

TUGAS AKHIR

ANALISA GANGGUAN ARUS LEBIH TERHADAP KONDISI NETRAL GROUNDING RESISTANCE APLIKASI PT.PLN (Persero) GARDU INDUK GLUGUR

*Diajukan Guna Memenuhi Syarat-Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)
Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

MUHAMMAD FAUZAN IMANSYAH
1307220015



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : M. Fauzan Imansyah

NPM : 1307220015

Tempat /Tgl Lahir : Medan, 04-Juli-1995

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisa Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi Netral Grounding Resistance Aplikasi PT PLN (Persero) Gardu Induk Glugur”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil.

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2017
Saya yang menyatakan

(Muhammad Fauzan Imansyah)

ABSTRAK

Salah satu kelemahan system pentanahan NGR adalah saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, arus gangguan tanah dapat membesar melebihi batas NGR yang dipergunakan. Hal ini dapat menyebabkan rusaknya NGR dan peralatan lainnya. Penelitian ini membahas tentang gangguan arus lebih pada NGR saat keadaan normal dengan panjang saluran kabel 28.215,244 feet dan pada tegangan 20 kV arus kapasitansi ketanah dengan perhitungan secara manual diperoleh $I_{co} = 1,167$ A dan apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah maka arus semakin besar $I_g = 4,61$ A. Dikarnakan waktu trif yang cukup lama (3menit) maka di GL-6 dipasang NGR 12Ω dengan rated time 10 Sec. untuk membuang arus gangguan.

Kata Kunci : Transformator, NGR, Pentanahan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT dengan segala karunia –Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan.

Tugas akhir ini merupakan tugas yang harus diselesaikan setiap mahasiswa tingkat akhir sebelum mengakhiri masa kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara (UMSU). Dalam tugas akhir ini penulis akan membahas tentang “ANALISA GANGGUAN ARUS LEBIH TERHADAP KONDISI NETRAL GROUDING RESISTANCE APLIKASI PT.PLN (persero) GARDU INDUK GLUGUR”. Adapun alasan penulis memilih judul ini karena betapa pentingnya pemeliharaan transformator daya dan dapat diklasifikasikan sebagai bagian yang termahal dan juga bagian yang lebih banyak mengalami gangguan. Hal ini harus diperhatikan karena sangat vitalnya sifatnya sehingga dengan penggunaan rele dapat menghindarkan transformator dari kerusakan atau meminimalkan kerusakan yang terjadi.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, yang senantiasa berdoa untuk keberhasilan penulis dan yang telah begitu banyak memberikan dukungan moril maupun spiritual kepada penulis dari kecil hingga saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, ST.,MSc, selaku Dekan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Medan.

3. Bapak Faisal Irsan P, S.T.,M.T, selaku ketua Jurusan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Medan.
4. Bapak Partaonan Harahap, S.T.,M.T, Selaku Sekertaris Jurusan Fakultas Teknik Elektro Medan.
5. Ibu Ir. Yusniati, M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberi bimbingan kepada penulis.
6. Bapak Faisal Irsan P, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberi bimbingan kepada penulis.
7. Bapak Ridwan selaku supervisor Gardu Induk Glugur.
8. Seluruh Operator Gardu Induk Glugur (Bapak Fahmi, Bapak Indra, Bapak Ricard) yang telah bersedia memberikan ilmu pengetahuannya kepada penulis.
9. Seluruh staff dan pegawai PT. PLN (Persero) Penyaluran dan pusat pengatur Beban Sumatra, Unit Pelayanan Transmisi, Tragi Glugur, Gardu Induk Glugur.
10. Kepada Yuli, Budi, Arief, Riski dan juga teman-teman Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang senantiasa memberi motivasi kepada penulis serta semua orang yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan kontribusi kepada penulis.

Semoga kiranya Allah SWT memberi balasan atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis dan sejalan perkembangan teknologi dibidang kelistrikan, kiranya tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca, khususnya penulis.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 10 September 2017

Penulis

M. Fauzan Imansyah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Sistem Distribusi	7
2.3 Macam Dan Penyebab Gangguan	8
2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	9
2.4.1 Sintesa Phasor Tak Simetris Dari Komponen – Komponen Simetrisnya	11
2.4.2 Gangguan Hubung Singkat satu fasa Ketanah	13

2.5 Sistem Proteksi	15
2.5.1 Komponen – Komponen Sistem Proteksi	15
2.6 Transformator Tenaga	16
2.6.1 Proteksi dan Kontrol Transformator	17
2.6.2 Gambaran Umum	17
2.6.3 Pola Proteksi Transformator	18
2.6.4 Pola Proteksi Transformator Tenaga TT/TM	19
2.6.5 Proteksi Pada Transformator	20
2.7 NGR (<i>Neutral Grounding Resistance</i>)	23
2.7.1 Pengertian NGR (<i>Neutral Grounding Resistance</i>)	23
2.7.2 Pembumian Melalui Tahanan	24
2.7.3 Arus Pemuatan Kapasitif Kabel	27
2.7.4 Jenis – jenis NGR (<i>Neutral Grounding resistance</i>)	30
2.8 Divais Pentanahan	31
2.8.1 Pentanahan Solid	31
2.8.2 Pentanahan Tahanan	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	34
3.2 Alat Penelitian	34
3.3 Variabel Penelitian	34
3.4 Jalannya Penelitian	35
3.5 Diagram Alir Jalannya Penelitian	36
3.6 Data NGR	37
3.7 Tehnik Analisa Data	38
3.7.1 Analisa Perhitungan Gangguan Arus Lebih Pada Fasa...	38

3.7.2 Analisa Perhitungan Gangguan Arus Lebih Pada Ground...	39
--	----

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi NGR	40
4.2 Pentanahan titik neutral melalui tahanan (<i>Resistance Grounding</i>)	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Distribusi	8
Gambar 2.2 Diagram Garis Tunggal Sederhana	10
Gambar 2.3 Rangkaian Pada Keadaan Gangguan	11
Gambar 2.4 Tiga Himpunan Phasor – phasor Seimbang yang merupakan Komponen Simetris Dari Tiga Phasor Yang Seimbang	13
Gambar 2.5 Gangguan Satu Fasa Ketanah	13
Gambar 2.6 Skema Proteksi	16
Gambar 2.7 Transformator Daya Gardu Induk Glugur	17
Gambar 2.8 Pola Proteksi Transformator	20
Gambar 2.9 Pentanahan Titik Netral Melalui Tanah	24
Gambar 2.10 (a) Pembumian Melalui Tanah Dan (b) Diagram Ekivalennya	25
Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Gangguan Satu Fasa Ke Tanah	27
Gambar 2.12 NGR Jenis Liquid	30
Gambar 2.13 NGR Jenis Solid Gardu Induk Glugur	31
Gambar 2.14 Pentanahan Padat Transformator Daya	31
Gambar 2.15 Hambatan (Resistance) Pentanahan	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1 Sistem Dalam Keadaan Normal	41
Gambar 4.2 Vektor Tegangan Dan Arus Dalam Keadaan Normal	42
Gambar 4.3 Sistem Dalam Keadaan Gangguan Pada Fasa T Ketanah	43
Gambar 4.4 (a) Vektor Tegangan Dan (b) Arus Pada Saat Terjadi Gangguan Pada Fasa T Ketanah	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Relai Proteksi Transformator Berdasarkan Level	
Tegangan Dan Kapasitas SPLN T5.003-1 tahun 2010	18
Tabel 2.2 Tabel Nilai SIC Dan Faktor Pengali Dan Bermacam-macam	
Nilai SIC	29
Tabel 3.1 Tabel Jalannya Penelitian Di Gardu Induk Glugur	35
Tabel 3.2 Tabel Data Trafo Daya Gardu Induk Glugur	37
Tabel 3.3 Tabel Data NGR Trafo Daya Merk HYOSUNG Gardu	
Induk Glugur	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan tenaga listrik yang cenderung terus meningkat setiap tahunnya, telah mendorong dilakukannya pengembangannya dan penambahan pusat-pusat pembangkit energi listrik, serta gardu induk yang berfungsi sebagai pusat pengiriman daya listrik ke berbagai daerah konsumen. Keandalan suatu system tenaga listrik ditentukan dengan baik tidaknya system proteksi disisi pembangkitan dan peralatan-peralatan pada gardu induk seperti transformator daya, busbar dan peralatan-peralatan proteksi seperti pemutus daya (PMT), Saklar Pemisah (DS), Transformator pengukuran (CT dan PT) dan lain-lain, serta kerja operator yang mengoperasikan dan mengawasi peralatan-peralatan tersebut.

Perkembangan pembangunan disegala bidang menuntut PLN agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Namun dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, sering terjadi gangguan pada jaringan. Gangguan hubung singkat sebagai salah satu gangguan dalam system tenaga listrik yang mempunyai karakteristik *transient* yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman. Terjadinya hubung singkat mengakibatkan timbulnya lonjakan arus dengan *magnitude* lebih tinggi dalam keadaan normal dan tegangan ditempat tersebut jadi sangat rendah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi, kerusakan mekanis pada konduktor, bunga api listrik dan keadaan terburuk yaitu kegagalan operasi system secara keseluruhan.

