

TUGAS AKHIR**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI TRANSFORMATOR 230 MVA PADA
GARDU INDUK PT INALUM KUALA TANJUNG**

*Dikerjakan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam
Menyelesaikan Program Strata-1 Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

MUHAMMAD IRFAN
1307220018



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2017

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI TRANSFORMATOR 230 MVA
PADA GARDU INDUK PT. INALUM KUALA TANJUNG

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

Disusun Oleh :

MUHAMMAD IRFAN

NPM. 1307220018

Disetujui Oleh :

Pembimbing 1



Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc

Pembimbing 2



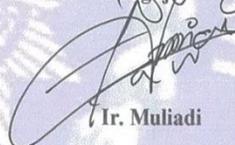
M. Syafril, S.T,M.T

Penguji 1



Rimbawati, S.T, M.T

Penguji 2



Ir. Muliadi

Diketahui Oleh :

Program Studi Teknik Elektro
Kerua

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

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Irfan
Tempat/Tgl Lahir : Tebing Tinggi / 23 Desember 1995
NPM : 1307220018
Bidang Keahlian : Transmisi Sistem Tenaga Listrik Dan Tegangan Tinggi
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya ini yang berjudul "EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI TRANSFORMATOR 230 MVA PADA GARDU INDUK PT. INALUM KUALA TANJUNG". Bukan merupakan pencurian hasil karya milik orang lain maupun hasil skripsi orang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadara 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, 13 Oktober 2017

Saya yang menyatakan



METERAI
TEMPEL
0E00CAEF626370444
6000
ENAM RIBU RUPIAH

MUHAMMAD IRFAN

ABSTRAK

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sebuah sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit mula (generator) sampai kepada beban (konsumen). Transformator merupakan salah satu alat kelistrikan yang sangat vital fungsinya, maka karena hal tersebut sangat diperlukan sistem proteksi untuk dapat mengamankan bagian-bagian vital pada transformator. Oleh sebab itu, digunakanlah rele arus lebih untuk melindungi bagian transformator. Penelitian ini membahas penyetelan kerja rele dan waktu kerja dari rele arus lebih. Jika terjadi gangguan fasa ke fasa akan diperoleh $I_{2fasa} = 20$ A pada panjang penyulang 100% serta hasil dari perhitungan waktu kerja rele diperoleh $t = 1,5$ detik pada sisi 275 kV. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rele arus lebih masih berfungsi sesuai dengan batas waktu kerja normalnya.

Kata Kunci : Transformator, Rele Arus Lebih

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kehadiran 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 Sumatera Utara (UMSU). Dalam tugas akhir ini penulis akan membahas tentang “ **EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI TRAFU 230 MVA x 3 PADA GARDU INDUK PT. INALUM KUALA TANJUNG**”. Adapun alasan penulis memilih judul ini karena betapa pentingnya sistem proteksi pada transformator dan dapat diklasifikasikan sebagai bagian termahal dan juga rentan terhadap terjadinya gangguan. Hal ini harus diperhatikan Karena sifatnya yang vital sehingga dengan penggunaan rele dapat menghindarkan transformator dari kerusakan dan meminimalisir kerusakan yang terjadi.

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas diberikannya kesehatan dan kelapangan waktu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, yang senantiasa berdoa dan untuk keberhasilan penulis dan dukungan secara langsung dari kecil hingga saat ini.
3. Bapak Rahmatullah, ST, MSc, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Fasial Irsan Pasaribu, ST, S.Pd, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc, selaku pembimbing 1, yang telah banyak membantu dan membimbing dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Bapak M. Syafril, ST, MT, selaku pembimbing 2, yang juga telah banyak membantu dan membimbing dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro 2013 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang mau berbagi ilmu dan member semangat kepada saya.
8. Teman-teman satu kos, Bima O Y Barus, Muhammad Syazwan, Muhammad Fachrur Rizki, dan yang lainnya atas semangatnya kepada saya, semoga sukses selalu.

Semoga Allah SWT dapat member balasan yang baik atas jasa-jasa dari nama-nama yang dicantumkan diatas, dan kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya penulis.

Medan, 15 September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penulisan.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Relevan.....	6
2.2 Pengertian Trafansformator.....	8
2.2.1 Prinsip Kerja Transformator.....	9
2.2.2 Bagian – Bagian Transformator.....	11
2.2.3 Gangguan Pada Transformator.....	16
2.3 Sistem Proteksi.....	19
2.3.1 Fungsi Sistem Proteksi Pada Transformator.....	19

2.3.2 Persyaratan Sistem Proteksi.....	20
2.3.3 Peralatan – Peralatan Sistem Proteksi.....	22
2.3.4 Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Arus.....	24
2.3.5 Gangguan Arus Hubung Singkat.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	32
3.2 Lokasi Penelitian.....	32
3.3 Pengumpulan Data.....	32
3.4 Jalannya Penelitian.....	32
3.5 Flowchat Penelitian.....	34
3.6 Spesifikasi Transformator.....	35
3.7 Spesifikasi Rele.....	36
BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN	
4.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat.....	37
4.1.1 Menghitung Impedansi Sumber.....	37
4.1.2 Menghitung Impedansi Penyulang.....	38
4.1.3 Menghitung Impedansi Ekivalen Jaringan.....	39
4.2 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat.....	41
4.2.1 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.....	41
4.2.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa.....	42
4.2.3 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	43
4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih.....	44
4.3.1 Perhitungan Penyetelan Waktu Kerja Rele.....	45

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....53

5.1 Kesimpulan.....53

5.2 Saran.....54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator pada gardu induk PT.Inalum.....	9
Gambar 2.2 Prinsip kerja transformator.....	10
Gambar 2.3 Inti besi dan bagian prinsip kerja inti besi.....	12
Gambar 2.4 Kumparan transformator.....	13
Gambar 2.5 Kumparan tertier.....	14
Gambar 2.6 Bagan tempat minyak transformator.....	15
Gambar 2.7 Bushing pada transformator.....	16
Gambar 2.8 Tangki pada transformator.....	17
Gambar 2.9 Rele arus lebih.....	26
Gambar 2.10 Hubungan rangkaian rele arus lebih.....	26
Gambar 2.11 Jaringan listrik dalam 3 zona pengaman.....	28
Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen gangguan 3 fasa.....	32
Gambar 2.13 Rangkaian ekivalen gangguan 2 fasa.....	33
Gambar 2.14 Rangkaian ekivalen gangguan fasa ke tanah.....	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	37
Gambar 4.1 Grafik waktu kerja rele (<i>inverse time</i>).....	46
Gambar 4.2 Grafik hasil waktu kerja rele (<i>very inverse</i>).....	47
Gambar 4.3 Grafik waktu kerja rele (<i>extremely inverse</i>).....	47
Gambar 4.4 Grafik waktu kerja rele (<i>long time inverse</i>).....	48
Gambar 4.5 Grafik waktu kerja rele (<i>inverse time</i>).....	49
Gambar 4.6 Grafik waktu kerja rele (<i>very inverse</i>).....	50

Gambar 4.7 Grafik waktu kerja rele (<i>extremely inverse</i>).....	51
Gambar 4.8 Grafik waktu kerja rele (<i>long time inverse</i>).....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi transformator.....	42
Tabel 3.2 Rincian & total berat transformator.....	43
Tabel 3.3 Jenis-jenis rele arus lebih pada transformator.....	44
Tabel 4.1 Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan positif.....	43
Tabel 4.2 Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan nol.....	43
Tabel 4.3 Hasil perhitungan impedansi ekivalen jaringan urutan positif.....	45
Tabel 4.4 Hasil perhitungan impedansi ekivalen jaringan urutan nol.....	45
Tabel 4.5 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa.....	46
Tabel 4.6 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa.....	47
Tabel 4.7 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.....	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sebuah sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit mula (generator) sampai kepada beban (konsumen), tidak hanya dalam sistem tenaga listrik pada umumnya, pada dunia industri trafo juga sangat diperlukan.

Dalam dunia industri transformator digunakan salah satunya sebagai penurun tegangan yang akan digunakan untuk alat-alat industri. Untuk kelancaran berjalannya suatu sistem kelistrikan ini diperlukan sistem proteksi yang andal agar meminimalisir kerusakan dan mencegah terjadinya kerusakan pada komponen pada transformator dan yang ada di gardu induk.

Pada penulisan tugas akhir ini, penulis mengambil contoh pada gardu induk PT. Inalum, Kuala Tanjung yang merupakan suatu kompleks industri di Sumatera Utara. Gardu induk tersebut memiliki sistem koordinasi proteksi pada transformator untuk kelancaran aliran listrik ke tungku pemanggangan dalam pembuatan aluminium. Di samping itu, perkembangan ilmu pengetahuan juga memiliki dampak yang cukup besar terhadap dunia industri khususnya dunia kerja yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan listrik. Oleh karena itu diperlukan ilmu pengetahuan tentang listrik agar mampu mengimbangi perkembangan dalam dunia kelistrikan industri.

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik sangat vital perannya, sistem proteksi ini merupakan pengaman bagi seluruh komponen – komponen pada sistem ketenagalistrikan seperti pada generator, transformator, gardu induk dan saluran transmisi distribusi. Dalam tulisan ini akan membahas sistem proteksi trafo pada gardu induk PT. Inalum, karena sadar akan pentingnya proteksi trafo dan peralatan lainnya di gardu induk tersebut agar sistem kelistrikan PT. Inalum tetap dalam puncak performanya, untuk itu harus dibutuhkan pengetahuan dan peralatan proteksi yang andal, cepat dan terpercaya.

Dalam sistem proteksi tersebut dibutuhkan penyetelan yang baik untuk memberikan perlindungan yang baik pada alat-alat sistem tenaga listrik. Salah satunya adalah koordinasi sistem proteksi pada transformator yang difokuskan untuk membahas koordinasi antara relay arus lebih dengan relay arus lebih lainnya. Untuk itu dibutuhkan penyetelan yang tepat dalam sistem proteksi tersebut agar menghasilkan koordinasi sistem proteksi yang cepat, handal dan aman.

1.2 Rumusan Masalah

Pembahasan mengenai sistem proteksi pada transformator sangatlah luas, mengingat hal tersebut dalam pengerjaan tugas akhir ini dibatasi dalam beberapa hal yang akan dibahas, antara lain :

1. Menganalisis gangguan pada transformator dengan menghitung nilai dari arus hubung singkat.
2. Menganalisis penyetelan koordinasi rele proteksi arus lebih transformator pada gardu induk 230 MVA PT.Inalum, Kuala Tanjung.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Menganalisis gangguan-gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah.
2. Menganalisis kondisi transformator jika terjadi kegagalan pada sistem proteksi.
3. Menganalisis koordinasi penyetelan rele proteksi arus lebih.

