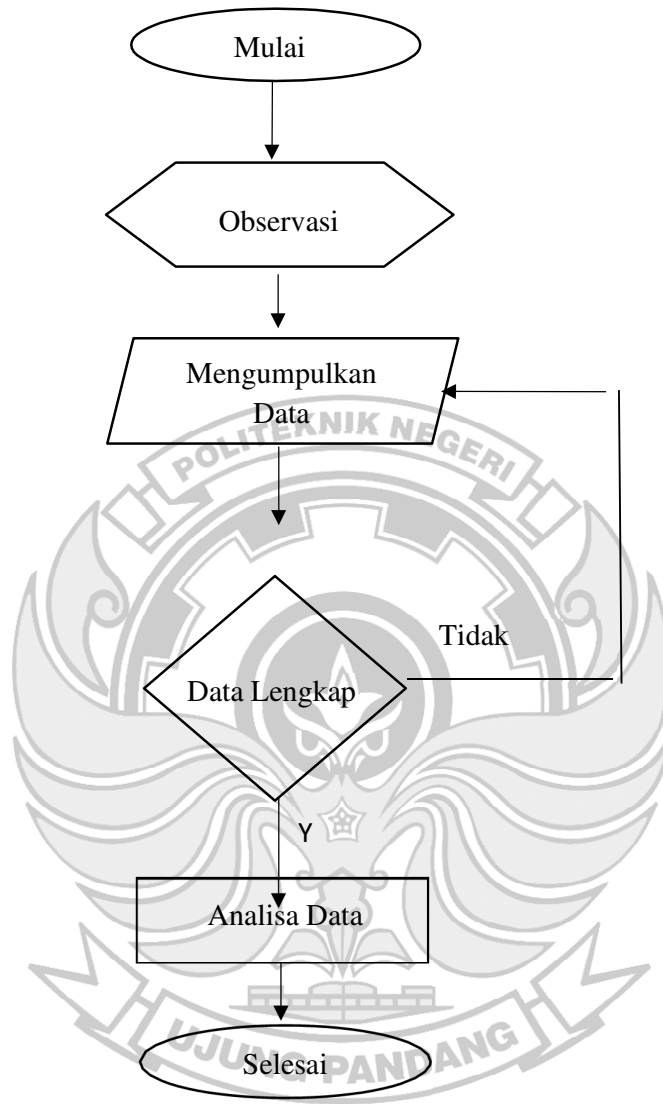


Titik gangguan PMT 150 kV



Gambar 3.1 titik gangguan PMT 150 kV

3.5 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alur penelitian

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Berikut adalah metode atau teknik yang digunakan dalam mengumpulkan data dari kegiatan yang dilakukan:

1. Studi literatur

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan berbagai referensi, baik melalui buku, tugas akhir ataupun jurnal kegiatan, hingga melalui internet berbentuk dokumen ataupun *digital library* yang berkaitan dengan kasus yang akan dikaji.

2. Metode observasi

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengadakan kunjungan ke kantor PT PLN Persero Unit Layanan PLTG Tello guna mengamati.

3. Metode wawancara

Pada saat wawancara, peneliti akan melakukan tanya jawab dengan Supervisor.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

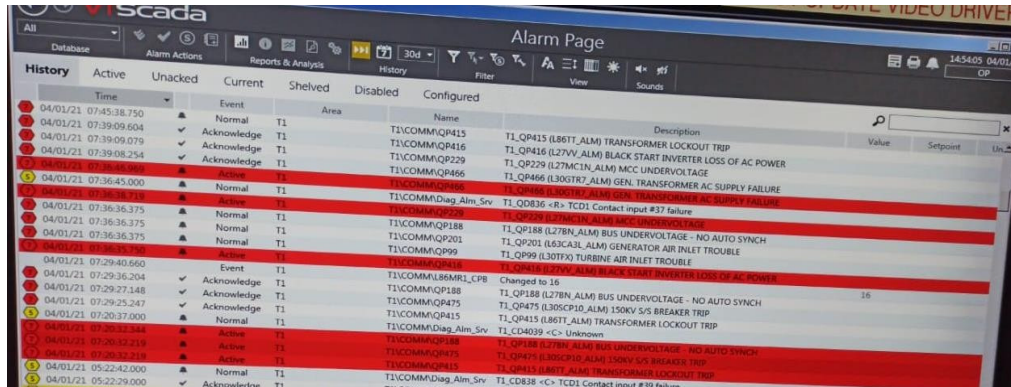
4.1 Hasil

4.1.1 Permasalahan

Nama <i>Equipment</i>	: <i>PMT Trafo 150 kV</i>
Deskripsi equipment	: Sebagai pemutus atau penyambung tegangan tinggi
Diskripsi kerusakan	: 59BN <i>Ground Fault</i> 11,5 kV, terdapat gangguan pada jalur 11,5 kV
Waktu kejadian	: 06.37 WITA
Judul Permasalahan	: 59 BN Ground Fault alarm 11,5 kV

4.1.2 Kronologi

- 1) Kejadian pada Hari Kamis, Tanggal 01 April 2021
- 2) Pukul 06:36 WITA mesin PLTG GE#1 status *Standby*
- 3) Pukul 15:58 WITA terjadi *alarm 86 T Differential Trafo Lockout* menyebabkan GE#2 keluar perusahaan.



Gambar 4.1 Display Alarm pada HMI GE#2
(Sumber: Ruangn Local Control ULPLTG Tello, 2021)



Gambar 4.2 Display Alarm Pada Panel Mimik
(Sumber: Local control General electric#1, 2021)



Gambar 4.3 Display Alarm pada Panel GI 150 kV
(Sumber: Ruang Local Control ULPLTG Tello, 2021)

4.2. Analisis Data

4.2.1 Tindak lanjut dan rekomendasi

Tindak lanjut yang dilakukan untuk mengatasi gangguan pada PLTG GE#1 dengan cara melakukan rekomendasi yang ditindaklanjuti metode RCPS berupa FDT (*failure defense task*) untuk menanggulangi gangguan PMT 150 kV Trip 59 BN bekerja, yaitu:

- 1) FDT 1: Membuat IK Penanganan Gangguan PMT 150 kV Trip
- 2) FDT 2: Membuat Check List Pengecekan Rele saat terjadi gangguan PMT 150 kV Trip
- 3) FDT 4: Perbaiki Busbar

Perbaikan isolasi busbar 11.5 kV mesin general electric #1 Unit Layanan PLTG Tello ini dilakukan sebagai tindak lanjut dari gangguan PMT 150 kV trip dengan indikasi busbar 11.5 kV earth fault (59BN). Tindak lanjut yang dilakukan untuk mengatasi gangguan pada PLTG GE#1 dengan cara melakukan rekomendasi yang ditindaklanjuti berupa FDT (failure defense task) untuk menanggulangi gangguan PMT 150 kV Trip 59BN bekerja, yaitu:

- 1) Instruksi Kerja
 - a) Distribusi dokumen
 - (a) Manager Bagian Ophar
 - (b) Manager ULPLTG Tello
 - (c) WMT
 - b) Perubahan dokumen
-
 - c) Dokumen Pendukung
Wiring Diagram Trafo Daya Takaoka
 - d) Maksud Tujuan

Instruksi kerja penggantian Silicon Temperatur Gauge Trafo Daya GE#1 dan GE#2 ULPLTG Tello bertujuan sebagai pedoman mempermudah dalam melakukan perbaikan gangguan False Alarm Temperatur Winding High sehingga terlaksana secara aman, efisien, handal dan tepat.

e) Ruang Lingkup

Penanganan Gangguan False Alarm Temperatur Winding High dan penggantian Silicon Temperatur Gauge meliputi Persiapan, Pengecekan dan Pelaporan

f) Spesifikasi Peralatan

Takaoka 46 MV A 150 kV/11,5 kV

g) Peralatan Kerja, Alat Pelindung Diri (APD), Spare part dan Consuable Material

(a) Peralatan Kerja:

- Avo meter
- Obeng Bunga & minus
- Box akrilik

(b) Alat Pelindung Diri:

- Helm
- Masker
- Safety Shoes

(c) Spare part & consumable:

- Majun
- Contact Cleaner
- Silicon Red

h) Metode Pelaksanaan Aspek Lingkungan dan K3, Identifikasi Risiko dan Mitigasi Risiko

(a) Aspek Lingkungan dan K3

Tabel 4.1 Aspek lingkungan dan K3

No	Aspek Lingkungan	Aspek K3	Emergency

(b) Identifikasi dan Mitigasi Risiko

Tabel 4.2 Identifikasi dan mitigasi Risiko

No	Identifikasi Residual			Kemungkinan	Tingkat Dampak	Level Risiko Inheren
	Resiko	Penyebab	Dampak			
1	Terpeleset	Licin	Luka	Medium	High	Tinggi
2	Tersengat	Kontak DC Pada Terminal	Luka	Medium	High	Tinggi

(c) Mitigasi Risiko

Tabel 4.3 Mitigasi Risiko

No	Control	Level Risiko Pasca Control	Action	Level Risiko Residual
1	Memakai Safety Shoes	Moderat	Mengecek Kondisi Safety Shoes	Rendah
2	Safety Permint	Moderat	1. Release Safety Permit bekerja dalam area 2. Tegangan Tinggi bekerja > 2 orang	Rendah

i) Kompetensi dan Responsibilitas Personil

Tabel 4.4 List Kompetensi dan Responsibilitas Personil

No	Keahlian	Keterangan
1	Memahami Menggunakan Avo Meter	1 Spv HAR , 1 SPV OP dan 1 JE HAR
2	Memahami Wiring Proteksi Temperatur Winding	1 Spv HAR, 1 SPV OP dan 1 JE HAR

Responsibilitas Personil: Spv HAR ULPLTG Tello.

j) Uraian Kegiatan

Tabel 4.5 List pengecekan Rele

No	Kegiatan	Kondisi
1	Pengecekan Visual Thermo Gauge	Baik
2	Buka Cover dan Bersihkan	Baik
3	Lapisi Silicon Pada Pinggir Thermo Gauge	Baik
4	Pasang Kembali Cover dan pastikan tidak ada air yang masuk	Baik

k) Formulir

1) Daftar Istilah dan Definisi

Thermo Gauge: Jenis sensor suhu yang masih bersifat analog. Temperatur Gauge digunakan untuk mengetahui suhu mesin atau alat sesuai dengan kebutuhan penggunaanya (lokal). Prinsip kerja temperatur Gauge adalah berdasarkan prinsip pemuaian logam atau yang disebut bimetal.

2) Check List Pengecekan Rele saat terjadi gangguan PMT 150 kV Trip

Tabel 4.6 Pengecekan Rele

No	Kegiatan	Kondisi
1	Pengecekan Visual Thermo Gauge	Baik
2	Buka Cover dan Bersihkan	Baik
3	Lapisi Silicon Pada Pinggir Thermo Gauge	Baik
4	Pasang Kembali Cover dan pastikan tidak ada air yang masuk	Baik

3) Perbaiki Busbar

Adapun persiapan yang dilakukan sebelum perbaikan busbar, yaitu:

- 1) De Energize main transformer mesin general electric unit 1.
- 2) Pengujian tahanan isolasi cable sebelum pelaksanaan pekerjaan.
- 3) Perbaiki isolasi busbar 11.5 kV dengan menggunakan corium Z202R.
- 4) Pengujian tahanan isolasi cable setelah pelaksanaan pekerjaan.
- 5) Pengujian dan pemeriksaan proteksi mekanis temperature winding dan oil alarm serta trip.
- 6) Pengujian dan pemeriksaan tahanan isolasi winding main transformer, winding unit auxiliary transformer, serta winding exitasi transformer.
- 7) Energize main transformer mesin general electric unit 1.
- 8) Setelah tindak lanjut dan rekomendasi telah dilakukan maka segera dilakukan pengecekan

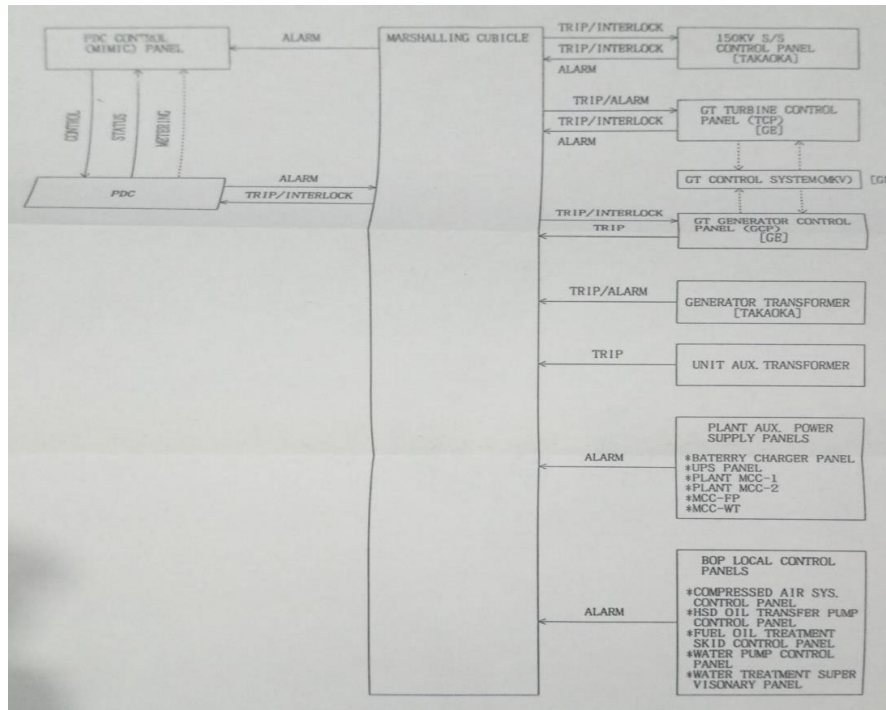
4.2.2 RCPS



Gambar 4.4 RCPS PMT 150 kV Trip
(Sumber: Operator Local Control ULPLTG Tello, 2021)

