

TUGAS AKHIR

“ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI GANGGUAN SISTEM TENAGA LISTRIK PADA PT DOMAS AGROINTI PRIMA MENGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 19.0.1”

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

DISUSUN OLEH:

MUHAMMAD RAFLI SARDI

1907220055



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Rafli Sardi

NPM : 1907220055

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Proteksi Gangguan Sistem Tenaga Listrik Pada PT Domas Agointi Prima Menggunakan Software ETAP 19.0.1

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

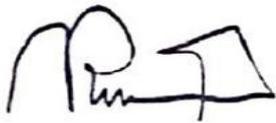
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Penguji



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

Program Studi Teknik Elektro



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Rafli Sardi
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 12 Oktober 2000
Npm : 1907220055
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI GANGGUAN SISTEM TENAGA LISTRIK PADA PT DOMAS AGROINTI PRIMA MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 19.0.1”

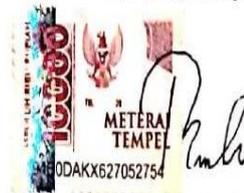
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan ontentik.

Bila Kemudian Hari diduga Kuat ada ketidak sesuaian antara Fakta dan 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 perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 September 2023

Saya yang menyatakan,



Muhammad Rafli Sardi

ABSTRAK

Pada sebuah sistem kelistrikan sering sekali terjadi gangguan yang menyebabkan pemadaman aliran listrik bahkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan. Gangguan ini bisa terjadi di bagian mana saja misalnya jaringan distribusi listrik. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi proteksi yang baik agar kontinuitas penyaluran sistem tenaga listrik dapat terjaga dan sistematis. Biasanya pemadaman disebabkan oleh gangguan hubung singkat, jika penyetelan *Over Current Relay* (OCR) di sisi *incoming* atau *outgoing* kurang baik dapat menyebabkan pemadaman total (*black out*). Berdasarkan analisis arus hubung singkat yang terjadi pada transformator gardu induk PT. Domas Agroiinti Prima yaitu pada gangguan 1 fasa ke tanah sebesar 674,037 A , fasa ke fasa sebesar 4240,8 A, dan gangguan 3 fasa sebesar 4896,87 A. Berdasarkan *setting* waktu yang telah ditentukan tidak kurang < 0,1 detik bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai sehingga kinerja sistem proteksi juga dikatakan baik karena OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) saling berkaitan satu sama lain dalam hal kinerjanya. Adapun hasil dari perhitungan aliran daya menggunakan *Software* ETAP 19.0.1 menunjukkan hasil dari *load flow* PT. Domas Agroiinti Prima terdapat di *Power Plant Site* dari Gardu Induk PLN 4,33 MVA; 20 kV hingga 6,93 MVA; 20 kV mempunyai 3 *busbar* yang pertama di *busbar* 20 kV hasilnya 100%, di *busbar* yg kedua 6,3 kV hasilnya 70,59% dan yang ketiga 0,4 kV *busbar* nya 61,08%.

Kata Kunci : Sistem Proteksi, *Software* ETAP 19.0.1

ABSTRACT

In an electrical system, there are often disturbances that cause power outages and even damage to electrical equipment. This disruption can occur in any part, such as the electricity distribution network. Therefore, good protection coordination is needed so that the continuity of electric power system distribution can be maintained and systematic. Usually outages are caused by short-circuit interruptions, if tuning Over Current Relay (OCR) on the side incoming or Outgoing Lack of good can lead to a complete blackout (black out). Based on the analysis of short-circuit currents that occur in substation transformers of PT. Domas Agointi Prima is at 1 phase disturbance to the ground of 674,037 A , phase to phase 4240.8 A, and phase to 3 phase disturbance of 4896.87 A. Based on Settings The predetermined time is not less seconds that the calculation results with the condition that the time is still in the appropriate condition so that the performance of the protection system is also said to be good because $< 0,1$ Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) are related to each other in terms of their performance. As for The result of the calculation of power flow using Software ETAP 19.0.1 shows the result of load flow PT. Domas Agointi Prima is located at Power Plant Site from PLN Substation 4.33 MVA; 20 kV to 6.93 MVA; 20 kV has 3 busbars, the first in the 20 kV busbar the result is 100%, in the second busbar 6.3 kV the result is 70,59% and the third 0.4 kV busbar is 61.08%.