Pada system pentanahan titik netral bila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah arus gangguan yang timbul akan besar dan busur listrik tidak dapat lagi padam dengan sendirinya timbulnya gejala-gejala “busur listrik ketanah (*arcing ground*)” sangat berbahaya karena menimbulkan tegangan lebih *transient* yang dapat merusak peralatan. Apabila hal diatas dibiarkan, maka kontinuitas peyaluran tenaga listrik akan terhenti yang berarti dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar.

Pada system jaringan listrik juga sering terjadi arus lebih yang akan mengakibatkan system Gardu Induk terganggu. Berdasarkan jurnal Analisis setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah penyulang sadewa di GI cawing, sering sekali terjadi gangguan baik yang bersifat temporer maupun permanen diantaranya adalah gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan system proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan yang semuanya bergantung pada ketepatan setting peralatan proteksinya. Peralatan proteksi yang digunakan pada penyulang SADEWA adalah relai arus lebih (OCR) dan relai hubung tanah (GFR), yaitu relai yang berfungsi menginstruksikan PMT untuk membuka, sehingga relai yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikemukakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana Cara kerja *Neutral Grounding Resistance* (NGR) selama terjadi gangguan arus lebih.

2. Bagaimana kondisi nilai tahanan *neutral grounding resistance* selama terjadi gangguan arus lebih.

1.3 Tujuan Penulisan

1. Menganalisa gangguan arus lebih pada *Neutral Grounding Resistance* (NGR).
2. Menganalisa nilai tahanan yang hilang pada *Neutral Grounding Resistance* (NGR).

1.4 Batasan masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, penulis hanya membataskan masalah sebagai berikut :

1. *Neutral grounding resistance* di sisi skunder trafo 60 MVA, 20 kV di PT.PLN (Persero) Gardu Induk Glugur.
2. Dalam penelitian berdasarkan gangguan arus lebih disisi skunder pada trafo 60 MVA, 20 KV.
3. Saluran yang diteliti adalah jaringan distribusi yang hanya penyulang LM-1 pada PT.PLN (Persero) Gardu Induk Glugur.

1.5 Manfaat Penulisan.

A. Bagi Penulis

1. Dapat memahami system kerja *neutral grounding resistance* pada saat terjadi gangguan.
2. Dapat mengetahui tentang besar gangguan arus lebih pada *neutral grounding resistance* pada saat terjadi gangguan.
3. Dapat mengetahui nilai tahanan yang hilang pada *neutral grounding resistance* selama terjadi gangguan.

B. Bagi Perguruan Tinggi

1. Dapat menjadi bahan referensi serta informasi yang penting bagi mahasiswa selanjutnya yang mengambil judul analisa gangguan arus lebih terhadap kondisi *neutral grounding resistance*.

C. Bagi Perusahaan.

1. Dapat menjadi informasi penting bagi pihak PLN untuk dapat mengantisipasi kerugian tersebut.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan 3 macam metode yaitu :

1. Metode Literatur

Membaca teori – teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dari buku – buku referensi, jurnal, artikel-artikel, dan lain-lain.

2. Metode Bimbingan

Diskusi dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh ketua jurusan Teknik Elektro UMSU tentang penyusunan tugas akhir ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini dibagi menjadi 5 bab, sesuai dengan sistematika atau ketentuan dalam pembuatan tugas akhir, adapun pembagian bab tersebut adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan penjelasan teori – teori pendukung atau kajian secara umum dari berbagai literature yang memberikan penjelasan yang berkaitan erat dengan judul yang akan dibahas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, peralatan yang digunakan selama kegiatan penelitian, jalannya penelitian dan jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Disini mengenai hasil dan pembahasan berdasarkan judul dari dasar teori yang telah dibuat serta data hasil pengukuran langsung pada *neutral grounding resistance* di Gardu induk Glugur.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dalam penyusunan tugas akhir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Dalam penelitian ini penulis memaparkan dua peneliti terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti tentang analisa gangguan arus lebih dan neutral grounding resistance.

1. Irfan affandi (2009), dalam judul analisa setting rele arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang sadewa di Sicanang”. Memaparkan bahwa penyulang tegangan menengah adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumennya. Tetapi dalam kenyataannya penyulang tersebut sering mengalami gangguan, diantaranya adalah gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan system proteksi yang memenuhi persyaratan sensitivitas, keandalan, selektivitas dan kecepatan, yang semuanya bergantung pada ketetapan setting peralatan proteksinya. Peralatan proteksi yang biasa digunakan untuk penyulang tegangan menengah adalah rele arus lebih (OCR) dan rele hubung tanah (GFR) yaitu rele yang berfungsi menginstruksikan PMT untuk membuka, sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.
2. Aris widodo (2008), dalam judul study “Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Kelistrikan di PT Chandra Asri Cilegon, Jawa Barat”. Memaparkan bahwa : Kontinuitas dan keandalan merupakan factor yang sangat dibutuhkan dalam system kelistrikan industri.

Untuk meningkatkan keandalan system kelistrikan di PT.Chandra Asri, Cilegon, Jawa barat, maka sensitifitas peralatan pengamannya perlu ditingkatkan. Hal ini dilakukan dengan menganalisa ulang setting dan koordinasi rele pengaman arus lebih serta rele gangguan tanah dan menggambarkan kurva karakteristik koordinasinya. Dalam melakukan analisa setting rele pengaman perlu diperhatikan besar arus gangguan hubung singkat, kapasitas daya beban, arus beban penuhnya serta pentanahan system tersebut. Selain itu juga harus memperhatikan karakteristik serta pemasangan peralatan pengaman terpasang.

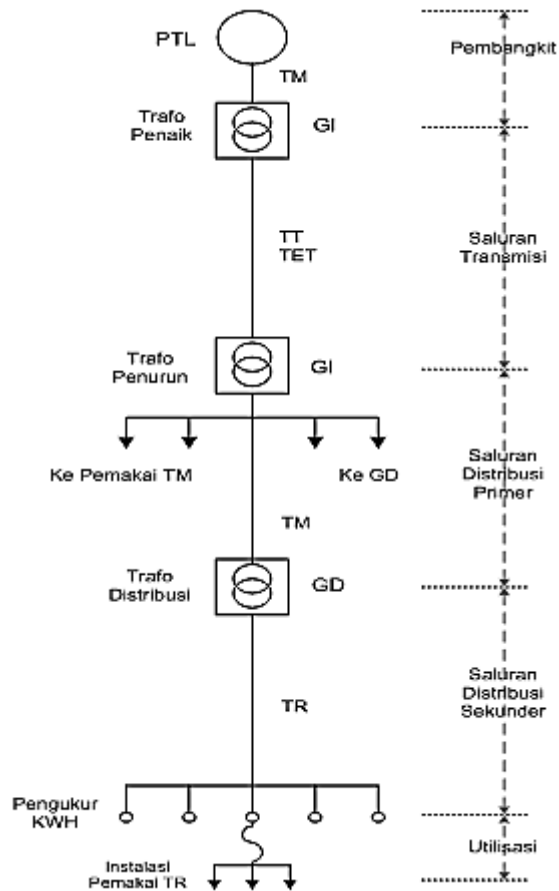
Dari analisa setting eksisting diketahui terdapat beberapa kesalahan pada setting rele arus lebih dan rele gangguan tanah sehingga perlu dilakukan *resetting rele*. Berdasarkan analisa resetting rele ini dapat dipastikan bahwa koordinasi rele pengaman arus lebih dan rele gangguan tanah pada system kelistrikan di PT. Chandra Asri, Cilegon telah sesuai dengan standart pengaman. Sehingga sensitivitas peralatan pengamannya meningkat dan keandalan system tetap terjaga.

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah merupakan bagian dari system tenaga listrik yang berada paling dekat dengan sisi beban / pelanggan.

Fungsi system distribusi adalah untuk menyalurkan dan mendistribusikan energy listrik dari pusat suplay, yang dalam hal ini berupa gardu induk atau pusat pembangkit ke pusat / kelompok beban (gardu distribusi) dan pelanggan melalui jaringan tenaga menengah (JTM) dan jaringan skunder tegangan rendah

(TR) dengan mutu yang handal. Secara sederhana system distribusi dapat dilihat pada gambar 2.1 ini :



Gambar 2.1 Sistem Distribusi

2.2 Macam Dan Penyebab gangguan

Macam gangguan pada SKTM yang ditanam dalam tanah sifatnya adalah permanen, dimana untuk menghilangkan gangguan diperlukan tindakan perbaikan dan menyingkirkan gangguan tersebut, dimana gangguan ini menyebabkan pemutusan. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam system antara lain :

1. Tegangan dan arus abnormal
2. Pemasangan yang kurang baik
3. Penuaan (usia)

1. Beban lebih
2. Kegagalan kerja peralatan pengaman

Macam gangguan pada system distribusi diatas tanah (saluran udara) dapat dibagi atas dua kelompok, yaitu :

1. Gangguan bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya, yaitu penutup balik (auto-recloser).
2. Gangguan bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan menyingkirkan gangguan tersebut.