Penelitian ini menggunakan Metode RCFA dan lebih banyak digunakan tim investigasi untuk memecahkan masalah-masalah kegagalan operasi, proses maupun desain dengan menelusuri akar penyebab setelah terjadinya kegagalan. Metode ini lebih aplikatif pada bidang maintenance ataupun produksi oleh karena itu untuk mencari penyebab terjadinya Ground Fault padasisi busbar 11,5 kV peneliti menggunakan metode RCFA.

4.2.3 Analisa Gangguan



Gambar 4.5 Connection diagram marshalling cubicle
(Sumber: Manual Book ULPLTG Tello, 2022)

Dilihat dari gambar diagram di atas menjelaskan proses-proses pengetripan yang dilakukan oleh sistem pengaman di unit pembangkitan listrik. marshalling cubicle adalah alat kontrol yang mengumpulkan informasi di setiap unit pembangkitan guna memberikan isyarat bahwa ada komponen pembangkitan yang mengalami masalah. Setiap unit memiliki sistem pengaman peralatan, jika terjadi masalah maka sistem proteksi akan bekerja dan alarm di masing-masing sistem proteksi memberikan sinyal kepada marshalling cubicle agar seluruh peralatan-peralatan yang terhubung kesistem yang bermasalah segera di triptkan secara otomatis atau manual. Beberapa relay proteksi yang berfungsi untuk

mengamankan peralatan -peralatan listrik di general electric salah satunya adalah relay 86T Differential trafo lockout untuk mengetahui satu-kesatuan relay 86T mari simak tabel dibawah ini:

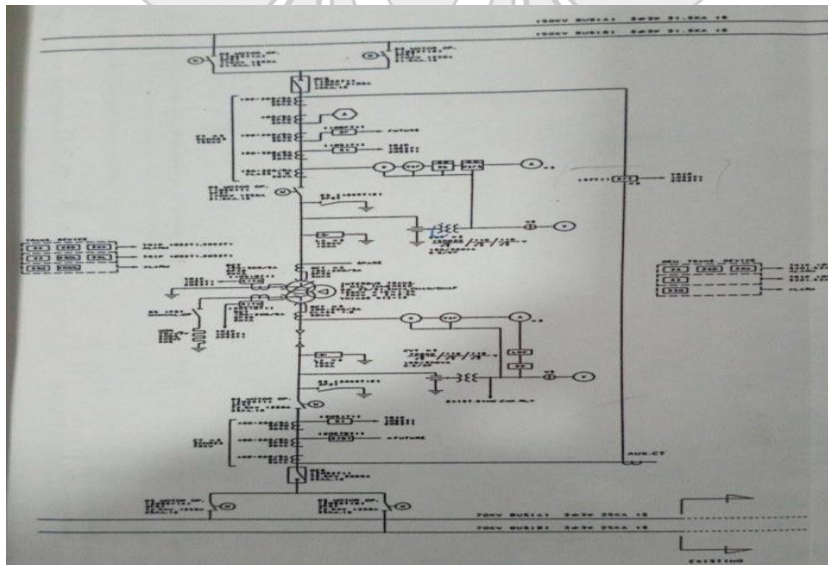
Matriks 86 T dan 87T Differential Trafo Lockout

Tabel 4.7 Relay Proteksi Travo

NO	DEVICE	DEFINISI	LOCATION
1	Rele Differential	Proteksi pengaman yang bekerja membaca perbandingan arus setiap phase dari settingan yang sudah ditentukan	Local Control
2	Ground Fault	Proteksi pengaman yang bekerja membaca hubungan singkat phase ke tanah	Local Control
3	Winding Temperatur	Proteksi pengaman yang bekerja membaca temperatur winding	Main Trafo
4	Oil Temperatur	Proteksi pengaman yang bekerja membaca temperatur oli	Main Trafo
5	Bucholz	Proteksi pengaman yang bekerja membaca hubungan singkat pada winding yang menyebabkan munculnya gas	Main Trafo
6	Sudden Pressure	Proteksi yang bekerja saat terjadi tekanan berlebih dalam trafo	Main Trafo

2) Relay 86T Auxiliary lock out

59BN satu bagian dari proteksi 87T merasakan adanya kerusakan di sistem penyaluran maka 86T mengaktifkan auxiliary lockout apabila PMT 150 kV trip maka akan melewati 86 T terlebih dahulu yang fungsinya untuk mentripkan PMT pada sistem penyaluran, setelah mendapatkan sinyal gangguan dari proteksi 87T (1),87T (2) ,87T (3) maka 86T akan segera mentripkan PMT dan sebelum kerusakan telah teratasi maka 86T tidak akan bisa mengizinkan PMT terhubung kembali walaupun operator unit secara manual ingin menghubungkan Kembali PMT relay 86T tetap akan melepas PMT secara otomatis karena masalah yang terjadi pada sistem belum di perbaiki, namun apabila masalah sudah teratasi maka 86T mengizinkan PMT untuk terhubung kembali. Adapun gambar kontrol proteksi pada sistem sebagai berikut:



Gambar 4.8 Line Diagram Kontrol dan Proteksi pada system
Sumber: Manual Book ULPLTG Tello

Praduga pertama dilakukan pengecekan di Lokal Kontrol GE#1, kondisi fisik Rele *Differential* Trafo. Dari hasil pengecekan tidak ditemukan bahwa Rele tersebut bekerja, maka kesimpulannya bahwa tidak terjadi gangguan *Differential Trouble*.