Keywords: Protection System, Software ETAP 19.0.1

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua. Alhamdulillah atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI GANGGUAN SISTEM TENAGA LISTRIK PADA PT DOMAS AGROINTI PRIMA MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 19.0.1” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Orang tua penulis : Bapak Agus Sardi dan Ibu Yusnani, yang tiada henti selalu mendo’akan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai dan tiada henti kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan tepat waktu.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T.,M.T., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing kami dalam penulisan laporan Tugas Akhir.

8. Bapak Ir. Abdul Aziz, M.M, selaku Dosen Pembidangan dalam penyusunan Tugas Akhir.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2019

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri saya pribadi dan para pembaca.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Medan, 31 Agustus 2023

Penulis



Muhammad Rafli Sardi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.6. Manfaat Penelitian.....	3
1.7. Metode Penelitian.....	3
1.8. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka <i>Relevan</i>	5
2.2 Sistem Proteksi	7
2.2.1 Tujuan Sistem Proteksi	8
2.2.2 Persyaratan Sistem Proteksi	8
2.2.3 CB (<i>Circuit Breaker</i>).....	11
2.2.4 ACB (<i>Air Circuit Breaker</i>).....	12
2.2.5 GCB (<i>Generator Circuit Breaker</i>).....	13
2.2.6 VCB (<i>Vacuum Circuit Breaker</i>).....	14
2.2.7 SEPAM 1000+	14
2.3 Transformator	15
2.3.1 Prinsip Kerja Transformator	16
2.3.2 Transformator Arus/ <i>Current Transformer (CT)</i>	17
2.3.3 Transformator Tegangan/ <i>Potensial Transformer (PT)</i>	17
2.4 Gangguan Hubung Singkat	18
2.4.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	22
2.4.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	23
2.4.3 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	24

