

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA *RELAY BUCHHOLZ* PADA MAIN TRANSFORMATOR 150KV GI GLUGUR PT.PLN PERSERO

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

Disusun Oleh:

AFIF HAFIZI
1707220055



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini di ajukan oleh :

Nama : Afif Hafizi

NPM : 1707220055

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA *RELAY* BUCHHOLZ PADA
MAIN TRANSFORMATOR 150 KV GARDU INDUK
GLUGUR PT.PLN(PERSERO)

Telah berhasil di pertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan 30 Maret 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen pembimbing

(Noorly Evdina, S.T, M.T)

Dosen Pembanding I / Penguji

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

Dosen Pembanding II / Penguji

(Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd)

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,

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



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Afif Hafizi
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 06 Oktober 1999
NPM : 1707220055
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“ANALISIS KINERJA RELAY BUCHHOLZ PADA MAIN TRANSFORMATOR 150KV GI GLUGUR PT.PLN (PERSERO)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik,

Medan, 30 Maret 2022

Saya Yang Menyatakan




Afif Hafizi

ABSTRAK

Pemanfaatan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari ini tidak terlepas dari berbagai macam gangguan, gangguan yang terjadi yaitu seperti pada proses pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, gardu distribusi bahkan bisa saja berpengaruh pada proses konsumsi listrik di masyarakat yang disebabkan oleh petir dan hubungan arus pendek listrik. Gangguan internal pada transformator daya dapat berupa gangguan kecil/awal (incipient fault) atau hubung singkat pada belitan yang berpotensi terjadi pemanasan setempat dan timbul tekanan kejut dalam minyak transformator, sehingga terbentuk sejumlah gas mudah terbakar yang teralirkan ke tangki konservator melalui pipa penghubung dan Relay Buchholz. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui kinerja Relay Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kv GI Glugur PT. PLN, faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi kinerja Relay Buchholz. Berdasarkan analisis arus hubung singkat yang terjadi pada transformator gardu induk glugur yaitu pada gangguan 1 fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan gangguan 3 fasa terbesar yaitu pada lokasi gangguan 1% yaitu sebesar 288,432 A pada gangguan 1 fasa ke tanah, 11402,50 A pada gangguan fasa ke fasa, dan 13196,57 A pada gangguan 3 fasa dan waktu kerja Relay berdasarkan setting waktu yang telah ditentukan tidak kurang <0,3 detik bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai sehingga kinerja sistem proteksi juga dikatakan baik karena Relay Buchholz saling berkaitan satu sama lain dalam hal kerjanya.

Kata Kunci : Relay Buchholz, Transformator, Arus Hubung Singkat,

Tranformator

ABSTRACT

The use of electrical energy in everyday life is inseparable from various kinds of disturbances, disturbances that occur, such as in the generation process, transmission lines, substations, distribution substations, and can even affect the electricity consumption process in society caused by lightning and current relationships. electric short. Internal faults in the power transformer can be in the form of an incipient fault or a short circuit in the windings which has the potential for local heating and shock pressure to occur in the transformer oil, resulting in the formation of a number of combustible gases which are flowed into the conservator tank through the connecting pipe and Buchholz relay. The purpose of the study was to determine the performance of the Buchholz Relay as a safety transformer for the 150 kv power transformer GI Glugur PT. PLN, what are the factors that affect the performance of the Buchholz Relay. Based on the analysis of the short circuit current that occurs in the glugur substation transformer, namely the 1 phase to ground fault, phase to phase, and the largest 3 phase fault, namely at the 1% fault location, which is 288.432 A in 1 phase to ground fault, 11402.50 A on phase-to-phase faults, and 13196.57 A for 3-phase faults and the working time of the relay based on a predetermined time setting of not less than <0.3 seconds that the calculation results with the time requirements are still in appropriate conditions so that the performance of the protection system is also said to be good. because Buchholz Relays are closely related to each other in terms of their performance.

Keywords : Buchholz Relay, Transformer, Short Circuit Current, Transformer

KATA PENGANTAR



Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih Maha Penyayang. Tidak ada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah atas izin-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“ANALISIS KINERJA RELAY BUCHHOLZ PADA MAIN TRANSFORMATOR 150KV GI GLUGUR PT.PLN (PERSERO)”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan beribu terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis : Bapak Khaidir dan Ibu Rumiati, yang tak hentinya mendo'akan dan memberikan dukungan serta nasehat setiap harinya.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T, M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Ibu Elvy Syahnur Nasution,S.T, Mpd, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Ibu Noorly Evalina, S.T, M.T.,selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh Bapak/ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat – sahabat peneliti: M.Ihsan Arippin, Laras Sendi Anisa, Kevin Fahrian,Muhammad Iqbal, Muhammad Rifa'i, Nurul Arrifin dan lainnya yang tidak mungkin saya sebut namanya satu persatu.
12. Teman teman KKN desa lama yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu
13. Sahabat saya Ida Syafitri Hasibuan SE,dan Zulaikha Fadillah Lubis S.kep yang telah mensupport

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, hal itu penulis sadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan skripsi ini. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi orang lain pada umumnya.

Medan, 20 Juni 2021

Penulis

Afif Hafizi
1707220055

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka <i>Relevan</i>	6
2.2 Landasan Teori	
2.2.1 Gardu Induk (GI).....	9
2.2.2 Fungsi Gardu Induk.....	9
2.3 Transformator Daya	9
2.4 Bagian Bagian Transformator.....	10
2.5 Transformator Arus	15
2.5.1 Ratio Transformator Arus	16
2.6 Dasar - dasar Sistem Proteksi	17
2.7 Prinsip Kerja <i>Relay</i> Proteksi	19
2.8 Poteksi Transformator	19
2.9 Gangguan Pada Transformator Daya	20
2.9.1 Gangguan Di Luar Daerah Pengaman.....	20
2.9.2 Gangguan Di Daerah Pengaman.....	20
2.10 <i>Relay</i> Buchholz.....	21

2.10.1 Fungsi <i>Relay</i> Buchholz	22
2.10.2 Konstruksi <i>Relay</i> Bucholz	22
2.10.3 Prinsip Kerja <i>Relay</i> Bucholz.....	24
2.11 Gangguan Hubung Singkat.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tabel Jadwal Penelitian	29
3.1.1 Tempat Penelitian.....	29
3.1.2 Waktu Penelitian	29
3.2 Metode Penelitian.....	30
3.3 Teknik Analisa Data.....	31
3.4 Bagan Alir Penelitian	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LEMBAR ASISTENSI	

DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1. Elektromagnetik Pada Trafo	10
Gambar.2.2. Inti besi transformator	11
Gambar.2.3. Kumparan transformator	11
Gambar.2.4. Bushing Transformator	12
Gambar.2.5. Konservator Oil Preservation And Expansion.....	13
Gambar.2.6. Silica gel.....	13
Gambar.2.7. Minyak Isolasi Transformator.....	14
Gambar.2.8. Neutral Grounding Resistor (NGR).....	15
Gambar.2.9. Transformator Arus	16
Gambar.2.10. <i>Relay</i> Buchholz.....	21
Gambar 2.11 Macam-macam <i>Relay</i> Buchholz	21
Gambar.2.12. Konstruksi <i>Relay</i> Buchholz.....	23
Gambar.2.13. Prinsip Kerja <i>Relay</i> Buchholz	24
Gambar.2.14. Posisi Awal Pelampung <i>Relay</i> Buchholz	24
Gambar.2.15. Gelembung-gelembung gas ini bergerak ke arah atas.....	25
Gambar.2.16. Pelampung bawah akan memberikan sinyal trip	25
Gambar.2.17. Minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke <i>Relay</i> Buchholz..	26
Gambar.2.18. Control Diagram <i>Relay</i> Buchholz	26
Gambar.3.1. Bagan Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 Single Line Diagram GI Glugur	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 karakteristik invers time	29
Tabel 2.2 Karakteristik Operasi Waktu <i>Relay</i> Invers	30
Tabel 4.1 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif.....	37
Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol.....	38
Tabel 4.3 titik gangguan 1 fasa ke tanah.....	41
Tabel 4.4 titik gangguan Singkat Fasa ke Fasa.....	43
Tabel 4.5 titik gangguan 3 Fasa.....	44
Tabel 4.6 titik gangguan pada tiap fasa.....	45

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dalam pemanfaatan tenaga listrik di zaman modern ini banyak mengalami perkembangan dalam bidang teknologi yang tentunya berpengaruh pada besarnya konsumsi listrik di masyarakat. Seiring dengan pesatnya permintaan energi listrik di Indonesia kehandalan sistem tenaga listrik menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakat, hal ini disebabkan karena semakin banyak aktivitas manusia yang memerlukan energi listrik, Pemanfaatan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari ini tidak terlepas dari berbagai macam gangguan, gangguan yang terjadi yaitu seperti pada proses pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, gardu distribusi bahkan bisa saja berpengaruh pada proses konsumsi listrik di masyarakat yang disebabkan oleh petir dan hubungan arus pendek listrik.

Gangguan-gangguan tersebut tidak dapat diprediksi waktu terjadinya, dalam hal ini peneliti lebih fokus terhadap gangguan yang terjadi pada gardu induk, dimana suatu sistem gardu induk memiliki alat pengaman yang dapat mendeteksi dan memproteksi sistem dari gangguan yang terjadi.(E. Tirana pp. 1–19.)

Gangguan internal pada transformator daya dapat berupa gangguan kecil/awal (*incipient fault*) atau hubung singkat pada belitan yang berpotensi terjadi pemanasan setempat dan timbul tekanan kejutan dalam minyak transformator, sehingga terbentuk sejumlah gas mudah terbakar yang teralirkan ke tangki konservator melalui pipa penghubung dan *Relay* Buchholz. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan akibat keberadaan hubung singkat yang dapat terdeteksi, karena sebagai penyebab keberadaan arus dan/atau tegangan tidak normal (abnormal) atau beban tidak seimbang. (Dokumen PT PLN (Persero), Nomor: PDM/PGI/07:2014)

Dalam ilmu kelistrikan (*electrical*), *Relay* Buchholz mempunyai peranan penting dalam proses pengaman atau proteksi pada suatu sistem kelistrikan. *Relay* Buchholz adalah alat yang paling penting dari semua alat penghilang/peredam dari gangguan tenaga. *Relay* Buchholz mempunyai kemampuan keamanan yang

biasanya digunakan dalam transformator serapan minyak besar. Ini adalah semacam estafet keamanan yang diaktifkan minyak dan gas. Tujuan estafet Buchholz adalah untuk memberikan perlindungan kepada transformator dari kesalahan yang berbeda yang terjadi di transformator seperti sirkuit pendek, interturn, inti, baru jadi, dll. *Relay* ini akan merasakan kesalahan ini dan menutup sirkuit alarm.

Berdasarkan latar belakang dan referensi penelitian yang telah disebutkan di atas, maka penulis mengusung judul tugas akhir “ANALISIS KINERJA *RELAY* BUCHHOLZ PADA MAIN TRANSFORMATOR 150 KV GI GLUGUR PT. PLN (PERSERO)”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Bagaimanakah kinerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kv di GI Glugur PT. PLN ?
2. Bagaimanakah prinsip kerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kv di GI Glugur PT. PLN?
3. faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi kinerja *Relay* Buchholz?

1.3 Tujuan Penulisan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat disimpulkan beberapa tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kinerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kv GI Glugur PT. PLN
2. Untuk. mengetahui prinsip kerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kv GI Glugur PT. PLN
3. Untuk menganalisa faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kinerja *Relay* Buchholz

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam hal ruang lingkup penelitian, dapat dilihat sebagai berikut :

1. Mengetahui kinerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman pada transformator daya 150 kv GI Glugur PT. PLN
2. Mengetahui prinsip kerja *Relay* Buchholz sebagai pengaman transformator daya 150 kv GI Glugur PT. PLN
3. Menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Relay* Buchholz

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja *Relay* Buchholz sebagai *Relay* proteksi pada transformator daya
2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Relay* Buchholz
3. Menjadi referensi penelitian bagi mahasiswa lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memahami lebih jelas penelitian ini, maka materi-materi yang tertera pada skripsi ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penyampaian sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan defenisi yang diambil dari kutipan buku yang berkaitan dengan penyusunan skripsi serta beberapa literatur review yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan bagaimana kajian dilakukan, bagaimana mencari fakta, teknik-teknik pengujian kebenaran.