2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada system tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada system tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu :

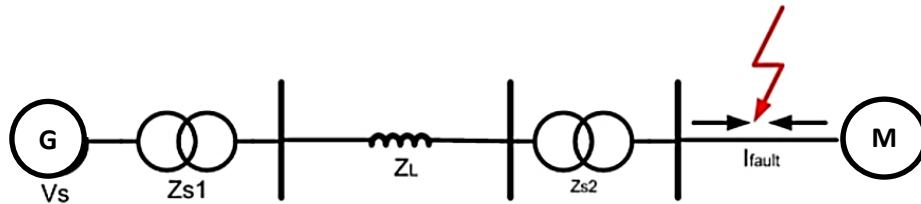
1. Gangguan simetris

Gangguan simetris merupakan gangguan dimana besar *magnitude* dari arus gangguan sama pada setiap fasa. Gangguan ini terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa. Perhitungan arus gangguan dari dihitung menggunakan persamaan, hanya saja ketika gangguan simetris terjadi, tidak terjadi busur dikarenakan konduktor tidak menyentuh tanah. Sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{fault} = \frac{V_{source}}{Z_s + Z_L} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- I_{fault} : Arus gangguan (A)
- V_{source} : Tegangan system (V)
- Z_s : Impedansi transformator (Ω)
- Z_L : Impedansi saluran system (Ω)



Gambar 2.2 Diagram garis tunggal sederhana

Pada gambar ini dapat dijelaskan bahwa pada generator masuk ketegangan trafo penaik tegangan (*step-up*) pada 380 V, masuk ke saluran system menuju ke trafo penurun tegangan (*step-down*) pada 220 V. Pada saat trafo penurun tegangan (*step-down*) ingin masuk ke konsumen disitu terjadi arus gangguan pada gangguan hubung singkat tiga fasa.

2. G
 angguan asimetris

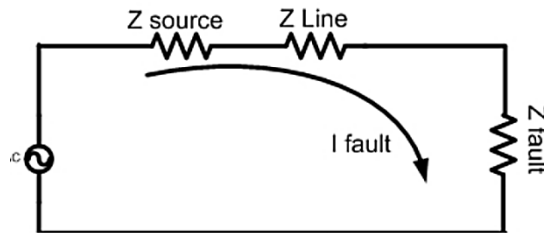
Secara umum besar arus gangguan dihitung menggunakan rumus :

$$I_{fault} = \frac{V_{source}}{Z_s + Z_L + Z_f} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- I_{fault} : Arus gangguan (A)
- V_{source} : Tegangan system (V)
- Z_s : Impedansi transformator (Ω)
- Z_L : Impedansi saluran system (Ω)
- Z_f : Impedansi gangguan misalnya : busur, tahanan tanah (Ω)

Titik dimana konduktor menyentuh tanah selama gangguan biasanya disertai dengan sebuah busur (*arc*). Busur ini bersifat resistif, namun resistansi busur besarnya sangat beragam. Resistansi gangguan besarnya tergantung resistansi busur serta tahanan tanah ketika terjadi gangguan ketanah dan gambar 2.3 merupakan rangkaian ekuivalen pada saat terjadi gangguan.



Gambar2.3 Rangkaian pada keadaan gangguan

2.4.1 Sintesa Phasor Tak Simetris dari Komponen-Komponen Simetrisnya

Menurut Fortescue suatu system yang tak seimbang terdiri dari n fasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi n buah system dengan fasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetris dari fasor aslinya. N buah fasor pada setiap fasor komponennya adalah sama panjang dan sudut diantara fasor yang bersebelahan dalam himpunan itu sama besarnya. Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari system tiga phasa dapat diuraikan menjadi tiga system fasor yang seimbang. Himpunan komponen seimbang itu adalah :

1. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, memiliki selisih sudut fasa sebesar 120° , namun memiliki urutan phasa yang berlawanan dengan fasor lainnya.
2. Komponen urutan negative yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, memiliki selisih sudut phasa sebesar 120° , namun memiliki urutan phasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.

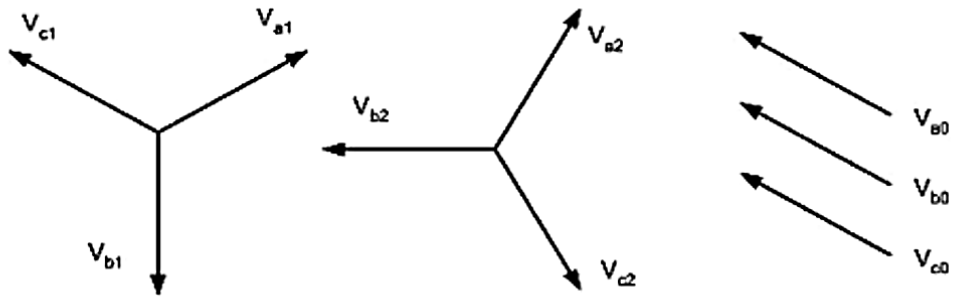
3. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan penggeseran fasa nol antar fasor yang satu dengan fasor yang lain.

Komponen simetris fasa dari system dinyatakan sebagai **a**, **b**, dan **c** sehingga urutan fasa tegangan dan arus dari system adalah **abc**. Sehingga urutan fasa komponen positif dari pasor tak seimbang adalah abc, sedangkan urutan fasa dari komponen negative adalah acb. Jika fasor aslinya adalah tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan **Va, Vb, dan Vc**. Ketiga himpunan komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan **1** untuk komponen urutan positif, angka **2** untuk komponen urutan negative, angka **0** untuk komponen urutan nol. Sebagai contoh komponen urutan positif dari fasor tegangan adalah **Va1, Va2, Va0**. Begitu pula dengan urutan negative dan urutan nol. Fasor tegangan dinyatakan dalam suku komponennya adalah sebagai berikut :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \dots \dots \dots (2.5)$$

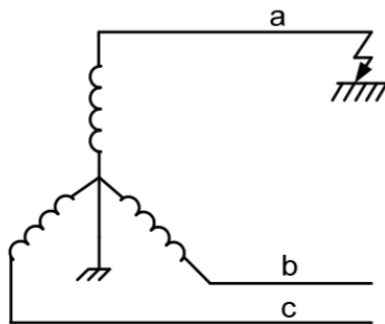


Komponen-komponen Urutan-positif Komponen-komponen urutan-negatif Komponen-komponen urutan-nol

Gambar 2.4 Tiga himpunan phasor-phasor seimbang yang merupakan komponen-komponen simetris dari tiga phasor – phasor tak seimbang.

2.4.2 Perhitungan gangguan hubung singkat satu fasa ketanah

Gangguan satu fasa ketanah terjadi ketika sebuah fasa dari system tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah. Gangguan satu fasa ketanah disebabkan antara lain petir atau koduktor yang membuat kontak dengan tanah.



Gambar 2.5 Gangguan satu fasa ke tanah

Persamaan ketika gangguan ini terjadi adalah :

$$V_a=0 \dots \dots \dots (2.6)$$

$$I_b=0 \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I_c=0 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I_{A0} = \frac{1}{3}(I_A + 0 + 0) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_{A1} = \frac{1}{3}(I_A + \alpha^2(0) + \alpha(0)) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_{A2} = \frac{1}{3}(I_A + \alpha(0) + \alpha^2(0)) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{1}{3}I_A \dots\dots\dots (2.12)$$

Pada fasa generator (fasa A misalnya) jika kita mengaplikasikan hukum kirchoff akan berlaku

$$V_{A1} = V_f - I_{A1}Z_1 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$V_{A2} = -I_{A2}Z_2 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$V_{A0} = -I_{A0}Z_0 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2} = -I_{A0}Z_0 + I_{A1} = E_{A1} - I_{A1}Z_1 - I_{A2}Z_2 = 0 \dots\dots (2.16)$$

Besar arus gangguan

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.17)$$

Rumus dasar yang digunakan adalah hukum ohm :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

I= arus gangguan hubung singkat

V= tegangan sumber

Z= impedansi dari sumber ketitik gangguan

2.5 Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan system pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada system tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi system tenaga listrik.

Kegunaan system proteksi antara lain :

1. Mencegah kerusakan peralatan–peralatan pada system tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi yang tidak normal.
2. Mengurangi kerusakan peralatan–peralatan pada system tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau operasi system yang tidak normal.
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada system yang lebih luas.
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

2.5.1 Komponen-komponen Sistem Proteksi

Sistem proteksi terdiri dari :

1. Transformator instrument (CT dan PT)

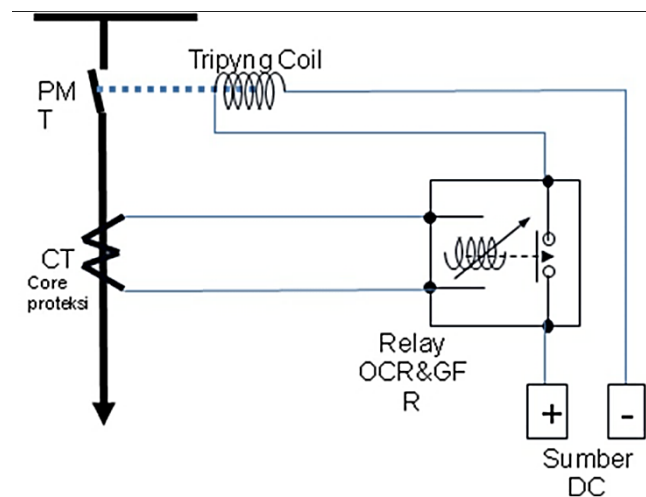
Transformator instrument berfungsi untuk memonitor arus atau tegangan dan menurunkan tegangan tersebut ke suatu nilai yang sesuai untuk keperluan rele.