2.5	<i>Relay Arus Lebih (Over Current Relay)</i>	25
2.5.1	Macam-macam Karakteristik <i>Relay</i>	26
2.5.2	<i>Setting OCR (Over Current Relay)</i>	28
2.6	<i>Relay Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)</i>	29
2.7	<i>Overload</i> (Gangguan Beban Lebih)	30
2.8	<i>Over Voltage</i> (Gangguan Tegangan Lebih)	30
2.9	<i>Software ETAP Power Station 19.0</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.1.1	Tempat Penelitian.....	33
3.1.2	Waktu Penelitian	33
3.2	Teknik Analisa Data	33
3.3	Data Penelitian	344
3.4	<i>Flowchart</i>	39
3.5	Metode Analisa Data	40
3.6	Simulasi Sistem Proteksi	40
BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN.....		45
4.1	Analisis Simulasi <i>Software ETAP 19.0.1</i>	45
4.2	Perhitungan dan Analisis Data	55
4.2.1	Perhitungan Impedansi Sumber	55
4.2.2	Perhitungan <i>Reaktansi</i> Transformator.....	55
4.2.3	Perhitungan Impedansi Penyulang.....	56
4.2.4	Perhitungan Impedansi <i>Ekivalen Jaringan</i>	56
4.3	Mehitung Arus Gangguan Hubung Singkat	57
4.3.1	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	57
4.3.2	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa.....	58
4.3.3	Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.....	59
4.4	Perhitungan Waktu Kerja <i>Relay</i>	60
BAB V PENUTUP.....		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 CB (<i>Circuit Breaker</i>).....	12
Gambar 2. 2 ACB (<i>Air Circuit Breaker</i>).....	13
Gambar 2. 3 GCB (<i>Generator Circuit Breaker</i>).....	13
Gambar 2. 4 (VCB) <i>Vacuum Circuit Breaker</i>	14
Gambar 2. 5 SEPAM 1000+ Seri 40'	15
Gambar 2. 6 Transformator Energi	16
Gambar 2. 7 Rangkaian Transformator.....	17
Gambar 2. 8 Arus Hubung Singkat Simetri	19
Gambar 2. 9 Arus Hubung Singkat Asimetri	19
Gambar 2. 10 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	23
Gambar 2. 11 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	24
Gambar 2. 12 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	24
Gambar 2. 13 <i>Relay Arus Lebih (Over Current Relay)</i>	26
Gambar 2. 14 <i>Relay Waktu Seketika (Instantaneous Relay)</i>	26
Gambar 2. 15 <i>Relay Dengan Waktu Tertentu (Definite Time Relay)</i>	27
Gambar 2. 16 <i>Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Time Relay)</i>	27
Gambar 2. 17 <i>Relay Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)</i>	29
Gambar 2. 18 <i>Overload (Gangguan Beban Lebih)</i>	30
Gambar 2. 19 <i>Over Voltage (Gangguan Tegangan Lebih)</i>	31
Gambar 3. 1 Transformator 5000 kVA	34
Gambar 3. 2 Transformator 6000 kVA	35
Gambar 3. 3 <i>Star-Protection-Coordination</i>	41
Gambar 3. 4 <i>Fault Insertion</i>	41
Gambar 3. 5 <i>Sequence Viewer</i>	42
Gambar 3. 6 <i>Hasil Sequence Viewer</i>	43
Gambar 4. 1 <i>Single Line Diagram</i> PT. Domas Agointi Prima	44
Gambar 4. 2 <i>Star Protection & Coordination</i>	46
Gambar 4. 3 <i>Fault Insertion</i>	46
Gambar 4. 4 <i>Sequence Viewer</i>	47
Gambar 4. 5 Simulasi Proteksi <i>Busbar 65</i>	48
Gambar 4. 6 Hasil <i>Sequence Viewer Busbar 65</i>	49
Gambar 4. 7 Simulasi Proteksi <i>Busbar 8</i>	50
Gambar 4. 8 Hasil <i>Sequence Viewer Busbar 8</i>	51
Gambar 4. 9 Simulasi Proteksi <i>Busbar 66</i>	52
Gambar 4. 10 Hasil <i>Sequence Viewer Busbar 66</i>	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator 5000 kVA	35
Tabel 3. 2 Spesifikasi Transformator 6000 kVA	36
Tabel 3. 3 Data Kabel Penghantar	36
Tabel 3. 4 Data Sistem Proteksi Sisi Incoming.....	36
Tabel 3. 5 Data Sistem Proteksi Sisi Outgoing	37
Tabel 3. 6 Data Arus Gangguan.....	37
Tabel 4. 1 Data Penghantar	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik yakni untuk mendistribusikan energi listrik ke berbagai titik beban. Sistem tenaga listrik didesain dan dikelola sebaik mungkin sehingga dapat mendistribusikan (penyaluran) energi listrik dengan tingkat ketersediaan yang tinggi dan ekonomis.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik yang baik bersangkutan dengan mutu dan *kontinuitas*. Dalam hal ini, *kontinuitas* merupakan ketersediaan energi listrik yang terus menerus selalu ada dalam penyaluran dayanya. Untuk mendapatkan *kontinuitas* dibutuhkan sistem pengamanan yang baik pada sistem penyaluran energi listrik.

Sistem proteksi ini merupakan pengamanan atau perlindungan bagi seluruh komponen – komponen pada sistem ketenagalistrikan seperti pada generator, transformator, gardu induk dan saluran transmisi distribusi. Koordinasi sistem proteksi adalah suatu sistem yang melibatkan antar alat-alat proteksi untuk mengamankan sebuah jaringan distribusi listrik. Keandalan sistem tenaga listrik didapatkan lewat koordinasi perlindungan pada sistem pengamanan. (Iriando & Agung, 2019)

Kendala didefinisikan selaku suatu keadaan fisis yang diakibatkan kegagalan sesuatu fitur, komponen ataupun sesuatu elemen buat bekerja sesuai dengan gunanya. Kendala merupakan penghalang dari suatu sistem yang lagi beroperasi ataupun suatu kondisi dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan wajar. Suatu kendala di dalam perlengkapan listrik didefinisikan selaku terbentuknya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menimbulkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Dalam tiap sistem tenaga listrik senantiasa digunakan sistem perlindungan ataupun pengamanan buat mengestimasi apabila terjalin kendala. Sistem perlindungan serta pengamanan ini dibutuhkan buat memisahkan bagian yang hadapi kendala dengan yang tidak mengami kendala sehingga sistem bisa melaksanakan operasinya. (Gusti, I, Arka & Mudiana, 2013) (Naparini, 2018)

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perlu dibuat rumusan masalah. Adapun rumusan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana koordinasi proteksi gangguan pada sistem di PT Domas Agroiinti Prima
2. Bagaimana analisis dan simulasi terhadap gangguan menggunakan *Software* ETAP 19.0.1 di PT Domas Agroiinti Prima