1.4 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini ditekankan pada :

1. Jenis-jenis gangguan yang terjadi pada transformator.
2. Mengingat sistem proteksi pada transformator sangat luas, maka pada tugas akhir ini hanya membahas rele arus lebih dan proteksi jika terjadi gangguan hubung singkat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, antara lain :

1. Memberikan informasi mengenai prinsip kerja dari sistem proteksi dan peralatan maupun komponen yang ada pada transformator.
2. Mengetahui cara mendapatkan penyetelan rele pada transformator yang baik dan benar

1.6 Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam penulisan proposal penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur, berupa studi kepustakaan dan kajian dari buku maupun media internet.
2. Studi diskusi, dengan dosen pembimbing mengenai masalah–masalah yang berkaitan dengan materi dan penulisan tugas akhir ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab yang saling berhubungan satu sama lain dan disusun secara terperinci serta sistematis untuk memberikan gambaran dan mempermudah pembahasan Tugas Akhir Studi (TAS) ini. Berikut adalah sistematika penulisan dari masing – masing bab, yaitu :

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan dasar – dasar teori yang mendasari dan berhubungan dengan pembahasan – pembahasan hasil penelitian sebelumnya yang dapat digunakan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini dan juga penelitian relevan yang pernah dilakukan orang lain.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat cara pemecahan masalah yang digunakan dalam penelitian ini. Bab ini juga memaparkan lokasi penelitian, objek penelitian dan data penelitian dari sumber data, metode pengumpulan data dan teknik analisis data.

BAB IV : ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang gambaran umum PT. Inalum sebagai pemilik gardu induk yang digunakan sebagai tempat penelitian dan menguraikan hasil penelitian dan berisi jawaban atas rumusan masalah dari penelitian.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan bagian penutup yang menguraikan tentang kesimpulan yang telah dibuat serta mencakup seluruh hasil penelitian serta berisi saran bagi peneliti berdasarkan uraian – uraian yang dipandang perlu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Relevan

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari jurnal-jurnal pendukung yang relevan, jurnal yang digunakan dalam pengkajian ini adalah jurnal tentang sistem proteksi trafo pada gardu induk, yaitu :

Sugeng Priyono (2013) Setting OCR (*over current relay*) sisi penyulang 480 A dengan waktu 0,5 detik, sisi *incoming* 1000 A dengan waktu 1 detik dan sisi 150 kV 135 A dengan waktu 1,5 detik. Koordinasi proteksi rele OCR pada transformator distribusi diharapkan apabila terjadi gangguan di daerah penyulang 20 kV maka hanya sisi rele penyulang 20 kV saja yang akan bekerja, rele sisi penyulang 20 kV, begitu juga di sisi 150 kV trafo sebagai *back up* rele sisi *incoming* 20 kV, sehingga tidak akan mengakibatkan pemadaman yang meluas serta kerusakan peralatan maupun kerusakan transformator.

Setting rele GFR sisi penyulang 200 A dengan waktu 0,5 detik, sisi 20 kV *incoming* 400 A dengan waktu 1 detik. Pada trafo sisi penyulang 20 kV dikoordinasikan dengan rele GFR sisi *incoming* 20 kV trafo, sedangkan sisi 150 kV. Transformator mempunyai belitan *tertiary* (delta) yang menimbulkan kontribusi arus urutan nol saat terjadi gangguan di sistem, sesuai rangkaian pengganti urutan nol pada belitan trafo dengan *vector group* dengan penambahan langsung.

Transformator yang tidak dilengkapi dengan rangkaian *tertiary* (delta) apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah disistem atau SUTT 150 kV, rele GFR di sisi

150 kV transformator akan merasakan gangguan sehingga rele GFR akan bekerja dan terjadi *malfunction relay protection* yang mengakibatkan PMT 150 kV transformator mengalami trip.

Zulkarnain (2015) Dari table maupun grafik koordinasi setting rele OCR-GFR sisi 150 kV, *incoming* 20 kV dan penyulang untuk gangguan phasa–phasa dan phasa–tanah diatas dapat dilihat bahwa waktu kerja rele di sisi penyulang lebih cepat dibanding waktu kerja di sisi *incoming* dan sisi 150 kV.

Dilihat dari jarak lokasi gangguan mempengaruhi lama waktu trip rele (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi gangguan maka semakin cepat waktu kerja rele dipenyulang dan waktu kerja rele di *incoming* dan sisi 150 kV, begitu juga sebaliknya ini bertujuan memberikan kesempatan pada rele disisi penyulang untuk bekerja terlebih dahulu sebagai pengaman utama (*main protection*) apabila terjadi gangguan hubung singkat di sisi *outgoing* dan rele yang di sisi *incoming* bekerja sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) apabila rele di sisi *outgoing* tersebut tidak bekerja.

Muhammad Nurdin (2015) Arus gangguan terbesar pada gangguan hubung singkat 3 phasa, semakin jauh jarak lokasi gangguan dari lokasi rele, semakin kecil arus gangguan yang dirasakan rele.

Arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang koto tingga, untuk gangguan hubung singkat 3 phasa dengan lokasi gangguan 1%, yaitu sebesar 7326,99 Ampere. Hal ini dikarenakan saluran koto tingga terpendek dibandingkan dengan penyulang lain, yaitu 9 Km dan arus beban 230 Ampere. Nilai impedansi saluran dan panjang saluran akan mempengaruhi nilai arus hubung singkat.

Koordinasi rele OCR hasil perhitungan sudah benar dan koordinasi kerja rele sudah baik. Dari uji selektifitas diperoleh waktu kerja rele pada penyulang kuranji 0,3 detik, penyulang koto tingga 0,298 detik, penyulang teluk bayur 0,292 detik, penyulang BLKI 0,3 detik, penyulang kandis 0,3 detik, dan penyulang UNAND 0,3 detik. Pada sisi *incoming* waktu kerja rele adalah 0,7 detik.

2.2 Pengertian Transformator

Transformator adalah salah satu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan trafo dalam sistem tenaga listrik yaitu untuk menaikkan dan menurunkan tegangan.

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai transformator yang digunakan oleh PT. Inalum untuk mendistribusikan aliran listrik ke pabrik-pabrik yang terdapat di smelter dan perumahan karyawan yang berada di Tanjung Gading. Transformator yang terdapat di gardu induk PT. Inalum ini merupakan transformator step-down dari jaringan transmisi 230/220 MVA Paritohan (Penurun Tegangan) pada Gambar 2.1

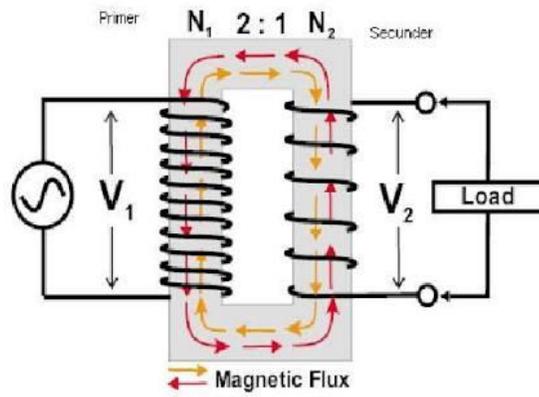


Gambar 2.1 Transformator step–down pada gardu induk PT. Inalum

Transformator merupakan salah satu dari sekian banyak peralatan yang ada di gardu induk dan fungsi yang sangat vital dalam sebuah sistem tenaga listrikan, transformator tersebut membutuhkan suatu sistem proteksi yang cepat, aman, serta selektif untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan jika terjadi kegagalan pada peralatan sistem proteksi. Pada gardu induk PT. Inalum ini terdapat 3 transformator step – down yang masing – masing memiliki kapasitas 230 MVA.

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak–balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung–ujung kumparan sekunder akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi, efek ini dinamakan induktansi bolak – balik (*Mutual Inductance*) sesuai dengan Gambar 2.2



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator

Pada skema diatas, ketika arus listrik dari sumber tegangan yang mengalir pada kumparan primer berbalik arah (berubah posisinya) medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya.

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

V_p = Tegangan primer

V_s = Tegangan sekunder

N_p = Jumlah lilitan primer

N_s = Jumlah lilitan sekunder

Pada transformator, besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder adalah :

1. Sebanding dengan banyaknya lilitan sekunder ($V_s \sim N_s$)

2. Sebanding dengan besarnya tegangan primer ($V_s \sim V_p$)
3. Berbanding terbalik dengan banyaknya lilitan primer.

Sehingga dapat dituliskan :

$$\left(V_s \sim \frac{1}{N_p} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

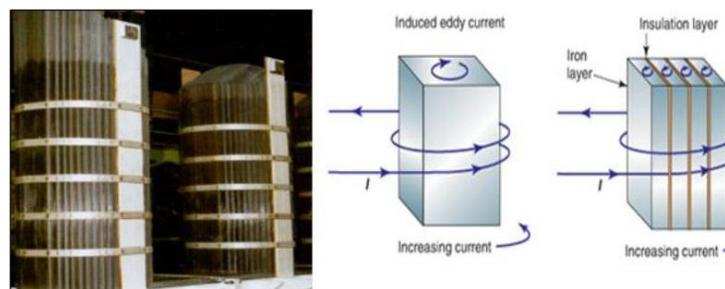
$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2.2 Bagian – Bagian Transformator

Suatu transformator terdiri atas beberapa bagian, yaitu :

a. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan–lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi–rugi) yang ditimbulkan oleh arus pusar atau arus eddy current, berikut bagian-bagian pada transformator yang terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Inti besi dan bagan prinsip kerja inti besi

b. Kumparan Transformator

Kumparan transformator merupakan kumpulan dari beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan, dan kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinax, dan lain-lain. Pada transformator terdapat kumparan primer dan sekunder. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak – balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiian beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut, sehingga kumparan ini berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus, seperti pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Kumparan transformator

c. Kumparan Tertier

Fungsi kumparan tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan dengan rangkaian delta atau segitiga. Kumparan tertier sering digunakan juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt, namun demikian tidak semua

transformator daya mempunyai kumparan tertier, seperti yang ditertera pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kumparan tertier

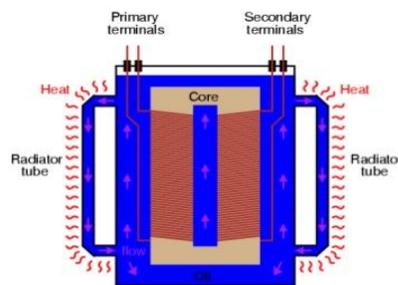
d. Minyak Transformator

Sebagian besar dari transformator memiliki kumparan – kumparan yang intinya direndam dalam minyak trafo, terutama pada transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan juga berfungsi pula sebagai isolasi (memiliki daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Minyak transformator harus memenuhi persyaratan, yaitu :

1. Mempunyai kekuatan isolasi yang tinggi
2. Menjadi penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Mempunyai visikositas yang rendah agar lebih mudah bersikulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.