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan laporan rinci pelaksanaan kegiatan dalam mencapai hasil-hasil penelitian, serta menjelaskan analisa sistem yang diusulkan dengan menggunakan *flowchart* dari sistem yang diimplementasikan, serta pembahasan secara detail elisitasi yang ada di bab sebelumnya, dijabarkan satu persatu.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisikan laporan rinci pelaksanaan kegiatan dalam mencapai hasil-hasil penelitian, serta menjelaskan analisa sistem yang diusulkan dengan menggunakan *flowchart* dari sistem yang diimplementasikan, serta pembahasan secara detail yang ada di bab sebelumnya, dijabarkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka *Relayvan*

Kualitas sistem tenaga listrik diukur dengan kontinuitas layanan, kontrol yang baik dan pemeliharaan, kontinuitas layanan yang baik dapat diperoleh jika semua komponen sistem tenaga dapat beroperasi dengan baik di setiap situasi dan kondisi, baik dalam kondisi normal maupun dalam kondisi tidak normal. Dalam kondisi tidak normal, sistem perlindungan memiliki peran penting dalam mendeteksi setiap gangguan dan melepaskan bagian-bagian yang terganggu dari sistem itu, transformator daya adalah komponen utama dalam gardu induk, gangguan dalam transformator harus diisolasi agar tidak mengganggu sistem selama distribusi daya listrik ke beban lainnya.

Secara umum, definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi, energi listrik dibangkitkan dari pembangkit, yang kemudian dinaikkan tegangannya dan dialirkan melalui sistem transmisi untuk kemudian sampai di tangan masyarakat dan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa sistem transmisi memegang peranan penting untuk dapat menyalurkan energi listrik ke konsumen, proses penyaluran energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan yang mengakibatkan kerugian, baik dari pihak penyuplai maupun konsumen, gangguan tersebut bisa berasal dari sisi internal maupun eksternal, gangguan dari sisi internal bisa terjadi karena kegagalan dari peralatan itu sendiri dan beberapa gangguan eksternal bisa disebabkan oleh petir, pohon tumbang dan badai (Pangestu, 2019).

Energi listrik sangat penting perannya dalam kehidupan manusia, pertumbuhan yang pesat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Oleh karena itu PLN sebagai penyedia energi listrik semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan tersebut, salah satu langkah yang dilakukan yaitu dengan merencanakan membangun gardu induk 150 kv, dengan adanya rencana pembangunan tersebut, perlu juga dilakukan perencanaan pembangunan penyaluran energi listrik melalui saluran transmisi 150 kv, sebelum pembangunan

saluran transmisi diatas tentu saja harus memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi perancangan peralatan tegangan tinggi yang nantinya digunakan dalam proses penyaluran energi listrik. (Lukmantoro, 2006).

Deteksi lokasi gangguan secara otomatis dapat meningkatkan keandalan sistem karena dapat mempercepat proses perbaikan atau pemulihan dan juga dapat meminimalisir kerugian materi yang dapat terjadi. Jika lokasi gangguan dicari secara manual akan membuat durasi waktu pemulihan semakin lama, khususnya untuk saluran distribusi bawah tanah yang sukar dilihat lokasi gangguannya dengan cara pengamatan. Semakin lama lokasi gangguan ditemukan, maka akan semakin lama proses pemulihan. Jadi semakin lama penemuan lokasi gangguan maka akan semakin besar kerugian yang diterima oleh perusahaan gangguan ini tidak dapat sepenuhnya dihindari karena sebagian dari gangguan ini juga terjadi karena alasan alami di luar kendali manusia. Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki sistem proteksi yang terkoordinasi dengan sangat baik untuk mengetahui posisi terjadinya gangguan dalam sistem tenaga listrik dan dapat diandalkan. (Ihsan, 2017).

Saluran transmisi adalah komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik, saluran transmisi merupakan penghubung antara pusat pembangkit dan beban, maka dari itu, saluran transmisi harus mampu menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinu pada setiap beban yang terhubung dengan sistem. Sebagian besar gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi pada saluran transmisi, salah satu gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik, oleh karena itu, dalam proteksi saluran transmisi deteksi gangguan dan klasifikasi gangguan adalah dua hal penting yang perlu ditangani dengan andal dan akurat. (Otong, 2017).

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal, jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu : tegangan lebih (*over voltage*), hubungan singkat, daya balik (*Reserve Power*), dan beban lebih (*over load*), salah

satu yang menyebabkan kondisi gangguan pada sistem tenaga listrik yang banyak terjadi ialah gangguan hubung singkat, dimana gangguan hubungan singkat ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu : gangguan simetris dan asimetris. (Sofyan, 2017).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gardu Induk (GI)

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi), penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik, gardu induk merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. (M. MP, 2015).

2.2.2 Fungsi Gardu Induk

Fungsi utama dari gardu induk yaitu untuk mentransformasikan daya listrik, yaitu antara lain:

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/70 kV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV), untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengaman dari sistem tenaga listrik, pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

2.3 Transformator Daya

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tegangan dan arus listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya pada frekuensi dan daya yang sama yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

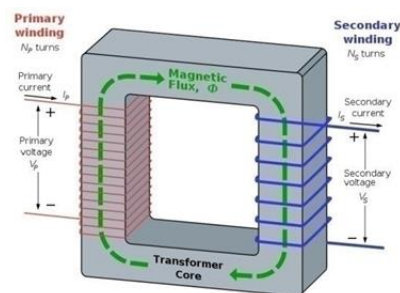
1. Transformator daya (Tenaga)
2. Transformator distribusi

3. Transformator pengukuran

Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran, kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dibutuhkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah, kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi, jika suatu kumparan disambungkan pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl).



Gambar 2.1 Elektromagnetik Pada Trafo

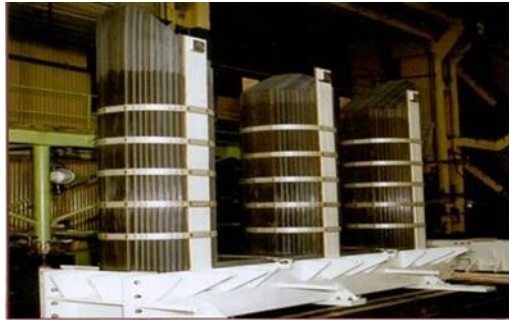
2.4 Bagian Bagian Transformator

Transformator mempunyai beberapa bagian yaitu :

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi dibuat dari lempengan

- lempengan besi tipis yang berisolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi – rugi besi) yang ditimbulkan. oleh *Eddy Current*,



Gambar 2.2. Inti besi transformator

2. Kumparan Transformator

Kumparan trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan, kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertina, dan lain – lain yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kumparan transformator

3. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar, bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank* transformator.



Gambar 2.4 Bushing Transformator

4. Pendingin

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan, suhu 17 operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo, oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan, minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin, pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator, adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

5. *Oil Preservation And Expansion* (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah, sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu



Gambar 2.5 *Konservator Oil Preservation And Expansion*

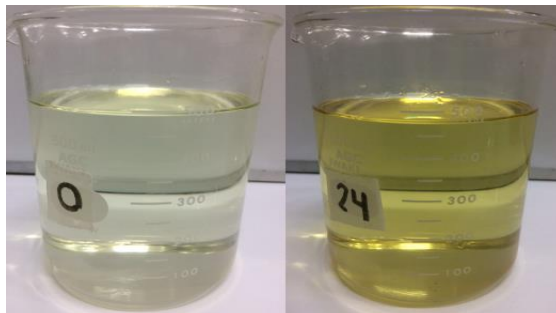
Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang, penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar, agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silica gel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan, untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *breather bag/ rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator.



Gambar 2.6 Silica gel

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

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatic. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2.7 Minyak Isolasi Transformator

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis.

7. *Neutral Grounding Resistor* (NGR)

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke ground / tanah, tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah, ada dua jenis NGR, Liquid dan Solid.

a. *Liquid*

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

b. Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari Stainless Steel, FeCrAl, Cast Iron, Copper Nickel atau Nichrome yang diatur sesuai nilai tahanannya.



Gambar 2.8 Neutral Grounding Resistor (NGR)

2.5 Transformator Arus

Trafo arus (CT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya mencapai ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi, di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, dibutuhkan juga untuk keperluan telemeter dan *Relay* proteksi, kumparan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau *Relay* proteksi, pada umumnya peralatan ukur dan *Relay* membutuhkan arus 1 atau 5 A



Gambar 2.9 Transformator Arus

CT dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

2.5.1 Ratio Transformator Arus

Transformator arus pada pengaman *Relay* diferensial dipasang pada sisi tegangan primer dan sisi tegangan sekunder transformator, oleh karena itu rasio transformasi harus dipilih sedemikian rupa sehingga besar arus sekunder pada kedua trafo arus sama atau paling tidak mendekati sama, sebab apabila terdapat perbedaan arus maka selisih arus ini akan semakin besar ketika berlangsung gangguan hubung singkat diluar daerah pengaman, untuk menentukan rasio trafo arus maka diperlukan untuk menghitung arus rating terlebih dahulu, karena arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan ratio.

2.6 Dasar - dasar Sistem Proteksi

Secara umum *Relay* proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen, *Relay* proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel.

Relay proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga, pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya

dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

Dari uraian di atas maka *Relay* proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk melaksanakan fungsi diatas maka *Relay* pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Dapat diandalkan (reliable)
- b. Selektif
- c. Waktu kerja *Relay* cepat
- d. Peka (sensitif)
- e. Ekonomis dan sederhana untuk mendapatkan penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara selektif dan cepat, sehingga adakalanya harus diadakan kompromi koordinasi, kita sadari pula bahwa sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis *Relay* yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja.

Sistem proteksi juga biasa disebut sebagai sistem pengaman, pengaman dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pengaman Utama Merupakan pengaman yang sangat berperan penting dalam menjaga instrumen yang akan dilindungi, dan dia merupakan sistem proteksi utama, maka cara kerja sistem pengaman utama harus

cepat sehingga apabila terjadi suatu gangguan dalam sistem, komponen yang mendapat gangguan cepat diputus dan tidak mengalami kerusakan secara luas.

2. Pengaman Cadangan Adalah pengaman yang di siapkan setelah pengaman utama, pengaman ini bekerja apabila terjadi kegagalan dalam sistem pengaman utama, pengaman cadangan juga dapat dibagi 6 menjadi 2 lagi yaitu:

1. *Local back up*

2. *Remote back up*

Sistem Proteksi pada suatu jaringan kelistrikan sangat berperan penting, terkhusus ketika terjadinya keadaan abnormal yang mendadak pada sistem jaringan, gangguan pada jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi di pembangkit, baik itu pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Saat gangguan itu terjadi, maka peran sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi gangguan tersebut dan menjadi pemutus bagian yang mendapat gangguan dengan secepat mungkin, *Relay* proteksi akan bekerja secara otomatis dengan memerintah atau memberikan sinyal kepada CB untuk memisahkan peralatan dari gangguan sebelum terjadi.

2.7 Prinsip Kerja *Relay* Proteksi

Relay dapat bekerja apabila mendapatkan sinyal-sinyal input yang melebihi dari setting *Relay* tersebut, besaran ukur yang dipakai untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, pemanasan, pembentukan gas, frekuensi, gelombang eksplosi dan sebagainya, *Relay* dikatakan kerja (operasi), apabila kontak-kontak dari *Relay* tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya. apabila *Relay* mendapat satu atau beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga pick-up tertentu, maka *Relay* kerja dengan menutup kontak-kontaknya, maka *Relay* akan tertutup sehingga tripping coil akan bekerja untuk memutuskan beban pada keadaan seperti ini sistem tenaga listrik akan terputus karena disebabkan oleh adanya gangguan.

2.8 Poteksi Transformator

Proteksi transformator umumnya menggunakan *Relay* Diferensial dan *Relay Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan *Relay* arus lebih (OCR) *Relay* gangguan ke tanah *Ground Fault Relay* (GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan. *Relay* pengaman transformator daya harus dapat mendeteksi adanya sumber gangguan yang berada di dalam maupun di luar transformator yang berada di daerah pengamannya, di samping itu adanya gangguan di luar daerah pengamannya bila *Relay* yang terkait tidak bekerja salah satu *Relay* pada transformator harus bekerja

2.9 Gangguan Pada Transformator Daya

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah pengamanan transformator tetapi juga adanya gangguan di luar daerah pengaman. Justru kerusakan transformator cenderung terjadi karena terlalu seringnya terjadi gangguan di luar daerah pengaman

2.9.1 Gangguan Di Luar Daerah Pengaman

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubungan singkat fasa ke tanah maupun gangguan antar fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator, sehingga transformator harus dilepaskan/ dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja.

Kondisi beban yang berlanjut dapat di deteksi dengan *Relay* thermal atau termometer yang memberi sinyal sehingga beban berkurang. Untuk kondisi gangguan di luar daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel gangguan, hubung singkat disalurkan keluarannya, maka *Relay* arus lebih dengan perlambatan waktu atau sering digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang

baik, untuk daerah berikutnya yang terkait. Pengaman utama ini di rancang sedemikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut.