1.3. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan yaitu sebagai berikut :

1. Dilaksanakan pada tegangan menengah 6,3 kV – 20 kV di PT Domas Agroiinti Prima
2. *Software* yang akan digunakan adalah ETAP 19.0.1
3. Analisis difokuskan pada proteksi *relay* gangguan *short circuit*, fasa ke fasa, fasa ke netral, fasa ke *grounding*, *overcurrent*, *overload*, *over voltage*

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui koordinasi proteksi yang tepat terhadap gangguan sistem di PT Domas Agroiinti Prima
2. Membuat analisis dan simulasi sistem proteksi terhadap gangguan menggunakan *Software* ETAP 19.0.1 di PT Domas Agroiinti Prima

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam hal ruang lingkup penelitian, tugas akhir dapat dilihat yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya untuk mengetahui nilai setting sistem proteksi incoming dan outgoing pada transformator gardu induk PT Domas Agroiinti Prima

2. Penelitian ini hanya untuk mengetahui hasil koordinasi *relay incoming* dan *outgoing* saat terjadi gangguan arus hubung singkat
3. Waktu *relay* bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Sebagai panduan untuk perusahaan di dalam melakukan koordinasi proteksi pada jaringan distribusi 6,3 kV – 20 kV
2. Untuk meningkatkan kehandalan dan kualitas koordinasi sistem proteksi pada jaringan distribusi 6,3 kV – 20 kV PT Domas Agrounti Prima
3. Hasil penelitian ini dapat di gunakan untuk bahan acuan penelitian lain yang relevan

1.7. Metode Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini, penulis melakukan pengumpulan data dan bahan pembahasan dengan cara sebagai berikut

1. Studi Kepustakaan : Mengumpulkan bahan pembahasan melauai jurnal dan websaite yang menyangkut dengan skripsi.
2. Konsultasi : Melakukan tanya jawab dengan karyawan bidang *Electrical Engineering* di PT Domas Agrounti Prima, dosen pembimbing dan teman-teman yang berpengalaman dibidang proteksi.
3. Melakukan simulasi proteksi menggunakan *Software* ETAP 19.0.1

1.8. Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini tersusun atas beberapa bab pembahasan tentang koordinasi sistem proteksi terhadap gangguan, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, ruang lingkup penelitian dan manfaat penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikam teori-teori pendukung untuk menunjang dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menerangkan tentang waktu dan tempat penelitian, spesifikasi peralatan yang digunakan ataupun hal-hal yang bersangkutan dengan penelitian.

BAB IV : ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini berisikan hasil analisa data koordinasi proteksi terhadap gangguan serta mensimulasikan menggunakan *Software* ETAP 19.0.1.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran terhadap penulisan penelitian tugas akhir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka *Relevan*

Pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari adanya gangguan, walaupun sudah didesain sebaik mungkin. Hal ini dapat disebabkan oleh kerusakan isolasi pada sistem tenaga listrik ataupun gangguan dari luar seperti dahan pohon dan sebagainya yang mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Adanya hubung singkat menimbulkan arus lebih yang pada umumnya jauh lebih besar daripada arus pengenal peralatan dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik, sehingga bila gangguan tidak segera dihilangkan dapat merusak peralatan dalam sistem tersebut.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya dan telah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yaitu salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi listrik adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinyu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain yang jaraknya berjauhan dalam satu sistem tenaga listrik, sistem tenaga listrik merupakan kumpulan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban, yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem yang disebut sistem tenaga listrik. (Dr. Ramadoni Syahputra, 2019).

Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah, suatu gangguan distribusi hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi, istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standar ANSI/IEEE Std. 100- 1992. Hubung singkat merupakan suatu hubung abnormal (termasuk busur api) pada implementasi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensi yang berbeda. (Imran et al., 2021).

Deteksi lokasi gangguan secara otomatis dapat meningkatkan keandalan sistem karena dapat mempercepat proses perbaikan atau pemulihan dan juga dapat meminimalisir kerugian materi yang dapat terjadi, jika lokasi gangguan dicari secara manual akan membuat durasi waktu pemulihan semakin lama, khususnya

untuk saluran distribusi bawah tanah yang sukar dilihat lokasi gangguannya dengan cara pengamatan, semakin lama lokasi gangguan ditemukan, maka akan semakin lama proses pemulihan, jadi semakin lama penemuan lokasi gangguan maka akan semakin besar kerugian yang diterima oleh perusahaan, gangguan-gangguan ini tidak dapat sepenuhnya dihindari karena sebagian dari gangguan ini juga terjadi karena alasan alami di luar kendali manusia. Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki sistem proteksi yang terkoordinasi dengan sangat baik untuk mengetahui posisi terjadinya gangguan dalam sistem tenaga listrik dan dapat diandalkan. (Fahrulrozi et al., 2019).