2. Rele proteksi

Rele berfungsi untuk membandingkan besar arus atau tegangan yang di terimanya dari trafo instrument dengan nilai setelannya. Jika sinyal input melebihi nilai setelah rele, maka rele akan trip dan memberikan sinyal ke suatu pemutus tenaga.

3. Pemutus tenaga (CB,PMT)

Pemutus tenaga berfungsi untuk mengisolasi bagian yang terganggu dari system yang sehat.



Gambar 2.6 Skema proteksi

2.6 Transformator Tenaga

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung

belitan tersebut akan terjadi beda potensial. Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet ini akan menginduksi belitan skunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.



Gambar 2.7 Transformator daya Gardu Induk Glugur

2.6.1 Proteksi Dan Control Transformator

2.6.2 Gambaran Umum

Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat dan sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan dan kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi terdiri dari Relai Proteksi, Transformator Arus (CT) dan atau Transformator Tegangan (PT/CVT), PMT, Catu daya yang terintegrasi dalam satu rangkaian. Untuk efektivitas dan efisiensi, maka setiap

peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman ketahanan peralatan yang dilindungi sehingga peralatan proteksi digunakan sebagai jaminan pengaman.

2.6.3 Pola Proteksi Transformator

Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal transformator hanya memiliki proteksi elektrik. Peralatan proteksi yang dipergunakan berdasarkan kapasitas transformator ditampilkan pada table 2.1.

Tabel 2.1 Tabel relai proteksi transformator berdasarkan level tegangan dan kapasitas SPLN T5.003-1 tahun 2010

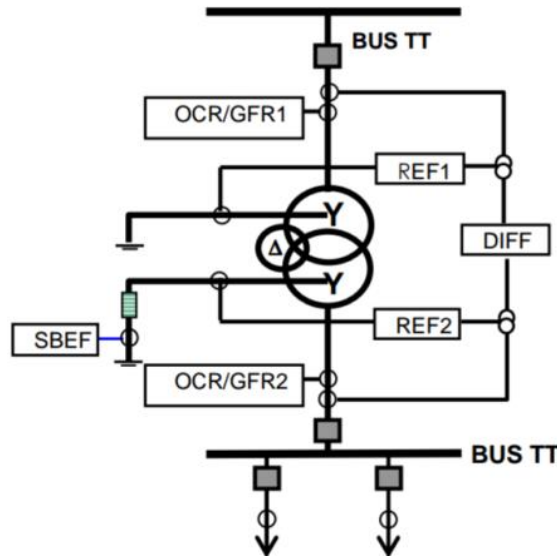
No.	Jenis Proteksi	Transformator	
		≤ 60	≥ 60
		150/20&66/20 KV/60MVA	
Proteksi Mekanik			
1	Relai suhu minyak	1 buah	1 buah
2	Relai suhu belitan sisi primer	1 buah	1 buah
3	Relai suhu belitan sisi sekunder	-	1 buah
4	Relai Bucholtz tangki utama	1 buah	1 buah
5	Relai tekanan lebih tangki utama	1 buah	1 buah
6	Relai tahanan lebih OLTC (jansen)	1 buah	1 buah
Proteksi Elektrik			

7	Relai differensial	1 buah	1 buah
8	Relai gangguan ke tanah terbatas	-	1 buah
9	Relai gangguan ketanah terbatas (REF) sisi sekunder (hanya untuk konfigurasi bintang)	-	-
10	Relai arus lebih (OCR) sisi primer	2 fasa	3 fasa
11	Relai arus lebih (OCR) sisi sekunder	2 fasa	3 fasa
12	Relai arus lebih (OCR) sisi tersier terbeban	2 fasa	3 fasa
13	Relai gangguan ketanah (GFR) sisi primer	1 buah	1 buah
14	Relai gangguan ketanah (GFR) sisi sekunder (hanya untuk konfigurasi bintang)	1 buah	1 buah
15	Relai gangguan ketanah (GFR) sisi tersier (tersier ditanahkan)	1 buah	1 buah
16	Relai pergeseran tegangan titik netral / NDVR (tersier tidak ditanahkan)	-	-
17	Relai proteksi NGR (SBEF) hanya untuk transformator belitan Y yang ditanahkan dengan resistor.	1 buah	1 buah

2.6.4 Pola Proteksi Transformator Tenaga TT/TM

Proteksi transformator tenaga umumnya menggunakan rele Difrensial dan rele *Restricted Earth Fault* (**REF**) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan rele arus lebih (**OCR**) rele gangguan ketanah (**GFR**).

Sedangkan *Standby Earth Fault (SBEF)* umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2.8 Pola Proteksi Transformator

2.6.5 Proteksi Pada Transformator

Proteksi pada transformator terdiri dari proteksi utama dan proteksi cadangan. Dimana proteksi utama terdiri dari :

1. Relé Diferensial

Relé diferensial merupakan relé yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*). Relé diferensial digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*). Relé ini sangat selektif sehingga tidak perlu dikoordinir dengan relé lain, disamping itu system kerjanya sangat cepat dan tidak memerlukan waktu tunda (*time delay*).

Relé diferensial ada dua jenis yaitu :

1.1 Longitudinal Differential Relay (LDR)

Longitudinal Differential Relay biasa dikenal sebagai *circulating current type*. Dalam keadaan normal, maka gangguan yang terjadi diluar daerah pengamanan (*zone*) mengakibatkan tidak ada arus atau bahkan sangat kecil yang mengalir di *operating coil*.

1.2 Percentage Differential Relay (PCR)

Percentage Differential Relay muncul Karena kelemahan LDR yakni arus *setting* harus dibuat lebih besar dari arus operasi dalam keadaan normal untuk mengatasi arus inrush dan gangguan yang cukup besar berada diluar daerah proteksinya. *Percentage differential relay* mempunyai *restraining coil* yang ditap pada bagian tengahnya, sehingga membentuk dua bagian dengan jumlah lilitan yang sama, $N_r/2$. *Restraining coil* dihubungkan pada bagian arus yang bersikulasi, sehingga menerima arus gangguan yang lewat (*through fault current*).

2. Rele Restricted Earth Fault (REF)

Merupakan salah satu proteksi utama transformator/reactor yang prinsip kerjanya sama dengan diferensial relai, perbedaannya REF dpergunakan untuk pengamanan transformator / reactor terhadap gangguan fasa – tanah, khususnya yang dekat dengan titik bintang transformator/reactor. REF dipasang pada belitan transformator/reactor dengan konfigurasi Y yang ditanahkan. REF yang terdiri dari dua jenis, yaitu :

1. **REF** jenis *low impedance*, parameter kerjanya adalah arus minimum.
2. **REF** jenis *high impedance*, parameter kerjanya adalah tegangan minimum, ataupun arus minimum.

Sedangkan proteksi cadangan pada transformator terdiri dari :

1. Rele Arus Lebih (OCR)

Rele Arus Lebih (OCR) adalah salah satu rele pengaman yang digunakan untuk mengamankan generator, trafo daya, dan penyulang 20 kv. Rele arus lebih (OCR) bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai *setting*, maka rele akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah waktu tunda yang diterapkan pada *setting*. Rele arus lebih OCR memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa ketanah digunakan rele arus gangguan tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR, yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus.

2. Rele Gangguan Tanah (GFR)

Rele arus gangguan tanah (GFR) pada dasarnya memiliki prinsip kerja sama dengan arus rele lebih OCR namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya arus lebih terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan rele GFR mendeteksi adanya arus gangguan fasa ketanah saat terjadi gangguan hubung singkat ketanah. Pada kondisi normal, nilai arus sama besar (I_a, I_b, I_c), sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele arus gangguan tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi arus yang tidak seimbang atau terjadi gangguan hubung singkat ketanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay GFR akan bekerja.