Gambar 4.9 Rele 87T (1), 87T (2), 87T (3)
(Sumber: Local Control General Electric #1 ULPLTG Tello)

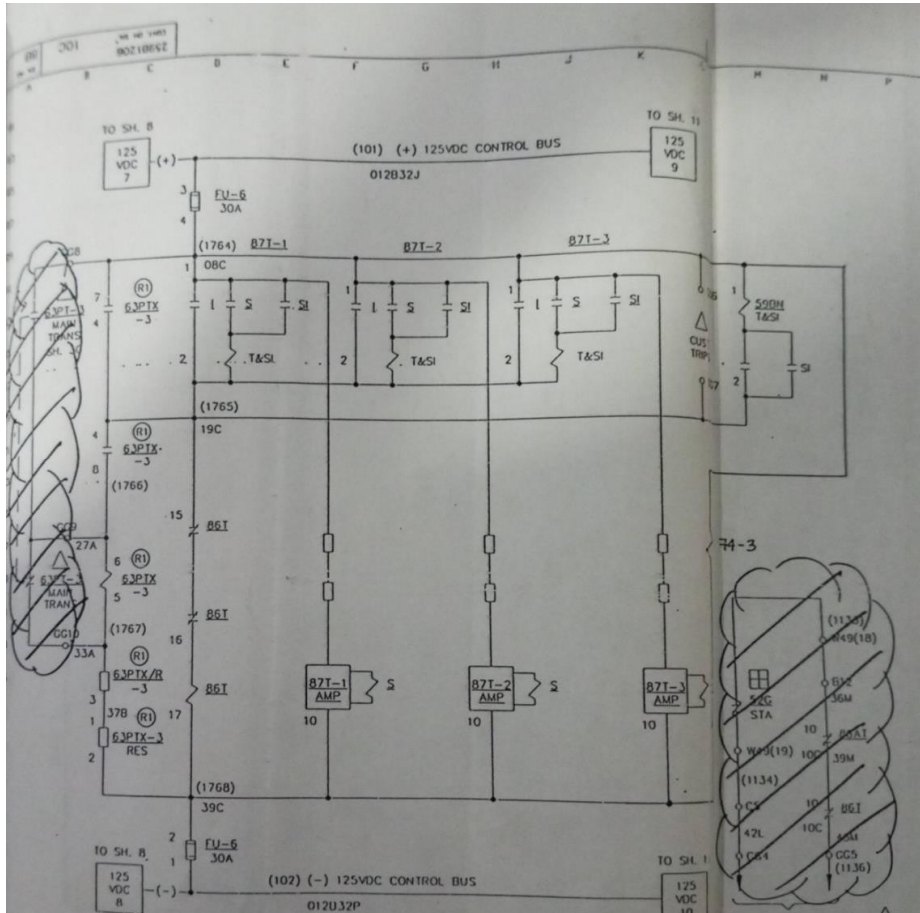
Pada saat dilakukan pengecekan visual rele 59 BN Ground Fault di Lokal Kontrol GE#1 ditemukan indikasi rele tersebut bekerja. Tindakan selanjutnya dilakukan pengujian tahanan isolasi sisi 11,5 kV



Gambar 4.10 Kondisi fisik Rele Ground Fault ULPTG Tello
(Sumber: Local Control General Electric #1 ULPLTG Tello)



Adapun gambar hubungan antara proteksi 87T dan 59BN di ulpltg Tello sebagai berikut:



Gambar 4.11 Line Diagram Hubungan antara Proteksi 86T, 87T dan 59 BN
(Sumber: Manual Book ULPLTG Tello)

4.2.4 Tes Report

Electrical Device : Busbar

General Electric#1Quantity : 1(Satu)

CABLE XLPE/PVC 240 MM²:

Visual Check:

- Pelat Nama : Ada / ~~Tidak Ada~~
- Instalasi peralatan : Sesuai spesifikasi / ~~Tidak sesuai~~
- Pengkabelan & Terminal : Baik / ~~Tidak baik~~

Tahanan isolasi (*Insulation Resistance*)

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Nilai Insulation Resistance Busbar

LAPORAN HASIL PENGUKURAN NILAI <i>INSULATION RESISTANCE</i> BUSBAR						
UNIT LAYANAN PLTG/U TELLO						
Spesifikasi Peralatan yang Diuji:						
Nama	: BUSBAR					
Tipe	: -					
Spesifikasi Peralatan yang Menguji:						
Nama	: Kyoritsu Digital High Voltage Insulation Tester					
Model	: 3125					
Safety Standart	: IEC 61010-1 CAT III 600V, Pollution Degree 2					
Dimension	: 205 (L) x 152 (W) x 94 (D) mm					
Power Supply (DC Battery)	: DC12V : R14 x 8					
Range Insulation Resistance	: 500V/ 1000 V/ 2500 V/ 5000 V					
Range Voltage Measurement	: 30-600 VAC/DC [50/60 Hz]					
Kalibrasi Terakhir	: 1 November 2016					
NILAI UJI & RUJUKAN						
NO.	OBYEK	Nilai Resistansi(Ω)	RATED MEASURING VOLTAGE	NILAI RUJUKAN		METODA
		IR1	(V)	PUIL 2011		
TITIK 1 (titik potong kearah main transformer)						
1	R - Ground	52.2 M Ω	5000	23 M Ω	2000 Ω /Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
2	S - Ground	14.1 M Ω	5000	23 M Ω	2000 Ω /Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
3	T - Ground	0.6 M Ω	5000	23 M Ω	2000 Ω /Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN

3) Pengecekan sisi 11,5 kV

Dari hasil pengecekan visual di lokasi, rele 59BN *Ground Fault* bekerja pada saat trip PMT 150 kV arah GE#1, maka dilakukan pengecekan dan pengujian tahanan isolasi disisi 11,5 kV



Gambar 4.12 Pengukuran phase R 11,5 kV



Gambar 4.13 Pengukuran phase S 11,5 kV



Gambar 4.14 pengukuran phase T 11,5 kV
(Sumber: General Electric #1 ULPLTG Tello)

Dari hasil pengukuran di lokasi *Switchgear* 11,5 kV to 150 kV, maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Busbar

NO	TAG NAME	HASIL UKUR	KETERANGAN
1	Phase R	52,2 MΩ	Baik
2	Phase S	14,1 MΩ	Kurang Baik
3	Phase T	0,6 MΩ	Kurang Baik

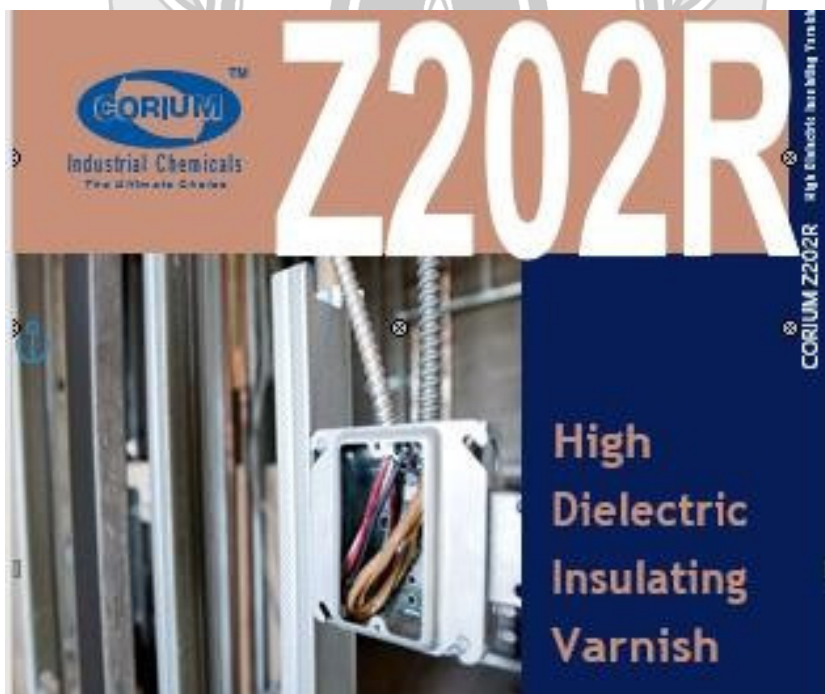
Melihat dari hasil ukur tahanan isolasi tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa gangguan PMT 150 kV trip disebabkan oleh alarm 59 BN Ground Fault pada sisi 11,5 kV phase S dan phase T. Adapun gambar pada busbar 11,5 kV yang mengalami kebocoran isolasi yang bermasalah pada sisi phase S dan phase T sehingga mengakibatkan Ground Fault sebagai berikut:



Gambar 4.15 Kebocoran Isolasi Busbar 11,5
(Sumber: General Electric #1 ULPLTG Tello)

Dari hasil investigasi menggunakan metode RCFA ditemukan kebocoran disisi busbar 11,5 kV kebocoran inilah menyebabkan udara dan air hujan bisa masuk ke body busbar 11,5 kV hingga terjadinya ground fault pada sisi busbar 11,5 kV maka proteksi 59BN bekerja lalu relay 87T mengirim sinyal ke master relay 86T untuk segera mentripan PMT secara otomatis setelah proses pengetripan yang dilakukan oleh proteksi 86T tahap selanjutnya dilakukan proses perbaikan busbar 11,5 kV salah satu material yang digunakan dalam proses perbaikan adalah Corium Z202R.

4) Corium Z202R (High Dielectric Insulating Varnish)



Gambar 4.16 Corium Z202R

- Kekuatan ultra dielectric yang memberikan perlindungan tahan lamadan fleksibel
- Tahan korosi, tahan terhadap kelembaban, cahaya matahari, alkalidan asam
- Memberikan kenyamanan bagi pemakai, dapat kering dalambeberapa menit



Gambar 4.17 Corium Isolator Z202R

a) Sifat-sifat khusus

Corium Z202R adalah varnish isolator ultra yang:

- Memiliki bahan dielektrik untuk semua penggunaan frekuensi tinggi,sampai 1400 volts per mil (sebagai kekuatan dielectric)
- Memiliki formulasi berkualitas dengan kelenturan super – tidak pecahdalam kondisi ekstrim
- Melindungi peralatan yang kritis dan mahal dari corona discharge,percikan api dan kebocoran tegangan

b) Keistimewaan

Corium Z202R Varnish isolasi dielektrik yang cepat, mudah dan ekonomis untuk mengisolasi listrik dan bagian-bagian elektronik, secara mudah fleksibel dan tahan lama.

- Corium Z202R berkekuatan ultra dielektrik memberikan perlindungan yang tangguh, tahan lama dan fleksibel
- Corium Z202R menawarkan ketahanan tinggi terhadap korosi – dapat mencegah serangan akibat lembab, cahaya matahari, alkali dan asam
- Corium Z202R cepat dan mudah digunakan – dapat kering dalam beberapa menit

c) Rekomendasi pemakaian

Corium Z202R adalah varnish isolasi berkekuatan dielektrik yang membungkus, mengelilingi dan melindungi alat-alat listrik dan elektronik serta komponen lainnya untuk memperpanjang usia peralatan dan mendukung peningkatan power tanpa cacat.

Corium Z202R mencegah kelembaban dan mencegah bahaya akibat korona discharge, percikan api dan kebocoran tegangan. Hanya semprotkan Corium Z202R pada kabel listrik atau bagian yang diinginkan untuk diisolasi agar tahan lama. Corium Z202R tidak akan retak akibat getaran seperti spray isolasi aerosol yang biasa. Gunakan Corium Z202R secara pasti pada Printed Circuit, Dioda, Kabel, Gulungan Dinamo, Kontak Listrik, Mesin Kapal, Sistem

Kabel dan Pembakaran, Sistem Listrik Otomotif, System Telekomunikasi, Alat Listrik Outdoor / Peralatan Elektronik dan lainnya



Gambar 4.18 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Busbar 11,5 kV
(Sumber: ULPLTG Tello, 2021)

Adapun hasil dari pelaksanaan pekerjaan perbaikan isolasi busbar mesin general electric unit 1:

1. Busbar 11.5 kV
 - a) Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada BUSBAR 11.5 kV sebelum pelaksanaan pekerjaan didapat nilai sebesar 1.16 G Ω (phasa r to ground), 1.23 G Ω (phasa s to ground), dan 715 M Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.

- b) Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada BUSBAR 11.5 kV setelah perbaikan isolasi dengan menggunakan Corium Z202R didapat nilai sebesar 1.46 GΩ (phasa r to ground), 1.60 GΩ (phasa s to ground), dan 1.31 GΩ (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 MΩ sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Nilai Insulation Resistance Busbar 11,5 kV

LAPORAN HASIL PENGUKURAN NILAI INSULATION RESISTANCE BUSBAR 11.5 KV UNIT LAYANAN PLTG/U TELLO						
Spesifikasi Peralatan yang Diuji:						
Nama	: BUSBAR 11.5 KV					
Tipe	: BUSBAR COR					
Spesifikasi Peralatan yang Menguji:						
Nama	: Kyoritsu Digital High Voltage Insulation Tester					
Model	: 3125					
Safety Standart	: IEC 61010-1 CAT III 600V, Pollution Degree 2					
Dimension	: 205 (L) x 152 (W) x 94 (D) mm					
Power Supply (DC Battery)	: DC12V : R14 x 8					
Range Insulation Resistance	: 500V/ 1000 V/ 2500 V/ 5000 V					
Range Voltage Measurement	: 30-600 VAC/DC [50/60 Hz]					
Kalibrasi Terakhir	: 1 November 2016					
NILAI UJI & RUJUKAN						
NO.	OBYEK	Nilai Resistansi (Ω)	RATED MEASURING VOLTAGE	NILAI RUJUKAN		METODA
		IR1	(V)	PUIL 2011		
SEBELUM PELAKSANAAN PEKERJAAN						
1	R - Ground	1.16 GΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
2	S - Ground	1.23 GΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
3	T - Ground	715 MΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
SETELAH PELAKSANAAN PEKERJAAN						
1	R - Ground	1.46 GΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
2	S - Ground	1.60 GΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN
3	T - Ground	1.31 GΩ	5000	23 MΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja	PENGUJIAN

2. Unit Auxiliary Transformer (UAT)

- a) Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV (11.5 kV) didapat nilai sebesar 4.38 G Ω (phasa r to ground), 5.00 G Ω (phasa s to ground), dan 5.12 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.
- b) Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi LV (380 V) didapat nilai sebesar 2.32 G Ω (phasa r to ground), 2.47 G Ω (phasa s to ground), dan 2.49 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 0.8 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 400 V yang berarti baik.
- c) Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV- LV (11.5 kV - 400 V) didapat nilai sebesar 4.07 G Ω (phasa r to r), 4.38G Ω (phasa s to s), dan 4.59 G Ω (phasa t to t) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11 kV / 400 V yang berarti baik.
- d) Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi LV (IR10/IR1) didapat nilai sebesar 2.2 (phasa r to ground) yang berarti baik berdasarkan nilai standard rujukan IEEE 42-2000.
- e) Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi HV (IR10/IR1) tidak dapat dilakukan pengukuran dikarenakan nilai tahanan isolasi sudah melebihi sama dengan 5 G Ω .