Dalam sistem distribusi tenaga listrik terdapat banyak peralatan distribusi yang harus dilindungi dari adanya gangguan hubung singkat. Semakin banyaknya kebutuhan masyarakat maupun industri dalam kehidupan sehari-hari tidak menutup kemungkinan akan penambahan sejumlah beban listrik yang terpasang dalam jaringan distribusi tenaga listrik. Semakin banyak peralatan listrik yang bersifat vital, semakin banyak pula perangkat proteksi yang dibutuhkan.

relay arus lebih adalah peralatan proteksi utama dalam sistem distribusi, dimana *relay* tersebut terpasang di banyak titik sesuai dengan sistem distribusi yang ada. Agar sistem memiliki kualitas tinggi dalam penyaluran tenaga listrik, semua *relay* yang terpasang harus terkoordinasi satu sama lain dimana terdapat *relay* utama dan *relay* back up yang harus disetting dan terkoordinasi dengan baik tanpa menyebabkan kesalahan pada sistem yang dapat menimbulkan kerugian.

Sistem transmisi merupakan bagian sistem tenaga listrik dinamis yang parameter dan keadaannya berubah secara terus menerus terhadap waktu operasionalnya. Sistem transmisi pada umumnya merupakan saluran udara terbuka yang membawa daya aktif dan reaktif yang sangat besar untuk disalurkan ke sistem distribusi atau beban. Saluran transmisi merupakan saluran terpanjang dengan penghantar terbuka hingga puluhan kilometer yang berpotensi besar terjadinya gangguan hubung singkat dan *fluktuasi* daya aktif-reaktif sangat besar. Daya aktif (P) adalah daya yang harus dibangkitkan di sisi pembangkit kemudian disalurkan ke saluran transmisi. Daya reaktif (Q) merupakan jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet akibat dari penggunaan peralatan motor-motor

induksi. Kejadian fluktuasi aliran daya reaktif terbesar pada sistem tenaga listrik berada pada saluran transmisi. (Zainuddin et al., 2015) (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, 2015)

2.2 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Sistem proteksi merupakan pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transformator tenaga, transmisi tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen). Jadi pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga. *relay* proteksi mempunyai fungsi antara lain:

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankan.
2. Memisahkan bagian yang terganggu dari bagian sistem yang masih beroperasi dengan cara memerintahkan / menginformasikan *trip* kepada PMT yang bersangkutan.
3. Memberitahukan adanya gangguan kepada operator, yaitu dengan cara membunyikan alarm dan menyalakan lampu tanda gangguan.
4. Relai proteksi mutakhir dapat memberi informasi jarak lokasi gangguan dan letak gangguan.

Sistem proteksi merupakan suatu cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan menengah adalah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (6.3 kV – 20 kV), yang terdiri dari : Saluran

Udara Tegangan Menengah (SUTM), dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). (Azis & Febrianti, 2019) (Bhattacharya & Goswami, 2008)

2.2.1 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain:

- a. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- b. Untuk mengisolir daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- c. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen serta memperkecil bahaya bagi manusia. (Wibowo et al., 2017) (Kamel et al., 2013)

2.2.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Adapun fungsi-fungsi ataupun kegunaan yang harus dimiliki oleh sistem proteksi, yaitu sebagai berikut :

- a. Mendeteksi kondisi gangguan
- b. Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Berikut hal-hal yang menjadi persyaratan terpenting dari sistem proteksi, yaitu sebagai berikut :

A. Kepekaan Proteksi (*sensitivity*)

Pada prinsipnya *relay* harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum. Untuk *relay* arus lebih hubung singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, *relay* itu harus dapat membaca atau mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya

dalam kondisi pembangkitan minimum. Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau transformator, *relay* yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan diatas hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi *laminasi stator* atau inti transformator, maka perbaikannya sangat sukar dan mahal.