4. Memiliki titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap yang dapat menimbulkan bahaya.
5. Tidak merusak bahan isolasi padat
6. Memiliki sifat kimia yang stabil, ilustrasi dari tempat/posisi minyak trafo dapat dilihat pada Gambar 2.6

MINYAK TRANSFORMATOR



Gambar 2.6 Bagan tempat minyak transformator

e. Bushing

Bushing merupakan penghubung kumparan transformator ke jaringan luar, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bushing pada transformator

f. Tangki

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada atau ditempatkan didalam tangki. Tangki tersebut berfungsi untuk menampung pemuaian pada minyak transformator, pada tangki dilengkapi dengan sebuah konservator. Terdapat beberapa jenis tangki, diantaranya adalah :

1. Jenis sirip (*tank corrugated*). Badan tangki terbuat dari plat baja bercanai dingin yang menjalani penekukkan, pemotongan dan proses pengelasan otomatis, untuk membentuk badan tangki bersirip yang berfungsi sebagai radiator pendingin dan alat bernapas pada saat yang sama. Tutup dan dasar tangki terbuat dari plat baja bercanai panas yang kemudian dilas sambung kepada badan tangki bersirip membentuk tangki *corrugated* ini. Umumnya trafo dibawah 4.000 kVA dibuat dengan bentuk tangki bersirip ini.
2. Jenis Tangki Convensional Beradiator. Jenis tangki ini terdiri dari badan tangki dan tutup yang terbuat dari *mild steel plate* (plat baja bercanai panas) ditebuk dan dilas untuk dibangun sesuai dimensi yang diinginkan, sedangkan

radiator jenis panel yang terbuat dari plat baja bercaian dingin (*cold rolled steel sheets*). Tangki ini umumnya dilengkapi dengan konservator dan digunakan untuk trafo berkapasitas 25.000.000 kVA.

3. *Hermtically Sealed Tank With N2 Cushined*. Tangki tipe ini sama dengan jenis conventional tetapi diatas permukaan minyak terdapat gas nitrogen untuk mencegah kontak antara minyak dengan udara luar, bentuk dari tangki transformator dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tangki pada transformator

2.2.3 Gangguan Pada Transformator

Gangguan pada sebuah transformator dalam sebuah sistem kelistrikan dapat dikelompokkan dalam dua bagian, yaitu :

- a. Gangguan Internal
- b. Gangguan Eksternal

a. Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi didalam transformator itu sendiri, yang termasuk dalam kelompok gangguan internal, antara lain :

1. Incipient Fault

Incipient fault adalah gangguan kecil pada sisi dalam transformator yang apabila tidak segera terdeteksi akan menimbulkan kerusakan yang lebih serius pada transformator, seperti :

a. Munculnya busur api yang kecil dan pemanasan local yang disebabkan oleh cara penyambungan kumparan yang kurang baik, serta kerusakan isolasi dari penjepit inti.

b. Gangguan pada sistem pendingin, dari gangguan yang diuraikan diatas akan menyebabkan terjadinya pemanasan lokal tetapi tidak mempengaruhi suhu dari transformator secara keseluruhan. Gangguan ini tidak dapat terdeteksi dari terminal transformator karena keseimbangan tegangan tidak berbeda dengan kondisi normal.

2. Gangguan Hubung Singkat

Pada umumnya gangguan ini dapat segera terdeteksi karena akan selalu timbul arus/tegangan yang tidak normal atau tidak seimbang. Jenis gangguan ini antara lain :

- a. Hubung singkat fasa ke tanah
- b. Hubung singkat antara fasa pada kumparan yang sama
- c. Gangguan pada terminal transformator

b. Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal yaitu gangguan yang terjadi diluar transformator tenaga (pada sistem tenaga listrik) tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator

yang bersangkutan. Gangguan-gangguan yang dapat digolongkan dalam gangguan eksternal ini adalah sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat diluar transformator biasanya dapat segera terdeteksi karena timbulnya arus yang sangat besar dapat mencapai beberapa kali arus nominalnya seperti hubung singkat di rel hubung, hubung singkat pada penyulang (*feeder*), hubung singkat pada *incoming feeder* transformator tersebut.

2. Beban lebih (*Overload*)

Transformator dapat beroperasi secara terus menerus pada arus beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini mungkin tidak akan menimbulkan kerusakan tetapi apabila berlangsung secara terus menerus akan memperpendek umur isolasi.

3. Gelombang surja

Gelombang surja dapat terjadi karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator tenaga terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat (beberapa puluh mikrodetik), akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi dan energi yang dikandungnya besar, maka ini dapat menyebabkan kerusakan pada trafo tenaga. Bentuk gelombang dari petir yang dicatat dengan sebuah asilograf sinar katoda (berupa tegangan sebagai fungsi waktu).

Disamping dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, gangguan tersebut dapat juga membahayakan manusia atau operator yang ada disekitarnya. Akibat-

akibat yang terjadi pada manusia atau operator adalah seperti terkejut, pingsan bahkan sampai meninggal.

2.3 Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan–peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik seperti, generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain–lain terhadap kondisi abnormal pada operasi sistem tenaga listrik tersebut. Pada sub–bab ini hanya akan membahas sistem proteksi pada transformator yang juga dibatasi yaitu rele arus lebih dan rele diferensial.

Proteksi pada transformator merupakan bagian yang sangat penting dalam sebuah sistem tenaga listrik agar tetap terjaganya aliran listrik yang baik kepada konsumen dan pelaku–pelaku industri.

2.3.1 Fungsi Sistem Proteksi Pada Transformator

Kegunaan sistem proteksi pada transformator, antar lain :

1. Mencegah kerusakan peralatan–peralatan yang terdapat pada transformator akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal
2. Mengurangi atau meminimalisir kerusakan yang mungkin terjadi ketika terjadi kegagalan pada peralatan sistem proteksi
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga jika terjadi gangguan tidak melebar pada peralatan dan sistem yang lebih luas

4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen
5. Mengamankan operator transformator dari kemungkinan bahaya yang ditimbulkan.

2.3.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi transformator, ada beberapa persyaratan umum yang harus dipenuhi demi pengamanan peralatan–peralatan yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, yaitu :

1. Keterandalan (*Reability*)

Pada kondisi normal rele tidak bekerja. Jika terjadi gangguan maka rele tidak boleh gagal dalam bekerja mengatasi gangguan. Kegagalan rele dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Rele tidak boleh salah kerja, artinya rele yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisis gangguan yang terjadi. Keandalan rele pengaman ditentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan dan perawatannya.

2. Selektivitas (*Selectivity*)

Selektivitas berarti rele harus mempunyai daya beda (*discrimination*) sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan. Rele mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan

memisahkan bagian yang terganggu. Bagian yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan jika masih terjadi pemutusan hanya sebatas pada daerah yang terganggu.

3. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Rele harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal sebagaimana direncanakan. Rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini member keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian, rele juga harus stabil.

4. Kecepatan Kerja

Rele pengaman harus dapat bekerja dengan cepat. Jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun demikian, rele tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 detik). Disamping itu, waktu kerja rele tidak boleh melampaui waktu penyelesaian kritis. Pada sistem yang besar dan luas, kecepatan kerja rele pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah rele salah kerja karena transient akibat surja petir.

5. Ekonomis

Satu hal yang harus diperhatikan sebagai persyaratan rele pengaman adalah masalah harga atau biaya. Rele tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas,

selektivitas dan kecepatan kerja hendaknya tidak menyebabkan harga rele tersebut mahal.

2.3.3 Peralatan –Peralatan Sistem Proteksi

Untuk mengamankan dari adanya gangguan pada sistem tenaga listrik, dilakukan dengan memasang peralatan–peralatan sistem proteksi. Sedangkan untuk menghilangkan gangguan dengan cepat oleh sistem perlingungannya, diperlukan sistem operasi yang cepat dan benar. Suatu sistem proteksi/pengaman terdiri dari komponen alat–alat utama meliputi :

1. Pemutus Tenaga
2. Transformator Arus
3. Transformator Tegangan
4. Pemisah
5. Arester
6. Rele Proteksi

Dalam sub–bab ini hanya akan membahas peralatan proteksi yang ada pada poin 6, yaitu rele arus lebih sesuai dengan batasan masalah.

a. Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus, yang mana rele ini akan bekerja apabila terjadi arus yang melampaui batas tertentu yang telah ditetapkan yang disebut arus kerja atau arus setting rele. Keuntungan dan Fungsi Rele Arus Lebih :

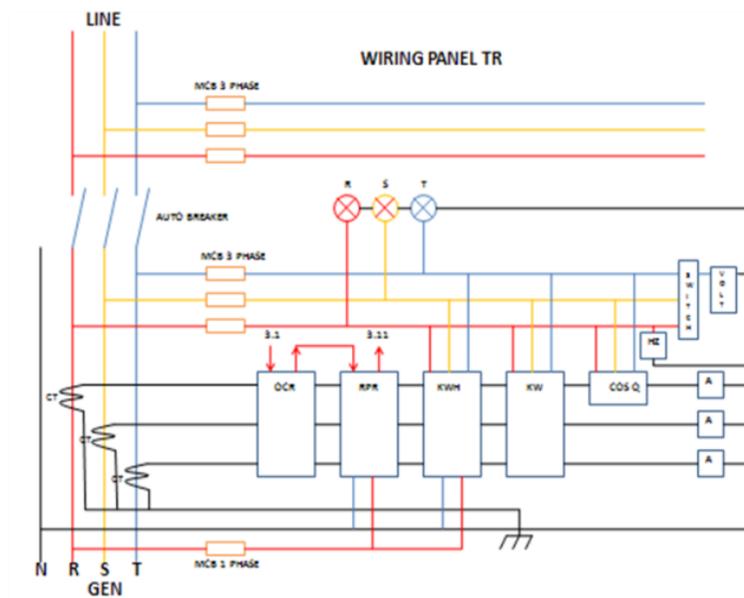
- Sederhana dan murah

- Mudah penyetelannya
- Merupakan rele pengaman utama dan cadangan
- Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*)
- Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub-transmisi radial
- Pengaman cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi.

Prinsip kerja dari rele arus lebih ini adalah elektro mekanis dan statis. Bentuk fisik dari rele arus lebih dapat dilihat pada gambar 2.9 dan gambar hubungan rangkaian rele arus lebih pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Rele arus lebih



Gambar 2.10 Hubungan rangkaian rele arus lebih

2.3.4 Prinsip dasar perhitungan penyetelan arus (I_s)

1. Batas penyetelan minimum rele arus lebih

Batas penyetelan minimum dinyatakan bahwa rele arus tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum sehingga :

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_{maks} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

I_s = Penyetelan arus

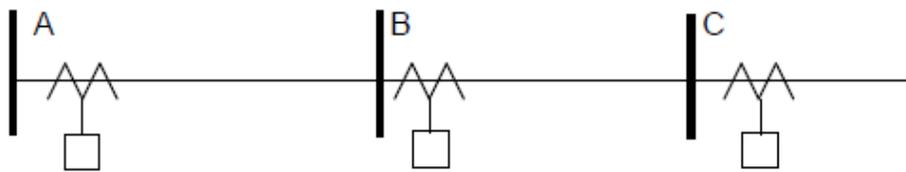
K_{fk} = Faktor keamanan, mempunyai nilai antara 1,1 - 1,2

K_d = Faktor arus kembali, I_d antara 0,7 – 0,9 untuk rele definite, $I_p = 1,0$ untuk rele inverse

I_{maks} = Arus maksimum yang diijinkan pada peralatan yang diamankan, dimana pada umumnya diambil nilai arus nominalnya.