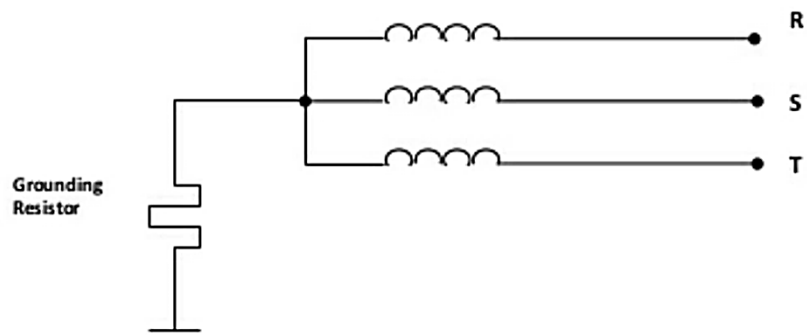
3. *Stanby Earth Fault (SBEF)*

Merupakan Proteksi NGR terhadap arus lebih yang berfungsi untuk mengamankan NGR dari hubung singkat fasa ketanah. Oleh karena itu SBEF hanya ada pada transformator yang pentanahannya menggunakan NGR. SBEF ini juga harus dikoordinasikan dengan rele GFR. SBEF harus bekerja paling akhir sebagai pengaman NGR.

2.7 *NGR(Neutral Grounding Resistance)*

2.7.1 *Pengertian NGR (Neutral Grounding Resistance)*

NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasang nya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ketanah. Hal ini terkait dengan Pola pengamanan Trafo Tenaga disisi skunde r (Sistem Distribusi). NGR juga tahanan yang dipasang antara titik netral trafo dengan pentanahan, dimana berfungsi untuk memperkecil arus gangguan. *Resistance* dipasang pada titik netral trafo yang dihubungkan Y (bintang). NGR biasanya dipasang pada titik netral tfaro 70 kV atau 20 kV, sedangkan pada titik netral 150 kV dan 500 kV digrounding langsung (solid). *Neutral Grounding Resistance* berfungsi sebagai pembatas arus dalam saluran netral trafo. Agar NGR dapat berfungsi sesuai desainnya perlu dipastikan bahwa nilai tahanan NGR tersebut sesuai dengan spesifikasinya dan tidak mengalami kerusakan. Lihat rangkaian pengganti pada (gambar 2.9).



Gambar 2.9 Pentanahan titik netral melalui tanah

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi system pada tempat dimana itu dipasang. Sebagai akibat besar arus gangguan fasa ketanah pertama – tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan pada fasa ke tanah.

Dengan memilih harga tahanan yang tepat, arus gangguan ketanah dapat dibatasi sehingga harganya hamper sama bila gangguan terjadi disegala tempat didalam pentanahan akan menentukan besarnya arus gangguan tanah.

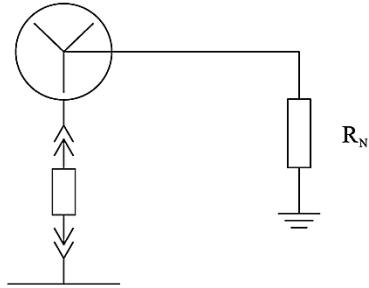
Pentanahan dengan NGR dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Sistem pentanahan dengan tahanan rendah (12 dan 40 Ohm)
2. Sistem pentanahan dengan tahanan tinggi (200 dan 500 Ohm)
3. Penggunaan NGR dengan jenis rendah maupun tinggi tergantung dari desain subsistem tenaga listrik, pada dasarnya semakin besar nilai NGR maka arus gangguan phasa ke tanahnya semakin kecil.

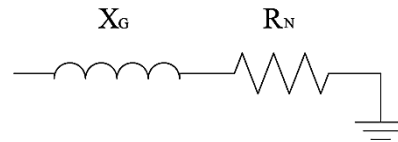
2.7.3 Pembumian Melalui Tanah

Suatu system dikatakan dibumikan dengan tahanan atau resistor bila netral sistemnya dihubungkan ketanah melalui satu atau lebih resistor seperti gambar 2.11 pada pembumian dengan cara ini tegangan fasa ke tanah saat terjadi

gangguan satu fasa ke tanah mendekati tegangan pada system kecuali tegangan peralihannya.



Gambar 2.10 (a) Pembumian melalui Tanah



Gambar 2.10 (b) Diagram Ekivalen

Gambar 2.10 (a) Pembumian Melalui Tanah dan 2.10 (b) Diagram Ekivalennya

Dimana:

X_G =Reaktansi trafo atau generator

R_N =Tanahan pembumian

Pada umumnya besar nilai tahanan yang dipasang lebih besar dari reaktansi system, sehingga besar arus gangguan fasa ke tanah terjadi terutama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi-rugi daya terhadap KVA. Pembumian netral system dengan tahanan hampir sama dengan pembumian secara langsung, dimana tegangan lebih peralihan bukan merupakan masalah. Besar tahanan pembumian dipilih sedemikian rupa agar rele gangguan tanah dapat mendeteksi dan selanjutnya mengisolir rangkaian yang terganggu. Tipe pembumian melalui tahanan ini terutama digunakan pada tegangan 20 kV. Sebagai contoh dapat dilihat bagaimana menentukan harga tahanan yang diinginkan.

Apabila terjadi gangguan satu fasa ketanah pada system yang dibumikan melalui tahanan rendah seperti gambar 2.12 Jika $I_F = V_{ph}/R$, dan arus gangguan yang dilalui tanahan adalah $I_F = 600$ Ampere, maka $R = 20.000/600 = 33 \Omega$ dimana 20.000 V adalah tegangan fasa ke netral.

Untuk mengetahui besar arus gangguan pada *neutral grounding resistance* (NGR) dapat dilakukan dengan melakukan metode perhitungan. Suatu system dikatakan dibumikan melalui tahanan apabila besarnya nilai ohm resistor yang dipasang antara netral system dengan tanah memenuhi kriteria :

$$R_N \leq \frac{X_{co}}{3} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$I_R \geq 3I_{co} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

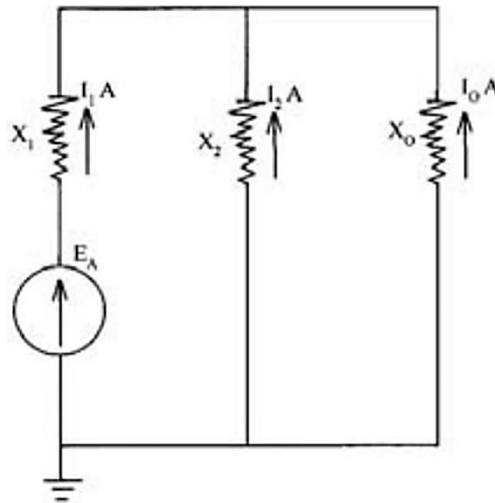
R_N = Reaktansi dari tahanan

X_{co} =Reaktansi kapasitif dari fasa ketanah

I_R = Arus yang mengalir pada tahanan pembumian

I_{co} =Arus kapasitif (*charging current*) yang mengalir antara fasa ketanah.

$$I_f = 3I_{co} = \frac{E_{LN}}{X_{co}} \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.12 Rangkaian Ekuivalen Gangguan Satu Fasa ke Tanah

2.7.4 Arus Pemuatan Kapasitif Kabel

Untuk system-sistem yang menggunakan kabel berisolasi pada rangkaian penyulang yang cukup panjang, persentasi sumbangan arus pemuatannya dari arus pemuatan total adalah cukup besar. Agar dapat ditentukan besar arus tersebut dengan tepat maka terlebih dahulu harus diketahui ukuran, panjang, tegangan, jenis isolasi dan tebal isolasi yang digunakan. Dari data-data tersebut arus pemuatan kapasitif dapat dihitung. Kapasitansi pemuatan kabel untuk kabel-kabel penghantar tunggal dan tiga fasa dapat dihitung dengan rumus :

$$C_o = \frac{0,00735.(SIC)}{\frac{\log D}{d}} \left(\frac{\mu F}{1000 ft} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Sedangkan untuk kabel-kabel tanpa perisai tiga konduktor yaitu :

$$C_o = \frac{0,00834.(SIC)}{\frac{\log(d+3t+b)}{d}} \left(\frac{\mu F}{1000 ft} \right) \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

Co : Kapasitansi ke tanah

SIC : Konstanta Dielektrik

D : Diameter seluruh isolasi

d : Diameter isolasi

b : Tebal isolasi pita

t : Tebal isolasi konduktor

Diturunkan dari persamaan 2.21 :

$$3 I_{c_0} = \frac{ELN}{XC_0} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$3 I_{c_0} = 3,4641 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot E_{LL} \cdot SIC \cdot C_0 \dots \dots \dots (2.25)$$

Diturunkan dari persamaan 2.21 dan 2.22 sehingga didapatkan :

$$3 I_{c_0} = \frac{4.8 E_{LL}}{\log \frac{D}{d}} \left(\frac{mA}{1000 ft} \right) \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana:

ELL adalah tegangan fasa ke fasa dalam kilovolt.

1000 ft = 0,3048 km = 304,8 m

Pada Tabel 2.2 berikut ini dapat diperoleh SIC untuk berbagai tingkat tegangan system serta tabel isolasi PVC dengan nilai SIC = 5 pada tegangan 480 V dan tegangan 2,4-13,8 KV menggunakan isolasi XLPE dengan SIC = 3,5.