Sebagai pengaman atau perlindungan gangguan tanah pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), *relay* yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiuip angin, yang tidak bisa terdeteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka *relay* hubung-singkat yang akan bekerja. Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya, jika terlalu peka, *relay* akan terlalu sering *trip* untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima. (Wahyu Hendra Prasetya et al., 2022) (Sunaya & Widharma, 2020)

B. Keandalan Proteksi (*Reliability*)

Suatu sistem tenaga listrik dituntut keandalannya setinggi mungkin dengan meminimalisir kemungkinan terjadinya gangguan. Dari segi sirkuit listrik, gangguan tersebut umumnya berupa hubung singkat (*short circuit*) akibat dari kegagalan isolasi. Hubung singkat menyebabkan arus yang mengalir besarnya berlipat kali arus normal dan mungkin pula disertai timbulnya busur api listrik (*arcing*). Keduanya akan merusak peralatan listrik yang bersangkutan apabila terlambat dihentikan. Arus hubung singkat yang besar juga membahayakan setiap peralatan yang dilaluinya.

Berikut ada 3 aspek yang harus dimiliki dalam keandalan sistem proteksi, yaitu sebagai berikut:

1) *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya atau keandalan kemampuan bekerjanya. Pada prinsipnya suatu sistem proteksi (pengaman) harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi kondisi gangguan yang terjadi dan melepaskan bagian yang terganggu dari sistem), sehingga dapat mengamankan peralatan listrik dari gangguan. Sistem proteksi tidak boleh

gagal bekerja, sehingga *dependability* harus tinggi atau dengan kata lain *relay* harus dapat diandalkan setiap saat.

2) *Security*

Yaitu tingkat keandalan untuk tidak melakukan kesalahan bekerja. Kesalahan bekerja adalah kerja yang semestinya tidak harus dilakukan, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Kesalahan bekerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan *security*-nya harus tinggi.

3) *Availabilty*

Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

C. *Selektifitas* Proteksi (*Selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian rupa disebut pengaman yang selektif. Jadi, *relay* harus dapat membedakan yaitu :

- a. Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat.
- b. Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak *trip*.
- c. Gangguannya diluar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali. Untuk itu *relay-relay*, yang didalam sistem terletak secara seri, di koordinir dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*) atau peningkatan *setting* arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya. Untuk itulah *relay* dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik *relay* yang tepat, spesifikasi transformator arus yang

benar, serta penentuan *setting relay* yang terkoordinir dengan baik, *selektifitas* yang baik dapat diperoleh.

D. Kecepatan Proteksi (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya. Kecepatan dari sistem proteksi itu penting untuk :

- a. Menghindari kerusakan secara *thermis* pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- b. Mempertahankan kestabilan sistem.
- c. Membatasi *ionisasi* (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (*reclosing*) dan mempersingkat *dead timenya* (*interval* waktu antara buka dan tutup).

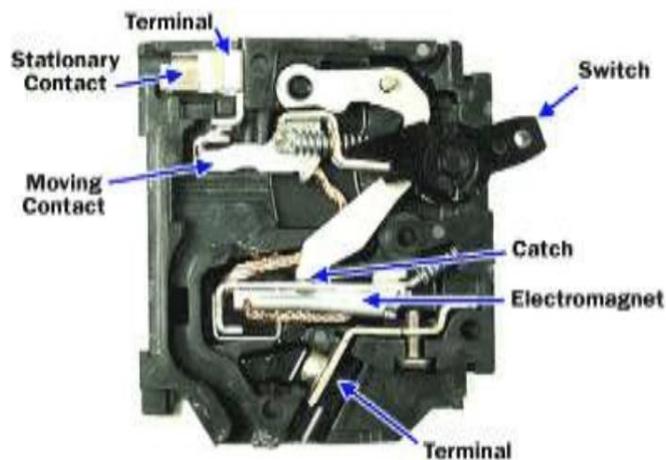
Untuk menciptakan *selektifitas* yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda, namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin dengan memperhitungkan resikonya. (Wibowo et al., 2017) (Ii & Pustaka, 1992)

2.2.3 CB (*Circuit Breaker*)

CB (*Circuit Breaker*) merupakan komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yaitu alat pemutus tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik, baik dalam kondisi normal (sesuai rencana dengan tujuan pemeliharaan), abnormal (gangguan), atau dalam keadaan *manuver* sistem. Syarat – syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus tenaga listrik atau *Circuit Breaker* (CB) adalah :

- a. Harus mampu untuk menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu yang lama.
- b. Dapat membuka otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih.
- c. Harus dapat memutus dengan cepat bila terjadi hubung singkat.
- d. Celah (*Gap*) harus tahan dengan tegangan rangkaian, bila kontak terbuka.
- e. Mampu dialiri arus hubung singkat dengan waktu tertentu.

