



**ANALISIS PENGGUNAAN *NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE* PADA
TRANSFORMATOR DAYA**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan**

SKRIPSI

OLEH:

NAMA : MUSTHOPA HUSEIN
N P M : 1624210110
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

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

M E D A N

2 0 2 1

**ANALISIS PENGGUNAAN NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE PADA
TRANSFORMATOR DAYA**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan**

SKRIPSI

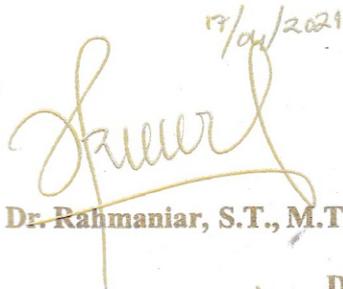
OLEH :

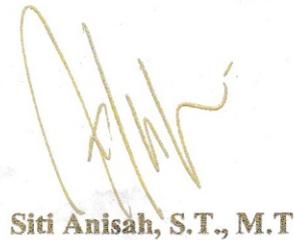
**NAMA : MUSTHOPA HUSEIN
NPM : 1624210110
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

19/04/2021

Dr. Rahmانيar, S.T., M.T


Siti Anisah, S.T., M.T

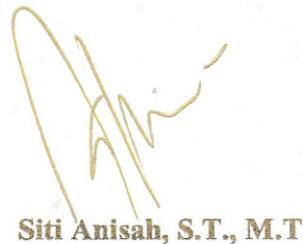
Diketahui dan Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi



Hamdani, S.T., M.T


Siti Anisah, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN

Saya Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : MUSTHOPA HUSEIN
N. P. M : 1624210110
Tempat/Tgl. Lahir : GUNUNG MANAON / 1992-08-11
Alamat : GUNUNG MANAON
No. HP : 085359621631
Nama Orang Tua : ABDUL KHOLIK/ROPIAH
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Penggunaan Neutral Grounding Resistance pada Transformator Daya

Bersama dengan surat ini menyatakan dengan sebenar - benarnya bahwa data yang tertera diatas adalah sudah benar sesuai dengan ijazah pada pendidikan terakhir yang saya jalani. Maka dengan ini saya tidak akan melakukan penuntutan kepada UNPAB. Apabila ada kesalahan data pada ijazah saya.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar - benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun dan dibuat dalam keadaan sadar. Jika terjadi kesalahan, Maka saya bersedia bertanggung jawab atas kelalaian saya.

Medan, 16 Februari 2021
Yang Membuat Pernyataan





**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI**

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax: 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: MUSTHOPA HUSEIN
Tempat/Tgl. Lahir	: GUNUNG MANAON / 11 Agustus 1992
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1624210110
Program Studi	: Teknik Elektro
Konentrasi	: Teknik Energi Listrik
Nilai Kredit yang telah dicapai	: 116 SKS, IPK 3,09
Nomor Hp	: 085359621631

ingin mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut

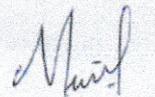
No.	Judul
1.	Analisis Penggunaan Neutral Grounding Resistance pada Transformator Daya0

Disetujui Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Yang Tidak Perlu

Medan, 20 Februari 2020
Pemohon,


 (Ir. Bakti Atamsyah, M.T., Ph.D.)


 (Musthopa Husein)

Tanggal : 20/02/2020 Disetujui oleh :  (Siti Anisah, ST., MT)
Tanggal : 20-02-2020 Disetujui oleh : Ka. Prodi Teknik Elektro  (Siti Anisah, ST., MT)

Tanggal : 20-02-2020 Disetujui oleh : Dosen Pembimbing I :  (Dr. Romenia, ST., MT.)
Tanggal : 20/02-2020 Disetujui oleh : Dosen Pembimbing II :  (Siti Anisah, ST., MT)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-Q2

Revisi: 0

Tgl. Eff: 22 Oktober 2018

Sumber dokumen: <http://mahasiswa.pancabudi.ac.id>

Dicetak pada: Kamis, 20 Februari 2020 11:39:56



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : MUSTHOPA HUSEIN
NPM : 1624210110
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : Strata Satu
Pendidikan :
Dosen Pembimbing : Siti Anisah, ST., MT
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Netral Grounding Resistance pada Transformator Daya

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
06 November 2020	perhatikan penulisan di bab 1, jarak spasi agar disesuaikan dengan panduan	Revisi	
06 November 2020	perhatikan penulisan titik dan koma, tidak boleh menggunakan kata depan diawal kalimat	Revisi	
06 November 2020	silakan perbaiki terlebih dahulu dan diupload kembali	Revisi	
30 Desember 2020	Acc seminar hasil	Disetujui	
13 Februari 2021	musthofa kirimkan skripsi nya komplit ya...	Revisi	
15 Februari 2021	silakan ditambah kajian dan daftar pustaka ya, minimal daftar pustaka 10 ya, diperbaiki terlebih dahulu dan di reupload kembali	Revisi	
15 Februari 2021	apabila sudah diperbaiki dapat dilanjutkan progres ke tahap berikutnya	Revisi	
16 Februari 2021	ACC sidang meja hijau, silakan daftarkan melalui Admin	Disetujui	
30 Maret 2021	acc untuk penjiilatan	Disetujui	

Medan, 05 April 2021
Dosen Pembimbing,



Siti Anisah, ST., MT



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : MUSTHOPA HUSEIN
NPM : 1624210110
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Dr Rahmaniar, ST.,MT.
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Neutral Grounding Resistance pada Transformator Daya

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
16 Mei 2020	Seminar Proposal	Revisi	
16 Mei 2020	Perbaiki latar belakang permasalahan dengan merujuk penelitian sebelumnya	Revisi	
16 Mei 2020	ACC Bab 1	Disetujui	
24 Juni 2020	ACC bab 1	Disetujui	
24 Juni 2020	Pada Bab 2 perhatikan kaidah pengutipan, perbanyak teori dan kutipan pada bab ini	Revisi	
24 Juni 2020	gambar pada bab 2 diperjelas dengan menggunakan aplikasi visio	Revisi	
24 Juni 2020	ACC bab 2	Disetujui	
24 Juni 2020	Perhatikan kaidah pembuatan flowchat, sesuaikan dengan jalannya penelitian	Revisi	
24 Juni 2020	blok diagram penelitian diperjelas dengan diskripsi dibawahnya	Revisi	
24 Juni 2020	ACC bab 3	Disetujui	
21 Oktober 2020	Tamabahi Flowchat pada bab 3	Revisi	
28 Desember 2020	ACC bab IV dan V	Disetujui	
28 Desember 2020	ACC Seminar Hasil	Disetujui	
16 Februari 2021	ACC sidang meja hijau	Disetujui	
29 Maret 2021	Acc Pengesahan/Jilid	Disetujui	
29 Maret 2021	ACC Jilid	Disetujui	

Medan, 29 Maret 2021
Dosen Pembimbing,

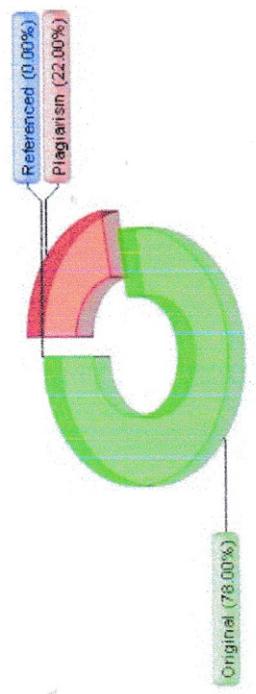


Dr Rahmaniar, ST.,MT.

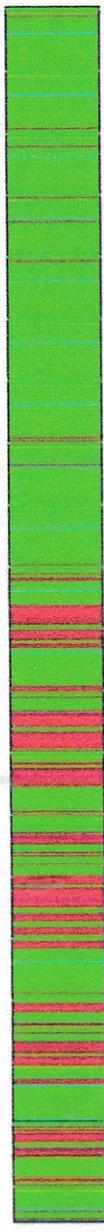
Plagiarism Detector v. 1460 - Originality Report 17-Feb-21 14:36:00

Analyzed document: MUSTHOPA HUSEIN_1624210110_Teknik Elektro.docx Licensed for Universitas Pembangunan Panca Budi_License03
Comparison Preset: Rewrite. Detected language: Indonesian

Relation chart:



Distribution graph:



Top sources of plagiarism:

- <https://docplayer.info/64961195-Studi-pengaruh-pemasangan-ngr-40-ohm-pada-uprati-2003-wrds>
- <https://ojs.unist.ac.id/index.php/spektrum/article/download/31509/19464-wrds>
- <https://www.slideshare.net/simonpatabang-9-system-pentastahan-wrds>

Processed resources details:

152 - Ok / 38 - Failed

[Show other Sources.]

Instant notes

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.



Hasni Muhtarani Ritonga, BA., MSc

No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3583/PERP/BP/2021

Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan saudara/i:

: MUSTHOPA HUSEIN
: 1624210110

Semester : Akhir

: SAINS & TEKNOLOGI

Prodi : Teknik Elektro

nya terhitung sejak tanggal 02 Februari 2021, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 02 Februari 2021
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

umen : FM-PERPUS-06-01 Revisi : 01 Tgl. Efektif : 04 Juni 2015

al : Permohonan Meja Hijau

Medan, 06 April 2021
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

engan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUSTHOPA HUSEIN
 Tempat/Tgl. Lahir : Gunungmanaon / 11 Agustus 1992
 Nama Orang Tua : ABDUL KHOLIK
 No. P. M : 1624210110
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 085359621631
 Alamat : GUNUNG MANAON

atang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **Analisis Penggunaan Neutral Grounding Resistance pada Transformator Daya**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indeks prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercapai keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah ditandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya yang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan rincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	0
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,500,000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.	100,000
4. [221] Bebas LAB	: Rp.	5,000
Total Biaya	: Rp.	1,605,000

Ukuran Toga :

M

Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



Hamdani, ST., MT.
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

MUSTHOPA HUSEIN
 1624210110

atan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Musthopa Husein

Npm : 1624210110

Fakultas : Sains dan Teknologi

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Neutral Grounding Resistance pada Transformator Daya

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain (Plagiat).
2. Memberikan izin hak bebas Royalty Non-Eklusif kepada unpub untuk menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola, mendistribusikan, dan mempublikasikan karya skripsinya melalui internet atau media lain bagi kepentingan akademis.

Pernyataan ini saya buat dengan tanggung jawab dan saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan aturan yang berlaku apabila dikemudian hari diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar.

Medan, April 2021

Yang membuat pernyataan



1624210110

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Medan,



Mushopa Husein

1624210110

ANALISIS PENGGUNAAN *NEUTRAL GROUNDING* *RESISTANCE* PADA TRANSFORMATOR DAYA

Musthopa Husein*

Rahmaniar**

Siti Anisah**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Transformator daya terdiri dari rangkaian primer dan sekunder serta tersier (apabila digunakan). Didalam transformator daya tersebut mempunyai rangkaian tertentu sesuai dengan kebutuhan, seperti transformator daya *step down* 150 kV/20Kv, dimana rangkaian primer adalah delta dan rangkaian sekunder adalah bintang, untuk itu pada rangkaian sekundernya terdapat netral dan pada bagian netral inilah di hubungkan ke *Neutral Grounding Resistance* (NGR) atau netralnya transformator daya di hubungkan secara seri dengan ngr setelah itu di hubungkan ketanah/*grounding*. Penggunaan ngr pada transformator daya adalah sebagai pengontrol besarnya arus gangguan dari sisi netral trafo ke tanah atau untuk memperkecil/membatasi arus gangguan netral trafo ketanah dengan demikian penggunaan ngr ini bias juga untuk mencegah kerusakan pada transformator daya dan sistem lainnya.

Kata Kunci: Transformator Daya, *Neutral Grounding Resistance* (NGR).

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: musthopahusein8@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

***ANALYSIS OF THE USE OF NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE ON
POWER TRANSFORMERS***

Musthopa Husein*

Rahmaniar**

Siti Anisah**

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

The power transformer consists of primary and secondary and tertiary circuits (if used). Inside the power transformer has a certain circuit according to needs, such as a 150 kV / 20Kv step down power transformer, where the primary circuit is delta and the secondary circuit is a star, for that in the secondary circuit there is a neutral and in this neutral part it is connected to Neutral Grounding The resistance (NGR) or the neutral of the power transformer is connected in series with the ngr after that it is connected to the ground. The use of ngr in power transformers is to control the amount of fault current from the neutral side of the transformer to the ground or to reduce / limit the neutral fault current of the ground transformer, thus the use of this NGR can also be used to prevent damage to power transformers and other systems.

Keywords: *Power Transformer, Neutral Grounding Resistance (NGR).*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: musthopahusein8@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “**ANALISIS PENGGUNAAN *NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE* PADA TRANSFORMATOR DAYA**”. Penyusunan Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh kelulusan Program Sarjana jurusan Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini. Khususnya kepada:

1. Bapak Dr. H. M. Isa Indrawan, S.E, M.M, selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
2. Bapak Hamdani, S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
3. Ibu Siti Anisah, S.T.,M.T selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan dan selaku Dosen Pembimbing II yang sabar dalam memberikan arahan demi kelancaran Skripsi ini.
4. Ibu Dr. Rahmaniari, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan selama penyusunan Skripsi ini.

5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
6. Ayah dan Ibu tercinta dan tersayang yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam proses pelaksanaan dan penyusunan Skripsi.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik di kemudian hari nanti. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Medan,

MUSTHOPA HUSEIN
NPM: 1624210110

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR RUMUS	ix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Transformator Daya.....	5
2.2 Rangkaian Transformator Daya Tiga Fasa.....	7
2.3 <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR)	16
2.3.1 Rangkaian <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR)	19
2.3.2 Rele Pengaman Hubung Singkat Pada NGR.....	22
2.4 Sistem <i>Grounding</i> Atau Pentanahan.....	27
2.5 Macam-macam Elektroda Pentanahan.....	29
2.6 Metode Pentanahan.....	30

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	35
3.2	Metodologi Penelitian.....	35
3.3	Blog Diagram.....	36
3.4	Alur Penelitian.....	38
3.5	Deskripsi <i>Flowchart</i>	39
3.6	Penelitian Transformator Daya.....	40
3.7	Penelitian <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR).....	44
3.7.1	Skema Pengujian Resistansi NGR.....	46
3.8	Penelitian <i>Grounding/Pentanahan</i>	47
3.8.1	Skema Pengujian Nilai Resistansi Pentanahan/ <i>Grounding</i>	48
3.9	Penelitian Laporan <i>Commissioning Testing</i>	49
3.9.1	Hasil Pengukuran Pengujian <i>Grounding/Pentanahan</i>	50
3.9.2	Hasil Pengukuran Pengujian Resistansi NGR.....	50
3.9.3	Hasil Pengujian <i>Ground Fault Relay/Earth Fault</i> (GFR/EF).....	50
3.9.4	Hasil Pengujian SBEF (<i>Stand By Earth Fault</i>).....	53
3.9.5	Hasil Pengujian <i>Restricted Earth Fault LV</i> (REF LV).....	54

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1	Sistem Kerja <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR).....	56
4.2	Rangkaian <i>Neutral Grounding Resistance</i> (NGR).....	62
4.2.1	Rangkaian Seri NGR.....	63
4.2.2	Rangkaian Paralel NGR.....	64
4.3	Meningkatkan Keandalan Transformator Dengan NGR.....	66
4.3.1	<i>Stability</i> Transformator Daya.....	67