2. Batas penyetelan maksimum rele arus lebih

Batas penyetelan maksimum rele arus lebih adalah bahwa rele harus bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rel seksi berikutnya :



Gambar 2.11 Jaringan listrik terbagi dalam 3 zona pengamanan

Rele yang terdapat di A merupakan pengamanan utama zona AB, sebagai pengamanan untuk zona C berikutnya (BC dan C). Batas penyetelan maksimumnya adalah :

$$I_s = k \cdot I_n \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

I_s = Nilai pada pembakitan minimum

k = Suatu konstanta perbandingan, nilainya tergantung dari pabrik pembuat rele, umumnya nilainya adalah 0,6 – 1,4 atau 1,0 – 2,0

I_n = Arus nominal, dapat merupakan dua nilai yang merupakan kelipatannya.

Misalnya, 2,5 A atau 5,0 A, 1,0 A atau 2,0 A dan seterusnya.

3. Menghitung nilai impedansi sumber

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi primer dalam rangkaian transformator, untuk mengkonversikan nilai impedansi yang terletak

pada sisi primer dan sekunder rangkaian transformator dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana : X_s = Nilai impedansi sumber

kV^2 = Power rating transformator

MVA= Daya transformator

4. Menghitung nilai impedansi penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi per-kilometer dari penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTT atau SUTM dengan rumus :

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana : Z = Nilai impedansi penyulang

R = Reaktansi pada transformator

jX = Nilai imajiner kapasitansi transformator

5. Menghitung nilai impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan untuk mencari nilai impedansi ekivalen jaringan adalah mennghitung nilai impedansi positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1\text{ penyulang}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana : Z_{1eq} = Nilai impedansi ekivalen urutan positif

Z_{2eq} = Nilai impedansi ekivalen urutan negative

Z_{s1} = Nilai imajiner kapasitansi jaringan

Z_{t1} = Nilai impedansi jaringan $Y\Delta$

$Z_{1\text{ penyulang}}$ = Nilai impedansi penyulang

Karateristik Waktu Kerjanya

a) Rele Arus Lebih Seketika (*Moment*)

Rele arus lebih dengan karateristik waktu kerja seketika (*moment*) ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya pick – up sampai selesainya kerja rele sangat singkat (20 – 100 m/s), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal berdiri sendiri secara khusus.

b) Rele Arus Lebih Dengan Karateristik Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Rele arus lebih dengan karateristik waktu tertentu ialah jika jangka waktu mulai rele arus pick – up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.

e) Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

Rele dengan karateristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus pick – up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan. Bentuk perbandingan terbalik dari waktu arus ini sangat bermacam – macam tetapi dapat digolongkan menjadi :

- a. Berbanding terbalik (*inverse*)

Waktu operasi mengecil saat arus menguat

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{0,02} - 1} \cdot TM \dots\dots\dots (2.9)$$

b. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)

$$t = \frac{0,80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \cdot TMS \dots\dots\dots (2.10)$$

c. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

Sangat baik untuk proteksi beban lebih pada mesin, trafo daya, trafo grounding, dan expensive cables.

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \cdot TMS \dots\dots\dots (2.11)$$

d. *Long time inverse*

$$t = \frac{120}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right] - 1} \cdot TMS \dots\dots\dots (2.12)$$

d) Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT)

Rele arus lebih dengan karakteristik *inverse definite minimum time* (IDMT) adalah jika jangka waktu rele arus mulai pick-up sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele pick-up dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk arus yang lebih besar.

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika.

2.3.5 Gangguan Arus Hubung Singkat

1. Hubung singkat 3 fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan tiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Untuk memperoleh hasil dari hubung singkat tersebut dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

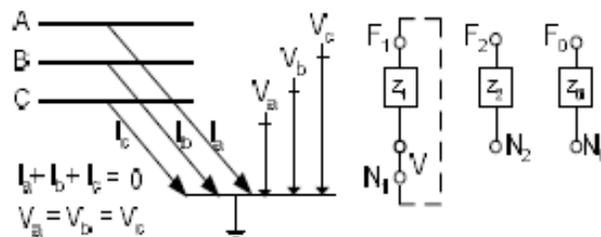
$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana : $I_{3 \text{ fasa}}$ = Arus gangguan 3 fasa

V_{ph} = Tegangan fasa

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif

Rangkaian ekivalen gangguan 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen gangguan 3 fasa

2. Hubung singkat fasa ke fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan asimetris. Pada gangguan hubung singkat ini, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Untuk memperoleh analisa terhadap gangguan fasa ke fasa dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

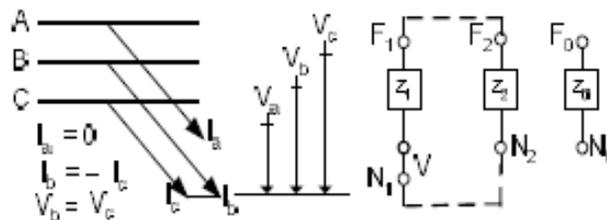
$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana : $I_{2 \text{ fasa}}$ = Arus gangguan fasa ke fasa

V_{ph-ph} = Tegangan fasa ke fasa

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif

Rangkaian ekivalen dari gangguan 2 fasa dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian ekivalen gangguan 2 fasa

3. Hubung singkat fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat fasa ke tanah termasuk gangguan asimetris.

Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{1 \text{ fasa-tana h}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_0} \dots \dots \dots (2.15)$$

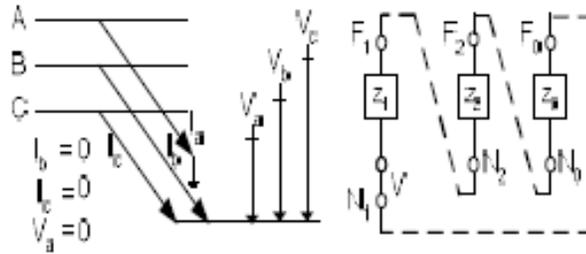
dimana : $I_{1 \text{ fasa-tana h}}$ = Arus gangguan 1 fasa ke tanah

V_{ph} = Tegangan fasa

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol

Rangkaian ekivalen dari gangguan satu fasa ke tanah dapa dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Rangkaian ekivalen gangguan satu fasa ke tanah

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis eksperimen. Data yang diambil berupa pengujian dan pembuktian yang bertujuan untuk mendapatkan fakta-fakta dan sifat-sifat mengenai suatu permasalahan. Dalam hal ini penulis berusaha untuk mengevaluasi koordinasi proteksi transformator 230 MVA pada gardu induk PT.Inalum, Kuala Tanjung.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di PT.Inalum (Persero), Kuala Tanjung, Kab. Batubara, Sumatera Utara.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan antara lain :

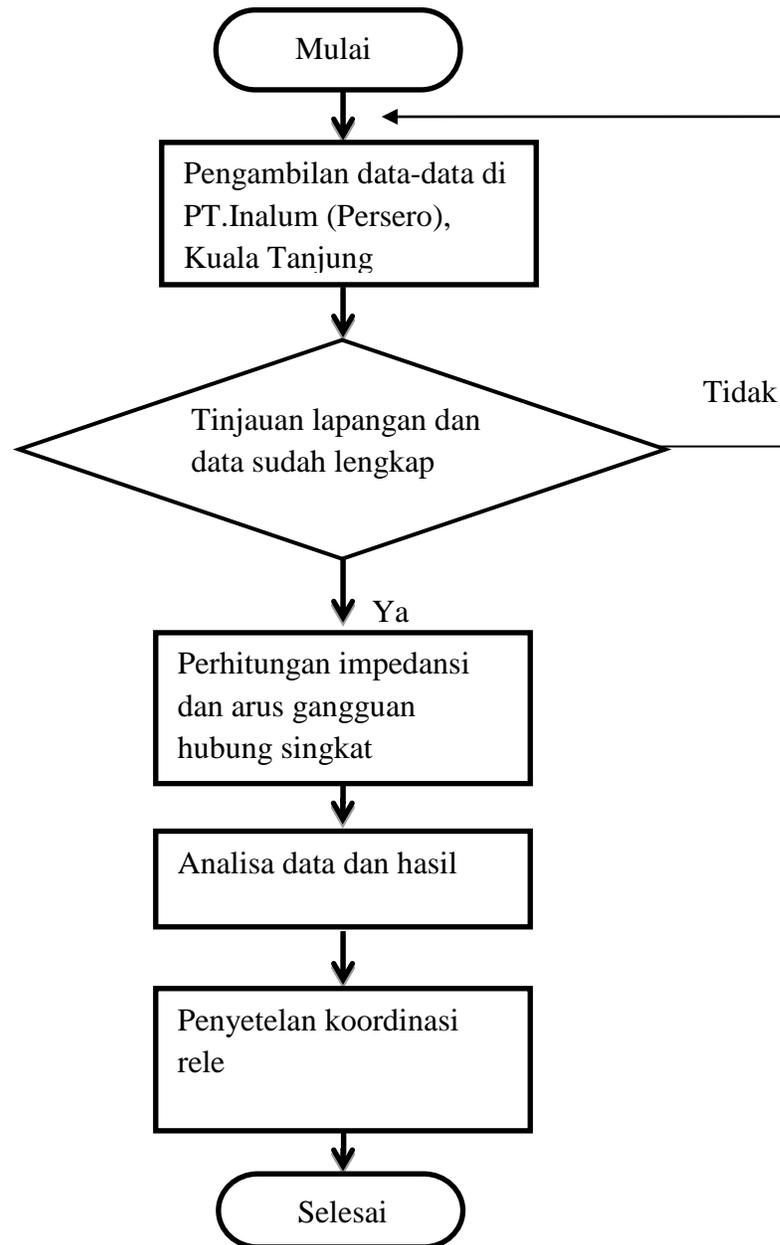
1. Pengamatan lapangan tentang koordinasi proteksi transformator 230MVA pada gardu induk PT.Inalum (Persero).
2. Mendapatkan data secara langsung dari PT.Inalum (Persero) yang berkaitan tentang koordinasi proteksi pada transformator.

3.4 Jalannya Penelitian

Tugas akhir ini ditetapkan/disahkan oleh ketua program studi Teknik Elektro pada tanggal 13 Januari 2017 kemudian dilakukan penulisan serta pendalaman materi

untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literature dan jurnal yang mendukung penelitian. Kemudian penulis melakukan bimbingan dan diskusi dengan dosen pembimbing untuk mengoreksi tulisan penulis jika ada kekurangan dan kesalahan didalam penulisan.