- f. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan waktu tertentu.
- g. Mampu memutuskan arus *magnetisasi* transformator atau jaringan serta arus pemuatan (*Charging Current*).
- h. Mampu menahan efek dari *charging* kontakannya, gaya elektromagnetik atau kondisi *thermal* yang tinggi akibat hubung singkat. (Gomez & Morcos, 2010) (Sarwito & Priyanga, 2021)



Gambar 2. 1 CB (*Circuit Breaker*)

2.2.4 ACB (*Air Circuit Breaker*)

Air Circuit Breaker (ACB) adalah jenis pemutus sirkuit yang beroperasi di udara pada tekanan *atmosfer*. Setelah pengembangan *oil breaker*, pemutus sirkuit udara tegangan menengah (ACB) diganti sepenuhnya oleh *oil circuit breaker* di berbagai negara. Ini juga merupakan pilihan yang baik untuk menghindari risiko kebakaran minyak, jika terjadi pemutus sirkuit minyak.

Prinsip kerja *Air Circuit Breaker* (ACB) prinsip kerja pemutus ini agak berbeda dari yang ada di jenis pemutus sirkuit lainnya. Tujuan utama dari semua jenis pemutus sirkuit adalah untuk mencegah pembangunan kembali busur setelah nol saat ini dengan menciptakan situasi di mana dalam celah kontak akan menahan tegangan pemulihan sistem. (Praktek, 2022)

Air Circuit Breaker (ACB) yaitu *circuit breaker* sarana pemadam busur api udara, yang diaplikasikan di tegangan rendah dan menengah, kegunaannya menghubungkan, memutus tegangan, arus utama dengan sirkuit atau beban dan

berfungsi untuk memutuskan, melindungi beban dari arus berlebihan, atau hubung singkat. (Chumaidy, 2018)

Prinsip kerjanya adalah sebagai sarana pemadam busur api berupa udara. ACB (*Air Circuit Breaker*) dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Udara pada tekanan ruang *atmosfer* digunakan sebagai peredam busur api yang timbul akibat proses switching maupun gangguan. (Change et al., 2021)



Gambar 2. 2 ACB (*Air Circuit Breaker*)

2.2.5 GCB (*Generator Circuit Breaker*)

Generator Circuit Breaker (GCB) merupakan *circuit breaker* yang menghubungkan energi listrik antara generator suatu pembangkit dengan sistem jaringan listrik. (Afrida & Nursandi, 2022)



Gambar 2. 3 GCB (*Generator Circuit Breaker*)

2.2.6 VCB (*Vacuum Circuit Breaker*)

Vacuum Circuit Breaker (VCB) memiliki ruang hampa udara untuk memadamkan busur api, pada saat *circuit breaker* terbuka (*open*), sehingga dapat mengisolir hubungan setelah bunga api terjadi, akibat gangguan atau sengaja dilepas. Salah satu tipe dari *circuit breaker* adalah *recloser*. *Recloser* hampa udara dibuat untuk memutuskan dan menyambung kembali arus bolak-balik pada rangkaian secara otomatis. Pada saat melakukan pengesetan besaran waktu sebelumnya atau pada saat *recloser* dalam keadaan terputus yang kesekian kalinya, maka *recloser* akan terkunci (*lock out*), sehingga *recloser* harus dikembalikan pada posisi semula secara manual. (Nasution et al., 2021)



Gambar 2. 4 (VCB) *Vacuum Circuit Breaker*

2.2.7 SEPAM 1000+

SEPAM atau *Square d'Electrical Protection and Monitoring* adalah suatu jajaran *relay* proteksi yang didesain untuk mengamankan operasional dari suatu mesin dan jaringan distribusi tenaga listrik pada instalasi industri. *relay* proteksi SEPAM yang digunakan di PT Domas Agroiinti Prima adalah tipe SEPAM 1000+ Seri 40. (Sriwijaya, 2019)

Adapun kelebihan yang dimiliki oleh *relay* proteksi digital SEPAM antara lain yaitu fungsi proteksi yang lengkap untuk aplikasi *substation/feeder*, transformator, motor, *busbar*.