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA.....	73
----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Transformator Daya	6
Gambar 2.2	Name Plate Transformator Daya.....	6
Gambar 2.3	Rangkaian Kumparan Bintang ke Bintang	8
Gambar 2.4	Tegangan Titik Bintang Pada Sisi Sekunder.....	9
Gambar 2.5	Rangkaian Kumparan Segitiga ke Segitiga	12
Gambar 2.6	Rangkaian Kumparan Bintang ke Segitiga	13
Gambar 2.7	Rangkaian Kumparan Segitiga ke Bintang	14
Gambar 2.8	Rangkaian Kumparan Zig-Zag.....	15
Gambar 2.9	Golongan-golongan yang Lazim Menurut VDE 0532	16
Gambar 2.10	NGR Jenis Metal.....	17
Gambar 2.11	NGR Jenis Liquid.....	17
Gambar 2.12	Rangkaian <i>Neutral Grounding Resistance</i>	19
Gambar 2.13	Bentuk Fisik Rangkaian <i>Neutral Grounding Resistance</i> Jenis Metal	20
Gambar 2.14	Name Plate NGR.....	21
Gambar 2.15	Nilai Resistansi Pada Masing-masing Sirip Resistor.....	22
Gambar 2.16	Simbol dari <i>Grounding</i>	27
Gambar 2.17	Simbol dari Jenis <i>Grounding</i>	27
Gambar 2.18	Jenis-jenis Penanaman Elektroda Pita	29
Gambar 2.19	Jenis Penanaman Elektroda Batang.....	30
Gambar 2.20	Jenis Penanaman Elektroda Plat.....	30
Gambar 2.21	Pentanahan dengan <i>Driven Ground</i>	31
Gambar 2.22	Pentanahan dengan <i>Counter Poise</i>	31
Gambar 2.23	Pentanahan dengan Mesh atau Jala.....	32
Gambar 2.24	Alat Uji Pentanahan atau <i>Grounding Tester</i>	33
Gambar 3.1	Blok Diagram.....	36
Gambar 3.2	Alur Penelitian	38
Gambar 3.3	<i>Name Plate</i> Transformator Gardu Induk Negeri Dolok	40
Gambar 3.4	Vektor Diagram Ynyn0+d	43

Gambar 3.5	Data Name Plate NGR.....	44
Gambar 3.6	Skema Pengujian Resistansi NGR	46
Gambar 3.7	<i>Stick Grounding Root</i> dan <i>Grounding Mesh</i> Sebelum Dipasang	47
Gambar 3.8	<i>Grounding Root</i> dan <i>Grounding Mesh</i> Setelah Dipasang dan Ditambah Busbar <i>Grounding</i> Untuk Penggabungannya	48
Gambar 3.9	Skema Pengujian Resistansi Tanah/ <i>Grounding</i>	48
Gambar 4.1	Single Line Diagram 150/20kV Out Going Transformer	57
Gambar 4.2	Rangkaian NGR Trafo	62
Gambar 4.3	Rangkaian Seri Pada NGR.....	62
Gambar 4.4	Rangkaian Paralel Pada NGR	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standard Characteristic Relay Ocr/Ef.....	26
Tabel 2.2	Toleransi Waktu Kerja Relay	26
Tabel 2.3	Nilai Rata- rata Resistansi Tanah	34
Tabel 3.1	Data Pabrikan dari Transformator Daya.....	41
Tabel 3.2	Daya, Tegangan, Amper dan Koneksi Hubungan	41
Tabel 3.3	Ketahanan Winding	42
Tabel 3.4	Tap Changer Position.....	42
Tabel 3.5	Data Transformator Arus Pada Transformator Daya.....	43
Tabel 3.6	Data Impedance	43
Tabel 3.7	Data Pabrikan dari NGR	45
Tabel 3.8	Data Tegangan, Amper dan Resistansi dari NGR	45
Tabel 3.9	Data Trafo Arus Pada NGR	46
Tabel 3.10	Hasil Pengujian Pentanahan	50
Tabel 3.11	Hasil Pengujian Resistansi NGR	50
Tabel 3.12	Hasil Pengujian Cek Ratio CT REF	50
Tabel 3.13	Hasil Pengujian Sensitivitas Arus REF.....	51
Tabel 3.14	Hasil Pengujian Waktu Earth Fault.....	51
Tabel 3.15	Hasil Pengujian Kondisi Tidak Stabil Pada W1 dan W2	52
Tabel 3.16	Hasil Pengujian Kondisi Stabil Pada W1 dan W2	52
Tabel 3.17	Hasil Pengujian Kondisi Tidak Stabil Pada W1 dan W2	52
Tabel 3.18	Hasil Pengujian Kondisi Stabil Pada W1 dan W2	53
Tabel 3.19	Hasil Pengujian Cek Ratio CT SBEF	53
Tabel 3.20	Hasil Pengujian Sensivitas Arus SBEF.....	53
Tabel 3.21	Hasil Pengujian Waktu SBEF	54
Tabel 3.22	Hasil Pengujian Check Rasio CT REF LV	54
Tabel 3.23	Hasil Pengujian Sensitivitas Arus REF LV.....	55
Tabel 3.24	Hasil Pengujian Waktu REF LV.....	55
Tabel 4.1	Data Trafo Daya dan NGR.....	57

Tabel 4.2	Hasil Perhitungan dan Pengukuran Nilai Resistansi NGR.....	59
Tabel 4.3	Settingan Relay Untuk GFR (EF).....	60
Tabel 4.4	Settingan Relay Untuk SBEF.....	60
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan dan Pengukuran Waktu GFR/EF dan SBEF.....	62
Tabel 4.6	Settingan Proteksi Untuk REF LV.....	66
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan dan Pengukuran Waktu REF.....	67
Tabel 4.8	Kondisi Tidak Stabil Antara W1 dan W2.....	68
Tabel 4.9	Kondisi Stabil Antara W1 dan W2	68
Tabel 4.10	Kondisi Tidak Stabil Antara W1 dan W2	69
Tabel 4.11	Kondisi Stabil Antara W1 dan W2	70

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Kumparan Transformator	7
Rumus 2.2	Efisiensi Transformator	7
Rumus 2.3	Sisi Primer.....	8
Rumus 2.4	Sisi Sekunder.....	8
Rumus 2.5	Tegangan Yang Tidak Simetrik	10
Rumus 2.6	Sisi Primer Hubungan Segitiga Ke Segitiga	11
Rumus 2.7	Sisi Sekunder Hubungan Segitiga Ke Segitiga	11
Rumus 2.8	Sisi Primer Hubungan Bintang Ke Segitiga.....	12
Rumus 2.9	Sisi Sekunder Hubungan Bintang Ke Segitiga.....	12
Rumus 2.10	Sisi Primer Segitiga Ke Bintang.....	13
Rumus 2.11	Sisi Sekunder Segitiga Ke Bintang.....	13
Rumus 2.12	Jumlah Vektor	14
Rumus 2.13	Tegangan Titik Bintang	15
Rumus 2.14	Tegangan Jala-jala	15
Rumus 2.15	Besar Tahanan.....	18
Rumus 2.16	Hubung Singkat Satu Phasa Ke Tanah Dengan Menggunakan NGR.....	23
Rumus 2.17	Hubung Singkat Satu Phasa Ke Tanah Tanpa Menggunakan NGR.....	23
Rumus 2.18	Reaktansi Transformator	23
Rumus 2.19	Arus Dasar	23
Rumus 2.20	Impedansi Sumber	23
Rumus 2.21	Arus Hubung Singkat Satu Phasa Ke Tanah.....	24
Rumus 2.22	Arus <i>Setting</i> Rele GFR di Sisi Primer	24
Rumus 2.23	Arus <i>Setting</i> Rele GFR di Sisi Sekunder	24
Rumus 2.24	Setting Waktu Dari Rele Arus Lebih.....	25

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator daya adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah begitu juga sebaliknya, dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator daya adalah jantung dari jalur transmisi dan jalur distribusi, dimana transformator daya di harapkan akan beroperasi secara maksimal (secara terus menerus). Oleh karena itu, pemeliharaan transformator daya juga dituntut sebaik mungkin. (Kadir, 2011)

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformator (IBT)*. Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung disisi netral 20 kV. (Kadir, 2011)

Permasalahan tentang hubung singkat satu fasa ke tanah pada transformator daya dengan melalui ngr, dalam hal ini netral transformator daya di hubungkan ke *Neutral Grounding Resistance (NGR)* untuk memperkecil arus hubung singkat, sedangkan ngr sendiri terpisah dengan transformator daya tersebut yang dihubungkan dengan kabel konduktor dan ngr mempunyai rangkaian dan komponen-komponen penunjang didalamnya, atas dasar inilah penulis membuat

penelitian yaitu “**ANALISIS PENGGUNAAN *NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE* PADA TRANSFORMATOR DAYA**”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dicantumkan di atas penulisan dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara meningkatkan kehandalan transformator daya dengan ngr ?
2. Bagaimana sistem kerja *Neutral Grounding Resistance*?
3. Bagaimana Rangkaian *Neutral Grounding Resistance*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Transformator daya bagian dari penelitian.
2. *Neutral Grounding Resistance* (NGR) fokus utama penulis untuk di teliti.
3. *Neutral Grounding Resistance* mempunyai rangkaian dan komponen tertentu di dalamnya yang bisa di teliti.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui prinsip kerja dari *Neutral Grounding Resistance*.
2. Untuk mengetahui berapa nilai tahanan dari ngr untuk mampu menahan/memperkecil gangguan dari bagian netral Transformator Daya ke tanah.
3. Untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan *Neutral Grounding Resistance* di pasang pada bagian netral transformator daya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Mengetahui bahwa transformator daya begitu sangat di perhatikan keandalannya atau keamananya, dengan menggunakan ngr sebagai pengontrol arus lebis dari sisi netral trafo sebelum ke tanah.
2. Mengetahui bagian-bagian dari pada ngr.
3. Mengetahui tentang rangkaian ngr yang dihubungkan ketanah dan mengetahui bagian dari pentanahan tersebut.

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini penulis mengumpulkan data yang dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Dengan konsultasi kepada dosen pembimbing.
2. Dengan melakukan studi ke perpustakaan universitas pembangunan panca budi.
3. Dengan melakukan studi/penelitian ke lapangan.
4. Dengan konsultasi kepada rekan-rekan teknisi lapangan.

1.7 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan laporan ini berisikan lima bab yang terdiri sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tinjauan pustaka berkaitan dengan pengertian tentang transformator daya, *Neutral Grounding Resisitance* (NGR) serta rangkaian *Neutral Grounding Resisitance* (NGR).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan metodologi penelitian yang terdiri dari data transformator daya dan data *Neutral Grounding Resisitance* (NGR).

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Berisikan hasil dan pembahasan yang berkaitan dengan kehandalan transformator daya yang terhubung ke ngr, sistem kerja *Neutral Grounding Resisitance* (NGR), serta rangkaian ngr.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi dan kutipan buku, jurnal, dan lain – lain.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

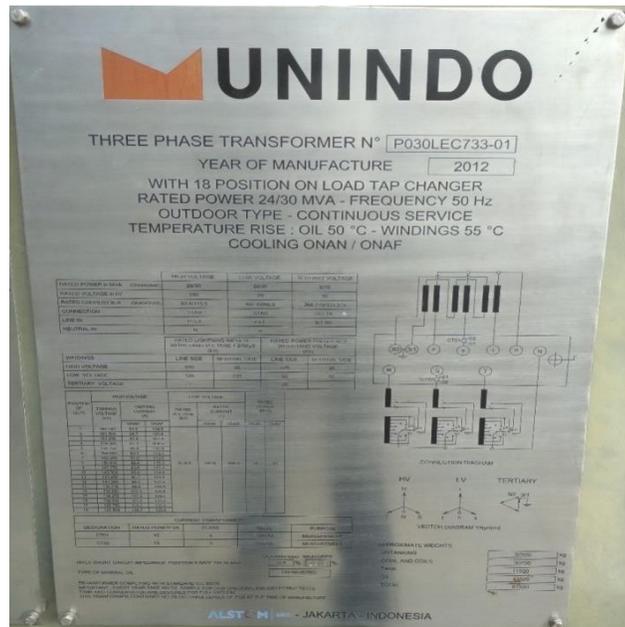
2.1 Teori Transformator Daya

Transformator daya merupakan suatu alat elektromagnetik yang sederhana, andal dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas inti yang terbuat dari besi berlapis dan mempunyai kumparan, yaitu kumparan primer, sekunder dan tersier jika ada. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kumparan tersebut, biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang belit di seputar kaki transformator, secara umum dapat dibedakan dari jenis konstruksinya yaitu inti dan cangkang. (Kadir, 2011)

Penggunaan transformator merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar I^2R watt/detik, kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan, dengan demikian saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi, tegangan transmisi tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi dan menaikkan tegangan listrik di pusat pembangkitan yang berkisar 6 kV sampai 20 kV. (Kadir, 2011)



Gambar 2.1 Bentuk Transformator Daya
Sumber: Penulis, 2020



Gambar 2.2 Name Plate Transformator Daya
Sumber: Penulis, 2020

Adapun rumus kumparan transformator adalah sebagai berikut :

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s} \quad (2.1)$$

Dimana :

N_p = Banyaknya lilitan kumparan sisi primer

N_s = Banyaknya lilitan kumparan sisi kumparan

V_p = Tegangan sisi primer (V)

V_s = Tegangan sisi sekunder (V)

I_p = Arus sisi primer (A)

I_s = Arus sisi sekunder (A)

Adapun rumus efisiensi transformator adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

η = Efisiensi transformator

P_s = Daya listrik kumparan sekunder

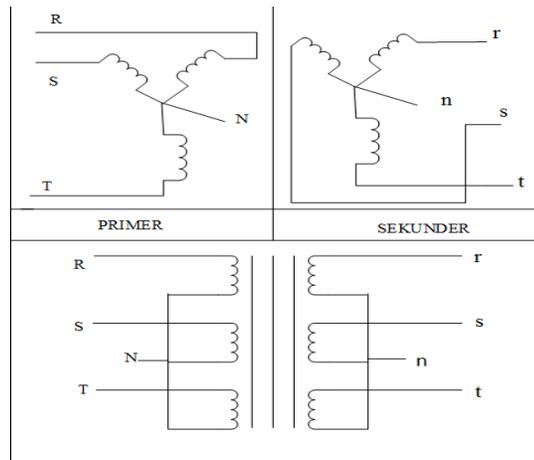
P_p = Daya listrik kumparan primer

2.2 Rangkaian Transformator Daya Tiga Fasa

Pada umumnya dikenal tiga cara untuk menyambung rangkaian listrik sebuah transformator tiga fasa yaitu hubungan bintang, hubungan segi tiga dan hubungan zig-zag. Adapun rangkaian atau hubungan transformator daya tiga fasa adalah sebagai berikut:

1. Hubungan Bintang Ke Bintang

Pada hubungan bintang, tiga ujung bersamaan dari ketiga kumparan dihubungkan, yang dinamakan dengan titik bintang. Simbol untuk tegangan tingginya adalah Y dengan huruf kapital dan y untuk sisi tegangan rendahnya adalah huruf kecil.



Gambar 2.3 Rangkaian Kumparan Bintang ke Bintang

Sumber: Abdul Kadir, 2011

Sisi primer :

$$V_{Ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L1} = I_{Ph1} \quad (2.3)$$

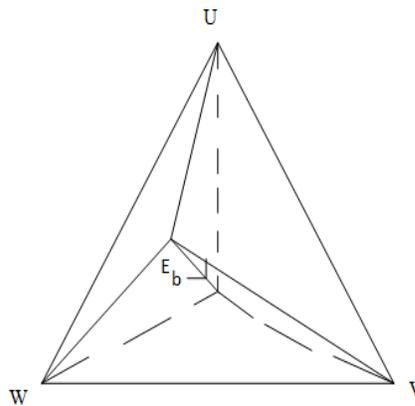
Sisi sekunder :

$$V_{ph2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L2} = I_{L2}; \quad K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}} \quad (2.4)$$

Titik netral dijadikan menjadi satu, hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil. Pada transformator tegangan tinggi jumlah dari lilitan perfasa dan jumlah isolasi minimum karena tegangan fasa $\frac{1}{\sqrt{3}}$ tegangan jala-jala (line)

juga tidak ada perubahan antara tegangan primer dan tegangan sekunder, bila beban pada sisi sekunder dari transformator tidak seimbang, maka tegangan fasa dari sisi beban akan berubah kecuali titik bintang dibumikan/ditanahkan. (Kadir, 2011)

Transformator daya tiga fasa yang mempunyai sistem tegangan tiga fasa yang simetrik, maka fluks total yang melalui kaki nomor empat pada dasarnya adalah nol, dalam hal ini, kaki nomor empat dapat ditiadakan. Apakah konsekuensinya bilamana ternyata fluks total tidak sama dengan nol, bila hal ini terjadi maka pertama-tama jumlah gaya gerak listrik juga tidak nol.