Jika harga SIC bahan isolasi yang dipilih berbeda dari harga-harga tersebut seperti pada tabel 2.2 maka dapat digunakan factor-faktor pengali yang juga tersedia bersama dengan harga SIC dari berbagai bahan isolasi. Harga arus pemuatan untuk tingkat tegangan yang berbeda dapat dihitung dengan mengalikan perbandingan tegangan sebenarnya dengan system pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Nilai SIC dan factor pengali untuk bermacam-macam nilai SIC

Nilai SIC		Faktor Pengali		
		SIC	480 V	2,4-15 KV
PVC	5 – 8	3,0]	0,6	0,86
ERP	3 – 5	3,5	0,7	1,0
BUYYL	3 – 5	4,0	0,8	1,14
XLPE	3,0 – 3,6	4,5	0,9	1,29
PE	2 – 3	5,0	1,0	1,43
PE		5,5	1,1	1,57
PE		6,0	1,2	1,71
PE		7,0	1,4	
PE		8,0	1,6	

2.7.5 Jenis-Jenis NGR (Neutral Grounding Resistance)

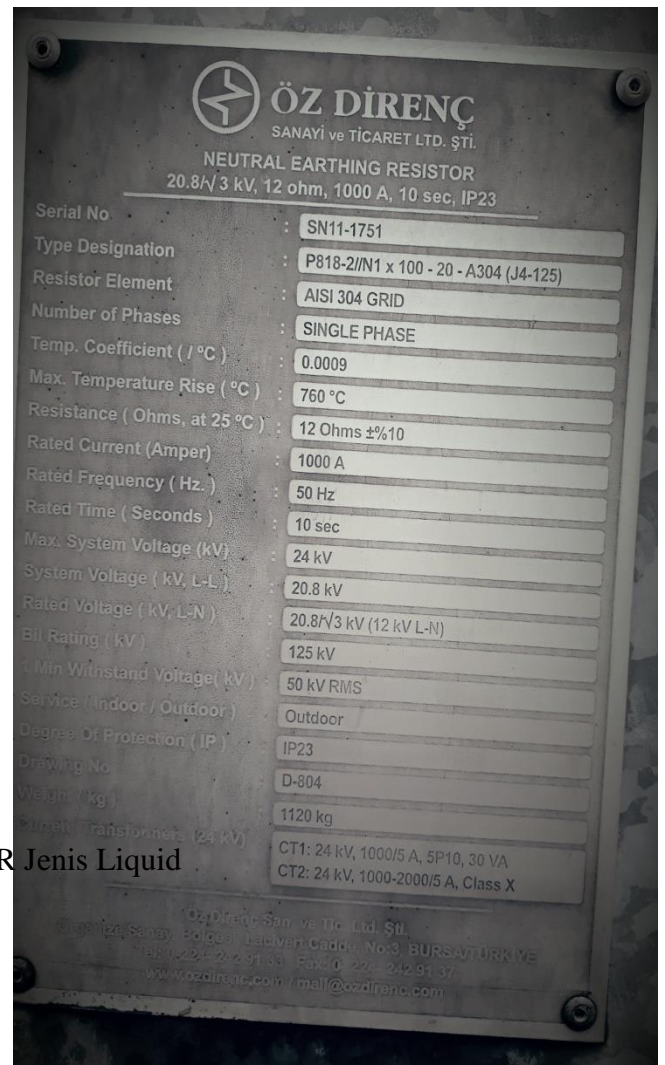
Ada dua jenis NGR, Liquid dan Solid

1. Liquid

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



2. Solid



Gambar 2.13 NGR Jenis Liquid

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

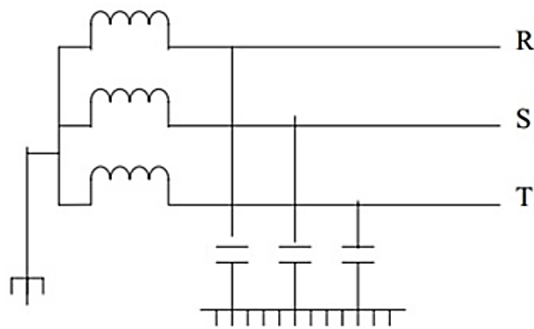


Gambar 2.14 NGR Jenis Solid Gardu Induk Glugur

2.8 Divais Pentanahan

2.8.1 Pentanahan Solid

Dalam hal ini, netral transformator daya ditanahkan secara solid (mantap) dengan konduktor tembaga yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.15 Pentanahan Padat Transformator daya.

Keuntungan :

1. Netral disambung secara efektif pada potensial pentanahan.
2. Hubung singkat fasa-ke-tanah besarnya sama dengan hubung singkat fasa-ke-fasa; sehingga tidak perlu untuk rele sensitif khusus.
3. Biaya divais pembatas arus dihilangkan.

4. Gradasi isolasi terhadap titik netral N mengurangi ukuran dan biaya transformator.

Kekurangan :

1. Karena sebagian besar hubung singkat sistem adalah fasa-ke-tanah, guncangan berat lebih besar dibandingkan dengan resistansi pentanahan.
2. Harmonik ketiga cenderung bersikulasi antar netral.

2.8.2 Pentanahan Tahanan

Sebuah resistor terhubung antara transformator netral dan bumi (lihat gambar 2.12). *Resistance earthing* digunakan pada tegangan 20 kV dan nilai tahanan pembumiannya sebagai pembatas arus gangguan pentanahan untuk transformator antara 1 dan 2 kali nilai beban penuh. Atau, untuk dua kali raiting normal penyulang terbesar, yaitu yang lebih besar.

Nilai standar mengacu pada persyaratan umum instalasi listrik atau PUIL 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau nilai tertinggi dari hasil resistance pembumian (*grounding*) yang masih bisa ditoleransi

Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral adalah :

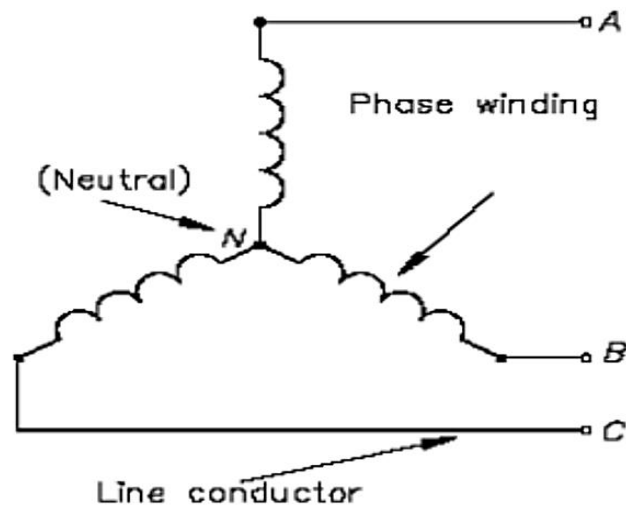
$$R = \frac{E_f}{I} \text{ Ohm} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

R = Tahanan (Ohm)

E_f = Tegangan fasa ke netral

I = Arus beban penuh dalam Ampere dari transformator



Gambar 2.16 Hambatan (Resistans) Pentahanan

Keuntungan :

1. Arus gangguan tanah dapat diperkecil.
2. Tegangan lebih peralihan dapat diredam.
3. Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugian :

1. Timbul rugi-rugi daya yang relatif cukup besar pada peralatan pembumian sistem, terlebih dengan tahanan kecil.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi : PT.PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera - Unit Pelayanan Transmisi Medan – Transmisi Dan Gardu Induk Paya Pasir – Gardu Induk Glugur.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Laptop
2. Alat Tulis
3. Kamera Handphone

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah objek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi objek atau variable penelitiannya adalah pengamatan terhadap kondisi *neutral grounding resistance* selama terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah:

1. Kondisi nilai tahanan *neutral grounding resistance* selama terjadi gangguan
2. Besar arus gangguan pada *neutral grounding resistance*
3. Analisa *neutral grounding resistance* selama terjadi gangguan

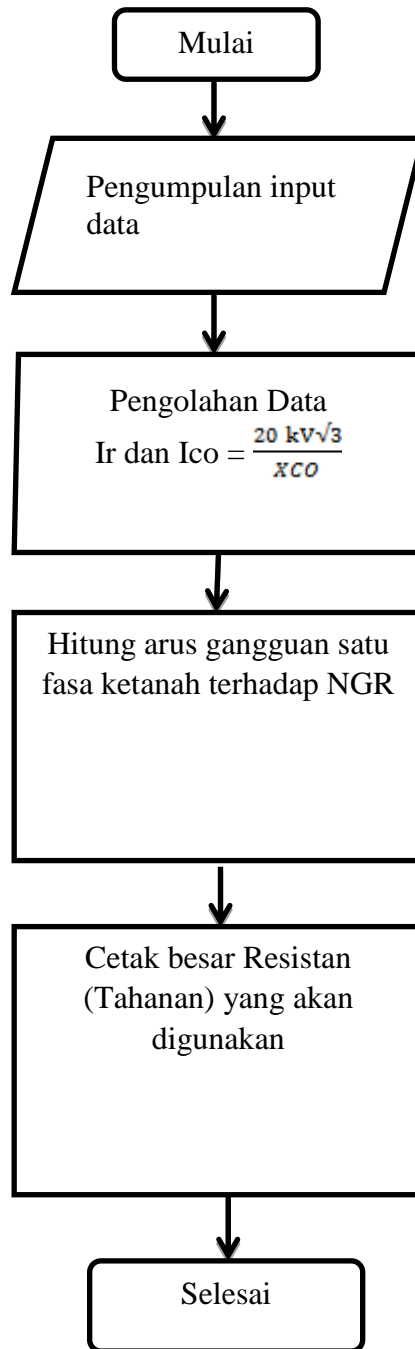
3.4 Jalannya Penelitian

Adapun jalannya penelitian di Gardu Induk Glugur dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Tabel jalannya penelitian di Gardu Induk Glugur