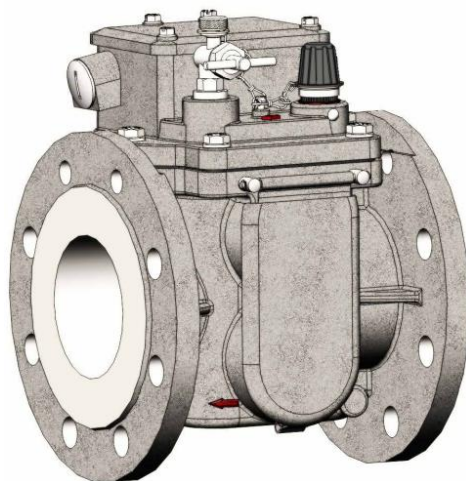
2.9.2 Gangguan Di Daerah Pengaman

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengaman di dalam daerah pengamannya. Gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadinya kebakaran. Gangguan di dalam dapat terjadi karena diakibatkan :

1. Gangguan satu fasa atau antar fasa pada sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah di terminal luar.
2. Hubungan singkat antar lilitan di sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah.
3. Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antar belitan di lilitan tersier.

2.10 Relay Buchholz

Relay Buchholz pertama kali diimplementasikan pada tahun 1921 oleh "*Max Buchholz*. *Relay* ini adalah perangkat keamanan yang digunakan di bidang seperti transmisi daya, serta distribusi.



Gambar 2.10 *Relay Buchholz*

Relay Buchholz pada dasarnya adalah *Relay* pendeteksi gas. *Relay* ini ditempatkan pada transformator, yang dilengkapi dengan tangki konservator. Sebagian besar kondisi kegagalan / gangguan pada transformator terkait dengan "pembakaran gas" yang dideteksi oleh *Relay* Buchholz kemudian akan memberikan indikasi awal melalui alarm dan selanjutnya kontak perjalanan untuk melindungi transformator dari kegagalan.

Ketika kegagalan terjadi di dalam peralatan tersebut, yaitu pada isolasi minyak, panas yang diproduksi oleh aliran listrik, sehingga membuat kualitas minyak menurun dan sebagai hasilnya muncul gelembung gas. *Relay* Buchholz adalah perangkat keamanan utama transformator terletak dibagian atas antara main tank dan konservator, menggunakan alarm atau pemutus sirkuit dengan mendeteksi gas yang dihasilkan atau tekanan internal peledak.

Relay ini bekerja pada gas dan minyak yang dioperasikan transformator (rated > 500 kVA). Timbulnya gas dapat diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

1. Hubung singkat antar lilitan pada atau dalam fasa
2. Hubung singkat antar fasa
3. Hubung singkat antar fasa ke tanah
4. Busur api listrik antar laminasi
5. Busur api listrik karena kontak yang kurang baik

Relay Buchholz akan mendeteksi :

1. Gas yang akan dihasilkan dalam transformator
2. Lonjakan surja minyak dari tangki ke konservator
3. Hilangnya minyak dari konservator (level minyak sangat rendah)
4. Gangguan yang terjadi pada trafo akan menghasilkan gas seperti karbon monoksida, hidrogen, dan berbagai macam gas hidrokarbon
5. Diantara tangki dan trafo dipasangkan *Relay* Buchholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak.



2.11 (a)

2.11(b)

2.11(c)

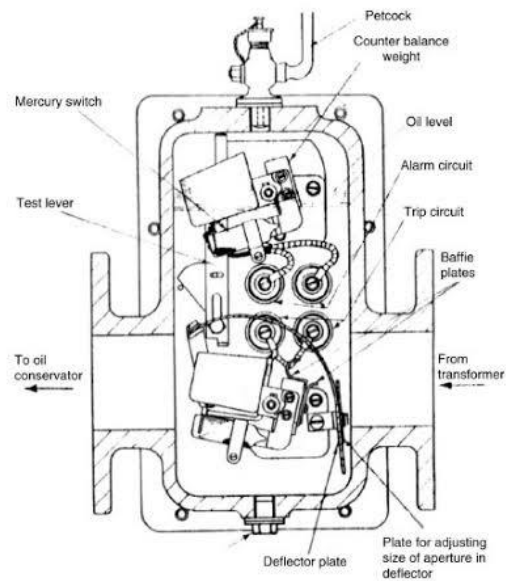
Buchholz type BS 25**Buchholz type BS 40****Buchholz type BS 80**Gambar 2.11 Macam-macam *Relay* Buchholz

2.10.1 Fungsi Utama *Relay* Buchholz

1. Memberikan sinyal alarm atau melepaskan pemutus tenaga (circuit breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan lebih, kenaikan suhu, hubung singkat dan lain-lain.
2. Melepaskan atau mentripkan peralatan yang tidak normal atau terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
3. Melokalisir kemungkinan dampak atau akibat gangguan dengan peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistem guna menjaga stabilitas sistem.

2.10.2 Konstruksi *Relay* Buchholz

Relay Buchholz terdiri dari dua elemen, yaitu elemen atas, dan elemen bawah. Di mana elemen atas termasuk jenis saklar merkuri terkait dengan pelampung. Demikian pula, elemen yang lebih rendah terdiri dari saklar merkuri meningkat pada flap jenis berengsel yang terletak di garis lurus aliran minyak. Di sini, aliran minyak dari transformator ke konservator yang ada di dalam kontak dengan float lainnya.

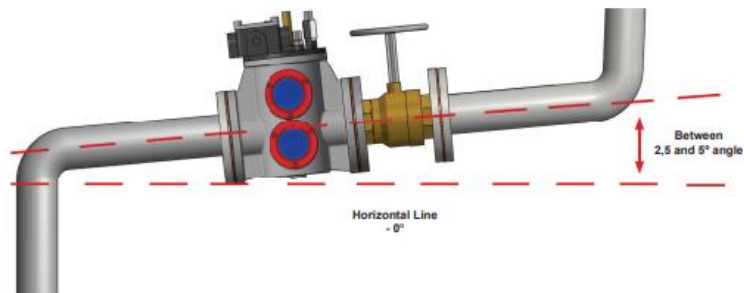


Gambar 2.12 Konstruksi *Relay* Buchholz

Relay Buchholz akan mendeteksi :

1. Gas yang akan dihasilkan dalam transformator
2. Lonjakan surja minyak dari tangki ke konservator
3. Hilangnya minyak dari konservator (level minyak sangat rendah)
4. Gangguan yang terjadi pada trafo akan menghasilkan gas seperti karbon monoksida, hidrogen, dan berbagai macam gas hidrokarbon
5. Diantara tangki dan trafo dipasangkan *Relay* Buchholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak.

2.10.3 Prinsip Kerja *Relay* Bucholz

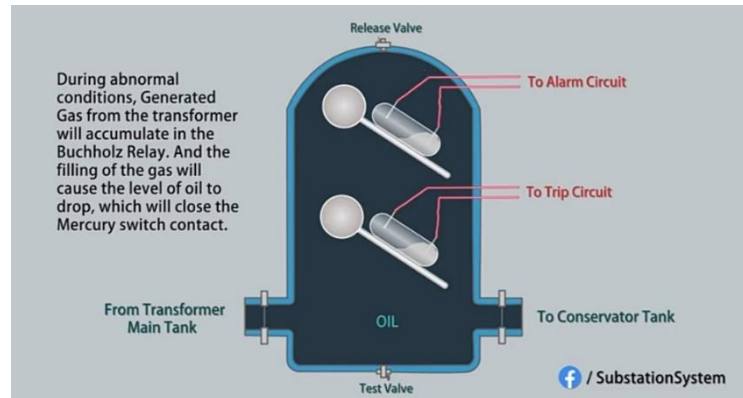


Gambar 2.13 Prinsip Kerja *Relay* Bucholz

Relay Buchholz dipasang di pipa antara transformator itu sendiri dan konservator pada sudut 2,5 hingga 5 derajat. Selama operasi transformator normal, *Relay* memungkinkan aliran oli antara konservator dan tangki utama dan diisi dengan minyak. Namun, kesalahan dalam transformator atau dari luar transformator akan menghasilkan gas yang dihasilkan di dalam transformator. Gas menjadi lebih ringan di kepadatan kemudian minyak, gas naik menuju konservator dan mengumpulkan di ruang atas *Relay*. Hasilnya adalah penurunan level oli di dalam *Relay*. Pelampung atas turun dan memicu sakelar alarm. Seharusnya tidak ada tindakan perbaikan yang efektif yang dilakukan setelah alarm, dan jika trafo terus mengeluarkan gas, penumpukan gas di dalam *Relay* Buchholz akan mengakibatkan trip.

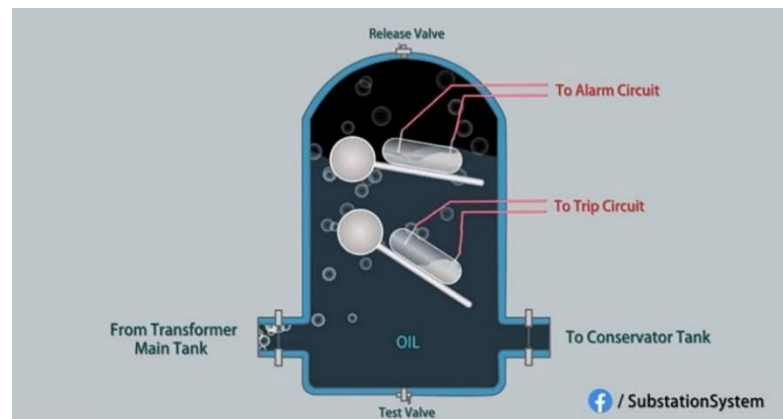
Relay dirancang untuk langsung trip pada lonjakan oli yang tiba-tiba. Kesalahan besar yang tiba-tiba, seperti korsleting, akan langsung meningkatkan suhu oli dan memaksa oli naik ke pipa melalui *Relay* dengan kecepatan tinggi. Lonjakan mendadak ini dideteksi oleh *Relay* Buchholz.

Relay bucholz dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung design trafonya apakah dikedua pipa tersebut dipasang *Relay* bucholz. *Relay* bucholz berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas. Selama transformator beroperasi normal, *Relay* akan terisi penuh dengan minyak. Pelampung akan berada pada posisi awal.



Gambar 2.14 Posisi Awal Pelampung *Relay* Buchholz

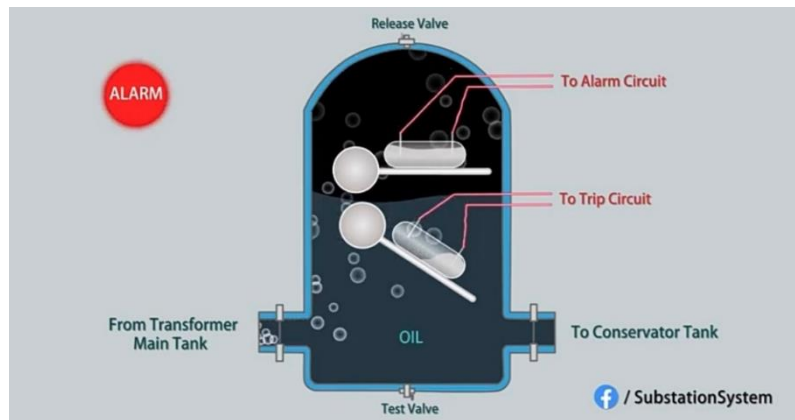
Bila terjadi gangguan yang kecil didalam tangki transformator, misalnya hubung singkat dalam kumparan, maka akan menimbulkan gas. Setiap kali kesalahan kecil terjadi dalam perangkat listrik, panas dibuat oleh arus gangguan. Panas yang dihasilkan menyebabkan dekomposisi minyak perangkat listrik dan gelembung gas dibuat.



Gambar 2.15 Gelembung-gelembung gas ini bergerak ke arah atas

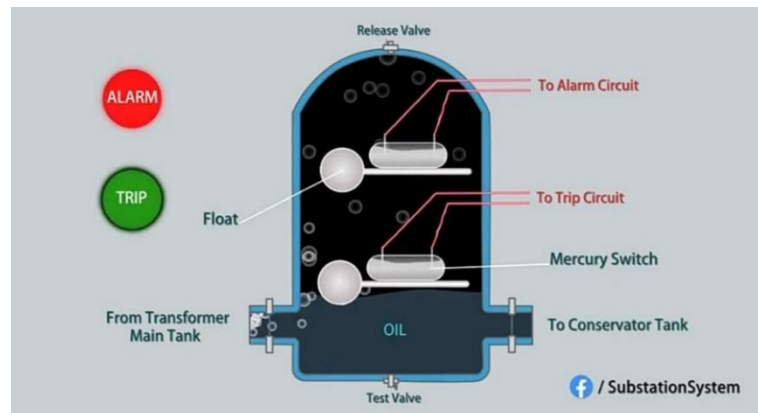
Gelembung-gelembung gas ini bergerak ke arah atas dan dikumpulkan dalam *Relay* Buchholz. Gas yang terbentuk akan berkumpul dalam *Relay* pada saat perjalanan menuju tangki konservator, oleh karena itu pemindahan serupa dengan jumlah gas yang dikumpulkan. Dislokasi minyak akan menyebabkan level minyak dalam *Relay* turun dan akan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas). Bila level minyak transformator turun secara perlahan-lahan

akibat dari suatu kebocoran, maka pelampung atas akan memberikan sinyal alarm dan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas).