Gambar 2.4 Tegangan Titik Bintang Pada Sisi Sekunder

Sumber: Abdul Kadir, 2011

Misalkan E_{su} merupakan gaya gerak listrik yang simetrik dari fasa U dan E_{sv} gaya gerak listrik yang simetrik dari fasa V serta E_{sw} gaya gerak listrik dari fasa W, dengan sendirinya dimisalkan pula bahwa pengisian dilakukan dari jaringan listrik yang tegangannya simetrik. Misalkan, tegangan bintang yang terjadi adalah E_b sedangkan sistem tegangan yang tidak simetrik adalah E_u, E_v dan E_w , maka:

$$E_{su} = E_u + E_b$$

$$E_{sv} = E_v + E_b$$

$$E_{sw} = E_w + E_b$$

————— +

$$E_{su} + E_{sv} + E_{sw} = E_u + E_v + E_w + 3E_b \quad (2.5)$$

Oleh karena itu, $E_{su} + E_{sv} + E_{sw} = 0$ dapat ditulis $E_u + E_v + E_w = -3E_b \neq 0$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jumlah tegangan sistem yang tidak simetrik E_u , E_v dan E_w tidak nol dan ketiga tegangan ini tidak juga sama. Sebaliknya, hal ini juga berarti bahwa sistem tegangannya tidak sama, akan terjadi suatu tegangan bintang. Terjadinya tegangan bintang sangat tidak diinginkan untuk sebuah transformator yang dipakai untuk keperluan penerangan listrik, sebab para pemakai yang biasanya dihubungkan pada tegangan fasa yaitu antara fasa dan nol. Mendapat tegangan yang berbeda-beda, lebih-lebih lagi pada pembebanan yang tidak simetrik pada ketiga fasa, sedangkan alat-alat listrik terutama lampu-lampu sangat peka terhadap perubahan tegangan.

Penyebab terjadinya tegangan bintang yang pertama adalah beban yang tidak simetrik, yang kedua adalah bahwa pada dasarnya bentuk dan konstruksi inti transformator juga tidak simetrik dan yang ketiga adalah bahwa antara besaran-besaran B dan H tidak terdapat hubungan yang *linear* yang mengakibatkan terjadinya fungsi-fungsi harmonik tinggi dalam tegangan bintang. (Kadir, 2011)

Hal terakhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut, misalkan tegangan jala antara fasa dan fasa berbentuk sinus murni, maka belum tentulah tegangan fasa yaitu antara fasa dan nol, berbentuk sinus murni sebab tegangan jala merupakan jumlah vektor dari dua tegangan fasa yang masing-masing dapat berbentuk sinus tidak murni. Namun demikian, bila mungkin bahwa arus fasa tidak berbentuk sinus murni dan memiliki komponen-komponen harmonik tinggi yang ganjil, bila sistem tegangan merupakan suatu sistem tiga fasa yang simetrik maka ketiga tegangan fasa berbeda 120° . (Kadir, 2011)

2. Hubungan Segitiga Ke Segitiga

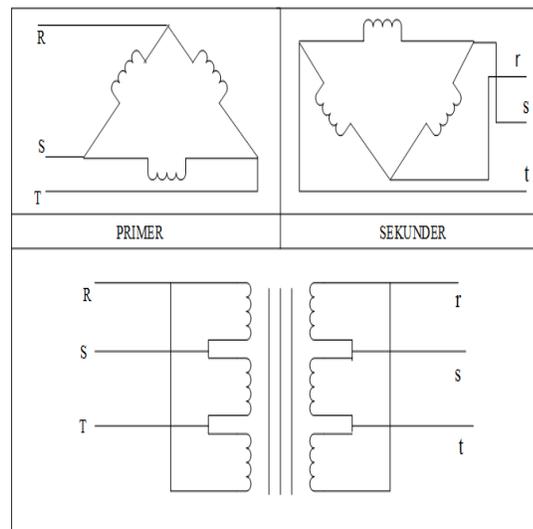
Pada jenis ini ujung fasa di hubungkan dengan ujung netral dari kumparan lain yang secara keseluruhan berbentuk hubungan segitiga/delta, hubungan ini umumnya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan. Perhitungan pada hubungan/rangkaian segitiga-segitiga.

Rumus sisi primer hubungan segitiga ke segitiga:

$$V_{L1} = V_{ph1} \quad \text{dan} \quad I_{L1} = \sqrt{3} I_{ph1} \quad (2.6)$$

Rumus sisi sekunder hubungan segitiga ke segitiga:

$$V_{L2} = V_{ph2} \quad \text{dan} \quad I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} \quad ; \quad K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5 Rangkaian Kumputan Segitiga ke Segitiga

Sumber: Abdul Kadir, 2011

3. Hubungan Bintang ke Segitiga

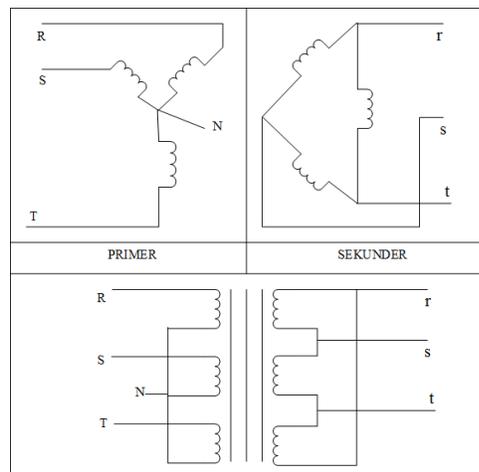
Pada hubungan ini kumputan pada sisi primer di rangkai secara bintang dan sisi sekundernya di rangkai segitiga, umumnya digunakan pada transformator untuk jaringan transmisi dimana tegangan nantinya akan di turunkan (*stepdown*). Pada hubungan ini perbandingan tegangan jala-jala $\frac{1}{\sqrt{3}}$ kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder tertinggal 30° dari tegangan primer.

Rumus sisi primer hubungan bintang ke segitiga:

$$V_{ph1} = \frac{VL1}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L1} = I_{ph1} \quad (2.8)$$

Rumus sisi sekunder hubungan bintang ke segitiga:

$$V_{L2} = V_{ph2} \text{ dan } I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2} \quad ; \quad K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}} \quad (2.9)$$



Gambar 2.6 Rangkaian Kumparan Bintang ke Segitiga

Sumber: Abdul Kadir, 2011

4. Hubungan Segitiga Ke Bintang

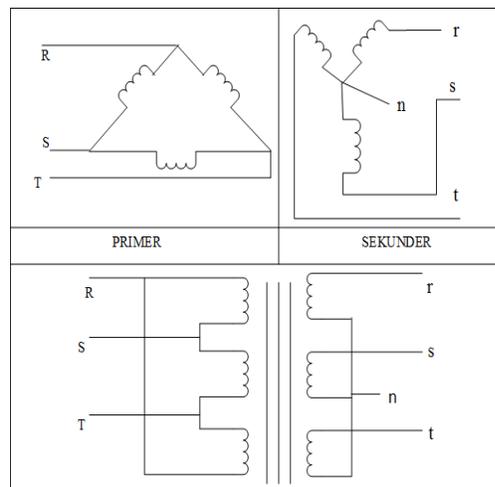
Pada hubungan ini sisi primer transformator dirangkai secara segitiga pada sisi sekundernya dirangkai secara bintang, sehingga pada sisi sekundernya terdapat titik netral, biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan (*step up*) pada awal sistem transmisi tegangan tinggi, dalam hubungan ini perbandingan tegangan $\sqrt{3}$ kali perbandingan lilitan transformator dengan tegangan sekunder mendahului sebesar 30^0 . (Kadir, 2011)

Rumus sisi primer segitiga ke bintang:

$$V_{L1} = V_{ph1} \quad \text{dan} \quad I_{L1} = \sqrt{3} I_{ph1} \quad (2.10)$$

Rumus sisi sekunder segitiga ke bintang:

$$V_{ph2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} \quad \text{dan} \quad I_{L2} = I_{ph2} \quad ; \quad K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}} \quad (2.11)$$



Gambar 2.7 Rangkaian Kumputan Segitiga ke Bintang

Sumber: Abdul Kadir, 2011

5. Hubungan Zig - Zag

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang. Salahsatu syarat yang harus dipehuni oleh transformator tersebut adalah ketiga fasanya harus diusahakan seimbang, apabila beban tidak simbang akan menimbulkan tegangan dititik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. (Kadir, 2011)

Maka, untuk menghindari terjadinya tegangan di titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan zig-zag, dalam hubungan zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumputan yang dihungkan secara khusus. Ujung-ujung dari kumputan sekunder disambungkan sedemikian rupa, supaya arah aliran arus didalam tiap-tiap kumputan menjadi bertegangan. Karena e_1 tersambung secara berlawanan dari e_2 , sehingga jumlah vektor dari kedua tegangan itu menjadi :

$$e_{z1} = e_1 - e_2 \quad (2.12)$$

$$e_{z2} = e_2 - e_3$$

$$e_{z3} = e_3 - e_1$$

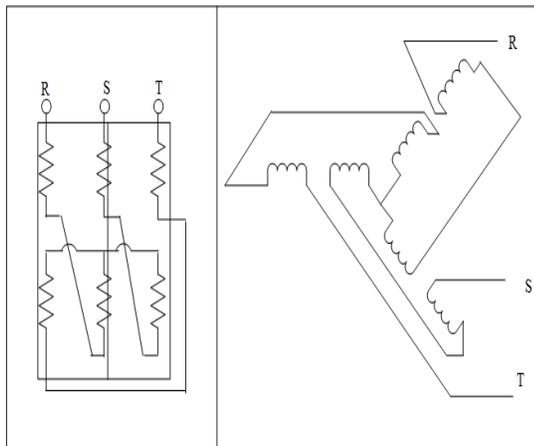
$$e_{z1} + e_{z2} + e_{z3} = 0 = 3 e_b$$

Tegangan titik bintang $e_b = 0$

$$e_1 = \frac{e}{2}, \text{ nilai tegangan fasa } e_z = \frac{e}{2} \sqrt{3} \quad (2.13)$$

Sedangkan tegangan jala – jala :

$$E_z = e_z \sqrt{3} = \frac{3e}{2} \quad (2.14)$$



Gambar 2.8 Rangkaian Kumaran Zig-Zag
Sumber: Abdul Kadir, 2011

Golongan hubungan menandakan bagaimana dari sebuah transformator kumaran – kumparannya saling dihubungkan, untuk penetapan golongan hubungan ini dipergunakan tiga jenis tanda atau kode, yaitu :

- a. Tanda hubungan untuk sisi tegangan tinggi terdiri atas kode I, D , Y atau Z.
- b. Tanda hubungan untuk sisi tegangan rendah terdiri atas kode I, d , y, atau z.
- c. Angka jam yang menyatakan bagaimana kumaran - kumaran pada sisi tegangan rendah terletak terhadap sisi tegangan tinggi.

Mengenai angka jam ini masih perlu lebih jauh dijelaskan dengan melihat Gambar 2.9 yang dipergunakan dalam peraturan VDE 0532/IEC 60076. Pada daftar ini, golongan – golongan hubungan yang di anjurkan diberi pinggiran garis tebal, perlu dicatat bahwa hubungan zig–zag untuk tegangan tinggi tidak dianjurkan. Selanjutnya, perlu dikemukakan bahwa pada perusahaan sejajar harus diperhatikan supaya pada sisi tegangan rendah fasa – fasa yang bersamaan jamnya. (Kadir, 2011)

1	2	3		4		5
Tanda	Golongan	Gambar		Hubungan		Perbandingan
Angka	Hub.	TT	tr	TT	tr	ilitan
Jam						N
Transformator Tiga Fasa						
0	Dd0					$\frac{w_1}{w_2}$
	Yy0					$\frac{w_1}{w_2}$
	Dz0					$\frac{2w_1}{3w_2}$
5	Dy5					$\frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}$
	Yz5					$\frac{2w_1}{\sqrt{3}w_2}$
6	Dd6					$\frac{w_1}{w_2}$
	Yy6					$\frac{w_1}{w_2}$
	Dz6					$\frac{2w_1}{3w_2}$
11	Dy11					$\frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}$
	Yz11					$\frac{2w_1}{\sqrt{3}w_2}$
Transformator Satu Fasa						
0	110					$\frac{w_1}{w_2}$

*VDE-Vorschriften, Regeln für Transformatoren. VDE-Verlag GmbH, Berlin

Gambar 2.9 Golongan–golongan yang Lazim Menurut VDE 0532

Sumber: Abdul Kadir, 2011

2.3 Neutral Grounding Resistance (NGR)

Neutral Grounding Resistance adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memperkecil atau membatasi arus hubung singkat dari netral trafo di sisi skunder ke tanah/ground, sehingga nilai arusnya di bawah nominal arus trafo. Adapun jenis dari ngr tersebut yaitu jenis metal dan ada yang jenis liquid/cairan.



Gambar 2.10 Ngr Jenis Metal
Sumber: Penulis, 2020



Gambar 2.11 Ngr Jenis Liquid
Sumber: Info Slide, 2014

Secara umum besar tahanan yang di tentukan pada hubungan netral adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{E_f}{I} \text{ Ohm} \quad (2.15)$$

Dimana :

R = Tahanan (Ohm)

E_f = Tegangan fasa ke netral (V)

I = Beban penuh dari transformator (A)

Batasan operasi dan nilai NGR yaitu:

Transformator daya 150/70 kV , 100 MVA

Tegangan = 70 kV

Tahanan = 40 - 60 ohm

Arus nominal = 650 – 1000 A

Waktu = 30 second

Transformator daya 150/20 kV, 30 – 60 MVA

Tegangan = 20 kV

Tahanan = 12 – 40 Ohm

Arus nominal = 870 – 1150 A

Waktu = 10 Second

Keuntungan dan kerugian pentanahan dengan *neutral grounding resistance* yaitu:

Keuntungannya:

- a. Besar gangguan arus ke tanah dapat diperkecil.
- b. Bahaya *gradient voltage* lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.
- c. Bahaya *gradient voltage* lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.

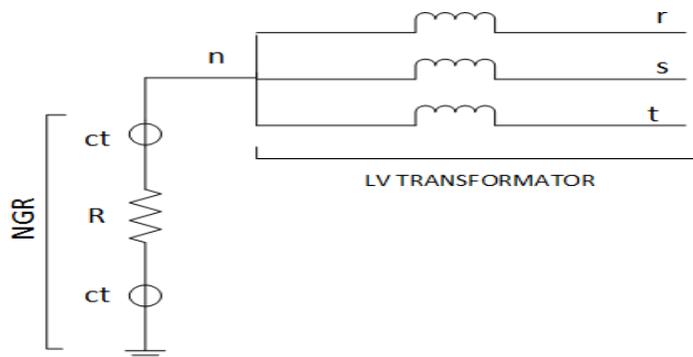
- d. Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugiannya:

- a. Timbulnya rugi – rugi daya pada tahanan pentanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.
- b. Karena arus gangguan ke tanah relatif kecil, kepekaan *relay* pengamanan menjadi berkurang dan lokasi gangguan sulit untuk dideteksi.

2.3.1 Rangkaian *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

Didalam ngr terdapat komponen–komponen yaitu seperti trafo arus dan resisitor itu sendiri, dan ngr juga memiliki suatu rangkaian. Adapun rangkaian ngr adalah sebagai berikut :



Gambar 2.12 Rangkaian *Neutral Grounding Resistance*

Sumber: Sistem Pentanahan, 2020

Gambar 2.12 terlihat bagaimana letak ngr tersebut diambil dari netralnya transformator dengan kata lain bahwa transformator pada sisi sekunder memiliki hubungan bintang yang mempunyai titik nol/netral, dari titik nol/netral inilah yang akan disambungkan ke ngr setelah itu akan diground/ditanahkan. (ISSN 2.-1. , 2018)

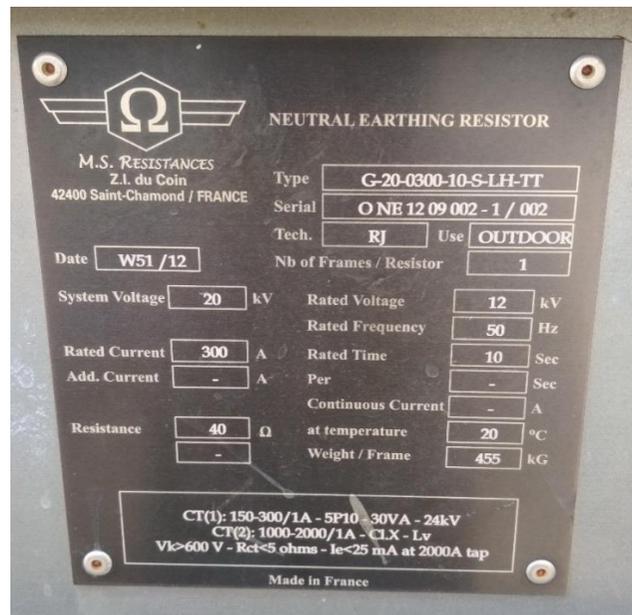
Didalam rangkaian ngr terdapat dua trafo arus sebagaimana dilihat pada gambar 2.21. Trafo arus yang pertama yaitu sebelum melewati resistor dan trafo arus yang kedua yaitu setelah melewati resistor. Adapun fungsi dari trafo arus tersebut adalah sebagai proteksi, yang dideteksi dari trafo arus ini adalah arus gangguan satu phasa ke tanah atau dengan kata lain phasa ke netral.