3.5 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.6 Spesifikasi Transformator

Transformator yang digunakan di gardu induk PT. Inalum (Persero) adalah tipe step-down dengan merk Fuji Electric dengan spesifikasi yang ada pada Tabel 3.1 dan rincian dari total berat transformator pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator

Standarts	JEC – 168 (1996)
No. of phases	3 – Phases
Rated Frequency	50 Hz
Rated power	182 MVA
Rated voltages	262,5 / 33 kV
Insulation level	BIL 1050 / BIL 200 kV
Type of cooling	OFAF
Impedansi	15,07%

Tabel 3.2 Rincian dari total berat transformator

Total	191000 Kg
Core and coils	112000 Kg
Tank and fittings	36600 Kg
Oil	44600 Kg
Shipping	129000 Kg

3.7 Spesifikasi Rele

Rele yang digunakan sebagai pengaman pada trafo diatas merupakan rele arus lebih yang dipabrikasi oleh Fuji Electric dengan jenis seperti pada table 3.3

Tabel 3.3 Jenis-jenis rele arus lebih pada transformator PT.Inalum

No	Device	Jenis rele	CT Ratio	T.Lever (s)	No. Tap (A)
1	152 – F	51	600/1 A	1,5	0,75
2	152 – F	51 G	1000/1 A	–	0,25
3	252 SC	51	750/1 A	1	1
4	252 – VK	51	5000/5 A	1	4
5	251 – VL	51	5000/5 A	0,5	4
6	252- SR	51	1000/5 A	1,5	5
7	252 – P	51	1000/5 A	2,1	6
8	352 – P	51	4000/5 A	1,6	4
9	352 – P	51 G	100/5 A	2,3	1
10	252 – A	51	40/5 A	2	4
11	652 – A	51	200–1/ 1A	0,3	0,8

BAB IV

ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN

4.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat, pertama-tama adalah menghitung impedansi sumber (reaktansi), yang dalam hal ini didapat dari data pada gardu induk PT. Inalum 230 MVA.

4.1.1 Menghitung Impedansi Sumber

Impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 275 kV, dengan demikian maka data hubung singkat yang akan dihitung adalah dibus 275 kV dan daya pada transformator sebesar 230 MVA.

$$\begin{aligned} \text{Impedansi sumber pada sisi primer (275 kV)} &= \frac{Kv^2}{MVA} \\ &= \frac{(275)^2 Kv}{230 MVA} \\ &= 3,288.053 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Impedansi sumber pada sisi sekunder (33 kV)} &= \frac{(33)^2 Kv \times 3,288.043 \Omega}{230 MVA} \\ &= 4.717 \Omega \end{aligned}$$

Reaktansi transformator pada sisi 33 Kv

$$\begin{aligned} X_1 \text{ (pada 100%)} &= \frac{(33)^2 Kv}{10} \\ &= 3.300 \Omega \end{aligned}$$

Reaktansi urutan positif negatif ($X_{11} = X_{12}$)

$$X_1 = 10 \% \times 3.300 = 330 \Omega$$

Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data transformator itu sendiri yaitu dengan melihat belitan delta yang ada dalam transformator :

- a. Untuk transformator dengan hubungan belitan Δ -Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1} = 330 \Omega$
- b. Untuk trafo dengan belitan Y- Δ dimana kapasitas belitan Δ (delta) pada umumnya sepertiga dari kapasitas belitan Y. Maka nilai $X_{t0} = 3 \times 3.300 = 9.900 \Omega$
- c. Untuk transformator dengan hubungan belitan Y-Y dan tidak mempunyai belitan Δ (delta) didalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 x X_{t1} maka, $9 \times 3.300 = 29.700 \Omega$

4.1.2 Menghitung Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung disini berdasarkan dari besarnya impedansi per kilometer dari penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTT. Perhitungan disini diambil dengan nilai $Z = (R + jX) \text{ Ohm/Km}$:

$$Z_1 = Z_2 = (0,57 + j1,01) \Omega/\text{Km}$$

$$Z_0 = (0,41 + j1,01) \Omega/\text{Km}$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan, perhitungan ini diperkirakan terjadi pada lokasi sejarak 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang, sehingga dihitung sebagai berikut yang tertera pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan positif

% Panjang	Impedansi penyulang (Z_1)
25	$25\% \times 10 \times (0,57 + j1,01) = 1,425 + j2,525\Omega$
50	$50\% \times 10 \times (0,57 + j1,01) = 2,85 + j3,05 \Omega$
75	$75\% \times 10 \times (0,57 + j1,01) = 4,275 + j7,575 \Omega$
100	$100\% \times 10 \times (0,57 + j1,01) = 5,7 + j10,1 \Omega$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan impedansi penyulang urutan nol

% Panjang	Impedansi penyulang nol (Z_0)
25	$25\% \times 10 \times (0,41 + j1,01) = 1,025 + j2,525 \Omega$
50	$50\% \times 10 \times (0,41 + j1,01) = 2,05 + j5,05 \Omega$
75	$75\% \times 10 \times (0,41 + j1,01) = 3,075 + j7,575 \Omega$
100	$100\% \times 10 \times (0,41 + j1,01) = 4,1 + j10,1 \Omega$

4.1.3 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif (Z_{1eq}) dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber.

Perhitungan Z_{1eq} dapat langsung dijumlahkan, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan. Untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini, transformator tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Y- Δ dimana mempunyai nilai tahanan pentanahan $3R_N = 3 \times 3.300 = 9.900 \Omega$

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} :

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= Z_{S1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang} \\ &= j0,57 + j330,0 + Z_{1penyulang} \\ &= 330,41 + Z_{1penyulang} \end{aligned}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang, maka nilai Z_{1eq} yang didapat adalah yang tertera pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil perhitungan impedansi ekivalen jaringan urutan positif

% Panjang	Impedansi Z_{1eq}
25	$j330,41 + (0,3 + j2,525) = 0,3 + j332,935 \Omega$
50	$j330,41 + (0,6 + j5,05) = 0,6 + j335,46 \Omega$
75	$j330,41 + (0,9 + j7,575) = 0,9 + j337,985 \Omega$
100	$j330,41 + (1,2 + j10,1) = 1,2 + j340,51 \Omega$

Perhitungan Z_{0eq} :

$$\begin{aligned} Z_{0eq} &= Z_{t0} + 3R_N + Z_{1penyulang} \\ &= j0,57 + 9.900 + Z_{1penyulang} \end{aligned}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75%, 100%, maka hasil perhitungan Z_{0eq} dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil perhitungan impedansi penyulang untuk urutan nol

% Panjang	Impedansi Z_{0eq}
25	$j0,57 + 9.900 + (0,45 + j2,525) = 9.900,45 + j3,095 \Omega$
50	$j0,57 + 9.900 + (0,90 + j5,05) = 9.900,9 + j5,62 \Omega$
75	$j0,57 + 9.900 + (1,35 + j7,575) = 9.900,135 + j8,145 \Omega$
100	$j0,57 + 9.900 + (1,80 + j10,1) = 9.900,18 + j10,67 \Omega$

4.2 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, hanya saja impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan kedalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat terdiri dari : gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah.

4.2.1 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah :

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}}$$

$$= \frac{\frac{275.000 \text{ v}}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq}} = \frac{159}{Z_{1eq}}$$

Seperti diketahui bahwa lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 70% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{1eq} juga didapat 4 nilai sesuai lokasi gangguan tersebut, hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa

% Panjang	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa
25	$\frac{159}{\sqrt{0,3^2 + j332,935^2}} = 15,14 \text{ A}$
50	$\frac{159}{\sqrt{0,6^2 + j335,46^2}} = 11 \text{ A}$
75	$\frac{159}{\sqrt{0,9^2 + j337,985^2}} = 10,7 \text{ A}$
100	$\frac{159}{\sqrt{1,2^2 + j340,51^2}} = 10,8 \text{ A}$

4.2.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 2 fasa adalah :

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{275.000 \text{ V}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Seperti pada gangguan 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Maka nilai arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa

% Panjang	arus gangguan hubung singkat 2 fasa
25	$\frac{275.000 V}{2 x (0,3+j332,935)} = 22,3 A$
50	$\frac{275.000 V}{2 x (0,6+j335,46)} = 22 A$
75	$\frac{275.000 V}{2 x (0,9+j337,985)} = 21 A$
100	$\frac{275.000 V}{2 x (1,2+j340,51)} = 20 A$

4.2.3 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan rumus :

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{3 x V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{\frac{3 x 275.000 V}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{477}{2 x Z_{1eq} + Z_{0eq}}$$

Kembali sama halnya dengan perhitungan arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa, arus gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sehingga dengan rumus terakhir diatas dapat dihitung besarnya arus gangguan 1 fasa ke tanah yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil perhitungan arus gangguan 1 fasa ke tanah

% Panjang	arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
25	$\frac{477}{2 x (0,3+j332,935) + (9.900,45+j3,095)} = 76 A$
50	$\frac{477}{2 x (0,6+j335,46) + (9.900,9+j5,62)} = 38 A$

% Panjang	arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
75	$\frac{477}{2 \times (0,9+j337,985) + (9.900,135+j8,145)} = 25 \text{ A}$
100	$\frac{477}{2 \times (1,2+j340,51) + (9.900,18+j10,67)} = 19,08 \text{ A}$

Dengan demikian kita bisa mengetahui besarnya perhitungan arus ini. Dan apabila arus hubung singkat diatas telah melebihi arus yang ditentukan maka rele akan bekerja membaca gangguan tersebut.

4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih

$$\begin{aligned} I_n (275 \text{ kV}) &= \frac{23 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 275 \text{ kV}} \\ &= \frac{23.000.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 275.000 \text{ V}} \\ &= \frac{23.000}{475,75} = 48 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_n (33 \text{ kV}) &= \frac{23 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 33 \text{ kV}} \\ &= \frac{23.000.000 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 33.000 \text{ V}} \\ &= \frac{23.000}{57,09} = 403 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \cdot I_{maks}$$

dimana : $K_d = 0,8$ karena nilai berkisar antara $0,7 - 0,9$

$K_{fk} = 1,1$ karena nilai berkisar antara $1,1 - 1,2$

$$I_s(275 \text{ kV}) = \frac{1,1}{0,8} \times 48 \text{ A} = 66 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan rele adalah 66 A

$$I_s(33 \text{ kV}) = \frac{1,1}{0,8} \times 403 \text{ A} = 554 \text{ A}$$

Jadi arus yang melewati kumparan rele adalah 554 A

4.3.1 Perhitungan Penyetelan Waktu Kerja Rele

Penyetelan arus pada rele arus lebih pada umumnya didasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian adanya gangguan hubung singkat di beberapa seksi rele akan bekerja.

Untuk mendapatkan pengaman yang selektif, maka penyetelan waktunya dibuat secara bertingkat. Selain itu, persyaratan lain harus dipenuhi adalah pengaman sistem secara keseluruhan harus bisa secepat mungkin.