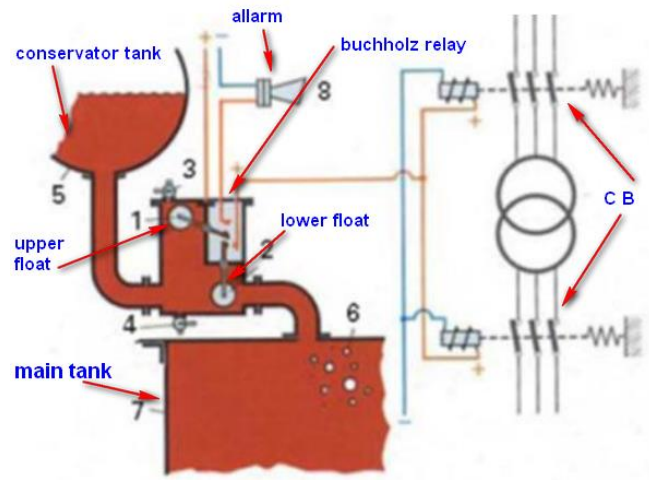


Gambar 2.16 pelampung bawah akan memberikan sinyal trip

Dan bila penurunan minyak tersebut terus berlanjut, maka pelampung bawah akan memberikan sinyal trip. Bila terjadi busur api yang besar, kerusakan minyak akan terjadi dengan cepat dan timbul surja tekanan pada minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke *Relay* Buchholz.



Gambar 2.17 minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke *Relay* Buchholz.



Gambar 2.18 Control Diagram *Relay* Buchholz

2.11 Gangguan Hubung Singkat

A . Penyebab Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat terjadi gangguan hubung singkat, yang mana nanti akan diperoleh besar nilai besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat ini dapat terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan lonjakan arus secara berlebihan atau sering disebut dengan gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangatlah penting untuk mempelajari dan mengetahui sistem tenaga listrik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nanti. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk setting dan koordinasi peralatan proteksi, menentukan kapasitas alat pemutus daya, menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang akan digunakan, dan menganalisa sistem jika ada hal yang tidak baik ketika sistem sedang beroperasi.

B. Impedansi

Dalam menghitung impedansi ada 3 macam impedansi urutan yaitu Impedansi urutan positif (Z_1), Impedansi urutan Negatif (Z_2), dan impedansi urutan nol (Z_0). Impedansi urutan positif (Z_1) yaitu impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan positif, Impedansi urutan negatif (Z_2) yaitu impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan negatif, dan Impedansi urutan nol (Z_0) adalah impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan nol.

C. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$X_S = \frac{\text{Tegangan sisi primer (kV}^2\text{)}}{\text{Daya Hubung Singkat Bus 150 kV (MVA)}} \dots\dots\dots(1)$$

$$X_S(\text{sisi } 20\text{kV}) = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}^2} \times x_S(\text{sisi } 150\text{kV}) \dots\dots\dots(2)$$

Ket : X_S = Impedansi Sumber (Ohm)

kV = Tegangan sisi primer transformator

MVA = Daya hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

D. Impedansi Transformator

Perhitungan impedansi pada transformator biasanya hanya diambil harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya yg relatif kecil. Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam Ohm dapat dihitung dengan menggunakan cara sebagai berikut. Pertama-tama mencari nilai ohmm pada 100% untuk transformator pada sisi 150 kV, yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$x_t (\text{pada } 100\%) = \frac{\text{Tegangan Transformator Daya 1 (sisi } 150\text{ kV})^2}{\text{Daya Transformator Daya 1 (MVA)}} \dots\dots(3)$$

Dimana : X_t = Impedansi Transformator (Ohm)

Kv = Tegangan sisi primer transformator (kV)

Mva = Daya Transformator Daya 1 (MVA)

Setelah itu mencari nilai reaktansi positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t \text{ (pada 100\%)} \dots\dots\dots(4)$$

Menghitung impedansi penyulang dengan menggunakan persamaan

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang } \times \text{ panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \quad (5)$$

$$Z_0 = \% \text{ panjang } \times \text{ panjang penyulang (km)} \times Z_0 \quad (6)$$

Menghitung arus gangguan hubung singkat (short circuit), untuk mencari gangguan satu fasa ke tanah dapat menggunakan persamaan

$$I_1 \text{ Fasa} = (3 \cdot V_{ph}) / (Z_{0eq} + Z_{1eq} + Z_{2eq}) \quad (7)$$

Dimana : I_1 fasa = Arus gangguan hubung singkat satu fasa (A)

V_{ph} = Tegangan fasa-fasa sistem 20kv

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol.

Untuk mencari gangguan hubung singkat dua fasa dapat menggunakan persamaan

$$I_2 \text{ fasa} = (V_{ph} - ph) / 2Z_{1eq} \quad (8)$$

Dimana : I_2 fasa = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)

V_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa sistem 20kv

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm).

Untuk mencari gangguan hubung singkat tiga fasa dapat menggunakan persamaan

$$I_3 \text{ fasa} = V_{ph} / Z_{1eq} \quad (9)$$

Dimana : I_3 fasa = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem 20kv

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm).

E. Setting *Relay* Arus Lebih

Penyetelan *Relay* arus lebih pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga harus terlebih dahulu dihitung nilai arus nominal transformator tenaganya. Arus setting untuk *Relay* arus lebih baik pada sisi primer maupun pada sisi sekundernya adalah :

$$I_{Set (premier)} = 1,05 \times I \text{ nominal Transformator} \quad (10)$$

Nilai tersebut adalah nilai premier. Untuk mendapatkan nilai set sekunder dapat di set pada *Relay* arus lebih maka harus di hitung melalui rasio transformator arus (CT) yang terpasang pada sisi skunder maupun primer pada suatu transformator.

$$I_{Set (sekunder)} = I_{Set Premier} \times \frac{1}{Ratio CT} \quad (11)$$

Karakteristik *invers time*

Berikut ini adalah daftar konstanta khusus untuk setiap kategori karakteristik *invers time* :

Tabel 2.1 karakteristik *invers time*

Nama Kurva	A	B
<i>Standart invers</i>	0,14	0,02
<i>Very invers</i>	13,5	1
<i>Extrimly invers</i>	80	2
<i>Long time invers</i>	120	1

F. Setting Waktu

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, kemudian digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Persamaan untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat *Relay*nya. Dalam hal ini persamaan yang digunakan diambil dengan *Relay* merk

Tabel 2.2 Karakteristik Operasi Waktu *Relay* Invers

Tipe <i>Relay</i>	Setelan Waktu (TMS)
<i>Standar Inverse</i>	$tms = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} - 0,02\right)^{-1}}$
<i>Very Inverse</i>	$tms = \frac{1,35 \times t}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} - 1\right)}$
<i>Extreemely Inverse</i>	$tms = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^2 - 1}$
<i>Long Time Inverse</i>	$tms = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} - 1\right)}$

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (Persero) UPT Medan GI Glugur 150 kV (GI Glugur) Jalan KL. Yos Sudarso Lor. 12 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan dilakukan dalam waktu 2 bulan terhitung dari tanggal terhitung dari tanggal 14 Juni 2021 sampai sekarang, dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian, penelitian ini diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), pengumpulan data koordinasi sistem proteksi pada transformator gardu induk.

3.2 Metodologi Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 14 Juni 2021 sampai sekarang bertempat di GI Glugur. Objek penelitian ini adalah hal-hal yang berkaitan dengan analisis kinerja *Relay* Buchholz pada transformator GI Glugur, pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang diambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal-jurnal, rekap pembukuan GI Glugur, melakukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik, pegawai PT PLN (PERSERO) bagian HAR (pemeliharaan proteksi), dan HAR transmisi yang bersangkutan sehingga data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif, untuk menyelesaikan tugas akhir maka dilakukan beberapa metode :

1. Study literatur

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

2. Pengumpulan data

Melakukan pengambilan data pada sistem proteksi GI Glugur.

3. Analisa Data

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

4. Kesimpulan

Membuat kesimpulan berupa hasil setting yang dibutuhkan pada sistem transmisi.

3.3 Teknik Analisa Data

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

1. Melakukan pengumpulan data

Data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini didapatkan di PT PLN (PERSERO) GI Glugur. Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (PERSERO) GI Glugur.

2. Pengolahan data

Data yang sudah didapat akan diolah untuk mendapatkan hasil koordinasi sistem proteksi transformator pada GI Glugur agar dapat bekerja sesuai dengan ketentuannya. Dalam pengolahan data akan mencari impedansi, impedansi sumber dan faktor-faktor mempengaruhi kinerja *Relay Buchholz*.

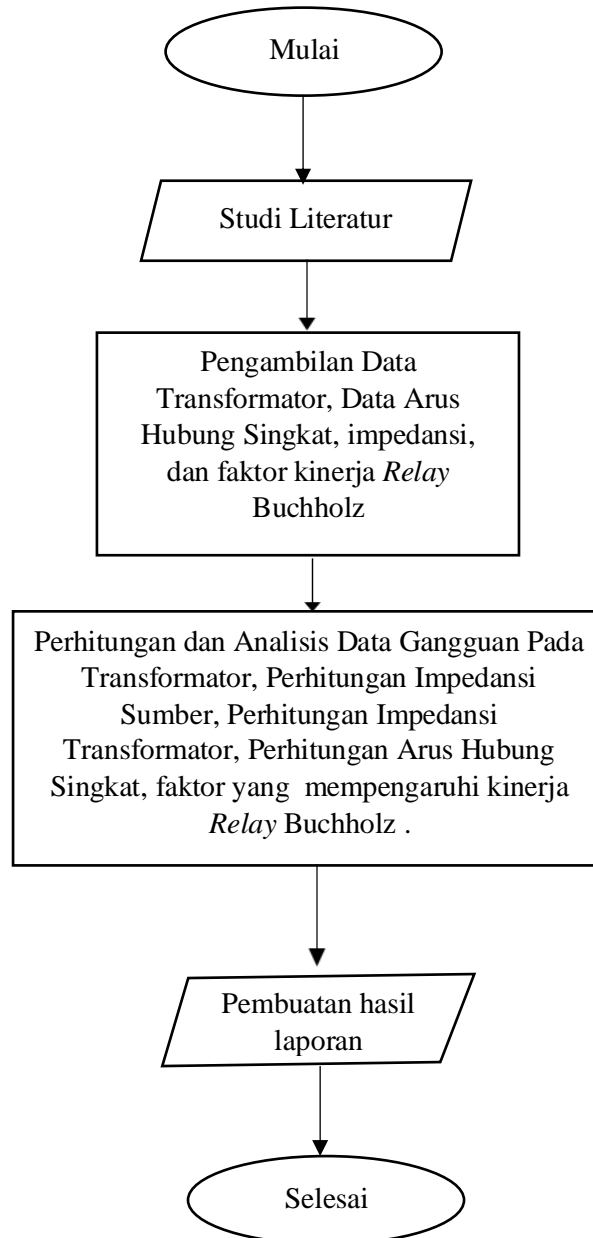
3. Analisa hasil perhitungan

Hasil dari pengolahan data akan di analisa untuk mendapatkan nilai yang tepat. Dalam hasil perhitungan akan dibandingkan dengan kondisi yang terdapat dilapangan.