Keluaran dari trafo arus ini nantinya akan terhubung ke *relay* sebagai inputan untuk mendeteksi berapa arus yang mengalir pada sisi primer trafo arusnya. Apabila ada arus lebih yang mengalir pada sisi primernya maka akan dideteksi oleh *relay* karena inputan sekundernya terhubung ke *relay*, dengan rasio trafo arus yang ada maka masukan ke *relay* lebih mudah melalui sekundernya. Contoh rasio trafo arus adalah 2000/1 A, 1000/1 A dan lain sebagainya.



Gambar 2.13 Bentuk Fisik Rangkaian *Neutral Grounding Resistance* Jenis Metal

Sumber: Penulis, 2020



Gambar 2.14 Name Plate NGR

Sumber: Penulis, 2020

Gambar 2.13 terlihat bentuk fisik dari ngr dimana komponennya terdiri dari isolator, konektor plat (*busbar*), 3 blok resistor, masing – masing per blok memiliki resistansi sebesar $13.3 \times 3 = 40$ ohm dan terdapat pula dua buah trafo arus yaitu trafo arus sebelum resistor dan trafo arus sesudah resistor.

Adapun cara melihat resistansi pada masing – masing blok adalah dengan melihat nilai resistansi pada sirip yang tertera pada metal resistor, dimana pada masing – masing sirip nilainya sebesar 0.513 dan mempunyai 26 sirip maka total keseluruhannya adalah sebesar 13,3 ohm. Hal ini bisa diperhatikan pada Gambar 2.15

1. CT (*sensing* elemen), ratio transformator atau trafo arus mengukur perubahan arus listrik.
2. Rele *digital* (*comparing* elemen), komponen rele bertugas membandingkan besaran yang terukur dengan besaran yang telah diset sebelumnya.
3. PMT (*control* elemen), pemutus tenaga merupakan komponen yang menerima sinyal atau mengontrol rangkaian lain.

Adapun untuk menghitung hubung singkat satu phasa ke tanah bisa menggunakan persamaan berikut ini :

- a. Perhitungan hubung singkat satu phasa ke tanah dengan menggunakan ngr, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$I_{1\phi 20} = \frac{V_s \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot NGR} \quad (2.16)$$

- b. Perhitungan hubung singkat satu phasa ke tanah tanpa menggunakan ngr, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Z_d = \frac{KV^2 \text{ dasar}}{MVA \text{ dasar}} \Omega \quad (2.17)$$

- c. Perhitungan reaktansi transformator, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$X_t = Z_t \cdot Z_{tr} \quad (2.18)$$

- d. Perhitungan arus dasar, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$I_{\text{dasar}} = \frac{KVA_3 \phi \text{ dasar}}{\sqrt{3} \cdot \text{tegangan dasar (KV)}} \quad (2.19)$$

- e. Perhitungan impedansi sumber, maka rumus yang digunakan ialah:

$$Z_s = \frac{KV^2 \text{ dasar}}{MVA_s} \Omega \quad (2.20)$$

- f. Perhitungan arus hubung singkat satu phasa ke tanah, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$I_{hs} = \frac{V(3 * \text{tegangan phasa netral})}{z (\text{Impedansi total})} = A \quad (2.21)$$

Dimana:

$I_{1\phi 20}$ = Arus hubung singkat satu phasa ke tanah, phasa di sisi 20 kV

I_{hs} = Arus hubung singkat

V_p = Tegangan sisi primer

V_s = Tegangan sisi sekunder

Z_{tr} = Impedansi trafo

Z_d = Impedansi dasar trafo

Z_s = Impedansi sumber

Rele hubung singkat ke tanah yang lebih dikenal dengan *Ground Fault Relay* (GFR) bekerja untuk mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah, untuk *setting* arus gfr pada sisi primer dan sekunder trafo daya terlebih dahulu dihitung arus nominal trafo daya. Arus *setting relay* gfr baik sisi primer dan sisi sekunder, maka rumus yang digunakan pada sisi primer sebagai berikut: (ISSN, 2017)

$$I_{set} (\text{Prim}) = 0.2 \times I_{nom} \quad (2.22)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai *setting* pada sisi sekunder yang dapat *disetting* pada relay gfr, maka harus dihitung menggunakan ratio trafo arus yang terpasang pada sisi sekunder di trafo daya. Berikut persamaan dari *setting* arus pada *relay* gfr.

$$I_{set} (\text{Sekunder}) = \frac{0.2 I_{nominal}}{CT \text{ Rasio}} \quad (2.23)$$

Dimana:

I_{gr} = Arus pada rele

I_{nom} = Arus nominal pada trafo daya

Ct ratio = Ratio trafo arus

Penyetelan pada rele arus lebih umumnya didasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian dengan adanya gangguan hubung singkat di beberapa seksi berikutnya, rele arus akan bekerja. Untuk mendapatkan persamaan yang selektif maka penyetelan waktunya dibuat secara bertingkat.

Syarat untuk mensetting waktu (*Td/Time dial* atau *TMS/Time MultipleSetting*) dari rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik, harus diketahui data besarnya arus hubung singkat pada setiap seksi, data penyetelan/*setting* arusnya (*Iset*) dan data kurva karakteristik *relay* yang dipakai. Untuk persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *Time dial* (*Td*) atau *Time Multiple Setting* (*TMS*) adalah sebagai berikut :

$$Td = \frac{\left(\frac{I_{f20}}{I_{sp}}\right)^{0.02}}{0.14} \cdot SI \quad (2.24)$$

Dimana:

Td = *Time delay*

Isp = Arus hubung singkat satu phasa

0.02 = Standard keamanan karakteristik *invers*

0.14 = Standard keamanan peralatan *relay*

SI = Waktu yang diinginkan untuk *relay* bekerja

Tabel 2.1 Standard Characteristic Relay Ocr/Ef

<i>Relay Characteristic</i>	<i>Equation (IEC 60255)</i>
<i>Standard Inverse (SI)</i>	$t = TMS * \frac{0.14}{(Ir)^{0.02-1}}$
<i>Very Inverse (VI)</i>	$t = TMS * \frac{13.5}{Ir-1}$
<i>Extremely Inverse (EI)</i>	$t = TMS * \frac{80}{Ir^2-1}$
<i>Long Time Inverse (LTI)</i>	$t = TMS * \frac{120}{Ir-1}$

Sumber: IEC 60255

Tabel 2.2 Toleransi Waktu Kerja Relay

<i>I / I></i>	<i>Standard Inverse</i>	<i>Very Inverse</i>	<i>Extremely Inverse</i>	<i>Long Time Inverse</i>
2	2.22 E	1.13 E	2.24 E	2.34 E
5	1.13 E	1.26 E	1.48 E	1.26 E
7	-	-	-	1.0 E
10	1.01 E	1.01 E	1.02 E	-
20	1.00 E	1.00 E	1.0	-

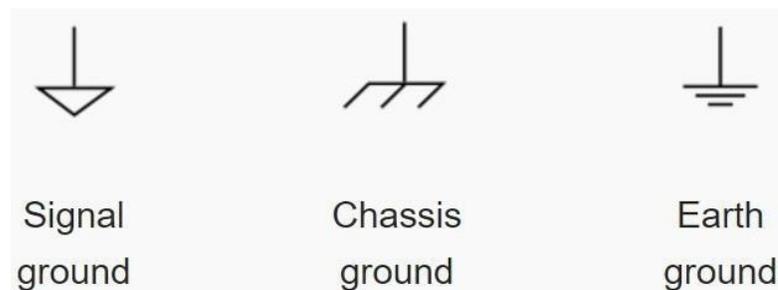
Sumber: IEC 60255

*E = Ketelitian dinyatakan dalam %, - Sampai tidak ditentukan.

2.4 Sistem *Grounding* Atau Pentanahan

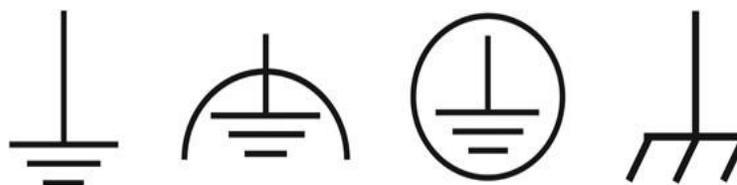
Sistem *grounding* atau pentanahan adalah suatu instalasi listrik yang bisa meniadakan beda potensial (tegangan), sebagai pelepasan muatan listrik yang berlebih pada instalasi listrik dengan cara menghubungkannya ke tanah. Pengaplikasiannya di lapangan untuk pemasangan *grounding* ini adalah dengan cara menanam sebuah *elektroda* penghantar yang baik ke dalam tanah. Seberapa handal *grounding* yang dipasang tergantung pada banyak hal seperti, jenis penghantar listrik yang digunakan, jenis kabel penghantar dan seberapa lembab keadaan tanah yang dipasang *elektroda* tersebut.

Dalam dunia kelistrikan terdapat banyak simbol yang berbeda-beda tiap negara, begitu juga dengan simbol *grounding*/pentanahan ini, adapun simbol dari *grounding* yaitu.



Gambar 2.16 Simbol dari *Grounding*

Sumber: Sistem Pentanahan, 2020



Gambar 2.17 Simbol dari Jenis *Grounding*

Sumber: Sistem Pentanahan, 2020

Grounding yang dipasang diharapkan bisa menghantarkan listrik ke bumi, kabel penghantarnya harus benar dan terhubung tanpa resistansi ke tanah, namun pada perakteknya sangat sulit ditemukan *grounding* yang 100% bisa terhubung ke bumi. Oleh karena itu, dibuatlah standarisasi mengenai resistansi pentanahan, hambatan maksimum kabel ke bumi sebesar 5 ohm yang mengacu ke PUIL 2000 yang masih berlaku sampai sekarang.

Nilai antara 0 – 5 ohm adalah nilai resistansi yang diperbolehkan, kalau misalkan lebih dari pada itu tidak bisa mendapatkan pengesahan dari pihak PLN selaku otoritas kelistrikan negara. Tentu saja nilai resistansi tersebut tidaklah mutlak karena tergantung dari lokasi dan jenis tanahnya berikut adalah bunyi aturan PUIL 2000 terkait resistansi pentanahan nomor 3.13.2.10.

Pada jaringan saluran udara, selain disumber dan dikonsumsi penghantar PEN nya dibumikan paling sedikit setiap ujung cabang yang panjangnya yang panjangnya lebih dari 200 m. Demikian pula untuk instalasi pasangan luar, penghantar PEN nya harus dibumikan. Resistansi pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 ohm, untuk daerah yang resistansi jenisnya sangat tinggi, resistansi pembumian total seluruh sistem boleh mencapai 10 ohm.

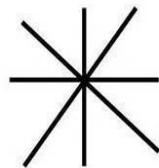
Sebagai tambahan, penulis juga menyarankan nilai pentanahan haruslah dibawah 0,5 ohm, karena semakin kecil nilai resistansinya maka akan semakin baik untuk keamanan personil dan peralatan itu sendiri. Untuk resistansi tersebut bisa di ambil rumus hukum ohm (PUIL 2000). Tujuan dari pentahan peralatan adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang bisa membahayakan manusia.
- b. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan.
- c. Untuk menambah kemampuan dari sistem.

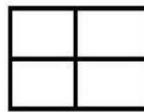
2.5 Macam–macam Elektroda Pentanahan

Pada umumnya terdapat beberapa macam elektroda pentanahan yaitu :

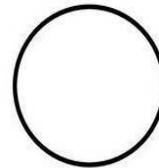
- a. Elektroda pita, berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam di dalam tanah. Pada umumnya penanamannya tidak terlalu dalam yaitu 0,5 hingga 1 meter dan caranya ada bermacam–macam.



Bentuk Radial



Bentuk Grid

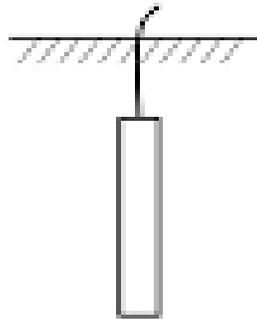


Bentuk Lingkaran

Gambar 2.18 Jenis–jenis Penanaman Elektroda Pita

Sumber: PUIL 2000, 3.18.2.1, 2020

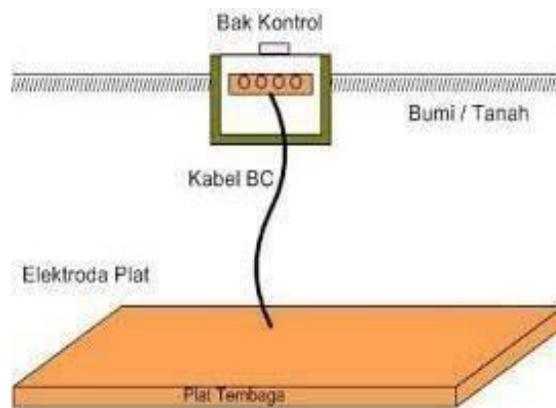
- b. Elektroda batang, berupa batang yang ditanam secara tegak lurus didalam tanah, untuk membuat supaya tahanan pentanahan cukup kecil maka elektroda batang tersebut ditanam lebih dalam atau menggunakan beberapa batang elektroda.



Gambar 2.19 Jenis Penanaman Elektroda Batang

Sumber: PUIL 2000, 3.18.2.1, 2020

- c. Elektroda plat, berupa plat yang ditanam secara tegak lurus di dalam tanah

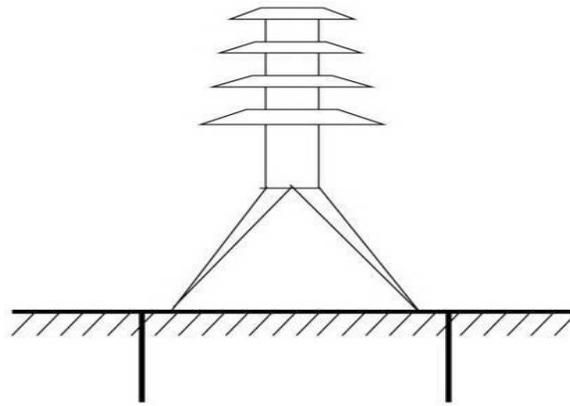


Gambar 2.20 Jenis Penanaman Elektroda Plat

Sumber: PUIL 2000, 3.18.2.1, 2020

2.6 Metode Pentanahan

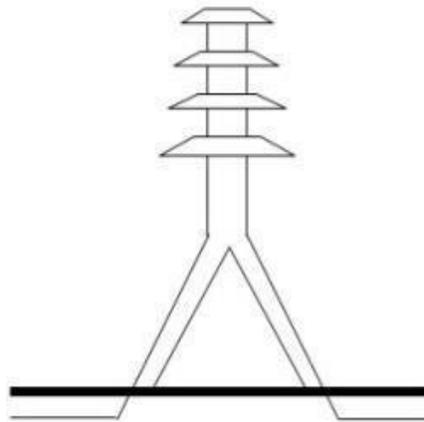
- a. Pentanahan dengan *driven ground*, adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah.



Gambar 2.21 Pentanahan dengan *Driven Ground*

Sumber: Sistem Pentanahan, 2020

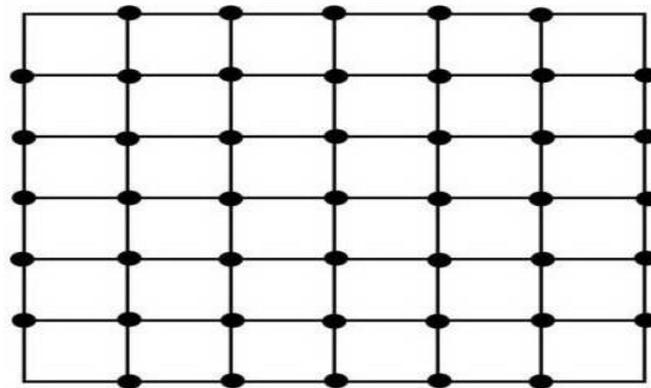
- b. Pentanahan dengan *counter poise*, adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda secara sejajar atau radial dengan jarak beberapa sentimeter dibawah tanah.
- c. Pentanahan dengan *counter poise* pada umumnya digunakan apabila tahanan tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan *driven ground*.