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Polarization Index Winding

LAPORAN HASIL PENGUJIAN POLARIZATION INDEX WINDING								
UNIT LAYANAN PLTG GENERAL ELECTRIC								
Spesifikasi Peralatan yang Diuji:								
Nama	: Unit Auxillary Transformer							
Manufacture	: Trafindo Perkasa							
Daya	: 1600 kVA							
Years	: 1997							
Vector Group	: Dyn-5							
Spesifikasi Peralatan yang Menguji:								
Nama	: Kyoritsu Digital High Voltage Insulation Tester							
Model	: 3125							
Safety Standart	: IEC 61010-1 CAT III 600V, Pollution Degreee 2							
Dimension	: 205 (L) x 152 (W) x 94 (D) mm							
Power Supply (DC Battery)	: DC12V : R14 x 8							
Range Insulation Resistance	: 500 V/ 1000 V/ 2500 V/ 5000 V							
Range Voltage Measurement	: 30 - 600V AC/DC [50/60 Hz]							
Kalibrasi Terakhir	: '1 November 2016							
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)		POLARIZATIO NINDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	Winding Sisi Primer(HV)	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R – Ground	4.38 G Ω			<1.0 = Dangerous 1.0 -1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	Tidak dapat dilakukan uji PI karena nilai tahanan isolasi \geq 5Gohm
2	S – Ground	5.00 G Ω						
3	T – Ground	5.12 G Ω						
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)		POLARIZATIO NINDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	Winding Sisi Sekunder (LV)	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R – Ground	2.32 G Ω	5.12 G Ω	2.2	<1.0 = Dangerous 1.0 -1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	FAIR
2	S – Ground	2.47 G Ω						
3	T – Ground	2.49 G Ω						
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)		POLARIZATIO NINDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	HV to LV	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R – R	4.07 G Ω			<1.0 = Dangerous 1.0 -1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	
2	S – S	4.38 G Ω						
3	T – T	4.59 G Ω						

3. Unit Control Auxiliary Transformer (UCAT)

1. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV (11.5 kV) didapat nilai sebesar 1.67 G Ω (phasa r to ground), 2.50 G Ω (phasa s to ground), dan 2.61 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.
2. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi LV (380 V) didapat nilai sebesar OL (phasa r to ground), OL (phasa s to ground), dan OL (phasa t to ground) dari batasan nilai 0.8 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 400 V yang berarti baik karena terbaca nilai tahanan isolasi melebihi nilai alat ukur.
3. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV- LV (11.5 kV - 400 V) didapat nilai sebesar 4.07 G Ω (phasa r to r), 4.38 G Ω (phasa s to s), dan 4.59 G Ω (phasa t to t) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11 kV / 400 V yang berarti baik.
4. Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi LV (IR10/IR1) didapat nilai sebesar 1.49 (phasa r to ground) yang berarti kurang baik berdasarkan nilai standard rujukan IEEE 42-2000.
5. Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi HV (IR10/IR1) tidak dapat dilakukan pengukuran dikarenakan nilai tahanan isolasi sudah melebihi sama dengan 5 G Ω .

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI UNIT LAYANAN PLTG GENERAL ELECTRIC							
Spesifikasi Peralatan yang Diuji:							
Nama	: Unit Control Auxiliary Transformer						
Manufacture	: -						
Daya	: -						
Years	: 1997						
Vector Group	: -						
Spesifikasi Peralatan yang Menguji:							
Nama	: Kyoritsu Digital High Voltage Insulation Tester						
Model	: 3125						
Safety Standart	: IEC 61010-1 CAT III 600V, Pollution Degree 2						
Dimension	: 205 (L) x 152 (W) x 94 (D) mm						
Power Supply (DC Battery)	: DC12V : R14 x 8						
Range Insulation Resistance	: 500 V/ 1000 V/ 2500 V/ 5000 V						
Range Voltage Measurement	: 30 - 600V AC/DC [50/60 Hz]						
Kalibrasi Terakhir	: '1 November 2016						
HASIL PENGUKURAN							
I. SISI PRIMER - 11.500 V							
NO.	OBYEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)	NILAI RUJUKAN		RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
			PUIL 2011				
	11.5 kV	IR1					
1	R - Ground	1.67 GΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja (V)	23 MΩ	10000	PENGUJIAN	Baik
2	S - Ground	2.50 GΩ					
3	T - Ground	2.61 GΩ					
II. SISI SEKUNDER - 400 V							
NO.	OBYEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)	NILAI RUJUKAN		RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
			PUIL 2011				
	0.4 kV	IR1					
1	R - Ground	OL	2000 Ω/Volt x Teg Kerja (V)	0.8 MΩ	5000	PENGUJIAN	BAIK
2	S - Ground	OL					
3	T - Ground	OL					
III. HV TO LV							
NO.	OBYEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI(Ω)	NILAI RUJUKAN		RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
			PUIL 2011				
	150 kV	IR1					
1	R - R	4.07 GΩ	2000 Ω/Volt x Teg Kerja (V)	23 MΩ	5000	PENGUJIAN	BAIK
2	S - S	4.38 GΩ					
3	T - T	4.59 GΩ					