4. Pembuatan laporan

Hasil dari keseluruhan akan dituliskan pada tugas akhir.

a. Bagan Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil pembahasan perhitungan gangguan hubung singkat, penyetingan *Relay* yang mana untuk sebagai pengamanan transformator daya, sebagai berikut :

Data Spesifikasi Transformator Daya 60 MVA No.1 Gardu

Induk Glugur :

- a. Merk : UNINDO
- b. Type : OIL IMMERSED
- c. No. Seri : P060LEC879
- d. Daya : 60 MVA
- e. Tegangan : 150/22 kV
- f. Hubungan Belitan : YNyn0+d
- g. Pendingin : ONAN/ONAF
- h. Impedansi Z% : 12,5%
- i. In Trafo : 1732 A
- j. Ratio CT : 800/5 A

Data *Relay* Arus Lebih GI Glugur :

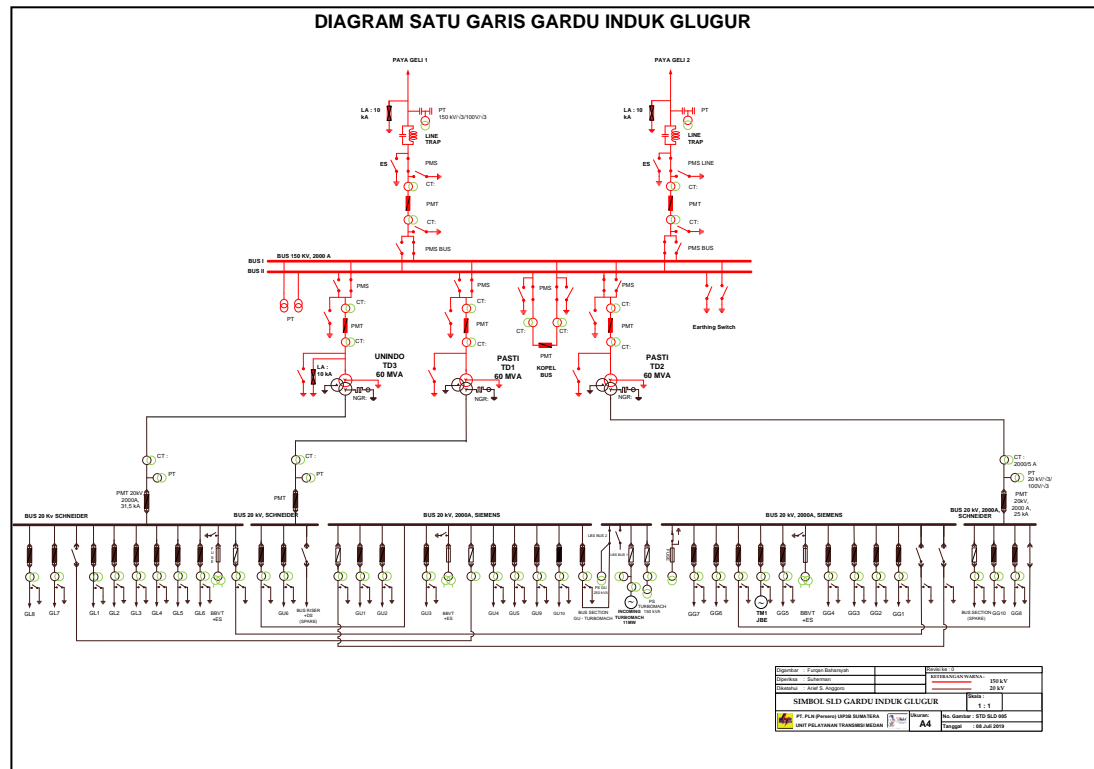
- a. Merk : SIEMENS
- b. Type : 7SR2203
- c. No. Seri : GF1604502837
- d. Karakteristik : Standar Inverse
- e. Ratio CT : 2000/5

Data *Relay* Buchholz GI Glugur

- a. Merk : COMEM
- b. Type : BS 40
- c. No. Seri : EN 50216-2
- d. Type oil : Diala B dan Diala C

4.2 Perhitungan dan Analisis Data

Dibawah ini adalah gambar Single Line Diagram GI Glugur yang digunakan sebagai untuk membantu proses perhitungan analisa data



Gambar 4.1 single line diagram GI Glugur

Dari diagram diatas analisis kinerja *Relay* Buchholz sebagai alat proteksi (pengaman) pada transformator GI Glugur dengan panjang penyulang 5,398 km, yang mana penyulang dari TD3 sampai ke trafo distribusi GL1, dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu hubung singkat antar lilitan pada atau dalam fasa, hubung singkat antar fasa , hubung singkat antar fasa ke tanah, hubung singkat tiga fasa, busur api listrik antar laminasi, dan busur api listrik karena kontak yang kurang baik, maka di perlukan sistem pengamanan yang baik pada transformator agar gangguan yang terjadi tidak merambat ke sistem jaringan yang lain.

Transformator merupakan peralatan yang paling utama gardu induk, kerusakan transformator menyebabkan ganggguan penyaluran tenaga listrik sehingga harus mendapatkan pengamanan yang optimal, setingan yang tepat

merupakan suatu upaya dalam mencegah dan mengamankan sistem transformator daya

4.2.1 Arus Gangguan Hubung Singkat

Data yang di peroleh dari Data gangguan hubung singkat di bus sisi 150 kV GI Glugur yang diperoleh adalah sebesar 10673,42 MVA. Berdasarkan penelitian (MEIDY RIZALDO, B. H. E. R. L. I. A. N., Pramono, T. J., & Satya Dini, H. ,2020). Perhitungan gangguan hubung singkat berdasarkan panjang penyulang, dengan mengasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, dan 100% dari panjang penyulang.

A. Impedansi Sumber

Besarnya nilai impedansi sumbernya (X_s) adalah :

$$X_s(\text{sisi } 150\text{kv}) = \frac{kv^2}{MVA_{sc} (150kv)} = \frac{150^2}{10673,42} = j2,108\Omega$$

$$X_s(\text{sisi } 20\text{kv}) = \frac{kv^2}{MVA_{sc} (150kv)} = \frac{20^2}{10673,42} \times j2,108\Omega = j0,037\Omega$$

B. Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga saatu di GI Glugur adalah 12,50%, agar dapat mengetahui besar nilainya reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu di hitung terlebih dahulu besar nilai ohm pada keadaan 100% nya, Besarnya nilai ohm pada keadaan 100% yaitu :

$$X_t (100\%) = \frac{kV^2 \text{ sisi bus } 20 \text{ kV}}{MVA (\text{trafo})} = \frac{20^2 \text{ kv}}{60 \text{ MVA}} = 6,667\Omega$$

Setelah itu mencari nilai reaktansi positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) menggunakan persamaan 4 :

$$X_t = 12,5 \% \times 6,667\Omega = j0,833 \Omega$$

Reaktansi urutan nol (X_{t0}), karena trafo daya yang mensupply penyulang mempunyai hubungan belitan $YNyn0+d$ didalamnya, maka besarnya X_{t0} adalah 3x dari X_{t1} , maka :

$$X_{t0} = 3 \times (X_{t1}) = 3 \times j0,833 \Omega = j2,499 \Omega$$

4.2.2 Menghitung Impedansi Penyulang

Berdasarkan data yang didapat, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang hanya menggunakan satu jenis kabel, yaitu kabel XIPE 3x240 mm². Diketahui panjang penyulang = 5,398 Km, maka impedansi penyulang:

$$Z_1 = Z_2 = 5,398 \text{ km} \times (0,125 + j0,097) \Omega/\text{km}$$

$$= 0,674 + j0,523 \Omega$$

$$Z_0 = 5,398 \text{ km} \times (0,275 + j0,029) \Omega/\text{km}$$

$$= 1,484 + j0,256 \Omega$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka nilai impedansi penyulang dari lokasi titik gangguan dengan jarak 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang adalah :

1. Urutan positif dan negatif

Tabel 4.1 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif

Persentase Panjang Penyulang	Impedansi Penyulang
1%	$1\% \times (0,674 + j0,523) = 0,0067 + j0,0052 \Omega$
25%	$25\% \times (0,674 + j0,523) = 0,1685 + j0,1307 \Omega$

50%	$50\% \times (0,674 + j0,523) = 0,337 + j0,2615 \Omega$
75%	$75\% \times (0,674 + j0,523) = 0,5055 + j0,3922 \Omega$
100%	$100\% \times (0,674 + j0,523) = 0,674 + j0,523 \Omega$

2. Urutan Nol

Tabel 4.2 Impedansi Penyulang Urutan Nol

Persentase Panjang Penyulang	Impedansi Penyulang
1%	$1\% \times (1,484 + j0,256) = 0,0148 + j0,0025 \Omega$
25%	$25\% \times (1,484 + j0,256) = 0,371 + j0,064 \Omega$
50%	$50\% \times (1,484 + j0,256) = 0,742 + j0,128 \Omega$
75%	$75\% \times (1,484 + j0,256) = 1,113 + j0,192 \Omega$
100%	$100\% \times (1,484 + j0,256) = 1,484 + j0,256 \Omega$

4.2.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang

Setelah mendapatkan data impedansi penyulang, maka selanjutnya melakukan perhitungan impedansi ekuivalen penyulang, dimana persamaannya :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{is} (\text{sisi } 20\text{kV}) + Z_{iT} + Z_{1\text{penyulang}}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada jarak 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) yang didapat adalah :

$$\text{Pada Jarak } 1\% = j0,037 + j0,833 + 0,0067 + j0,0052 = 0,006 + j0,875 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak } 25\% = j0,037 + j0,833 + 0,1685 + j0,1307 = 0,168 + j1,000 \Omega$$

$$\text{Pada Jarak } 50\% = j0,037 + j0,833 + 0,337 + j0,2615 = 0,337 + j1,1315 \Omega$$

Pada Jarak 75% = $j0,037 + j0,833 + 0,5055 + j0,3922 = 0,505 + j1,262 \Omega$

Pada Jarak 100% = $j0,037 + j0,833 + 0,674 + j0,523 = 0,674 + j1,393 \Omega$

Untuk menghitung impedansi ekuivalen urutan nol, maka digunakan persamaan dibawah ini :

$$Z_{0eq} = Z_{0t} + 3R_N + Z_{0penyulang}$$

Pada Jarak 1% = $j2,499 + 3.40 + 0,0148 + j0,0025 = 120,014 + j2,501 \Omega$

Pada Jarak 25% = $j2,499 + 3.40 + 0,371 + j0,064 = 120,371 + j2,563 \Omega$

Pada Jarak 50% = $j2,499 + 3.40 + 0,742 + j0,128 = 120,742 + j2,627 \Omega$

Pada Jarak 75% = $j2,499 + 3.40 + 1,113 + j0,192 = 121,113 + j2,691 \Omega$

Pada Jarak 100% = $j2,499 + 3.40 + 1,484 + j0,256 = 121,484 + j2,755 \Omega$

4.2.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

4.2.5.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah karena adanya hubung singkat antar tiang kesalah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga karena gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi atau distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi, dll. Perhitungan gangguan hubung singkat ini dapat dihitung berdasarkan panjang penyulang, titik gangguan dihitung mulai dari 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang.

Untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana : $V = 3 \times$ Tegangan Fasa – Netral

$Z =$ Impedansi ($Z_1 + Z_2 + Z_0$) ekuivalen

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,006 + j0,875) + (0,006 + j0,875) + (120,014 + j2,501)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,012 + j1,75) + (120,014 + j2,501)} = \frac{34641,01}{120,026 + j4,251}$$

$$I = \frac{34641,01}{120,101 \angle 2,028} = 288,432 \angle 2,028 \text{ A}$$

b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,168 + j1,000) + (0,168 + j1,000) + (120,371 + j2,563)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,336 + j2) + (120,371 + j2,563)} = \frac{34641,01}{120,707 + j4,563}$$

$$I = \frac{34641,01}{120,793 \angle 2,165} = 286,779 \angle 2,165 \text{ A}$$

c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,337 + j1,131) + (0,337 + j1,131) + (120,742 + j2,627)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,674 + j2,262) + (120,742 + j2,627)} = \frac{34641,01}{121,416 + j4,889}$$

$$I = \frac{34641,01}{121,514 \angle 2,306} = 285,078 \angle 2,306 \text{ A}$$

d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,505 + j1,262) + (0,505 + j1,262) + (121,113 + j2,691)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1,01 + j2,524) + (121,113 + j2,691)} = \frac{34641,01}{122,123 + j5,215}$$

$$I = \frac{34641,01}{122,234 \angle 2,445} = 283,399 \angle 2,445 \text{ A}$$

e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{2000}{\sqrt{3}}}{(0,674 + j1,393) + (0,674 + j1,393) + (121,484 + j2,755)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(1,348 + j2,786) + (121,484 + j2,755)} = \frac{34641,01}{122,832 + j5,541}$$

$$I = \frac{34641,01}{122,957 \angle 2,583} = 281,732 \angle 2,583 \text{ A}$$

Tabel 4.3 titik gangguan 1 fasa ke tanah.

Jarak	Nilai Titik Gangguan hubung singkat
1 %	288,432 \angle 2,028 A
25%	286,779 \angle 2,165 A
50%	285,078 \angle 2,306 A
75%	283,399 \angle 2,445 A
100%	281,732 \angle 2,583 A

Berdasarkan hasil perhitungan diatas menjelaskan bahwa titik gangguan hubung singkat dengan jarak yang diasumsikan sepanjang 1% dengan nilai gangguan sebesar 288,432 \angle 2,028 A , jarak 25% dengan nilai gangguan sebesar 286,779 \angle 2,165 A, jarak 50% dengan nilai gangguan sebesar 285,078 \angle 2,306 A, jarak 75% dengan nilai gangguan sebesar 283,399 \angle 2,445 A, dan jarak 100% dengan nilai gangguan sebesar 281,732 \angle 2,583 A. Dapat dilihat pada tabel 4.3

Dari data diatas dapat dilihat bahwasanya arus hubung singkat satu fasa ke tanah di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya dan begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah seakin besar.