Gambar 2.22 Pentanahan dengan *Counter Poise*

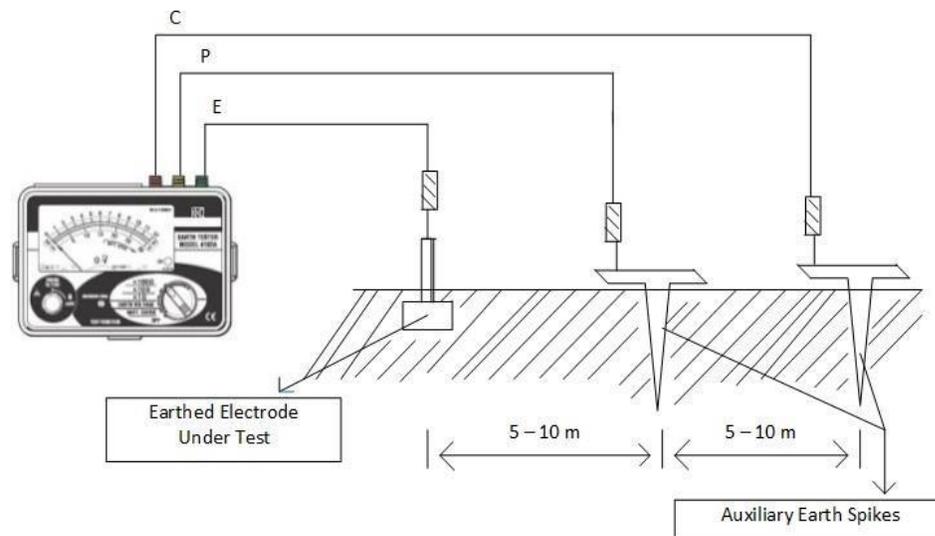
Sumber: Sistem Pentanahan, 2020

- d. Pentanahan dengan *mesh* atau jala, adalah pentanahan dengan cara memasang kawat elektroda membujur dan melintang di bawah tanah, yang satu dengan yang lainnya dihubungkan di setiap tempat sehingga berbentuk jala (*mesh*).
- e. Sistem pentanahan *mesh* pada umumnya dipasang di gardu induk dengan tujuan untuk mendapatkan nilai tahanan tanah yang sangat kecil.



Gambar 2.23 Pentanahan dengan *Mesh* atau Jala
Sumber: Sistem Pentanahan, 2020

Untuk mengetahui nilai suatu resistansi tanah disuatu gardu induk maupun ditempat yang lain, bisa dengan cara menggunakan alat uji *Grounding tester*.



Gambar 2.24 Alat Uji Pentanahan atau *Grounding Tester*
Sumber: ISSN:2252-4908, 2013

Cara kerjanya adalah dengan menancapkan terlebih dahulu *stick* atau tongkat kedalam tanah. Jarak antara *stick* atau tongkat adalah 5 – 10 meter, setelah tertanam selanjutnya kabel warna merah dihubungkan ke *stick*/tongkat yang paling jauh dan kabel warna kuning dihubungkan ke *stick*/tongkat yang satunya lagi atau yang paling dekat dengan objek tes.

Kemudian setelah kedua kabel terhubung, maka selanjutnya kabel warna hijau dihubungkan ke objek tes, setelah kabel terhubung ke *stick*/tongkat dan ke objek tes, maka hubungan ketiga kabel tersebut ke alat tes untuk warna merah dihubungkan ke C, untuk warna kuning dihubungkan ke P dan warna hijau dihubungkan ke E di alat tes tersebut. Setelah semuanya terhubung kemudian putar selektor pada ukuran 20 ohm yang ada dialat tes setelah itu tekan *press test*, maka alat tes akan mendeteksi berapa nilai tahanan *grounding* tersebut.

Tabel 2.3 Nilai Rata- rata Resistansi Tanah

Jenis Tanah	Resistansi Tanah (Ω - m Ω)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir/Kerikil kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Sumber: PUIL 2000,3.18.3.1, 2020

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

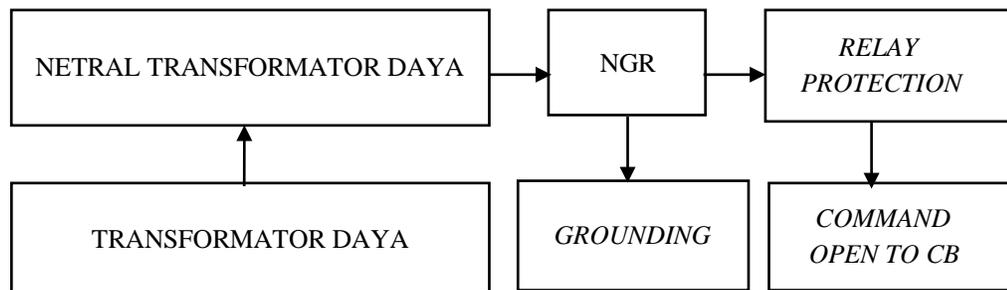
Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Negeri Dolok, yang beralamat di jalan Pardomuan Tongah, Silaukahean, Simalungun, Sumatera Utara.

3.2 Metodologi Penelitian

Metode yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literature, yaitu mengumpulkan referensi-referensi yang berkaitan dengan pokok permasalahan pada skripsi ini.
2. Pengumpulan data, yaitu data transformator daya dan data *Neutral Grounding Resisitance* (NGR).
3. Pada tahap perhitungan penulis menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
4. Penulis melakukan pengamatan data secara langsung terhadap objek yang telah dipilih yang menyangkut dengan pembahasan dan pengambilan keputusan.

3.3 Blok Diagram



Gambar 3.1 Blok Diagram

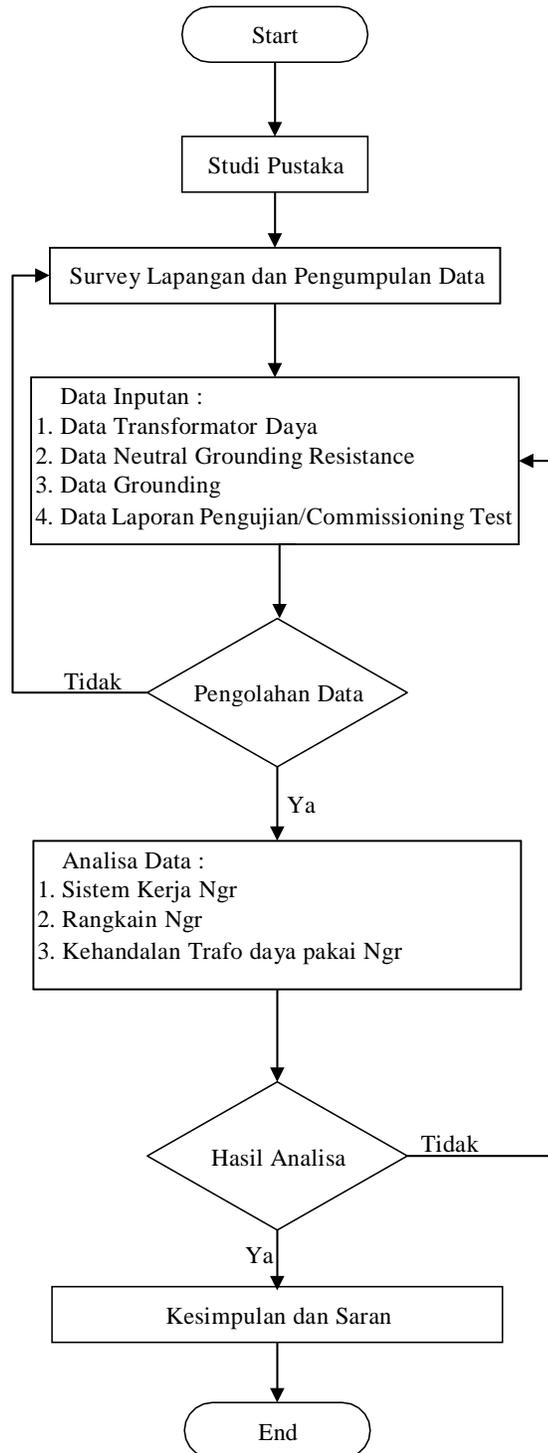
Sumber: Penulis, 2020

Gambar 3.1 diatas tentang blok diagram dan alur dari penelitian, Adapaun penjelasan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut :

- a. Transformator daya adalah sebagai media utama karena bagian sekunder dari transformator daya yang memiliki rangkaian bintang,titik netral pada sekunder transformator daya dihubungkan ke ngr.
- b. Netral transformator daya adalah bagian yang langsung terhubung dengan ngr.
- c. *Netral Grounding Resistance* adalah sebagai keluaran dari netralnya transformator daya, dimana pada ngr mempunyai rangkaian dan memiliki komponen didalamnya. Adapun komponen didalamnya yaitu memiliki dua trafo arus dan memiliki resistor/tahanan.
- d. Grounding adalah sebagai media untuk membuang muatan listrik yang berlebih pada suatu sistem kelistrikan dengan mempertimbangkan harga atau nilai resistansi dari grounding tersebut.
- e. *Relay Protection* adalah suatu peralatan eletronika yang berfungsi sebagai pengaman sistem kelistrikan,misalnya pada arus lebih atau yang lainnya.

- f. *Command Open to Cb* maksudnya adalah untuk memberikan suatu perintah *open* pada PMT (Pemutus) apabila rele pengaman mendeteksi adanya suatu gangguan pada sistem kelistrikan. Dengan kondisi PMT yang terbuka maka sistem akan padam.

3.4 Alur Penelitian



Gambar 3.2 Alur Penelitian
Sumber:Penulis, 2020

3.5 Deskripsi *Flowchart*

Flowchart penelitian yang terdapat pada gambar 3.2 adalah menggambarkan skema penelitian, adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

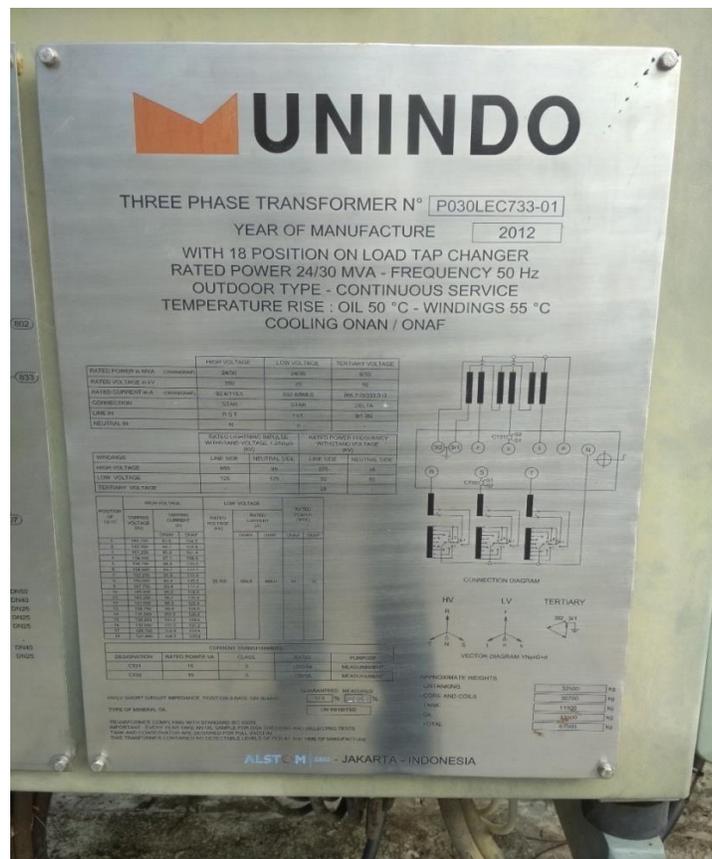
- a. Studi pustaka adalah mencari referensi yang terkait dengan apa yang diteliti baik berupa buku di perpustakaan maupun dari media online (*E-Book*).
- b. *Survey* lapangan dan pengumpulan data, ketika sudah selesai dalam melakukan studi pustaka dan referensi sudah ada maka tahap selanjutnya adalah melakukan *survey* atau peninjauan ke lapangan beserta dengan pengumpulan data.
- c. Data inputan adalah suatu data yang diperoleh dari hasil *survey* dan pengumpulan data dimana data tersebut akan dimasukkan kedalam data yang akan dianalisa. Adapun data inputannya berupa data transformator daya, data *neutral grounding resistance* dan hasil laporan pengujian pada saat *commissioning testing*.
- d. Pengolahan data, setelah semua data dimasukkan maka tahap selanjutnya data akan diolah apabila ada yang kurang atau hasilnya belum sesuai maka akan dilakukan kembali *survey* dan pengumpulan data.
- e. Analisis data, semua data yang sudah diolah dan dinyatakan sudah sesuai dengan penelitian, maka akan dilakukan tahap berikutnya untuk menganalisa data seperti Transformator daya, ngr dan lain sebagainya.
- f. Hasil analisa, pada tahap ini semua data yang diteliti sudah selesai dianalisa, apabila tidak mendapatkan hasil yang sesuai maka akan dilanjutkan pada

penginputan data.

- g. Kesimpulan dan saran adalah setelah semua data dikumpulkan dan dianalisa maka hasil data tersebut akan bisa disimpulkan.

3.6 Penelitian Transformator Daya

Penelitian pada transformator daya ini adalah dengan meneliti atau melihat data dari transformator yang tertera pada bagian *name plate*, dimana pada *name plate* tersebut akan didapat data seperti gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Name Plate Transformator Gardu Induk Negeri Dolok
Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Keterangan Gambar 3.3 adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Pabrikan dari Transformator Daya

<i>Brand</i>	<i>Unindo/Alstom (Indonesia)</i>
<i>There Phase Transformer</i>	<i>No.P030LEC733 (2012)</i>
<i>On Load Tap Changer</i>	<i>18 position</i>
<i>Rated Power</i>	<i>24/30 MVA</i>
<i>Frequency</i>	<i>50 Hz</i>
<i>Type</i>	<i>Outdoor (Continuous service)</i>
<i>Oil Temperature</i>	<i>50 °C</i>
<i>Winding Temperature</i>	<i>55 °C</i>
<i>Cooling</i>	<i>ONAN/ONAF</i>

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.2 Daya, Tegangan, Amper dan Koneksi Hubungan

<i>Data</i>	<i>High Voltage</i>	<i>Low Voltage</i>	<i>Tertiary Voltage</i>
<i>Rated Power in MVA(ONAN/ONAF)</i>	<i>24/30</i>	<i>24/30</i>	<i>8/10</i>
<i>Rated Voltage in kV</i>	<i>150</i>	<i>20</i>	<i>10</i>
<i>Rated Current in A (ONAN/ONAF)</i>	<i>92,4/115,5</i>	<i>692,8/866</i>	<i>266,7$\sqrt{3}$/333,3$\sqrt{3}$</i>
<i>Connection</i>	<i>Star</i>	<i>Star</i>	<i>Delta</i>
<i>Line IN</i>	<i>R,S,T</i>	<i>r,s,t</i>	<i>3s2 3t1</i>
<i>Netral IN</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>-</i>

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.3 Ketahanan Winding

<i>Data</i>	<i>Rated Lighting Impulse Withstand Voltage 1,2/50μs (kV)</i>		<i>Rated Power Frequency Withstand Voltage (kV)</i>	
	<i>Line Side</i>	<i>Neutral Side</i>	<i>Line Side</i>	<i>Neutral Side</i>
<i>High Voltage</i>	650	95	275	38
<i>Low Voltage</i>	125	125	50	50
<i>Tertiary Voltage</i>	-	-	28	-