Perhitungan dibawah ini berdasarkan sisi primer 275 kV:

a. Berbanding terbalik (*inverse*)

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right] - 1} \times TMS$$

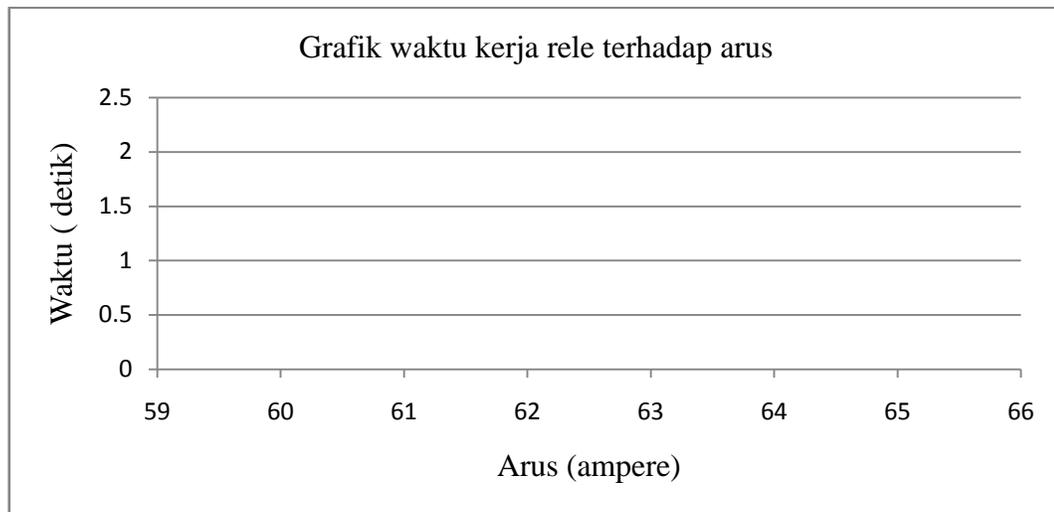
$$1 = \frac{0,14}{\left[\frac{12,657}{66}\right] - 1} \times TMS$$

$$1 = \frac{0,14}{192^{0,02} - 1} \times TMS$$

$$1 = \frac{0,14}{2,0191} \times TMS$$

$$1 = TMS \times 0,69$$

$$TMS = \frac{1}{0,69} = 1,5 \text{ detik}$$



Gambar 4.1 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*inverse time*)

b. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)

$$t = \frac{0,80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \times TMS$$

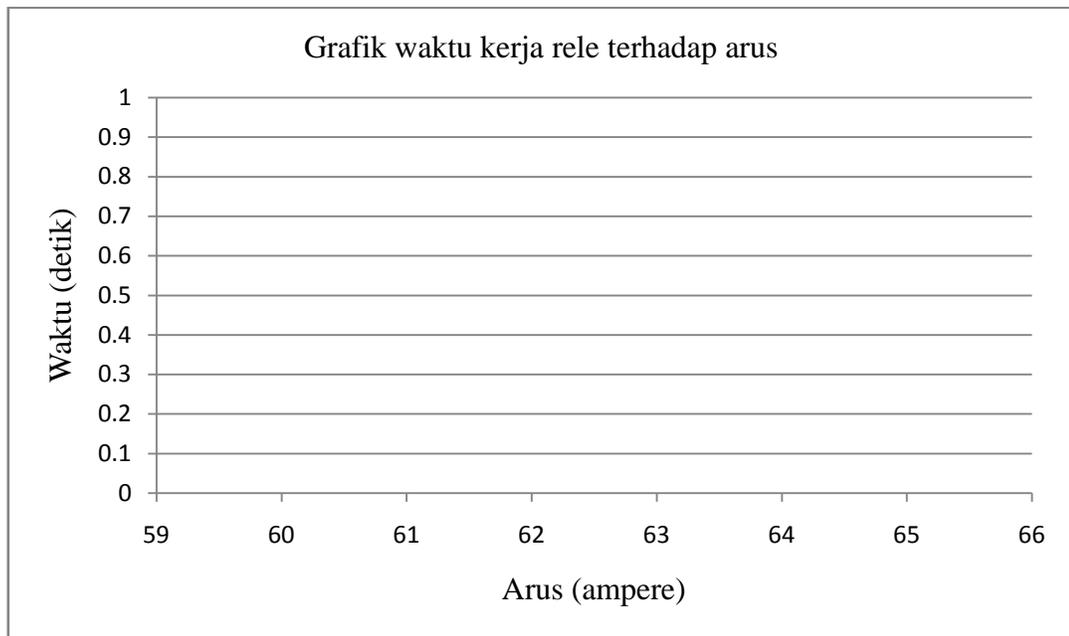
$$1 = \frac{0,80}{\left[\frac{12,657}{66}\right]^2 - 1} \times TMS$$

$$1 = \frac{0,80}{192^2 - 1} \times TMS$$

$$1 = \frac{0,80}{36.863} \times TMS$$

$$1 = TMS \times 0,000021$$

$$TMS = \frac{1}{0,000021} = 0,5 \text{ detik}$$



Gambar 4.2 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*very inverse*)

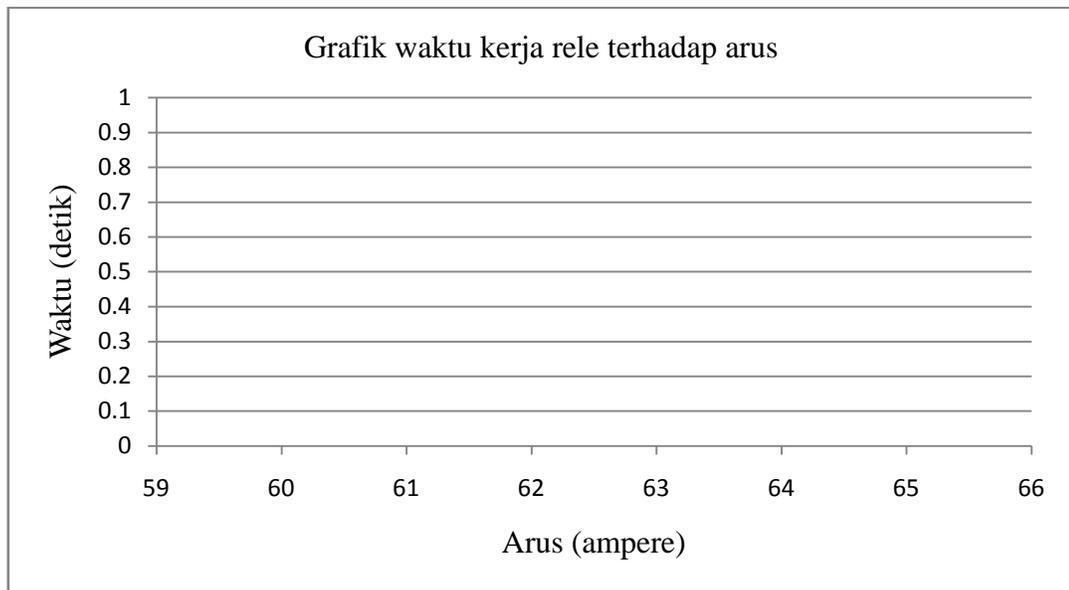
c. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

$$t = \frac{0,80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$1 = \frac{0,80}{\left[\frac{12,657}{66}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$1 = TMS \times 0,000003$$

$$TMS = \frac{1}{0,000003} = 0,3 \text{ detik}$$



Gambar 4.3 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*extremely inverse*)

d. *Long time inverse*

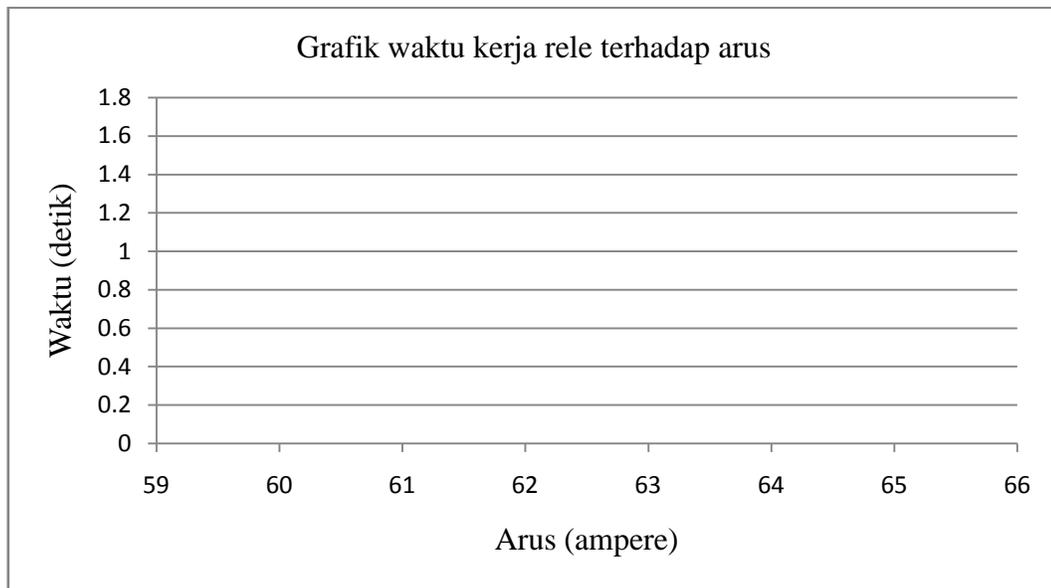
$$t = \frac{120}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$1 = \frac{120}{\left[\frac{12.657}{66}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$1 = \frac{120}{191} \times TMS$$

$$1 = TMS \times 0,62$$

$$TMS = \frac{1}{0,62} = 1,6 \text{ detik}$$



Gambar 4.4 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*long time inverse*)

Perhitungan dibawah ini berdasarkan sisi sekunder 33 kV :

a. Berbanding terbalik (*inverse*)

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{-1}} \times TMS$$

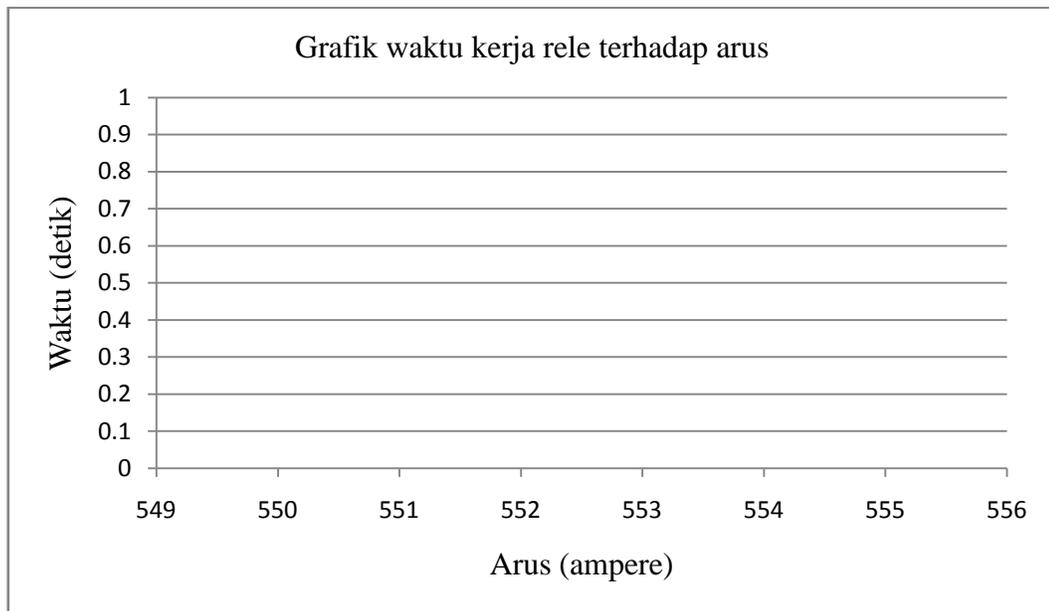
$$0,5 = \frac{0,14}{\left[\frac{12,657}{66}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,14}{23^{0,02-1}} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,14}{2,022} \times TMS$$