4.2.5.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Arus hubung singkat fasa ke fasa dapat disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada bagian transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari

rusaknya isolator pada bagian transmisi atau distribusi. Arus gangguan ini dapat dihitung menggunakan persamaan : $I = \frac{V}{Z}$

Hanya saja karena arus gangguannya fasa ke fasa, maka nilai V dan Z nya berubah, dimana :

V = Tegangan fasa ke fasa

Z = Impedansi (Z_1+Z_2) ekuivalen

Maka untuk perhitungan gangguan fasa ke fasa adalah sebagai berikut :

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% panjang penyulang :

$$I = \frac{20000}{(0,006 + j0,875) + (0,006 + j0,875)}$$

$$I = \frac{20000}{0,012 + j1,75} = \frac{20000}{1,754 \angle 86,077} = 11402,50 \angle 86,077 \text{ A}$$

- b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% panjang penyulang :

$$I = \frac{20000}{(0,168 + j1,000) + (0,168 + j1,000)}$$

$$I = \frac{20000}{0,336 + j2} = \frac{20000}{2,028 \angle 80,463} = 9861,93 \angle 80,463 \text{ A}$$

- c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% panjang penyulang :

$$I = \frac{20000}{(0,337 + j1,131) + (0,337 + j1,131)}$$

$$I = \frac{20000}{0,674 + j2,262} = \frac{20000}{2,36 \angle 73,408} = 8474,57 \angle 73,408 \text{ A}$$

- d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% panjang penyulang :

$$I = \frac{20000}{(0,505 + j1,262) + (0,505 + j1,262)}$$

$$I = \frac{20000}{1,01 + j2,524} = \frac{20000}{2,719 \angle 68,191} = 7355,64 \angle 68,191 \text{ A}$$

- e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% panjang penyulang :

$$I = \frac{20000}{(0,674 + j1,393) + (0,674 + j1,393)}$$

$$I = \frac{20000}{1,348 + j2,786} = \frac{20000}{3,095 \angle 64,18} = 6462,03 \angle 64,18 \text{ A}$$

Tabel 4.4 titik gangguan Singkat Fasa ke Fasa

Jarak	Titik gangguan hubung singkat
1%	11402,50 \angle 86,077 A
25%	9861,93 \angle 80,463 A
50%	8474,57 \angle 73,408 A
75%	7355,64 \angle 68,191 A
100%	6462,03 \angle 64,18 A

Berdasarkan hasil perhitungan bahwa titik gangguan hubung singkat dengan jarak yang diasumsikan sepanjang 1% dengan nilai gangguan sebesar 11402,50 \angle 86,077 A, jarak 25% dengan nilai gangguan sebesar 9861,93 \angle 80,463 A, jarak 50% dengan nilai gangguan sebesar 8474,57 \angle 73,408 A, jarak 75% dengan nilai gangguan sebesar 7355,64 \angle 68,191 A, dan jarak 100% dengan nilai gangguan sebesar 6462,03 \angle 64,18 A , dapat dilihat pada tabel 4.4

Dari data diatas dapat dilihat bahwasanya arus hubung singkat fasa ke fasa di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya dan begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah semakin besar.

4.2.5.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Untuk gangguan 3 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana : V = Tegangan fasa-netral

Z = Impedansi Z_1 ekuivalen

Maka, untuk perhitungan gangguan 3 fasa pada adalah sebagai berikut :

- a. Titik Gangguan Pada Jarak 1% panjang penyulang :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,006 + j0,875} = \frac{11547}{0,875 \angle 89,607} = 13196,57 \angle 89,607 \text{ A}$$

- b. Titik Gangguan Pada Jarak 25% panjang penyulang :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,168 + j1,000} = \frac{11547}{1,014 \angle 80,463} = 11387,57 \angle 80,463 \text{ A}$$

- c. Titik Gangguan Pada Jarak 50% panjang penyulang :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,337 + j1,131} = \frac{11547}{1,18 \angle 73,408} = 9785,59 \angle 73,408 \text{ A}$$

- d. Titik Gangguan Pada Jarak 75% panjang penyulang :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,505 + j1,262} = \frac{11547}{1,359 \angle 68,191} = 8496,68 \angle 68,191 \text{ A}$$

- e. Titik Gangguan Pada Jarak 100% panjang penyulang :

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,674 + j1,393} = \frac{11547}{1,547 \angle 64,18} = 7464,12 \angle 64,18 \text{ A}$$

Tabel 4.5 titik gangguan 3 Fasa

Jarak	Titik gangguan hubung singkat
1%	13196,57 \angle 89,607 A
25%	11387,57 \angle 80,463 A
50%	9785,59 \angle 73,408 A
75%	8496,68 \angle 68,191 A
100%	7464,12 \angle 64,18 A

Berdasarkan hasil perhitungan bahwa titik gangguan hubung singkat 3 fasa dengan jarak yang diasumsikan sepanjang 1% dengan nilai gangguan sebesar 13196,57 \angle 89,607 A, jarak 25% dengan nilai gangguan sebesar 11387,57 \angle 80,463 A, jarak 50% dengan nilai gangguan sebesar 9785,59 \angle 73,408 A, jarak 75% dengan nilai gangguan sebesar 8496,68 \angle 68,191 A, dan jarak 100% dengan nilai gangguan sebesar 7464,12 \angle 64,18 A, dapat dilihat pada tabel 4.5.

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat ini (1 fasa ke tanah, fasa-fasa, dan 3 fasa) maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan terhadap titik gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) seperti pada tabel.

Tabel 4.6 titik gangguan pada tiap fasa

Panjang Penyulang (%)	Jarak (Km)	Arus Hubung Singkat (A)		
		1 fasa ke tanah	Fasa-fasa	3 fasa
1%	0,05	288,432 \angle 2,028 A	11402,50 \angle 86,077 A	13196,57 \angle 89,607 A
25%	1,34	286,779 \angle 2,165 A	9861,93 \angle 80,463 A	11387,57 \angle 80,463 A
50%	2,69	285,078 \angle 2,306 A	8474,57 \angle 73,408 A	9785,59 \angle 73,408 A
75%	4,04	283,399 \angle 2,445 A	7355,64 \angle 68,191 A	8496,68 \angle 68,191 A
100%	5,398	281,732 \angle 2,583 A	6462,03 \angle 64,18 A	7464,12 \angle 64,18 A

Dari hasil perhitungan pada tiap titik gangguan bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguannya, semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil gangguan arus hubung singkatnya dan begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat semakin besar. Ini disebabkan karena semakin besar nilai impedansi ekuivalen (tahanan gangguan) maka nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, dan semakin dekat jarak titik lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin besar, ini disebabkan adanya konfigurasi belitan transformator tenaga yang mempengaruhi nilai tahanan gangguan.

4.3 Perhitungan setting *Relay*

A. Settingan *Relay* Arus Lebih 20 kv

1. Setelan Arus

Pada GI Glugur tipe *Relay* yang dipergunakan mempunyai karakteristik normal invers. Untuk karakteristik jenis *Relay* ini biasanya di setting sebesar 1,05-1,1 x I Max, dengan syarat waktu minimum tidak boleh lebih kecil dari 0,3 detik. Hal ini dilakukan agar *Relay* tidak sampai trip akibat arus dari transformator yang sudah tersambung pada jaringan distribusi.

Diketahui nilai arus beban : $I_{\text{nominal transformator}} = 286,40 \text{ A}$

$$\text{Ratio CT} = 800/5$$

Setting *Relay* *OCR Outgoing*

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1,1 \times I_{\text{nominal}} \\ &= 1,1 \times 286,40 \\ &= 315,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Nilai tersebut merupakan nilai yang digunakan untuk setting pada bagian sisi primer CT. Untuk mendapatkan nilai pada sisi sekunder digunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set(primer)}} \times 1/(\text{Ratio CT}) \\ &= 315,04 \times 1/(800/5) \\ &= 1,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Setting TMS (Time Multiple Setting)

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{3 \text{ fasa}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\ \text{TMS} &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{13196,57}{315,04} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,16 \text{ s} \end{aligned}$$

4.3.2 Setelan *Relay* Arus Lebih Gangguan Tanah 20 kv

1. Setelan arus

Untuk setelan arus *Relay* ini menggunakan panduan yaitu setelan arus gangguan tanah penyulang di setting 10% arus gangguan tanah terkecil pada penyulang, hal ini dimaksudkan untuk menampung tahanan busur.

$$I_{\text{set (primer)}} = 10\% \times (\text{gangguan di lokasi } 100\% \text{ panjang penyulang})$$

$$I_{\text{set (primer)}} = 0,1 \times 281,732 = 28,17 \text{ A}$$

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times 1/\text{ratio CT} = 28,17 \times 1/(800/5) = 0,17 \text{ A}$$

Setting TMS (Time Multiple Setting)

$$\text{TMS} = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_{\text{fasa}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$\text{TMS} = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{281,732}{28,17} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,10 \text{ s}$$

4.4 Pemeriksaan Waktu Kinerja *Relay*

Pemeriksaan waktu kerja *Relay* yang akan mempengaruhi kinerja *Relay Buchholz* ini ditujukan untuk mengetahui waktu kerja *Relay* terhadap besarnya arus gangguan di masing-masing titik gangguan yang telah diasumsikan sebelumnya, yaitu pada 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

4.4.1 Waktu Kerja *Relay* Untuk Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{13196,57}{315,04} \right)^{0,02} - 1} = 0,29 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{11387,57}{315,04} \right)^{0,02} - 1} = 0,30 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{9785,59}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,31 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{8496,68}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,32 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{7464,12}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,34 \text{ s}$$

4.4.2 Waktu Kerja *Relay* Untuk Gangguan Arus Hubung Singkat Fasa ke Fasa

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{11402,50}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,30 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{9861,93}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,31 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{8474,57}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,32 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{7355,64}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,34 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\left(\frac{I_f}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} = \frac{0,14 \times 0,16}{\left(\frac{6462,03}{315,04}\right)^{0,02} - 1} = 0,35 \text{ s}$$

4.4.3 Waktu Kerja *Relay* Untuk Gangguan Arus Hubung Singkat Fasa ke Tanah

a. Lokasi Gangguan 1% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02 - 1}} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{288,432}{28,17}\right)^{0,02 - 1}} = 0,293 \text{ s}$$

b. Lokasi Gangguan 25% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02 - 1}} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{286,779}{28,17}\right)^{0,02 - 1}} = 0,294 \text{ s}$$

c. Lokasi Gangguan 50% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02 - 1}} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{285,078}{28,17}\right)^{0,02 - 1}} = 0,295 \text{ s}$$

d. Lokasi Gangguan 75% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02 - 1}} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{283,399}{28,17}\right)^{0,02 - 1}} = 0,296 \text{ s}$$

e. Lokasi Gangguan 100% panjang penyulang

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02 - 1}} = \frac{0,14 \times 0,10}{\left(\frac{281,732}{28,17}\right)^{0,02 - 1}} = 0,297 \text{ s}$$

4.5 Analisa Waktu Kinerja *Relay*

Berdasarkan perbandingan syarat waktu minimum yang tidak boleh <0,3 detik dapat dianalisa bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai atau dengan kata lain perbedaan yang dimiliki tidak terlalu jauh sehingga dapat disimpulkan bahwa setting *Relay* arus yang dipasang bisa dikatakan baik karena hasil perhitungan untuk setting *Relay* harus disesuaikan dengan setting yang ada pada *Relay* yang digunakan sehingga hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan.

Dengan kondisi *setting Relay* yang baik maka kinerja *Relay Buchholz* juga dikatakan baik karena *Relay* arus lebih dan *Relay Buchholz* saling berkaitan satu

sama lain dalam hal kinerjanya, *Relay* arus lebih akan mengkoordinasikan kepada *Relay Buchholz* apabila gangguan yang terjadi telah melebihi batas setting *Relay* yang telah ditentukan maka *Relay* arus lebih akan mengkoordinasi kepada *Relay Buchholz* untuk meng-tripkan PMT atau *circuit breaker* untuk mengamankan transformator agar gangguan yang terjadi tidak mempengaruhi rangkaian yang lainnya.

Relay Buchholz dapat bekerja dikarenakan beberapa faktor yaitu pada saat terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat fasa ke fasa, hubung singkat fasa ke tanah, busur api listrik antar laminasi, dan busur api listrik karena kontak yang kurang baik yang sering terjadi gangguan, namun dalam penelitian ini pada transformator GI Glugur hanya terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat fasa ke tanah, dan hubung singkat 3 fasa maka prinsip kerja *Relay Buchholz* dalam memutuskan suatu rangkaian atau jaringan listrik yaitu dimulai dengan *Relay* yang akan bekerja mendeteksi gangguan dengan bantuan dari transformator arus, saat ada arus yang melebihi nilai dari arus nominal *Relay*, maka *Relay* akan mengkoordinasi kepada *Relay Buchholz* dan *Relay Buchholz* akan memerintahkan *circuit breaker* untuk memutuskan jaringan kelistrikannya.