No.	Tgl/Bln/Thn	Pukul	Uraian Kegiatan	Keterangan
1	01/08/2017	08.00 s/d 17.00	Mengumpulkan input data yang diperlukan	Data pada Gardu Induk Glugur
2	03/08/2017	08.00 s/d 17.00	Pengolahan data arus yang mengalir pada tahanan pembumian dan arus kapasitif (<i>charging current</i>) yang mengalir antar fasa	Data pada Gardu Induk Glugur
3	07/08/2017	08.00 s/d 17.00	Menganalisa besar arus gangguan hubung singkt satu fasa ketanah dengan cara perhitungan dengan data yang telah diperoleh terhadap NGR	Data pada Gardu Induk Glugur
4	09/08/2017	08.00 s/d 17.00	Perhitungan <i>neutral grounding resistance</i> dengan data yang diperoleh dari hasil perhitungan satu phasa ke tanah.	Data pada Gardu Induk Glugur

3.5 Diagram Alir Jalannya Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3.3 Tabel Data Trafo Daya Gardu Induk Glugur

SPESIPIKASI	KETERANGAN
Trafo Daya	60 MVA
Tegangan	150/20 KV
In	1000 A
Merk	HYOSUNG
Type	MTB M229
Impedancy	12,33%
Vektor Group	YN yn Ods
Serial	TP 95 – 8501
IEC	76
THN	NOV – 95
Made In	Korea

3.6 Data NGR

Adapun data NGR diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini adalah data NGR Gardu Induk Glugur. Adapun data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini

Tabel 3.4 Tabel Data NGR Trafo Daya Merk HYOSUNG Gardu Induk
Glugur.

SPESIFIKASI	KETERANGAN
NGR 20 KV	
Merk	OZ DIRENC
Type	P818 – 2//N1 x 100 – 20 – A 304
Serial	SN 11 – 1751
Resistance (Ohm)	12 Ohm
Ampere	1000 A
CLS	5P10, 30 VA, 24 KV, 1000/5 A
THN	1982
Made In	Turky

3.7 Teknik Analisa Data

Hal Ini merupakan suatu langkah penting dalam penelitian, terutama bila digunakan sebagai simpulan tentang masalah yang diteliti. Dalam hal ini bersifat deskriptif, analisa yang digunakan adalah analisa deskriptif persentase serta menggunakan metode perhitungan. Adapun analisa yang akan dilakukan adalah Analisa gangguan arus lebih terhadap kondisi NGR.

3.7.1 Analisa Perhitungan Gangguan Arus Lebih Pada Fasa Kitanah

Menghitung arus gangguan satu fasa ke tanah untuk mengetahui besar arus yang mengalir pada *neutral grounding resistance* tersebut dijelaskan pada rumus 2.22 dan 2.24.

$$C_o = \frac{0,00735.(SIC)}{\frac{\log D}{d}} \left(\frac{\mu F}{1000ft} \right) \dots\dots\dots(2.22)$$

$$3.I_{c_0} = \frac{ELN}{XC_o} \dots\dots\dots(2.24)$$

3.7.2 Analisa Perhitungan Gangguan Arus Lebih Pada Pentanahan titik

neutral melalui tanah (*Resistance Grounding*)

Menghitung arus gangguan pentanahan untuk transformator antara 1 dan 2 kali beban penuh, atau untuk dua kali penyulang terbesar, yaitu yang lebih besar. Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral saat terjadi gangguan dijelaskan pada rumus 2.27.

$$R = \frac{E_f}{I} \text{ Ohm} \dots\dots\dots(2.27)$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi NGR

Penelitian ini dapat diaplikasikan pada kasus, dimana objek kasus adalah pengaruh kondisi nilai NGR selama terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dimulai sejak tanggal 1 Agustus – 9 Agustus bertempat di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Glugur.

Demikian saya melakukan perhitungan secara manual untuk mengetahui arus gangguan satu fasa ketanah serta arus yang mengalir pada *neutral grounding resistance* (NGR). Dimana Transformator daya pada Gardu Induk Glugur, daya 60 MVA, dengan panjang saluran LM – 1 yaitu sekitar 8,6 km (28.215,224 ft), kabel daya 30 kV dengan jenis kabel PE (AAAC) I/c 1000 kcmil. Dari data tersebut dapat juga dihitung besarnya arus pemuatan kapasitif system tersebut dengan menggunakan rumus (2.19). Dan pada penelitian ini saya juga melakukan pengukuran langsung yang bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan *neutral grounding resistance*.

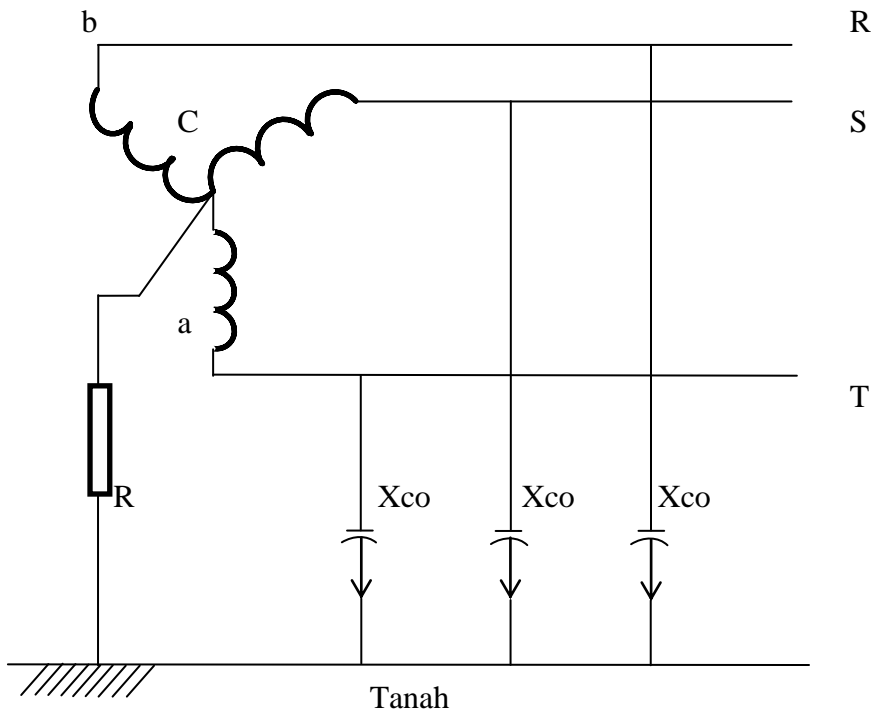
Contoh : Bila suatu system dalam keadaan normal seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini

Dik : Daya terpasang : 60 MVA

Tegangan : 20 kV

Panjang Saluran : 28.215,224 ft kabel daya

1000 feet : 0,305 km



Gambar 4.1 Sistem dalam keadaan normal.

- Panjang saluran $L_{m-1} = 8,6 \text{ km} = 28.215.244 \text{ feet}$ daya pada (20 kV)

maka :

Diameter Luar (D) adalah 240 mm (0,0787 ft)

Diameter luar (d) 17,5 mm (0,0574 ft)

Penyelesaian :

$$C_o = \frac{0,00735(SIC)}{\log \frac{D}{d}} \left(\mu \frac{F}{1000 \text{ ft}} \right); SIC = 5$$

$$C_o = \frac{0,00735 (5)}{\log \frac{0,0787}{0,0574}} \left(\mu \frac{F}{0,305 \text{ km}} \right)$$

$$C_o = \frac{0,00735 (5)}{\log 91,371} \left(\mu \frac{F}{0,305 \text{ km}} \right)$$

$$C_o = 0,268 \left(\mu \frac{F}{0,305 \text{ km}} \right)$$

Jadi, Xco nya

$$X_{co} = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0} \quad \text{Dimana } 10^6 \text{ didapat pada turunan farad}$$

$$X_{co} = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.268}$$

$$X_{co} = 11.883,25 \, \Omega / 1000 \text{ ft}$$

Pada keadaan normal,

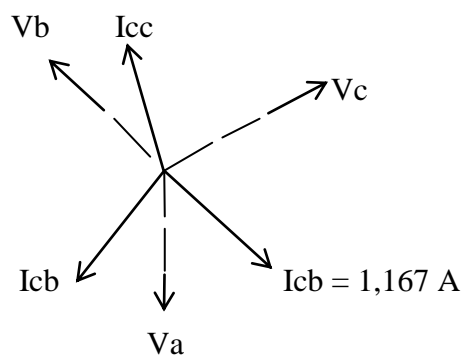
Jika X_{co} keadaan seimbang : $|I_{ca}| |I_{cb}| |I_{cc}| = I_{co} = \frac{Vl-n}{X_{co}}$ Ampere

$$\text{Maka, } I_{co} = \frac{20 \text{ kV} / \sqrt{3}}{11.883,25}$$

$$I_{co} = 0,268 \text{ A} / 1000 \text{ ft} \times 28.215,224$$

$$I_{co} = 1,167 \text{ A}$$

Sehingga dapat digambarkan vector tegangan dan arus dalam keadaan normal seperti gambar 4.2