$$0,5 = TMS \times 0,07$$

$$TMS = \frac{0,5}{0,07} = 0,7 \text{ detik}$$



Gambar 4.5 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*inverse time*)

b. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \times TMS$$

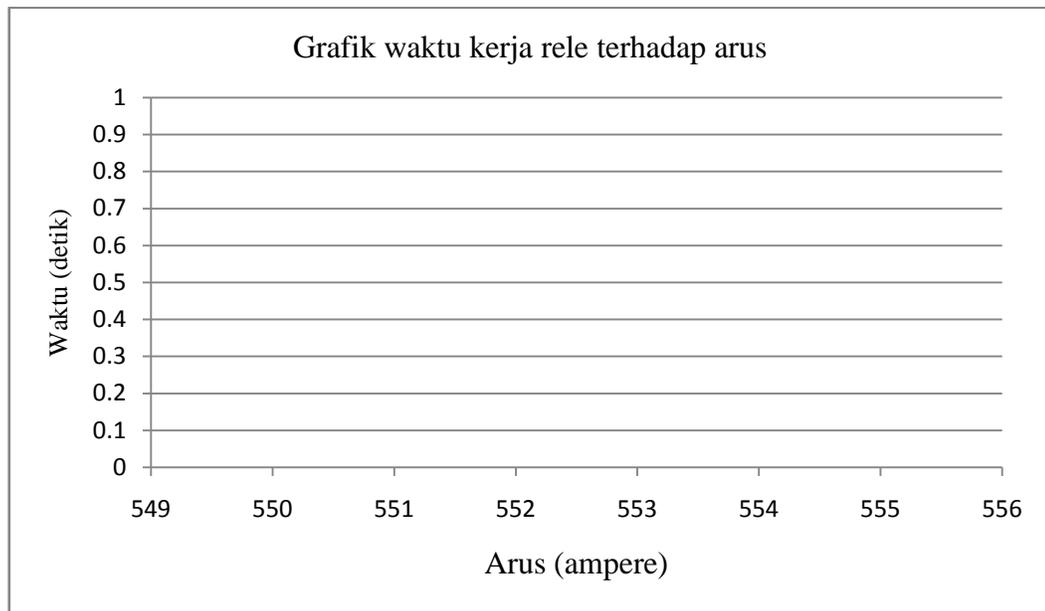
$$0,5 = \frac{0,80}{\left[\frac{12.657}{66}\right]^2 - 1} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,80}{23^2 - 1} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,80}{528} \times TMS$$

$$0,5 = TMS \times 0,0015$$

$$TMS = \frac{0,5}{0,0015} = 0,3 \text{ detik}$$



Gambar 4.6 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*very inverse*)

c. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{12,657}{66}\right]^{-1}} \times TMS$$

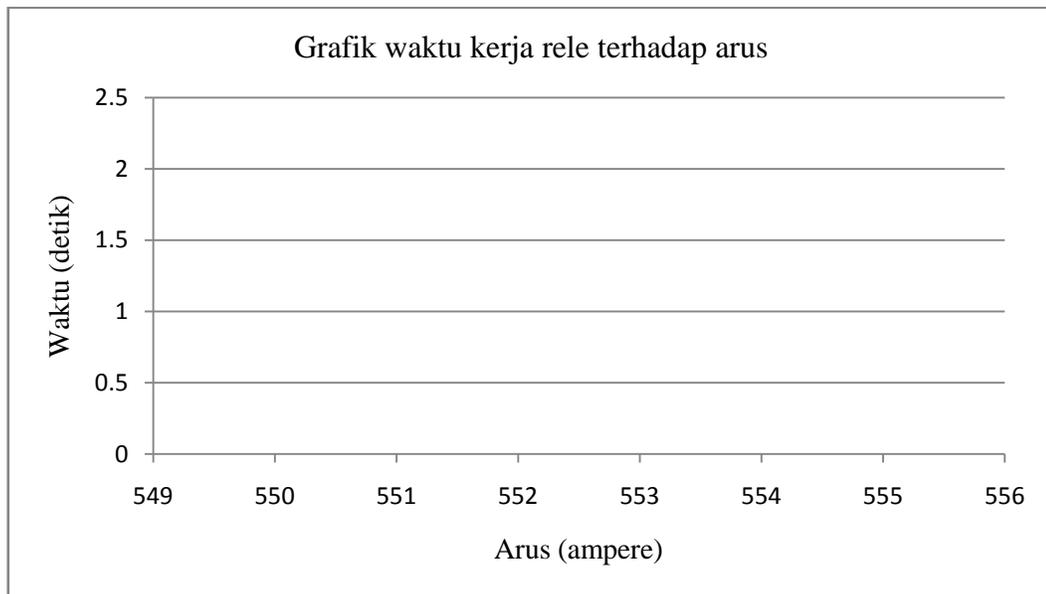
$$0,5 = \frac{0,80}{\left[\frac{12,657}{66}\right]^{-1}} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,80}{23^2 - 1} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{0,14}{528} \times TMS$$

$$0,5 = TMS \times 0,00026$$

$$TMS = \frac{0,5}{0,0006} = 2 \text{ detik}$$



Gambar 4.7 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*extremely inverse*)

d. *Long time inverse*

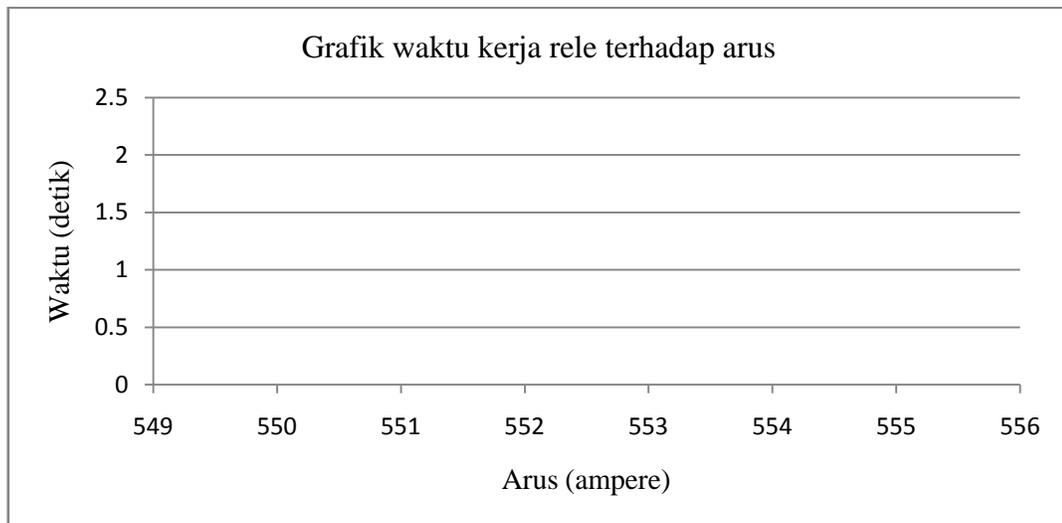
$$t = \frac{120}{\left[\frac{12.657}{66}\right]^{-1} - 1} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{120}{\left[\frac{12.657}{66}\right]^{-1} - 1} \times TMS$$

$$0,5 = \frac{120}{528} \times TMS$$

$$0,5 = TMS \times 0,22$$

$$TMS = \frac{0,5}{0,22} = 2 \text{ detik}$$



Gambar 4.8 Grafik dari hasil perhitungan penyetelan waktu kerja rele (*long time inverse*)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Koordinasi Proteksi Transformator 230 MVA Pada Gardu Induk PT.Inalum Kuala Tanjung dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan gangguan arus hubung singkat dari 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang didapat arus gangguan hubung singkat fasa ke fasa adalah 22,3 A, 22 A, 21 A, 20 A berturut sesuai dengan panjang penyulang. Hasil tersebut merupakan data acuan untuk perhitungan toleransi arus dan waktu kerja rele arus lebih.
2. Transformator merupakan alat vital dalam sebuah rangkaian listrik umum maupun industri, jika terjadi kegagalan pada sistem proteksi terutama rele arus lebih yang menjadi pokok bahasan Tugas Akhir ini, transformator akan merasakan langsung gangguan yang terjadi dan dapat berdampak negative pada transformator maupun daerah penyulang lainnya.
3. Setting arus lebih pada sisi primer 275 kV dengan waktu 1,5 detik pada panjang penyulang 25%. Dengan data dari PT.Inalum memiliki selisih waktu 0,5 pada waktu kerja rele. Maka dari hasil tersebut diharapkan apabila terjadi gangguan, rele akan langsung bekerja agar tidak mengakibatkan kerusakan yang lebih luas.

5.2 Saran

Dari hasil pembahasan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Koordinasi Proteksi Transformator 230 MVA Pada Gardu Induk PT. Inalum Kuala Tanjung diatas, maka saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Dari hasil perhitungan dan penyetelan koordinasi proteksi transformator tersebut mungkin bisa digunakan sebagai perbandingan atau panduan untuk melakukan pengaturan ulang serta dalam pemasangan rele baru maupun pergantian rele.
2. Apabila ada penelitian lanjutan yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini diharapkan lebih banyak daerah sistem proteksi transformator lain yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

Bonar Pandjaitan (2012), *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Andi Yogyakarta, Jakarta

B.L. Theraja (1961), *Electrical Technology*, Nirja Construction & Development CO. (P) LTD, Ram Nagar, New Dehli

Muhammad Alawiy Taqiyyudin (2006), *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang, Malang

Muhammad Nurdin, Syafii, Erliwati (2015), *Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Distribusi 20 kV G.I Pauh Limo*, Jurnal Nasional Teknik Elektro, Padang

Sugeng Priyono (2015), *Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk 150 kV Krapyak*, Jurnal Nasional Teknik Elektro, Yogyakarta.