Dari hasil analisis bahwasannya system proteksi pada transformator tidak dapat bekerja sendirian melainkan ada bantuan dari system proteksi yang lainnya yang bekerja secara *mechanical* dan *electrical*, maka dari itu dibutuhkan sistem proteksi utama dan sistem proteksi cadangan untuk mengamankan jaringan tenaga listrik pada GI Glugur.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis ada beberapa hal yang akan mempengaruhi kinerja *Relay Buchholz* yaitu besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi, besar atau kecilnya arus gangguan ini dipengaruhi oleh jarak terjadinya gangguan, hasil perhitungan menunjukkan waktu kerja *Relay* untuk gangguan hubung singkat 3 fasa 1%, 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang = 0,29 s, 0,30 s, 0,31 s, 0,32 s, 0,34 s. Untuk gangguan hubung singkat fasa ke fasa 1%, 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang = 0,30 s, 0,31 s, 0,32, 0,34 s, 0,35 s. Untuk gangguan hubung singkat fasa ke tanah 1%, 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang = 0,293 s, 0,294 s, 0,295 s, 0,296 s, 0,297 s. semakin jauh titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan yang terjadi dan begitu pula sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka semakin besar pula arus gangguan yang terjadi.
2. Prinsip kerja *Relay Buchholz* dalam memutuskan suatu rangkaian atau jaringan listrik yaitu dimulai dengan *Relay* yang akan bekerja mendeteksi arus gangguan dengan bantuan transformator arus, saat ada arus yang melebihi nilai dari arus nominal maka *Relay* akan bekerja yang kemudian memutuskan jaringan kelistrikannya.
3. Gangguan yang menyebabkan *Relay Buchholz* bekerja adalah gangguan internal pada transformator berupa incipient faults, electrical faults dan gangguan antar fasa. Ketiga gangguan ini bisa disebabkan dengan adanya gangguan eksternal dengan arus yang besar dan tidak segera diatasi. Bekerjanya *Relay Buchholz* dapat menyebabkan tripnya transformator terlebih apabila transformator mengalami kerusakan.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya akan lebih baik apabila perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, arus hubung singkat fasa ke fasa, dan arus hubung singkat fasa ke tanah menggunakan software agar perhitungan arus gangguan akan lebih akurat dan lebih efisien.

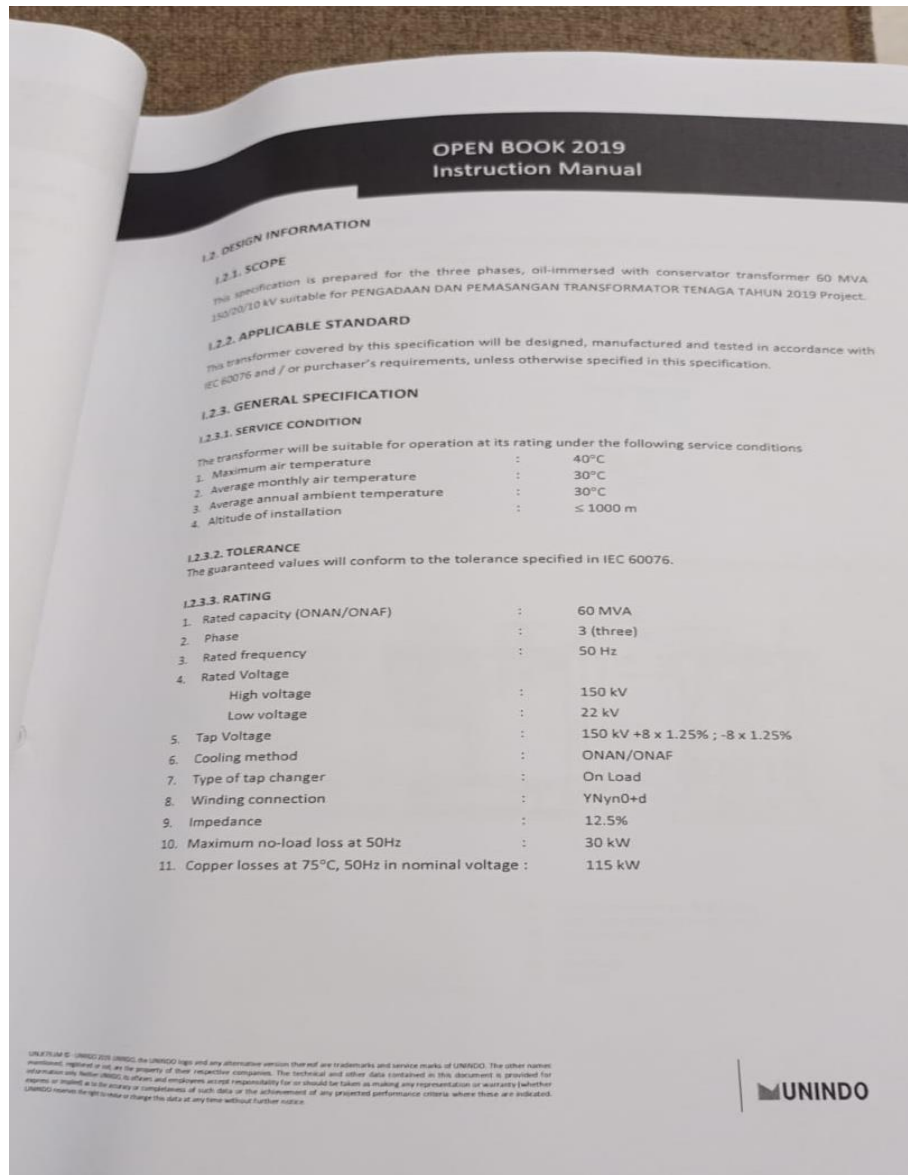
DAFTAR PUSTAKA


- Wahyu, P.(n.d). *Analisa Perubahan Setting Relay Jarak Akibat Penggantian Penghantar SUTT 150KV Klaten-Peda.*
- Tobing, Parulian Lumban (2019) *Studi Analisa Sistem Proteksi Trafo 150kv Daya 60 Mva Menggunakan Relay Diferensial Pada Gardu Induk Tebing Tinggi*, Undergraduate Thesis, Universitas Hkbp Nommensen
- E. Tirana, “Pemisah dan penghubung pada Gardu Induk Pemisah dan penghubung pada Gardu Induk,” pp. 1–19.
- M. A. A. PUTRA, “Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 kV Jeranjang,” 2017.
- N. L. M. J. Ardianto, Firdaus, “Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti,” *Anal. Kinerja Sist. Prot. Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- Goeritno,Arief (2019) *Kinerja Relay Buchholz Diukur melalui Pemberian Simulasi Fenomena Incipient Faultterhadap Oil Immersed Transformer Jurnal EECCIS Vol. 13, No. 1, April 2019, p-21*
- Goeritno, A., Rasiman, S., Nugraha, I., & Johan, A. (2018, June). SIMULASI FENOMENA GANGGUAN INTERNAL PADA TRANSFORMATOR DAYA UNTUK PENGUKURAN KINERJA RELAY DIFERENSIAL DAN BUCHHOLZ. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL ENERGI & TEKNOLOGI (SINERGI)* (pp. 57-72).
- Janah, R. U., & Umar, S. T. (2018). *Analisa Perhitungan Dan Pengaturan Relay Arus Lebih Dan Relay Gangguan Tanah Pada Trafo III 60MVA 150/20 kV Di Gardu Induk 150kV Palur* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Comem. INSTRUCTION MANUAL Electronic Buchholz Relay eBR: Italy
- PT PLN (PERSERO). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan – PROTEKSI DAN KONTROL TRANSFORMATOR*: Medan.

- AZIZAH, NURUL. *ANALISIS GANGGUAN RELAY BUCHHOLZ (96-2) PADA MAIN TRANSFORMER 11/150 KV 39 MVA UNIT 3 DI PLTA SUTAMI*. 2016. PhD Thesis. Universitas Gadjah Mada.
- Syahputra Ramadoni, Dr. (2017). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*, Yogyakarta : LP3M UMY.
- Pangestu, Adam. (2019). *Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran terhadap Setting Relay Jarak pada Saluran Transmisi 150 KV (GI Paya Pasir)*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- M. A. A. PUTRA, “Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 kV Jeranjang,” 2017.
- Evalina, N., Azis, A., & Zulfikar, Z. (2016). *ANALISIS KARAKTERISTIK PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA FEEDER DISTRIBUSI DIGI TITI KUNING*. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 2356-329X..
- Evalina, N. (2015). *EVALUASI KOORDINASI WAKTU KERJA RELAY OCR DAN GFR PADA FEEDER DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK*, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

LAMPIRAN

Lampiran 1- Data Book Transformator





TRANSFORMER No. P060LEC879 -

YEAR OF MANUFACTURE IEC 60076

TRANSFORMER TYPE 36 / 60 MVA

STANDARD 50 Hz

RATED POWER ONAN / ONAF 3

TYPE OF COOLING 50 K / 55 K / 68 K

No OF PHASES 3

Temp. RISE TOP OIL / WINDING / HOTSPOT 67 dB at 0.3 m / 71 dB at 2 m

Max. SOUND PRESSURE LEVEL ONAN / ONAF 30 °C / < 1000 m

AVERAGE AMBIENT / ALTITUDE 0.133 kPa / 135 kPa (absolute)

TANK, CONSERVATOR AND RADIATORS WITHSTANDING VACUUM AND PRESSURE 0.25 g

MAXIMUM SEISMIC DISTURBANCE UN-INHIBITED OIL, NYNAS LIBRA

TYPE OF OIL HV: 40KA / LV: 25 KA

SHORT CIRCUIT CURRENT CAP.(2 SEC) HV : AC 275 / LI 650

INSULATION LEVEL HVN : AC 38 / LI 95

LV : AC 50 / LI 125

TV : AC 28

TAP CHANGER		FAN
MANUFACTURE	ABB - SWEDEN	ZIEHL ABEGG - GERMANY
TYPE	VUCGRN 38K450C	FC100 ND / 7M AT DELTA
NUMBER	1	2 CONNECTION = 5 CONNECTION
VOLTAGE	3 Phase / 400 V	3 Phase / 400 V
RUNNING POWER	-	0.57 kW / TRM

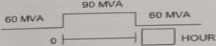
APPROXIMATE WEIGHTS

- WINDING 17800 kg
- UNTANKING 65000 kg
- TANK & FITTINGS 18500 kg
- OIL (20500 LITER) 18500 kg
- TOTAL 101500 kg

POSITION OF REVERSI-NG CHANGE OVER SELECTOR	TAP SELECTOR CONTACTS	POSITION OF CONTACT	HIGH VOLTAGE		LOW VOLTAGE		RATED POWER (MVA)
			DAPPING VOLTAGE (kV)	PERMITTED CURRENT (A)	RATED VOLTAGE (kV)	PERMITTED CURRENT (A)	
1	1	1	198.000	139.0	22.000	139.0	36 / 60
2	2	2	189.000	132.0	22.000	132.0	36 / 60
3	3	3	180.000	125.0	22.000	125.0	36 / 60
4	4	4	171.000	118.0	22.000	118.0	36 / 60
5	5	5	162.000	111.0	22.000	111.0	36 / 60
6	6	6	153.000	104.0	22.000	104.0	36 / 60
7	7	7	144.000	97.0	22.000	97.0	36 / 60
8	8	8	135.000	90.0	22.000	90.0	36 / 60
9	9	9	126.000	83.0	22.000	83.0	36 / 60
10	10	10	117.000	76.0	22.000	76.0	36 / 60
11	11	11	108.000	69.0	22.000	69.0	36 / 60
12	12	12	99.000	62.0	22.000	62.0	36 / 60

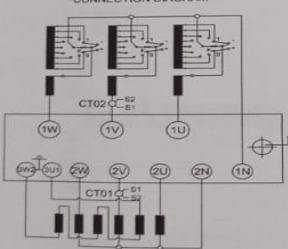
NOTICE: OVERLOAD CAPABILITY AT MAX. HOTSPOT TEMP. 120°C, AMBIENT 30°C

60 MVA



	HIGH VOLTAGE	LOW VOLTAGE	TERTIARY VOLTAGE
RATED POWER IN MVA (ONAN/ONAF)	36 / 60	22	10
RATED VOLTAGE IN kV	150	22	10
RATED CURRENT IN A (ONAN/ONAF)	138.8 / 230.8	844.8 / 1574.8	400.0-3 / 666.7-3
CONNECTION	STAR	STAR	DELTA
LINE IN	1U 1V 1W	2U 2V 2W	3U1 3W2
NEUTRAL IN	1N	2N	-

CONNECTION DIAGRAM



TRANSFORMER COMPLYING WITH STANDARD IEC 60076

IMPORTANT - EVERY YEAR TAKE AN OIL SAMPLE FOR DGA CHECKING AND DIELECTRIC TESTS

THIS TRANSFORMER CONTAINED NO DETECTABLE LEVELS OF PCB AT THE TIME OF MANUFACTURE

PT. UNINDO - JAKARTA - INDONESIA

Lampiran 2- Data Pentanahan

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah R_E	Tahanan Pentanahan					
		Kedalaman Electroda ke tanah (Meter)			Potongan Pentanahan (Meter)		
	MØ	3	6	10	5	10	20
Tanah lembab, seperti rawa	30	10	5	3	12	6	3
Tanah Pertanian, tanah liat	100	33	17	10	40	20	10
Tanah liat berpasir	150	50	25	15	60	30	15
Tanah lembab berpasir	300	66	33	20	80	40	20
Campuran 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Kerikil lembab	500	160	80	48	200	100	50
Tanah kering berpasir	1000	330	165	100	400	200	100
Kerikil kering	1000	330	165	100	400	200	100
Tanah berbatu	30 000	1000	500	300	1200	600	300
Batu karang	10^7	-	-	-	-	-	-