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.4 Tap Changer Position

<i>Position of OLTC</i>	<i>High voltage</i>			<i>Low voltage</i>			<i>Rated power</i>	
	<i>Tapping voltage (kV)</i>	<i>Tapping current (A)</i>		<i>Tapping voltage (kV)</i>	<i>Rated current (A)</i>		<i>ONAN</i>	<i>ONAF</i>
		<i>ONAN</i>	<i>ONAF</i>		<i>ONAN</i>	<i>ONAF</i>		
1	165.750	83.6	104.5	20.000	692,8	866.0	24	30
2	163.500	84.7	105.9					
3	161.250	85.9	107.4					
4	159.000	87.1	108.9					
5	156.750	88.4	110.5					
6	154.500	89.7	112.1					
7	152.250	91.0	113.8					
8	150.000	92.4	115.5					
9	147.750	93.8	117.2					
10	145.500	95.2	119.0					
11	143.250	96.7	120.9					
12	141.000	98.3	122.8					
13	138.750	99.9	124.8					
14	136.500	101.5	126.9					
15	134.250	103.2	129.0					
16	132.000	105.0	131.2					
17	129.750	106.8	133.5					
18	127.500	108.7	135.8					

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.5 Data Transformator Arus Pada Transformator Daya

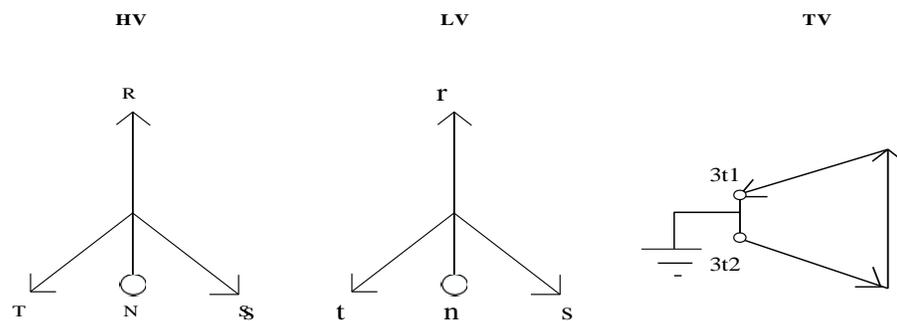
<i>Current Transformer</i>				
<i>Designation</i>	<i>Rated Power VA</i>	<i>Class</i>	<i>Ratio</i>	<i>Purpose</i>
<i>CT01</i>	<i>15</i>	<i>3</i>	<i>1000/5A</i>	<i>Measurement</i>
<i>CT02</i>	<i>15</i>	<i>3</i>	<i>1000/5A</i>	<i>Measurement</i>

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.6 Data Impedance

<i>HV/LV short circuit impedance position 8 base on 30 MVA</i>	<i>Guaranted</i>	<i>Measured</i>
	<i>12.5%</i>	<i>12.18%</i>
<i>Type of mineral oil</i>	<i>UN-INHIBITED</i>	

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

**Gambar 3.4 Vektor Diagram Yyn0+d**

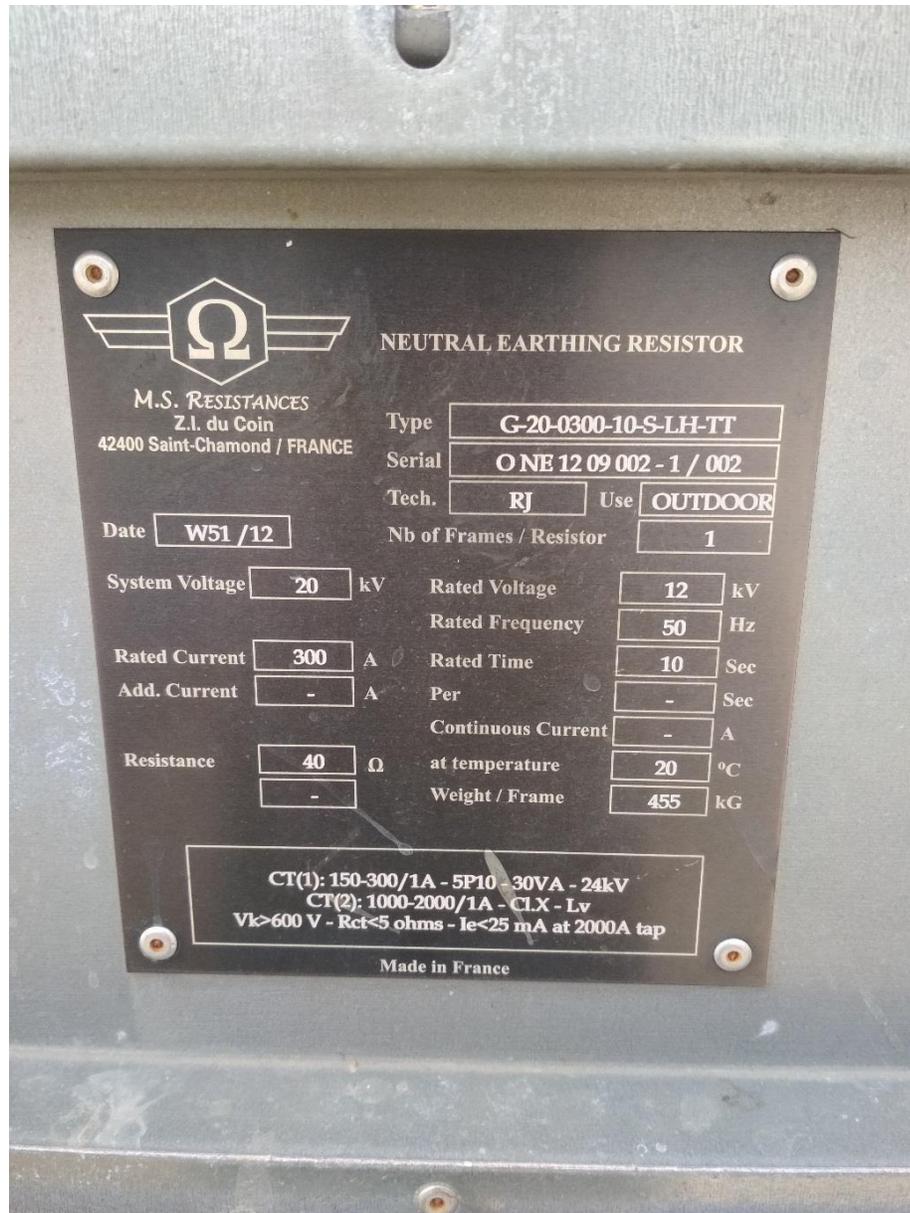
Sumber: Penulis, 2020

Note :

Transformer complying with standard IEC 60076, Important : Every year take an oil sample for dga cheking and dielectric tests, Take and conservator are designed for full vacuum.

3.7 Penelitian *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

Adapun dalam penelitian *neutral grounding resistance* ini adalah dengan meneliti bagian *name plate* dari ngr, data dari ngr tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5 Data Name Plate Ngr
Sumber: Penulis, 2020

Keterangan dari gambar 3.5 adalah :

Tabel 3.7 Data Pabrikasi dari Ngr

<i>Brand</i>	<i>M.S Resistances Saint chamond (France)</i>
<i>Type</i>	<i>G-20-0300-10-S-LH-TT</i>
<i>Serial Number</i>	<i>ONE 12 09 002 – 1/002</i>
<i>Tech</i>	<i>RJ</i>
<i>Use</i>	<i>Outdoor</i>
<i>Nb Of Frame/Resistor</i>	<i>1</i>
<i>Date</i>	<i>W51/12</i>

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.8 Data Tegangan, Amper dan Resistansi dari Ngr

<i>Sytem Voltage</i>	<i>20 Kv</i>
<i>Rate Current</i>	<i>300 A</i>
<i>Add Current</i>	<i>-</i>
<i>Resistance</i>	<i>40 Ω</i>
<i>Rated Voltage</i>	<i>12 kV</i>
<i>Rated Frequency</i>	<i>50 Hz.</i>
<i>Rated Time</i>	<i>10 Sec</i>
<i>Per</i>	<i>-</i>
<i>Continuous Current</i>	<i>-</i>
<i>At Temperature</i>	<i>20 °C</i>
<i>Weight/Frame</i>	<i>455 Kg</i>

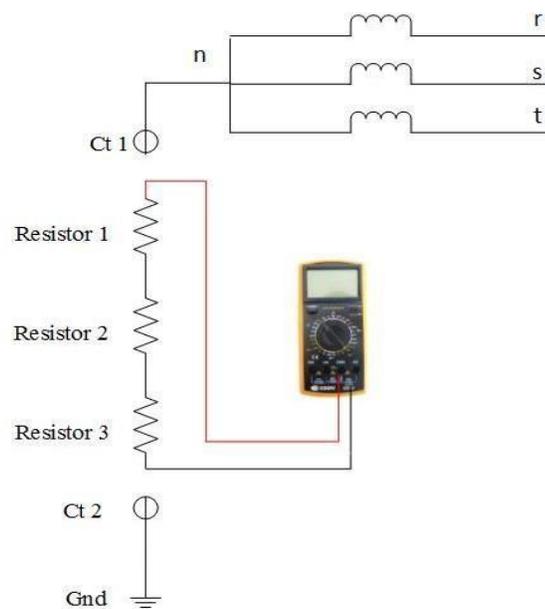
Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.9 Data Trafo Arus Pada Ngr

<i>CT (1)</i>	<i>150-300/1A-5P20-30VA-24kV</i>
<i>CT (2)</i>	<i>1000-2000/1A-Cl.X-Lv</i>
<i>V_k>600V-R_{ct}<5ohm-I_e<25mA-At 2000A tap</i>	

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

3.7.1 Skema Pengujian Resistansi Ngr

**Gambar 3.6 Skema Pengujian Resistansi Ngr**

Sumber: Penulis, 2020

Didalam sebuah Ngr terdapat komponen–komponen tertentu yaitu diantaranya adalah trafo arus (CT), resistor terdapat tiga buah yang dihubungkan secara seri. Langkah dalam pengujian resistansi dari Ngr ini adalah dengan memutus koneksi dari CT1 ke resistor 1 dan memutus koneksi CT2 ke resistor 3, alat yang dipakai dalam pengujian ini adalah dengan menggunakan multimeter digital.

Hubungkan kabel merah dari multimeter digital ke resistor 1 dan hubungkan kabel hitam dari multimeter digital ke resistor 3 setelah itu setel pada pengukuran pada *ohm meter* sehingga akan didapat nilai resistansi dari ngr tersebut. Adapun nilai resistansi dengan cara pengujian seperti ini adalah untuk mendapatkan nilai resistansi total.

3.8 Penelitian *Grounding*/Pentanahan

Pentanahan sesuatu yang sangat penting yang tujuannya untuk membuang muatan listrik ketanah atau *ground*, adapun dalam penelitian pentanahan ini adalah meneliti nilai resistansi tanah yaitu semakin kecil resistansinya, maka akan semakin bagus untuk digunakan sesuai dengan standar yang diberlakukan didalam PUIL.

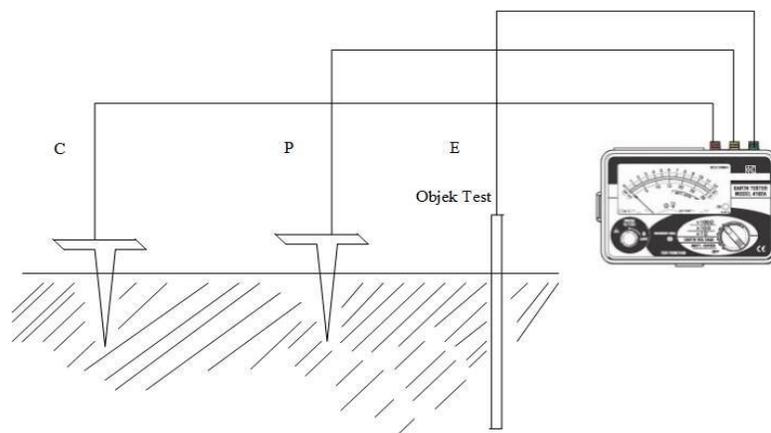


Gambar 3.7 *Stick Grounding Root* dan *Grounding Mesh* Sebelum Dipasang
Sumber:Penulis, 2020



Gambar 3.8 *Grounding Root dan Grounding Mesh Setelah Dipasang dan Ditambah Busbar Grounding Untuk Penggabungannya*
Sumber:Penulis, 2020

3.8.1 Skema Pengujian Nilai Resistansi Pentanahan/*Grounding*



Gambar 3.9 *Skema Pengujian Resistansi Tanah/*Grounding**
Sumber:Penulis, 2020

Pengujian *grounding*/pentanahan ini dilakukan untuk mencari nilai hasil resistansi dari tanah, skemanya adalah dengan menancapkan *stick* uji yang jumlahnya ada dua buah ke dalam tanah yang kisaran jaraknya antar *stick* adalah 5-10 meter.

Setelah menancapkan sticknya ke dalam tanah maka konek kabel yang berwarna merah ke stick yang paling jauh dari objek tes serta konek kabel warna kuning ke stick yang lebih dekat dari objek tes,

Kemudian setelah keduanya dihubungkan maka selanjutnya hubungkan kabel warna hijau ke objek tes, setelah kabel warna merah, kuning dan hijau dihubungkan, maka setel alat tes pada 20 ohm, kemudian tekan *testing* pada alat tes, maka akan muncul nilai atau hasil dari resistansi tanah. Adapun alat tes yang digunakan dalam pengujian resistansi *grounding*/tanah yaitu alat tes *earthing tester* baik yang digital maupun yang analog.

3.9 Penelitian Laporan *Commissioning Testing*

Dalam penelitian laporan *commissioning testing* ini yang diteliti adalah hasil dari pengujian peralatan seperti ngr, *grounding*/pentanahan dan lain sebagainya. Adapun dilakukannya penelitian ini sebagai ganti untuk mendapatkan data hasil pengujian dikarenakan kendala yang dihadapi dilapangan adalah perusahaan tidak memberi izin kepada peneliti untuk masuk area seperti gardu induk dikarenakan gardu tersebut sudah beroperasi (*energize*). Untuk mendapatkan data yang dimaksud seperti hasil pengujian serta dokumen–dokumen lainnya bisa dengan meneliti hasil laporan *commissioning testing* dimana laporan tersebut adalah akurat berikut adalah hasil laporan *commissioning testing* yang berkaitan dengan penelitian penulis di gardu induk PT PLN (Persero) Negeri Dolok Simalungun.