Sutrisno (1987), *Elektronika Teori dan Penerapannya*, Penerbit ITB, Bandung

Sudaryatno Sudirham (2002), *Analisis Rangkaian Listrik*, Penerbit ITB, Bandung

Abdul Kadir (1979), *Transformator*, Pradnya Paramita, Jakarta

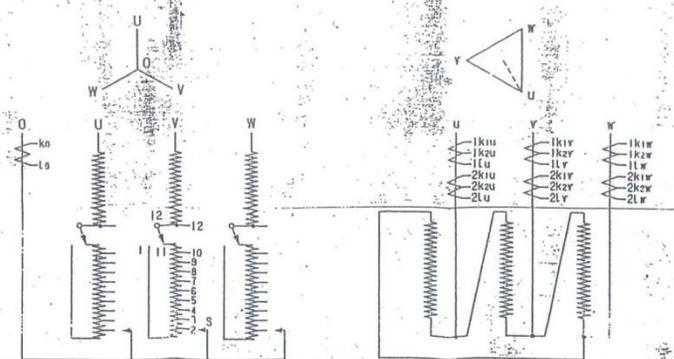
Suryatmo (2014), *Dasar-Dasar Teknik Listrik*, Bina Adiaksara, Jakarta

ELECTRIC

TRANSFORMER ON-LOAD TAP-CHANGING

STANDARD	JEC-168(1966)
NUMBER OF PHASES	3
RATED FREQUENCY	50 Hz
RATED POWER	182000 kVA
RATED VOLTAGES	1'RY 262500 V 2'RY 33000 V
RATED CURRENTS	1'RY 400 A 2'RY 3184 A

TYPE OF COOLING	OFAF
IMPEDANCE VOLTAGE	15.07 %
INSULATION CLASS	NO. 200
1'RY NEUTRAL	NO. 30
2'RY	NO. 30
TEMPERATURE RISE (OIL)	50 deg
TEMPERATURE RISE (WINDING)	55 deg
VECTOR GROUP SYMBOL (IEC-76)	YNd5



TAP VOLTAGES (ON-LOAD TAP-CHANGER)		
VOLTAGES (V)	POS.	CONNECTIONS
1'RY	2'RY	
F 287500	1	S-1-2
F 284375	2	S-1-3
F 281250	3	S-1-4
F 278125	4	S-1-5
F 275000	5	S-1-6
F 271875	6	S-1-7
F 268750	7	S-1-8
F 265625	8	S-1-9
R 262500	9	S-1-10
F 259375	10	S-1-11
F 256250	11	S-1-12
F 253125	12	S-2-1
F 250000	13	S-2-2
F 246875	14	S-2-3
F 243750	15	S-2-4
F 240625	16	S-2-5
F 237500	17	S-2-6

LOCATION	B-C-T	
	1'RY-NEUTRAL	2'RY
	NO. 1 CORE	NO. 2 CORE
RATED CURRENT(A)	1000	5000-2500/1 5000-2500/1
CONNECTIONS	K-11(5000/1A)	2k-2(5000/1A)
	1kz-11(2500/1A)	2kz-2(2500/1A)
RATED BURDEN (VA)	40	40 80
ACCURACY		1.0
OVER CURRENT CONSTANT		>20

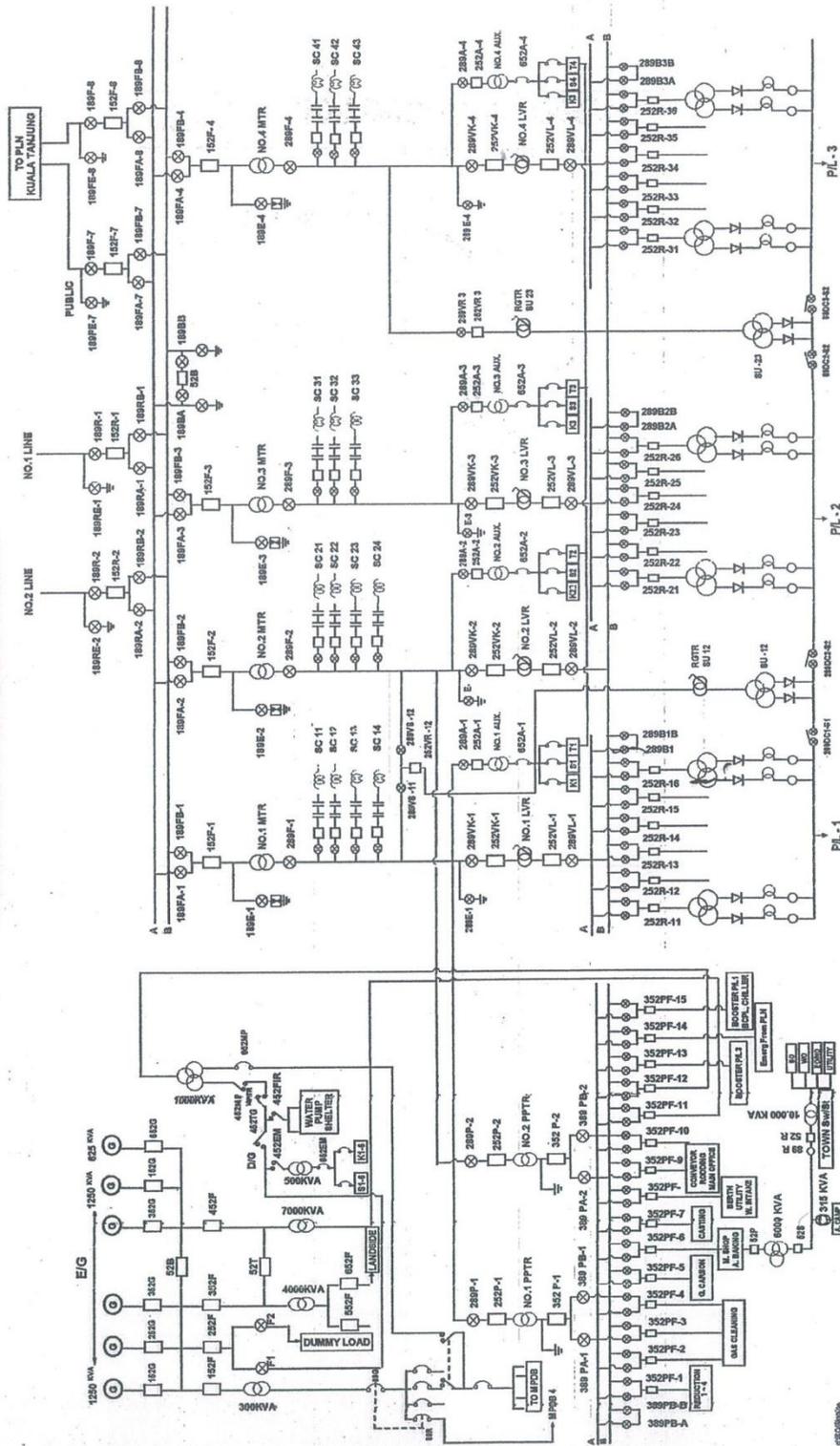
TOTAL WEIGHT	191000 kg
CORE AND WINDINGS	112000 kg
SERIAL NUMBER	AG21500T2-1

OIL QUANTITY (TOTAL)	30800 L
(DIVERter SWITCH)	120 L
YEAR OF MANUFACTURE	MAY, 1981

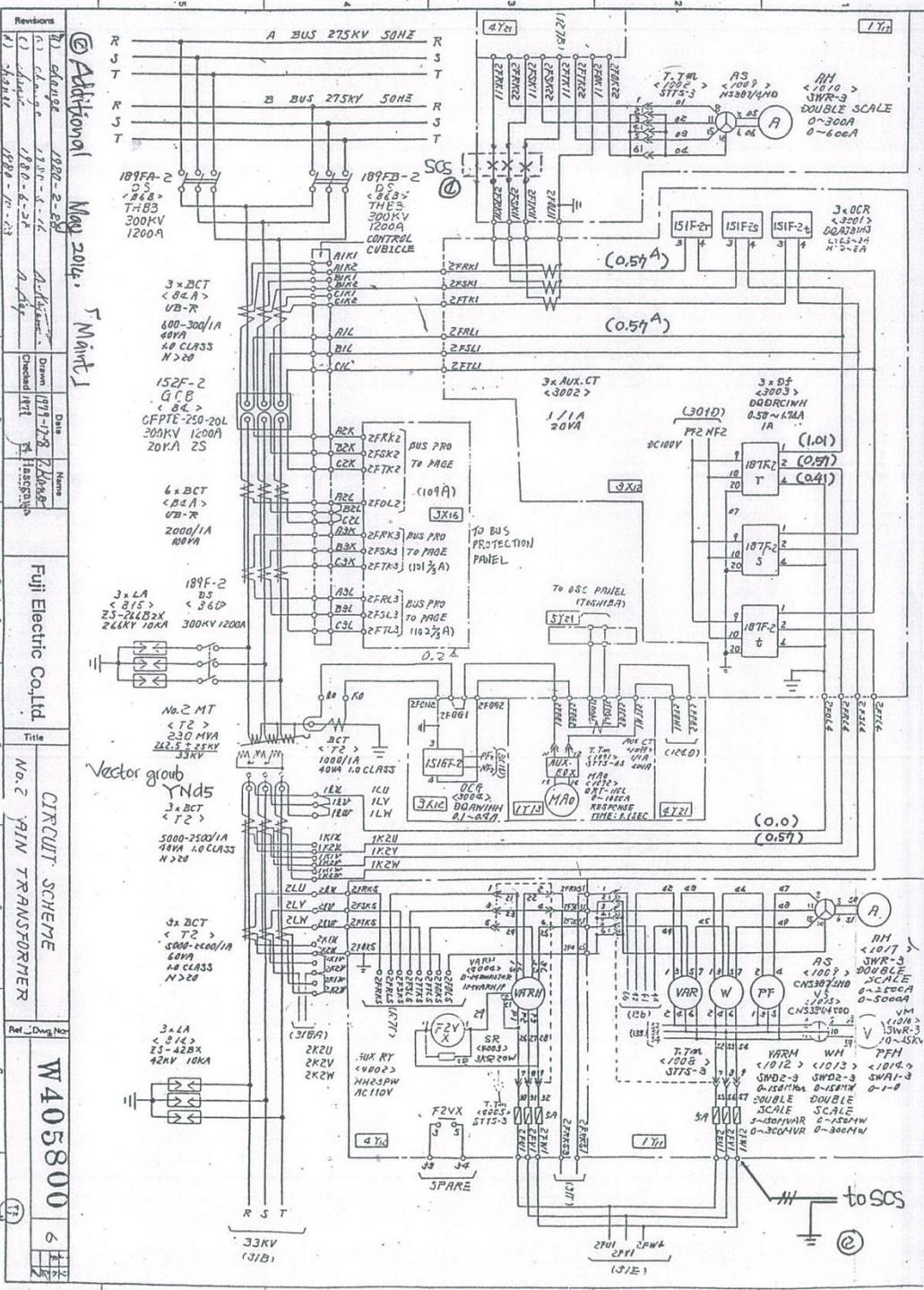
TR236371

Fuji Electric Co., Ltd. Japan

DIAGRAM SATU GARIS SISTEM INALUM



1) change 1991-3-1 A-Report
2) change 1992-2-8



Revisions

1) change	1990-2-8	A-Report
2) change	1991-3-1	A-Report
3) change	1992-2-8	A-Report
4) change	1992-2-8	A-Report
5) change	1992-2-8	A-Report

Additional
May 2014
Mant J

Rev	Date	Name
1	1990-2-8	A-Report
2	1991-3-1	A-Report
3	1992-2-8	A-Report
4	1992-2-8	A-Report
5	1992-2-8	A-Report

Fuji Electric Co. Ltd.

CIRCUIT SCHEME

No. 2 MAIN TRANSFORMER

Ref. Draw No. W405800