Lampiran 3- Data Kabel

Σ penghantar	Pengantar		Tahanan maks pada DC temp 20°C	Tahanan pada AC temp 90°C	saat operasi		Maks kapasitas arus temp 30°C		Arus hub singkat selama 1 detik	Teg nom . prcb n
	Luas pmpng	Cu /Al			Induktansi (L)	Kapasitansi (C)	dlm tanah	di udara		
	mm ²		Ohm/km	Ohm/km	mH/km	mF/km	Amp	Amp	kA	kV/5 min
3	35	Cu	0,5240	0,6680	0,520	0,131	164	173	5,01	30
		Al	0,8680	1,1130	0,520	0,131	127	139	3,29	30
3	50	Cu	0,3870	0,4940	0,497	0,143	194	206	7,15	30
		Al	0,6410	0,8220	0,497	0,143	148	161	4,70	30
3	70	Cu	0,2680	0,3420	0,467	0,162	236	257	10,01	30
		Al	0,4430	0,5680	0,467	0,162	179	204	6,58	30
3	95	Cu	0,1930	0,2470	0,445	0,180	283	313	13,59	30
		Al	0,3200	0,4110	0,445	0,180	214	242	8,93	30
		Cu	0,1530	0,1960	0,430	0,195	322	360	17,16	30

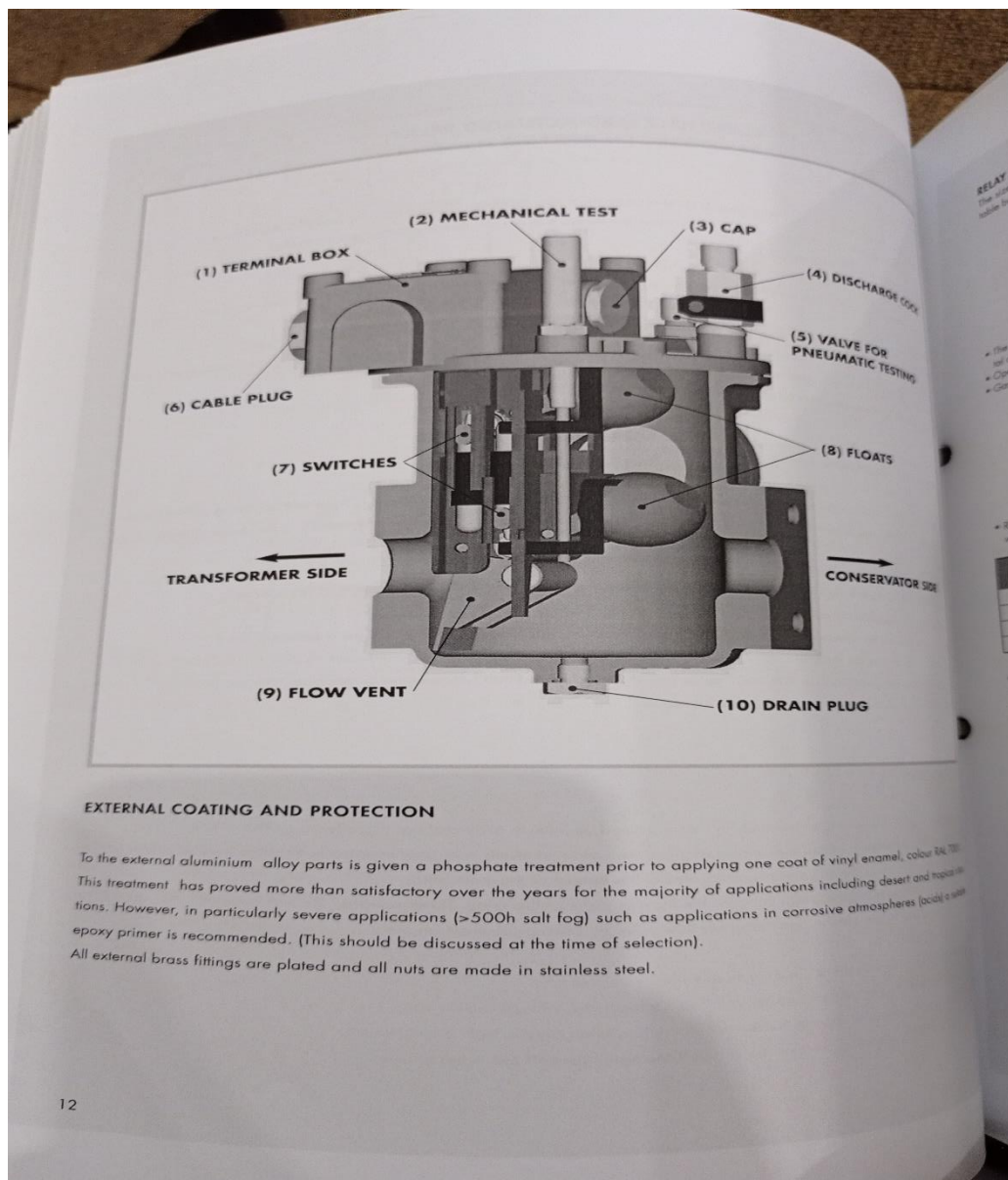
3	120	Al	0,2530	0,3250	0,430	0,195	246	292	11,28	30
3	150	Cu	0,1240	0,1590	0,414	0,213	362	410	21,45	30
		Al	0,2060	0,2650	0,414	0,213	264	313	14,10	30
3	185	Cu	0,0991	0,1280	0,404	0,227	409	469	26,46	30
		Al	0,1640	0,2110	0,404	0,227	308	365	17,39	30
3	240	Cu	0,0754	0,0980	0,382	0,263	474	553	34,32	30
		Al	0,1250	0,1620	0,382	0,273	358	425	22,56	30
3	300	Cu	0,0601	0,0790	0,376	0,276	533	629	42,90	30
		Al	0,1000	0,1300	0,376	0,276	398	481	28,20	30

A (mm ²)	R (Ω /km)	L (mH/km)	C (mf/km)	Impedansi urutan positif (Ω /km)	Impedansi urutan Nol (Ω /km)
150	0,206	0,33	0,26	$0,206 + j 0,104$	$0,356 + j 0,312$
240	0,125	0,31	0,31	$0,125 + j0,097$	$0,275 + j0,029$
300	0,100	0,30	0,34	$0,100 + j0,094$	$0,250 + j0,282$

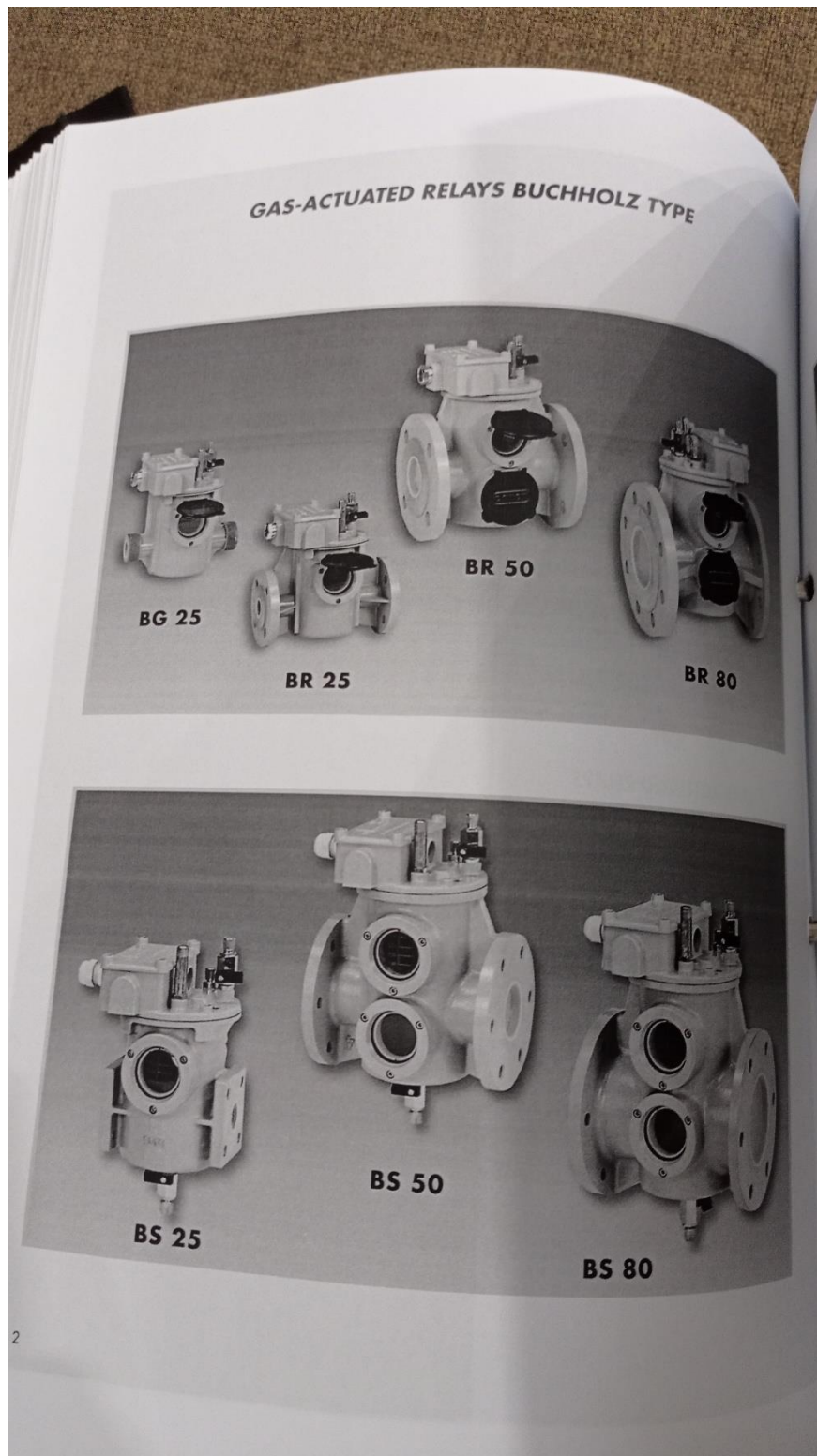
Lampiran 4- Setting OCR dan GFR



Lampiran 5- Relay Buchholz



Lampiran 6- Jenis *Relay Buchholz*



Lampiran 5- Gardu Induk Glugur



Lampiran 6- Surat Riset Data

		
UIP3B SUMATERA UPT MEDAN		
Nomor	: 1695/STH.01.04/C24060000/2021	02 November 2021
Lampiran	: 1 Lembar	
Sifat	: Segera	
Hal	: Izin Pengambilan Data/Riset	Kepada
		Yth. Dekan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik Jl. Mukhtar Basri No.3 Medan

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik Nomor 997/II.3-AU/UMSU-07/F/2021 tanggal 02 September 2021 perihal Permohonan Izin Pengambilan Data/Riset atas Nama :

No	Nama Mahasiswa	NPM	Jurusan
1	Afif Hafizi	1707220055	Fakultas Teknik

Bersama ini disampaikan konfirmasi bahwa untuk Izin Pengambilan Data/Riset tersebut dapat dilaksanakan di lingkungan kantor PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Glugur di mulai tanggal 03 November 2021 sampai dengan tanggal 14 November 2021, adapun dalam pelaksanaan Riset tersebut hal-hal yang perlu diperhatikan Mahasiswa sebagai berikut :

1. Mengisi Daftar hadir.
2. Menjaga Etika, sopan santun dan melaksanakan tata tertib di perusahaan PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan.
3. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menyediakan transportasi dan akomodasi.
4. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak memberikan honorarium dan konsumsi.
5. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menanggung biaya pemeliharaan kesehatan dan resiko kecelakaan.
6. Menunjukkan hasil Swab/PCR test atau Antigen yang masih berlaku sebelum memulai pelaksanaan Pengambilan Data/Riset ke MULTG dan Pejabat K3L setempat.
7. Mengikuti Protokol Kesehatan yang berlaku.
8. Peserta Riset tidak akan mengekspose data/informasi perusahaan kepada pihak lain.
9. Menyerahkan copy laporan hasil Penelitian setelah selesai dilaksanakan
10. Untuk laporan Pengambilan Data/Riset izin dan mekanisme dapat menghubungi Manager ULTG Glugur.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya terimakasih.

MANAGER UNIT PELAKSANA
TRANSMISI MEDAN,


ARDIANSYAH