4. Generator Transformer

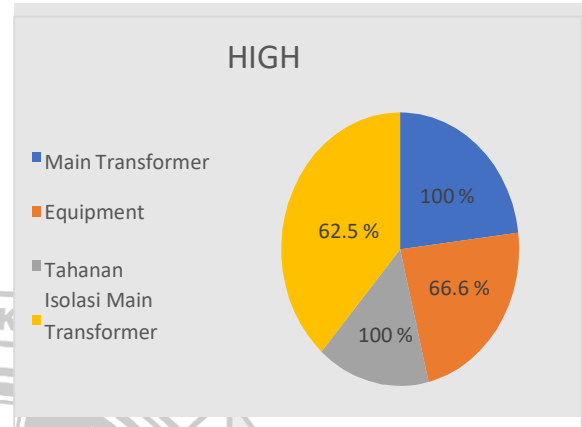
1. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV (150 kV) didapat nilai sebesar 2.25 G Ω (phasa r to ground), 2.77 G Ω (phasa s to ground), dan 2.97 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.
2. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi LV (11.5 kV) didapat nilai sebesar 4.28 G Ω (phasa r to ground), 4.04 G Ω (phasa s to ground), dan 8.01 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 0.8 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 400 V yang berarti baik karena terbaca nilai tahanan isolasi melebihi nilai alat ukur.
3. Hasil pemeriksaan dan pengujian *Insulation Resistance* pada sisi HV-LV (150 kV – 11.5 kV) didapat nilai sebesar 3.32 G Ω (phasa r to r), 3.89 G Ω (phasa s to s), dan 3.49 G Ω (phasa t to t) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11 kV / 400 V yang berarti baik.
4. Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi LV (IR10/IR1) didapat nilai sebesar 1.47 (phasa r to ground) yang berarti kurang baik berdasarkan nilai standard rujukan IEEE 42-2000.
5. Hasil pemeriksaan dan pengujian *polarization index* pada sisi HV (IR10/IR1) didapat nilai sebesar 2.36 (phasa r to ground) yang berarti baik berdasarkan nilai standard rujukan IEEE 42-2000.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Polarization Index Winding Main Transformer

LAPORAN HASIL PENGUJIAN POLARIZATION INDEX WINDING MAIN TRANSFORMER UNIT LAYANAN PLTG GENERAL ELECTRIC								
Spesifikasi Peralatan yang Diuji:								
Nama		: Main Transformer						
Type		: STROD/BTROD, CL-2						
Daya		: 46 MVA						
Years		: 1997						
Vector Group		: YNd11						
Spesifikasi Peralatan yang Menguji:								
Nama		: Kyoritsu Digital High Voltage Insulation Tester						
Model		: 3125						
Safety Standart		: IEC 61010-1 CAT III 600V, Pollution Degree 2						
Dimension		: 205 (L) x 152 (W) x 94 (D) mm						
Power Supply (DC Battery)		: DC12V : R14 x 8						
Range Insulation Resistance		: 500 V/ 1000 V/ 2500 V/ 5000 V						
Range Voltage Measurement		: 30 - 600V AC/DC [50/60 Hz]						
Kalibrasi Terakhir		: '1 November 2016						
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI (Ω)		POLARIZATION INDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	Winding Sisi Primer (LV)	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R - Ground	4.28 GΩ	6.32 GΩ	1.47	<1.0 = Dangerous 1.0 - 1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	POOR
2	S - Ground	4.04 GΩ						
3	T - Ground	8.01 GΩ						
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI (Ω)		POLARIZATION INDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	Winding Sisi Sekunder (HV)	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R - Ground	2.25 GΩ	5.33 GΩ	2.36	<1.0 = Dangerous 1.0 - 1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	FAIR
2	S - Ground	2.27 GΩ						
3	T - Ground	2.97 GΩ						
NO.	OBJEK PENGUKURAN	NILAI RESISTANSI (Ω)		POLARIZATION INDEX (PI)	NILAI RUJUKAN	RATED MEASURING VOLTAGE (V)	METODE	KETERANGAN
	HV to LV	IR1	IR10	IR10 / IR1	IEEE 42-2000			
1	R - R	3.32 GΩ	6.73 GΩ	2.02	<1.0 = Dangerous 1.0 - 1.4 = Poor 1.5 - 1.9 = Questionable 2.0 - 2.9 = Fair 3.0 - 4.0 = Good >4.0 = Excelent	5000	PENGUJIAN	FAIR
2	S - S	3.89 GΩ						
3	T - T	3.49 GΩ						

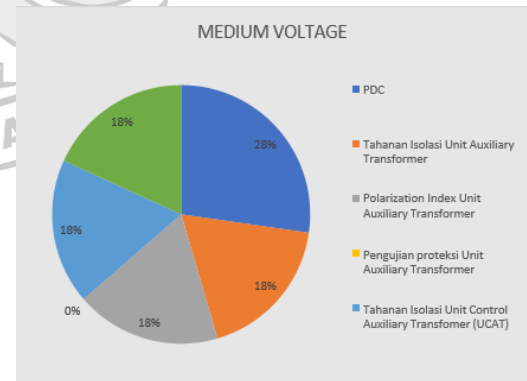
4.3 Grafik

1) High Voltage



Grafik 4.1 High Voltage
(Sumber: Arsip ULPLTG Tello)

2) Grafik Medium Voltage



Grafik 4.2 Medium Voltage
(Sumber: Arsip ULPLTG Tello)

Adapun catatan setelah pelaksanaan pekerjaan pemasangan cubicle dan coldshrink cable bay trafo dan busbar mesin cummins#3:

- 1) Melakukan pemantauan hotspot pada generator transformer dan unit auxiliary transformer.
- 2) Melakukan pemantauan kondisi busbar 11.5 kV setelah pelaksanaan pekerjaan perbaikan isolasi seperti pemantauan hotspot dan kelembaban busbar.