3.9.1 Hasil Pengukuran Pengujian *Grounding*/Pentanahan

Tabel 3.10 Hasil Pengujian Pentanahan

<i>Measurement</i>	<i>Inject (Ω)</i>	<i>Result (Ω)</i>
<i>Body Ngr</i>	20	0.5
<i>Output Ngr</i>	20	0.4

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

3.9.2 Hasil Pengukuran Pengujian Resistansi Ngr

Tabel 3.11 Hasil Pengujian Resistansi Ngr

<i>Measurement</i>	<i>Resistance</i>
<i>Upper – Lower</i>	40.3 Ω

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

3.9.3 Hasil Pengujian *Ground Fault Relay/Earth Fault (GFR/EF)*

Tabel 3.12 Hasil Pengujian Cek Ratio CT REF

<i>Phase</i>	<i>Current Injection</i>	<i>Expected Value (A)</i>	<i>Measure Value (A)</i>	<i>Error (%)</i>	<i>Result</i>
N	1A	1000	1000.6	0.060	Pass

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Measurement check CT ratio = 1000 : 1

Acceptance Criteria = Percentage error < $\pm 2\%$

Tabel 3.13 Hasil Pengujian Sensitivitas Arus REF

Phase	Expected Measured (A)				Actual Measured				Result
	Pick Up		Drop Off		Pick Up	Drop Off			
	Min	Max	Min	Max					
N	0.095	0.11	0.09	0.11	0.11 A	0.09 A		Pass	

Acceptance Criteria

	Current Level
Pick Up	$0.95 \times I_{l>} > \text{ to } 1.1. \times I_{l>}$
Drop Off	$0.95 \times I_{pick-up} \text{ to } 1 \times I_{pick-up}$

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Current Sensivity check

Current input

GFR Setting = 0.1 A

Tabel 3.14 Hasil Pengujian Waktu Earth Fault

Phase	Current Inject	TMS	Timing (second)		Error (%)	Result
			Expected Value	Measured Value		
N	$2 \times I_s = 0.2 \text{ A}$	0.23	2.307	2.366	2.572	Pass
	$3 \times I_s = 0.3 \text{ A}$		1.449	1.502	3.626	Pass

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Timing check

GFR Setting = 0.1 A

Timing Setting = 0.23 s

Tabel 3.15 Hasil Pengujian Kondisi Tidak Stabil Pada W1 dan W2

Phase	Winding 1 [Fasa Lv]		Winding 2 [LVv Netral]		I Diff (A)	I Bias (A)
	Injected [A]	Angle	Injected [A]	Angle		
R	13.12	176.8	39.8	178.3	78.36	26.87
S	12.66	177.4				
T	13.32	174.2				

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Stability Between W1 to W2 (Primery)

REF LVUnstable Condition

Tabel 3.16 Hasil Pengujian Kondisi Stabil Pada W1 dan W2

Phase	Winding 1 [Fasa Lv]		Winding 2 [Lv Netral]		I Diff (A)	I Bias (A)
	Injected [A]	Angle	Injected [A]	Angle		
R	11.93	-179.7	39.8	0.9	4.139	26.59
S	11.69	-180.0				
T	12.29	-179.7				

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Tabel 3.17 Hasil Pengujian Kondisi Tidak Stabil Pada W1 dan W2

Phase	Winding 1		Winding 2		CT 1	CT 2	Led	Trip Time
	Injected (I1)	Angle	Injected (I2)	Angle	Ratio	Ratio		
R-N	0.260 A	0	0,260 A	0	1000/1	1000/1	Trip	33 ms

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Stability Between W1 to W2(Secondary)

Unstable Condition

Tabel 3.18 Hasil Pengujian Kondisi Stabil Pada W1 dan W2

Phase	Winding 1		Winding 2		CT 1	CT 2	Led	Trip Time
	Injected (I1)	Angle	Injected (I2)	Angle	Ratio	Ratio		
R-N	0,260 A	0	0,260 A	180	1000/1	1000 /1	No Trip	-

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

3.9.4 Hasil Pengujian SBEF (Stand By Earth Fault)

Tabel 3.19 Hasil Pengujian Cek Rasio CT SBEF

Phase	Current Injection	Expected Value (A)	Measure Value (A)	Error (%)	Result
SBEF	1 A	300	300.9	0.3	Pass

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Measurement Check, Current Input and Ct Ratio = 300 : 1

Acceptance Criteria = Percentage error < 2%

Tabel 3.20 Hasil Pengujian Sensivitas Arus SBEF

Phase	Expected Measured				Actual Measured		Result
	Pick Up		Drop Off		Pick Up	Drop Off	
	Min	Max	Min	Max			
N	0.095	0.110	0.096	0.101	0.101 A	0.097 A	Pass

Acceptance Criteria

	Current Level
Pick Up	$0.95 \times I_{II} > \text{to } 1.1 \times I_{II} >$
Drop Off	$0.95 \times I_{\text{pick-up}} \text{ to } 1 \times I_{\text{pick-up}}$

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Current Sensivity

Current Input

SBEF >1 Setting = 0.100 A

Tabel 3.21 Hasil Pengujian Waktu SBEF

Phase	Current Inject	TMS	Timing (second)		Error (%)	Result
			Expected Value	Measured Value		
SBEF	$2 \times I_s = 0.200 \text{ A}$	0.36	3.610	3.707	2.674	Pass
	$3 \times I_s = 0.300 \text{ A}$		2.269	2.305	1.600	Pass

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Timing Check

Current Input

SBEF > 1 Setting : 0.10

Tms : 0.36

Curve IEC S Inverse

3.9.5 Hasil Pengujian Restricted Earth Fault LV (REF LV)

Tabel 3.22 Hasil Pengujian Check Rasio CT REF LV

Phase	Current Injection	Expected Value (A)	Measure Value (A)	Error (%)	Result
N	1A	1000	1000.6	0.060	Pass
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Timing Check

Ct Rasio = 1000 : 1

* Acceptance Criteria = Percentage error < $\pm 2\%$

Current Sensivity Check

REF – 2 Setting : 0.2 A

Tabel 3.23 Hasil Pengujian Sensitivitas Arus REF LV

Phase	Expected Measured (A)				Actual Measured		Result
	Pick Up		Drop Off		Pick Up	Drop Off	
	Min	Max	Min	Max			
N	0.190	0.22	0.189	0.199	0.199 A	0.182 A	Pass

Acceptance Criteria

	Current Level
Pick Up	$0.95 \times I_{II} > \text{ to } 1.1 \times I_{II} >$
Drop Off	$0.95 \times I_{pick-up} \text{ to } 1 \times I_{pick-up}$

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

Timing Check

Ref – 2 Setting : 0.2 A

Timing Setting : 0 s

Tabel 3.24 Hasil Pengujian Waktu REF LV

Phase	Current Inject	TIME	Timing (mili second)	Result
			Measured Value	
N	$2 \times I_s = 0.4 \text{ A}$	0	44	Pass
	$3 \times I_s = 0.6 \text{ A}$		33	Pass

Sumber: Gardu Induk Negeri Dolok, 2020

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 Sistem Kerja *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

Neutral Grounding Resistance memiliki prinsip kerja yaitu apabila ada arus terdeteksi disisi netral bagian sekunder trafo daya maka akan mengalir ke ngr karena ngr dengan netralnya sekunder trafo daya terhubung, sehingga ngr juga akan mendeteksi arus yang mengalir tersebut. Bagian yang pertama merasakan arus adalah *Current Transformer 1* (CT1) atau disebut juga trafo arus dengan rasio CT 150-300/1A, CT1 tersebut akan mendeteksi arus yang mengalir pada sisi primernya dan arus pada bagian sekundernya akan diteruskan ke *relay* proteksi, dimana CT1 ini dimasukkan kedalam proteksi yaitu proteksi *Stanby Earth Fault* (SBEF) dengan adanya *setting* pada relay maka arus *setting* dan waktunya harus disesuaikan sehingga apabila melewati arus settingannya maka akan mengirimkan order *trip* ke PMT.

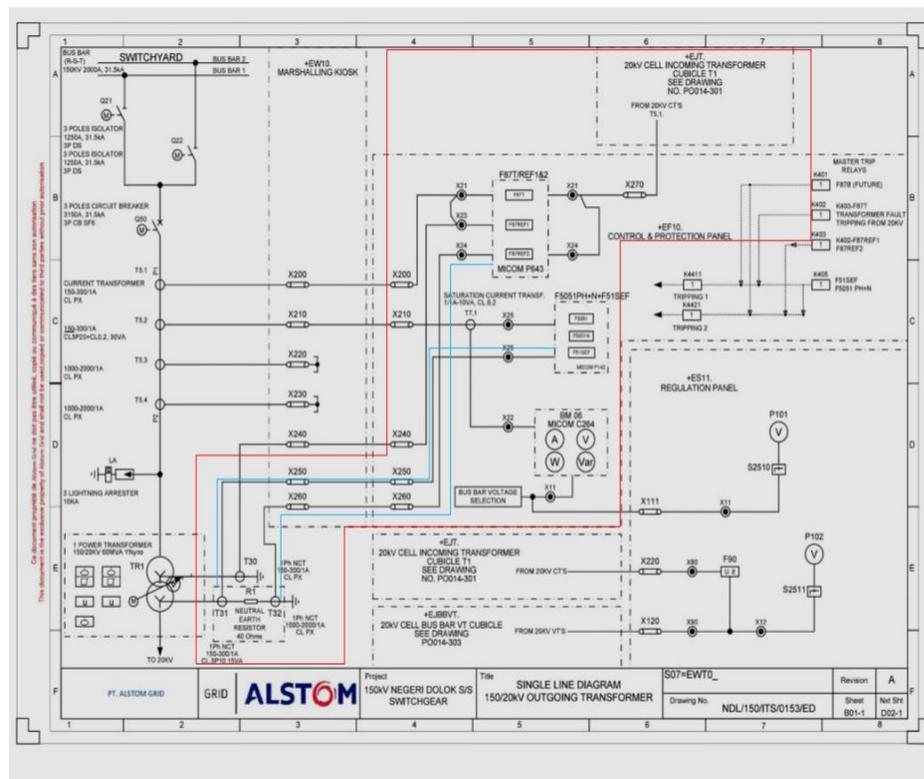
Langkah selanjutnya yang dilewati arus adalah bagian resistor pada ngr dimana resistor tersebut memiliki tahanan, sehingga dengan tahanan tersebut akan berpengaruh terhadap arus yang mengalir. Dalam penelitian penulis digardu pln yang berada di negeri dolok kabupaten simalungun ngr tersebut memiliki resistansi atau hambatan sebesar 40 ohm yang dihubungkan secara seri. Setelah melewati resistor maka arus mengalir melalui *Current Transformer 2* (CT2) yang memiliki rasio CT 1000-2000/1A dimana CT2 ini juga akan berfungsi sebagai proteksi sama dengan CT1 akan tetapi perbedaannya adalah CT2 sebagai *Earth Fault* (EF). Bagian sekunder CT2 juga akan masuk kedalam *relay* proteksi dimana arus dan waktunya harus disetting sehingga nanti

apabila melewati arus settingan maka akan mengirimkan order trip ke PMT dengan waktu yang sudah ditentukan. Arus yang sudah melewati CT1, resistor dan CT2 maka selanjutnya arus tersebut akan diteruskan ke *ground* atau tanah. Adapun dalam hal ini akan dilakukan perhitungan-perhitungan yang untuk menganalisa lapangan tersebut.

Tabel 4.1 Data Trafo Daya dan Ngr

Daya Trafo	30 MVA
Tegangan sisi Primer	150 kV
Tegangan sisi Sekunder	20 kV
Resistansi ngr	40 Ohm
<i>Current Transformer 1</i>	150-300/1A
<i>Curren Transformer 2</i>	1000-2000/1A

Sumber : Data Survey Lapangan, 2020



Gambar 4.1 Single Line Diagram 150/20kV Out Going Transformer
 Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

Arus yang mengalir disisi primer dan sekunder trafo belum bisa diketahui, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan arus yang mengalir pada kedua sisi tersebut.

$$I = \frac{P}{V\sqrt{3}}$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir

P = Daya trafo

$V\sqrt{3}$ = Tegangan trafo 3 fasa

Rumus arus pada sisi primer sebagai berikut:

$$I = \frac{30 \text{ MVA}}{150 \text{ kV}\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{30 \text{ MVA}}{259800}$$

$$I = 115,47 \text{ Ampere}$$

Rumus arus pada sisi sekunder sebagai berikut:

$$I = \frac{30 \text{ MVA}}{20 \text{ kV}\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{30 \text{ MVA}}{34640}$$

$$I = 866 \text{ Ampere}$$

Arus yang mengalir pada sisi primer trafo adalah sebesar 115,47 Ampere dan pada sisi sekunder trafo sebesar 866 Ampere. Untuk daya belitan perfasa pada sisi sekunder adalah sebesar 10 MVA, maka arus yang mengalir pada satu fasa antara lain yaitu :

Arus satu fasa pada belitan sekunder sebagai berikut:

$$I = \frac{10 \text{ MVA}}{20 \text{ kV}\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{10 \text{ MVA}}{20 \text{ kV}\sqrt{3}}$$

$$I = 288,6 \text{ Ampere}$$

Resistansi ngr yang dipasang pada Gardu Induk PLN yang berada di Negeri

Dolok adalah sebesar 40 Ohm, hal ini bisa dihitung melalui persamaan dibawah ini :

$$R = \frac{E_f}{I} \text{ ohm}$$

Dimana:

R = Tahanan (Ohm)

E_f = Tegangan fasa ke netral (V)

I = Beban penuh dari transformator (A)

Resistansi Ngr

$$R = \frac{20 \text{ kV}/\sqrt{3}}{288.6}$$

$$R = 40 \Omega$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan dan Pengukuran Nilai Resistansi Ngr

Perhitungan (Ω)	Pengukuran (Ω)
40	40.3

Sumber : Penulis, 2020

Arus settingan direlay proteksi seperti *earth fault* dan sbef harus ditentukan, tujuannya adalah untuk menentukan besar arus settingan apabila melewati batas settingan tersebut maka relay akan bekerja yaitu dengan mentriapkan PMT dan dalam mentriapkan PMT tersebut mempunyai waktu tertentu sesuai waktu settingan yang

sudah ditentukan oleh pihak PLN. Berikut adalah settingan *earth fault* dan *SBEF* dari pihak PLN.

Tabel 4.3 Setting Relay Untuk GFR (EF)

<i>Protection</i>	<i>Relay</i>	<i>Setting</i>	
<i>GFR (EF) Inc 20kV</i>	<i>Schneider Micom P141</i>	<i>CT</i>	<i>1000/1 A</i>
		<i>Inom</i>	<i>1 Ampere</i>
		<i>Inom Trafo</i>	<i>866 Ampere</i>
		<i>I0set sek</i>	<i>0.1 Ampere</i>
		<i>Ioset prim</i>	<i>100 Ampere</i>
		<i>Tap setting</i>	<i>0.1 x In</i>
		<i>TMS</i>	<i>0.23 (SI-IEC)</i>

Sumber : PLN-P3BS, 2020

Tabel 4.4 Setting Relay Untuk SBEF

<i>Protection</i>	<i>Relay</i>	<i>Setting</i>	
<i>SBEF Netral 20kV</i>	<i>Alstom Micom P142</i>	<i>CT</i>	<i>300/1 A</i>
		<i>Inom</i>	<i>1 Ampere</i>
		<i>Inom NGR</i>	<i>300 Ampere</i>
		<i>NGR</i>	<i>40 Ohm</i>
		<i>Iset sek</i>	<i>0.1 Ampere</i>
		<i>Iset prim</i>	<i>30 Ampere</i>
		<i>Tap setting</i>	<i>0.1 x In</i>
		<i>Tms</i>	<i>0.36 (LTI-IEC)</i>

Sumber : PLN-P3BS, 2020

Nilai settingan proteksi pada tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan settingan I_s dan T_{ms} dimana nilai tersebut akan berpengaruh pada nilai waktu tripnya PMT. Dalam hal ini akan dihitung berapa nilai waktu tripnya PMT.

Relay GFR/EF (Ground Fault) IEC - Standar Inverse

$$t = TMS * \frac{0.14}{(Ir)^{0.02} - 1}$$

<i>Ir</i>	<i>I = Measure Current</i>	<i>Is = Relay Setting Current</i>
-----------	----------------------------	-----------------------------------

$$2 \times I_s = 0.2$$

$$t = 0.23 * \frac{0.14}{(0.2/0.1)^{0.02} - 1}$$

$$t = 0.23 * \frac{0.14}{0.013}$$

$$t = 0.23 * 10.76$$

$$t = 2.47 \text{ detik}$$

$$3 \times I_s = 0.3$$

$$t = 0.23 * \frac{0.14}{(0.3/0.1)^{0.02} - 1}$$

$$t = 0.23 * \frac{0.14}{0.022}$$

$$t = 0.23 * 6.36$$

$$t = 1.46 \text{ detik}$$

Relay Stand By Earth Fault (SBEF)

IEC - Standar Long time inverse

$$2 \times I_s = 0.2$$

$$t = \text{TMS} * \frac{120}{I_r - 1}$$

$$t = 0.36 * \frac{120}{\left(\frac{0.2}{0.1}\right) - 1}$$

$$t = 0.36 * \frac{120}{1}$$

$$t = 0.36 * 120$$

$$t = 43.2 \text{ detik}$$

$$3 \times I_s = 0.3$$

$$t = 0.36 * \frac{120}{\left(\frac{0.3}{0.1}\right) - 1}$$

$$t = 0.36 * \frac{120}{2}$$

$$t = 0.36 * 60$$

$$t = 21.6 \text{ detik}$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan dan Pengukuran Waktu *GFR/EF* dan *SBEF*

Proteksi	Isetting (A)		Perhitungan (s)	Pengukuran (s)
GFR/EF	2 x 0.1	0.2	2.47	2.36
	3 x 0.1	0.3	1.46	1.5
SBEF	2 x 0.1	0.2	43.2	44.2
	3 x 0.1	0.3	21.6	22.1

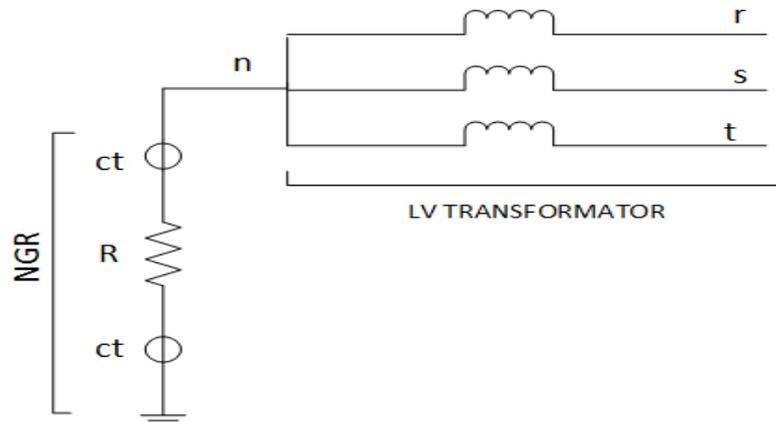
Sumber : Penulis, 2020

Tabel 4.5 menunjukkan waktu kerja *relay* baik *GFR/EF* dan *SBEF* dengan waktu tersebut maka diketahui apabila ada arus gangguan disisi penyulang maupun disisi ngr sendiri maka *relay* akan mendeteksi gangguan tersebut setelah itu dengan waktu yang sudah ditentukan maka *relay* akan mentriapkan PMT, tujuannya untuk mengamankan peralatan listrik tersebut.