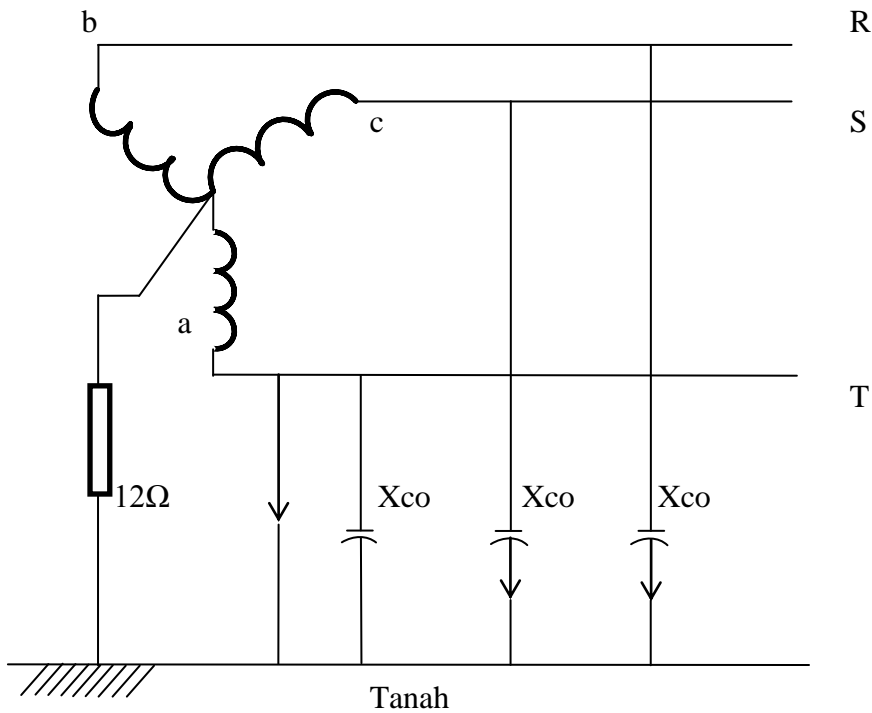
Gambar 4.2 Vektor tegangan dan arus dalam keadaan normal.

Apabila system pada saat terjadi gangguan fasa t ke bumi seperti gambar 4.3

Dik: Daya terpasang : 60 MVA

Tegangan : 20 kV

Panjang Saluran : 28.215,224 feet kabel daya



Gambar 4.3 Sistem dalam keadaan gangguan pada fasa t ke tanah.

Gangguan bumi pada fasa T

$$\text{Jadi } I_{ca} = 0; |I_{cb}| = |I_{cc}| = \frac{v_{1-1}}{x_{co}} = \frac{\sqrt{3}v_{2-n}}{X_{co}} = \sqrt{3}I_{co}A$$

$$= \sqrt{3} \times 1.167 A$$

$$= 2,0189 A$$

$$|(I_{cb} + I_{cc})| = \sqrt{3} |I_{cb}| = 3 I_{co} = 3,502 A$$

Bahwa arus tahanan $I_R = 3 A$

Maka arus gangguan pembumian adalah

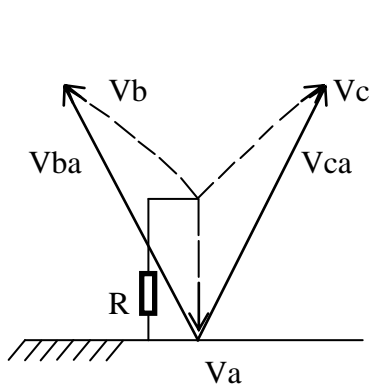
$$I_g = \sqrt{I_R^2 + (3 I_{co})^2} A ; \text{ dimana } I_R = 3 I_{co}$$

$$I_g = \sqrt{(3)^2 + (3,502)^2} A$$

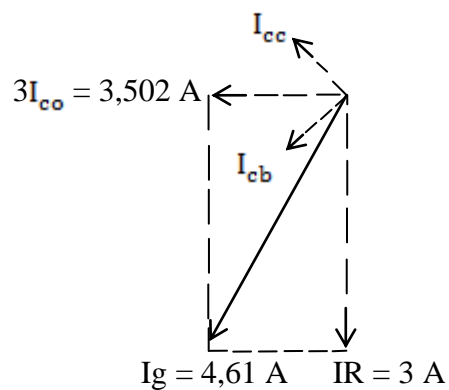
$$I_g = \sqrt{9 + 12,26}$$

$$I_g = 4,61 \text{ A}$$

Sehingga dapat digambarkan vector tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan pada fasa ketanah pada gambar 4.4



Gambar 4.4 (a)



Gambar 4.4 (b)

Gambar 4.4 (a) Vektor tegangan dan pada gambar 4.4 (b) arus pada saat terjadi gangguan pada fasa ke tanah.

4.2 Pentanahan titik neutral melalui tanahan (*Resistance Grounding*)

Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral saat terjadi gangguan :

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

Dimana:

R = Tahanan (Ω)

E_f = Tegangan fasa ke netral

I = Arus beban penuh dalam ampere dari transformator

Berdasarkan dari kondisi GL-6 saat terjadi trif ditinggal 09 Agustus 2017 :

Dik = E_f Pada beban = 6,439 kV = 6.439 V

I Pada beban = 98 A

$$\begin{aligned} R &= \frac{E_f}{I} \\ &= \frac{6.439}{98} \\ &= 65,7 \Omega \end{aligned}$$

Sedangkan NGR yang dipasang 12 Ω , 10 Sec (*Rated Time*) menurut data dilapangan untuk GL-6 tanggal 09 Agustus pukul 11.20 wib. Dengan tahanan beban saat terjadi gangguan = 65,7 Ω waktu untuk trip 3 menit.

Dikarenakan waktu trip yang cukup lama (3 menit) maka di GL-6 dipasang NGR 12 Ω , dengan *rated time* 10 Sec. untuk membuang Arus gangguan.

Sesuai ketentuan SPLN 26:1980 mengenai besar tahanan pentanahan sebagai berikut :

- Tahanan rendah 12 Ohm dan arus gangguan tanah maksimum 1000 Ampere dipakai pada jaringan kabel tanah.

BAB 5

PENUTUP

5.1 PENUTUP

1. Dengan panjang saluran kabel 28.215,244 feet dan pada tegangan 20 kv dengan daya 60 MVA maka dapat dihitung jumlah arus gangguan yang melaluinya yaitu sebesar $(I_g) = 4,61A$
2. NGR yang dipasang 12Ω , 10 Sec (*Rated Time*) menurut data lapangan untuk GL-6 tanggal 09 Agustus pukul 11.20 wib, tahanan beban saat terjadi gangguan = $65,7 \Omega$ waktu trip 3 menit. Dikarenakan waktu trip yang cukup lama (3 menit) maka di GL-6 dibutuhkan NGR 12Ω , dengan *rated time* 10 Sec. untuk membuang Arus gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris Widodo, "Study koordinasi rele pengaman pada system kelistrikan di PT.chandra asri" Cilegon, Jawa barat, 2010.
- Bridger Jr, Balwin, " *Choosing Grounding Options for Electrical Power System*", IEE Transaction On Industry Application, , Febuary 1995.
- D.Stevenson, Wiliam, Jr., " Analisis Sistem Tenaga Listrik" Erlangga, Jakarta Pusat, 1982.
- Evans, Robert D, " *Electrical Transmission and Distribution Refrence Book*", Westinghouse Electric Corporation, 1964.
- Hery Purnomo, "Analisa Perambatan Gelombang Surja Berjalan Pada Belitan Trafo Distribusi" Jurnal EECCIS Vol. IV, Desember, 2010.
- Hutauruk, T.S., " *Pentanahan Netral Sistem-sistem tenaga*", Departemen Elektro-Teknik ITB, 1978.
- Irvan Affandi, "Analisis setting relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang Sadewa di GI Cawang" perpustakaan Universitas Indonesia. PT.PLN (persero), Kepdir 0520," *Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk*" , Jakarta, 03 Maret 2010.
- Syafril Muhamad, " Sistem Proteksi " Diktat Program studi tehnik Elektro, Universitas Muhammadiyah, Sumatera Utara, 2015.
- Togar Timoteus Gultom, ST, MT, " Prinsip – Prinsip Dasar Pengetanahan Netral Pada Unit Instalasi Generator Sistem Tenaga Listrik " Jurnal Ilmiah Research Sains Vol. 2, Juni, 2016.