BAB V

PENUTUP

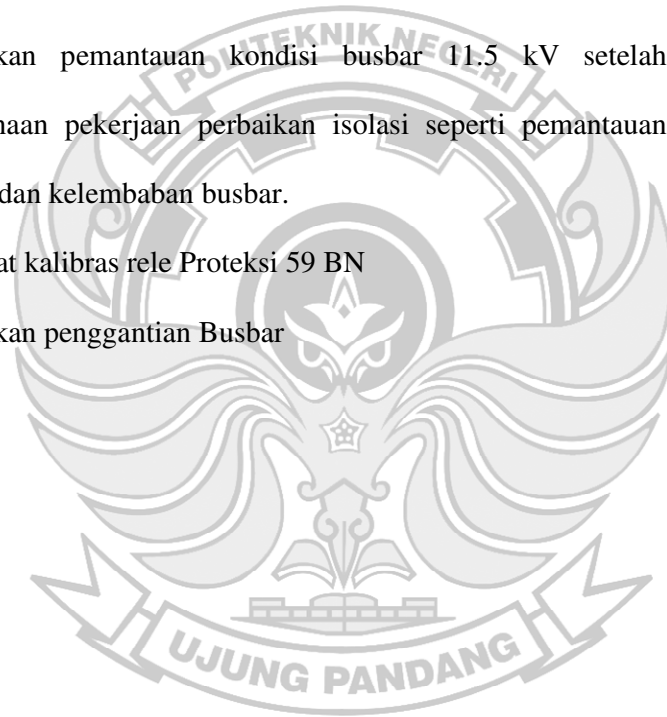
5.1 Kesimpulan

- 1) Gangguan PMT 150 kV trip disebabkan oleh alarm 59 BN Ground Fault pada sisi busbar 11,5 kV phase S dan phase T yang mengalami kebocoran isolasi yang bermasalah sehingga mengakibatkan Ground Fault. Hasil pemeriksaan dan pengujian Insulation Resistance pada busbar 11.5 KV phase S PLTG/U Tello mendapatkan nilai sebesar 14.1 M Ω (phase to ground) dan phase T mendapatkan nilai sebesar 0,6 M Ω dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti tidak baik.
- 2) Rele yang merasakan terjadinya ground fault adalah rele 59BN, sehingga Rele yang bertugas untuk melempar sinyal untuk segera mentrigger PMT 150 KV adalah rele 87. Adapun relay yang mentripping PMT 150 kV adalah Rele 86T.
- 3) Dari hasil investigasi menggunakan metode RCFA ditemukan kebocoran disisi busbar 11,5 kV. Kebocoran inilah menyebabkan udara dan air hujan bisa masuk ke body busbar 11,5 kV sehingga terjadinya ground fault pada sisi busbar 11,5 kV maka proteksi 59BN bekerja lalu relay 87T mengirim sinyal ke master relay 86T untuk segera mentripping PMT secara otomatis. Setelah proses pengetripan yang dilakukan oleh proteksi 86T, tahap selanjutnya dilakukan proses perbaikan busbar 11,5 kV. Salah satu material

yang digunakan dalam proses perbaikan adalah Corium Z202R. Hasil pemeriksaan dan pengujian Insulation Resistance pada BUSBAR 11.5 kV setelah perbaikan isolasi dengan menggunakan Corium Z202R didapat nilai sebesar 1.46 G Ω (phasa r to ground), 1.60 G Ω (phasa s to ground), dan 1.31 G Ω (phasa t to ground) dari batasan nilai 23 M Ω sesuai acuan PUIL 2011 dengan tegangan kerja 11.5 kV yang berarti baik.

5.2 Saran

- 1) Melakukan pemantauan kondisi busbar 11.5 kV setelah pelaksanaan pekerjaan perbaikan isolasi seperti pemantauan hotspot dan kelembaban busbar.
- 2) Membuat kalibrasi rele Proteksi 59 BN
- 3) Melakukan penggantian Busbar



DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Darwis dan Bahri, B.Z. 2015. Analisis Kapasitas dan Momenry pada Pemutus Tenaga (PMT) Gas SF6 di Gardu Induk 150 KV Tello. Skripsi. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar
- Dharma, R.S. 2014. Pemutus Tenaga dengan Media Gas SF6. Skripsi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Elvansyah, M.R. 2016. Pemutus rangkaian yang menggunakan gas SF6 sebagai sarana pemadam busur api. Banjarmasin: Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Fatkhurahman, Hanif. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar Dokumen Nomor: PDM/SGI/15:2014*. Jakarta: PT Perusahaan Listrik Negara.
- Goeritno, Arief dkk. 2018. Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF6 Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri. *Journal Electric, Electronic, Communications, Controls, Informatics, System*, 12(2): 104-111.
- Goeritno, Arief dan Rasiman, Syofyan. 2019. Kinerja Relai Buchholz Diukur melalui Pemberian Simulasi Fenomena Incipient Fault terhadap Oil Immersed Transformer. *Journal Electric, Electronic, Communications, Controls, Informatics, System*, 13(1): 17-21.
- Nasution, E.S. dkk. 2019. Rele Diferensial sebagai Proteksi pada Transformator Daya pada Gardu Induk. *Journal Regional Development Industry & Health Science, Technology and Art of Life*, 2(1): 179-186.
- Qasim, Nanang. 2017. Analisis Kegagalan Kompresor Torak PK 60-150 dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis. *Jurnal Penelitian Saintek*, 22(2): 80-89.
- Tambunan, J.M. dan Winata, A.P. 2020. Tinjauan Kinerja Relay Diferensial GT 322,1 MVA Unit 2.1 PLTGU Muara Karang. *Journal Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta*, 22(1): 80-92.

Tasiam. 2017. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosain

Yudha, Hendra M. 2008. *Rele Proteksi- Prinsip dan Aplikasi*. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya





LAMPIRAN

Customer : PT. PLN (PERSERO) UP TELLO PLTG # 1						
PANEL	PANEL GENERATOR UNIT 1					
MANUFACTURER	GE MULTILIN LR G60					
TYPE OF RELAY	GENERATOR MANAGEMENT RELAY					
SERIAL NUMBER	AABC1200017					
TEST EQUIPMENT : OMICRON CMC 356						
I. ARUS KERJA DIPERENSIAL RELE						
BT Set Pickup	0.2 pu	CT Pn	3000 A			
BT Slope 1	10%	CT Sec	5 A			
BT Slope 2	90%					
Breakpoint 1	1.16 pu					
CT OUTGOING						
FASA	R		S		T	
Bay	neutral	out	neutral	out	neutral	out
ARUS KERJA, Ip (A)	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
WAKTU (ms)	20.0		20.0		20.0	
II. KARAKTERISTIK DIPERENSIAL RELE						
CT NETRAL						
FASA	R		S		T	
Bay	neutral	out	neutral	out	neutral	out
ARUS KERJA, Ip (A)	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
WAKTU (ms)	25.0		25.0		25.0	
I2 (A)						
FASA	CT out		CT neutral			
Restrict Test	0.5 A		1.5 A			
	2.5 A		3.5 A			
	4.5 A		5.5 A			

Customer : PT. PLN (PERSERO) UP TELLO PLTG # 1						
PANEL	: PANEL GENERATOR UNIT 1					
MANUFACTURER	: GE MULTILIN UR G80					
TYPE OF RELAY	: GENERATOR MANAGEMENT RELAY					
SERIAL NUMBER	: AABC12000017					
TEST EQUIPMENT : OMICRON CMC 356						
I. ARUS KERJA DIFERENSIAL RELE						
87 Set Pickup	: 0.2 pu		CT Pri :	3000 A		
87 Slope 1	: 10%		CT Sec :	5 A		
87 Slope 2	: 90%					
Breakpoint 1	: 1.15 pu					
CT OUTGOING						
FASA	R		S		T	
Bay	netral	out	netral	out	netral	out
ARUS KERJA, Ip (A)	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
WAKTU (ms),	26.0		26.0		26.0	
II. KARAKTERISTIK DIFERENSIAL RELE						
CT NETRAL						
FASA	R		S		T	
Bay	netral	out	netral	out	netral	out
ARUS KERJA, Ip (A)	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000
WAKTU (ms),	25.0		25.0		25.0	
I2 (A)						



FASA		
Restraint Test	CT out	CT netral
	0.5 A	1.5 A
	2.5 A	3.5 A
	4.5 A	5.5 A