4.2 Rangkaian *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

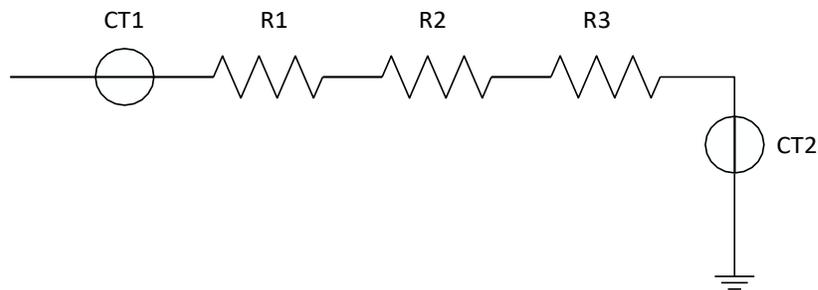
Netral Grounding Resistance (NGR) mempunyai komponen didalamnya yaitu berupa *Current Transformer* (CT) dan resistor, adapun ngr juga mempunyai

rangkaian mulai dari netral trafo sampai *ground*. Adapun rangkaian ngr tersebut bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Rangkaian Ngr Trafo
Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

4.2.1 Rangkaian Seri Ngr



Gambar 4.3 Rangkaian Seri Pada Ngr
Sumber : Penulis, 2020

Dimana:

$$CT\ 1 = 150 - 300\ A$$

$$CT\ 2 = 1000 - 2000\ A$$

$$R1 = 13.3\ \Omega$$

$$R2 = 13.3\ \Omega$$

$$R3 = 13.3 \Omega$$

$$R_{total} = R1 + R2 + R3$$

$$= 13.3 + 13.3 + 13.3$$

$$= 40 \Omega$$

Maka arus yang mengalir pada ngr dengan rangkaian seri adalah :

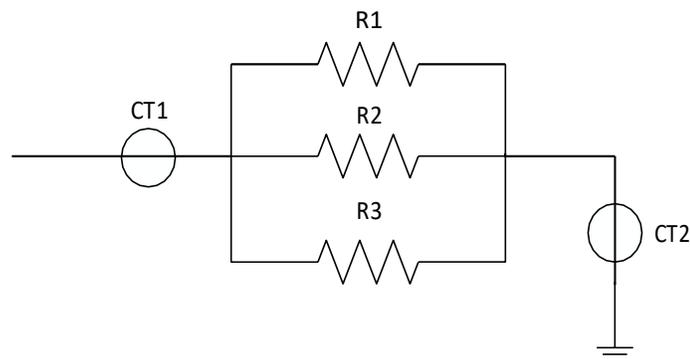
$$I = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{R}$$

$$I = \frac{20kV\sqrt{3}}{40}$$

$$I = \frac{11.5kV}{40}$$

$$I = 288.6 \text{ Ampere}$$

4.2.2 Rangkaian Pararel Ngr



Gambar 4.4 Rangkaian Paralel Pada Ngr

Sumber : Penulis, 2020

Dimana:

$$CT 1 = 150 - 300 \text{ A}$$

$$CT 2 = 1000 - 2000 \text{ A}$$

$$R1 = 13.3 \Omega$$

$$R_2 = 13.3 \Omega$$

$$R_3 = 13.3 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{\frac{1}{13.3} + \frac{1}{13.3} + \frac{1}{13.3}}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{\frac{3}{13.3}}$$

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{3}{13.3}}$$

$$= \frac{1}{1} \times \frac{13.3}{3}$$

$$= \frac{13.3}{3}$$

$$= 4.43 \Omega$$

Maka arus yang mengalir pada ngr dengan rangkaian paralel adalah :

$$I = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{R}$$

$$I = \frac{\sqrt{3} \cdot 20kV}{4.43}$$

$$I = \frac{11.5kV}{4.43}$$

$$I = 2606 \text{ A}$$

Arus yang mengalir pada rangkaian seri yaitu 288.6 Ampere dan arus yang mengalir pada rangkaian paralel yaitu 2606 Ampere, pada rangkaian seri memiliki arus yang sedikit karena mempunyai hambatan yang besar dan sebaliknya arus lebih besar

pada rangkaian paralel karena memiliki hambatan yang kecil. Oleh karena itu, pemakaian dilapangan memakai rangkaian seri pada ngr.

4.3 Meningkatkan Keandalan Transformator Dengan Ngr

Meningkatkan keandalan trafo daya disini maksudnya adalah dengan menambahkan proteksi trafo yaitu *Restricted Earth Fault (REF)* pada bagian sisi sekunder trafo daya, untuk masukan arusnya diambil dari CT2 yang berada sisi Ngr. Relaynya sendiri akan digabungkan dengan relay untuk proteksi trafo daya yaitu *F87T (Micom P643)*. Adapun untuk settingan *REF* pada sisi sekundernya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Setting Proteksi Untuk REF LV

<i>Protection</i>	<i>Relay</i>	<i>Settingan</i>	
<i>REF -2</i>	<i>Alstom Micom P643</i>	<i>Lv Is1 Set</i>	<i>0.2 A (secondary)</i>
		<i>Lv Is2 Set</i>	<i>0.9 A (secondary)</i>
		<i>Lv IRef K1</i>	<i>0%</i>
		<i>Lv Ref K2</i>	<i>150%</i>
		<i>Lv Tref</i>	<i>0 sec</i>

Sumber : PLN P3BS, 2020

Relay Restricted Earth Fault (REF)

$$2 \times I_s = 0.4$$

$$t = TMS * \frac{0.14}{(I_r)^{0.02-1}}$$

$$t = 0 * \frac{0.14}{(0.4/0.2)^{0.02-1}}$$

$$t = 0 * \frac{0.14}{0.013}$$

$$t = 0 * 10.7$$

$$t = 0 \text{ detik}$$

$$3 \times I_s = 0.6$$

$$t = TMS * \frac{0.14}{(Ir)^{0.02} - 1}$$

$$t = 0 * \frac{0.14}{(0.6/0.2)^{0.02} - 1}$$

$$t = 0 * \frac{0.14}{0.022}$$

$$t = 0 * 6.36$$

$$t = 0 \text{ detik}$$

Waktu *REF* disini adalah 0 detik sesuai dengan perhitungan diatas, ini disebabkan karena settingan waktu pada sisi *REF* ini juga 0 *second*, artinya dengan waktu 0 detik. Maka, apabila ada gangguan pada sisi sekunder trafo daya secara langsung relay akan mendeteksi dan mengirimkan sinyal ke PMT untuk trip.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan dan Pengukuran Waktu *REF*

<i>Proteksi</i>	<i>Isetting (A)</i>		<i>Perhitungan</i>	<i>Pengukuran</i>
<i>REF - 2</i>	<i>2 x 0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>0 s</i>	<i>44 ms</i>
	<i>3 x 0.2</i>	<i>0.6</i>	<i>0 s</i>	<i>33 ms</i>

Sumber : Penulis, 2020

4.3.1 Stability Tranformator Daya

Pengujian *Stability* atau stabilitas pada trafo daya adalah bertujuan untuk memastikan apakah jalur CT nya sudah benar atau belum. Apabila jalur CT nya tidak benar maka akan terjadi ketidak seimbangan phasor. Jika nanti dalam keadaan seperti ini trafo dialiri tegangan maka PMT akan trip terus sebelum jalur CT nya diperbaiki.

Stability Between W1 to W2 (Injected Primery)

*REF LV Unstable Condition***Tabel 4.8 Kondisi Tidak Stabil Antara W1 dan W2**

Phase	Winding 1 (LV)		Winding 2 (LV Netral)		I Diff (A)	I Bias (A)
	Injected (A)	Angle	Injected (A)	Angle		
R	13.12	176.8	39.8	178.3	78.36	26.87
S	12.66	177.4				
T	13.32	174.2				

Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

$$I \text{ Diff} = 78.36 \text{ Ampere}$$

$$I \text{ Bias} = 26.87 \text{ Ampere}$$

Angel W1

$$R = 176.8^\circ$$

$$S = 177.4^\circ$$

$$T = 174.2^\circ$$

Angel W2 = 178°

Jadi kenapa disebut kondisi tidak setabil karena arus diffnya lebih besar dari pada arus bias serta perbedaan sudut W1 fasa R,S,T hampir sama dengan W2.

*Stable Condition***Tabel 4.9 Kondisi Stabil Antara W1 dan W2**

Phase	Winding 1 (LV)		Winding 2 (Lv Netral)		I Diff (A)	I Bias (A)
	Injected (A)	Angle	Injected (A)	Angle		
R	11.93	-179.7	39.8	0.9	4.139	26.59
S	11.69	-180.0				
T	12.29	-179.7				

Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

$$I \text{ Diff} = 4.139 \text{ Ampere}$$

$$I \text{ Bias} = 26.59 \text{ Ampere}$$

Angel W1

$$R = -179.7^\circ$$

$$S = -180.0^\circ$$

$$T = -179.7^\circ$$

$$\text{Angel W2} = 0.9^\circ$$

Jadi kenapa disebut kondisi setabil karena arus diffnya lebih kecil dari pada arus bias serta perbedaan sudut antara W1 dan W2 yaitu 180° .

Stability Between W1 to W2 (Injected Secondary)

Unstable Condition

Tabel 4.10 Kondisi Tidak Stabil Antara W1 dan W2

<i>Phase</i>	<i>Winding 1</i>		<i>Winding 2</i>		<i>CT 1</i>	<i>CT 2</i>	<i>Led</i>	<i>Trip Time</i>
	<i>Injected (I1)</i>	<i>Angle</i>	<i>Injected (I2)</i>	<i>Angle</i>	<i>Ratio</i>	<i>Ratio</i>		
<i>R-N</i>	<i>0.260 A</i>	<i>0</i>	<i>0,260 A</i>	<i>0</i>	<i>1000/1</i>	<i>1000/1</i>	<i>Trip</i>	<i>33 ms</i>

Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

$$\text{Angel W1} = 0^\circ$$

$$\text{Angel W2} = 0^\circ$$

$$\text{Trip Time} = 33 \text{ ms}$$

Sudut antara W1 dan W2 adalah 0° , karena tidak ada perbedaan sudut antara keduanya maka kondisi ini disebut tidak stabil. Oleh sebab kondisi ini maka rele akan bekerja dengan mengirimkan sinyal kepada PMT untuk trip yaitu dengan waktu 33 ms.

*Stable Condition***Tabel 4.11 Kondisi Stabil Antara W1 dan W2**

<i>Phase</i>	<i>Winding 1</i>		<i>Winding 2</i>		<i>CT 1</i>	<i>CT 2</i>	<i>Led</i>	<i>Trip Time</i>
	<i>Injected (I1)</i>	<i>Angle</i>	<i>Injected (I2)</i>	<i>Angle</i>	<i>Ratio</i>	<i>Ratio</i>		
<i>R-N</i>	<i>0,260 A</i>	<i>0</i>	<i>0,260 A</i>	<i>180</i>	<i>1000/1</i>	<i>1000 /1</i>	<i>No Trip</i>	<i>-</i>

Sumber : Data Survey Lapangan, 2020

$$\text{Angel W1} = 0^\circ$$

$$\text{Angel W2} = 180^\circ$$

$$\text{Trip Time} = \text{No Trip}$$

Sudut antara W1 dan W2 adalah 180° ,karena ada perbedaan sudut antara keduanya, maka kondisi ini disebut stabil. Oleh karena itu, *relay* tidak akan bekerja,dan tidak ada pengaruh ke PMT.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rangkaian yang dipasang pada ngr adalah rangkaian seri dengan komponen yaitu dua CT dan satu resistor. CT1 pada ngr yang mempunyai rasio 300/1A digunakan untuk proteksi sbef dan sedangkan CT2 yang mempunyai rasio 1000/1A digunakan untuk proteksi gfr.
2. Selain proteksi yang ada pada ngr Proteksi REF-LV di transformator digunakan untuk meningkatkan kehandalan sistem proteksi transformator yaitu pada sisi sekundernya.
3. Pada tabel 4.10 dan table 4.11 pada bab 4 hasil dari pengujian stabilitas antara W1 dan W2 hal ini diperlukan untk memastikan kestabilan sudutnya antara W1 dan W2.
4. Dengan persamaan $R = \frac{Ef}{I} \Omega$, maka didapat hasil resistansi ngr sebesar 40 Ω dan dengan pengukuran diperoleh hasil sebesar 40,3 Ω .
5. Untuk trafo daya yang berkapasitas 30 MVA dengan tegangan 150/20kV maka diperlukan ngr yang memiliki resistansi sebesar 40 ohm.

5.2 Saran

Sebelum mengalirkan tegangan pada transformator daya sebaiknya melakukan pengecekan pada rangkaian ct yang digunakan pada transformator tersebut. Tujuannya adalah untuk memastikan rangkaian sekunder ctnya sudah benar beserta dengan polaritasnya dan ketika pada proses mengalirkan listrik tidak terjadi masalah, apabila polaritasnya terbalik maka akan terjadi ketidakstabilan sudut antara W1 dan W2. Hal yang terjadi apabila terjadi ketidakstabilan sudut maka *relay* akan mendeteksinya sehingga *relay* akan *trigger* atau mengirimkan perintah ke PMT untuk membuka/*trip*. Solusinya adalah dengan membalik salah satu polaritasnya yaitu pada kabel sekunder ct baik di W1 maupun di W2. Setelah semuanya sudah dipastikan dengan benar dan sudah melakukan pengujian stabilitas proses *energize*/mengalirkan listrik pada transformator daya akan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 300, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Darma, Anjana, dkk. (2017). Studi Pengaruh NGR 40 Ohm Pada Uprating 2303-1360 Vol 7, No.2.
- Dedi Mirza, Salahuddin, dkk. (2018). Analisa Pengaruh *Neutral Grounding Resistance* 40 Ohm Pada Transformator Daya 30 MVA Gardu Induk Bireuen Terhadap Arus Gangguan 1 Fasa Ke Tanah: Jurnal Teknik Elektro ISSN
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu (Vol. 2, No. 1, pp. 190-195).
- IEC 60255 (2009), *Standard Characteristic Relay Ocr/Gfr*.
- Kadir, Abdul. (2011). Transformator. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Fasa Ke Tanah: Jurnal Teknik Elektro. ISSN 1693-2951 Vol 16, No.2.
- PUIL 2000. (2000). Jenis-Jenis Penanaman Elektroda Batang No. 3.18.2.1
- PUIL 2000. (2000). Jenis-Jenis Penanaman Elektroda Pita No. 3.18.2.1
- PUIL 2000. (2000). Jenis-Jenis Penanaman Elektroda Plat No. 3.18.2.1
- PUIL 2000. (2000). Resistansi Pentanahan No. 3.18.3.1, No. 3.13.2.10
- Pusdiklat.(2009). Analisa *Neutral Grounding Resistance* (NGR) Pada
- Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., & Utama Siahaan, A. P. Rusiadi.(2018). An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(7), 867-873.
- Rahmaniar, R. (2019). Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).

Suryono, (2013), Evaluasi Tahanan Pentanahan Kawat Netral pada Jaringan Tegangan Menengah Daerah Perbukitan dan Pantai di Area Pelayanan Jaringan Semarang. ISSN:2252-4908 Vol 2 No.1.

Transformator Daya Terhadap Gangguan Arus Lebih. Jakarta: PT. PLN (Persero) P3BS. Trnasformator 2 Gard Induk Gianyar Terhadap Gangguan Hubung Singkat 1

Yusniati. (2018). Analisa Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi *Neutral Grounding Resistance* Aplikasi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma: Jurnal Teknik Elektro. ISSN 2622-7002 Vol 1, No.1.