Gambar 2. 5 SEPAM 1000+ Seri 40'

2.3 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui sesuatu gandeng magnet. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. (Nasution et al., 2021).

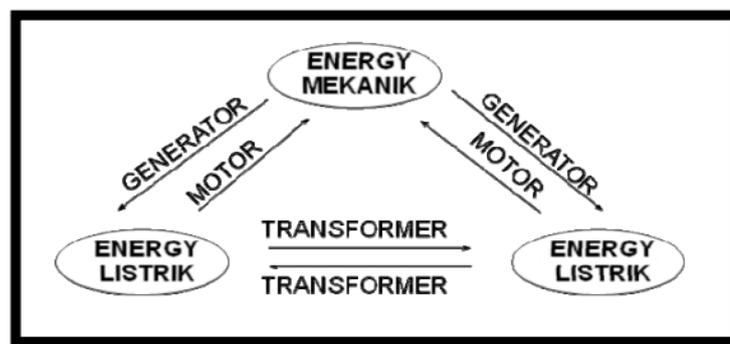
Transformator umumnya banyak digunakan untuk sistem tenaga listrik maupun untuk rangkaian elektronika. Transformator adalah salah satu komponen elektro yang bekerja untuk menaikkan tegangan serta menurunkan tegangan dengan prinsip kerja gandengan elektromagnetik. Penggunaan transformator yang digunakan dalam sistem tenaga listrik dipilih tenaga yang sesuai dengan keperluan.

Transformator merupakan peralatan yang sangat vital dalam penyaluran sistem tenaga listrik langsung ke konsumen, baik konsumen tegangan tinggi, tegangan menengah maupun tegangan rendah. Dalam sistem penyaluran, listrik tidak menutup kemungkinan terjadinya gangguan terutama gangguan hubung singkat yang disebabkan arus lebih.

Gangguan ini bisa berupa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa ke tanah. Gangguan yang terjadi ini dapat diprediksi, sehingga untuk mencegahnya diperlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi yang tepat dan dapat diandalkan supaya pasokan listrik tetap terjaga dan peralatan listrik terlindungi dari kerusakan.

Keperluan yang dimaksud adalah kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Pemakaiannya pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 3 yaitu sebagai berikut :

- a. Transformator *step up* atau disebut transformator daya, untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
- b. Transformator *step down* atau disebut transformator distribusi, untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- c. Transformator instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari transformator tegangan dan transformator arus yang dipakai untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran. (Maulana et al., 2019)

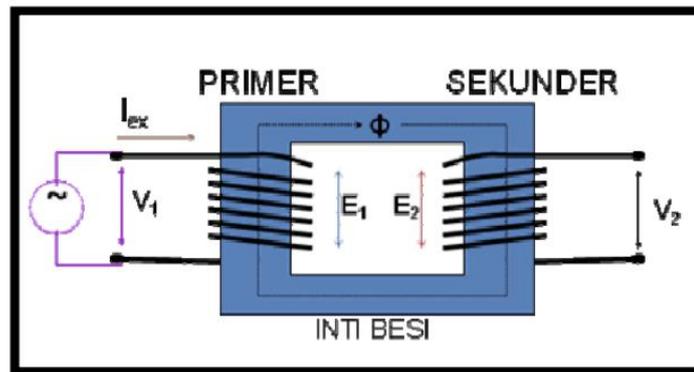


Gambar 2. 6 Transformator Energi

2.3.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara *elektris* namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki *reluktansi* rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, maka *fluks* bolak balik akan muncul di dalam inti yang di *laminasi*. Karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus perimer. Akibat adanya *fluks* di kumparan primer, maka di

kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder. Maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditranfer keseluruhan. (Markus Dwiyanto Tobi Sogen, S.T., M.T 2018).



Gambar 2. 7 Rangkaian Transformator

2.3.2 Transformator Arus/*Current Transformer (CT)*

Transformator Arus/*Current Transformer (CT)* adalah suatu peralatan listrik yang dapat memperkecil arus besar menjadi arus kecil, yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak-balik. Fungsi CT adalah untuk memperoleh arus yang sebanding dengan arus yang hendak diukur (sisi sekunder 5 A atau 1 A) dan untuk memisahkan sirkuit dari sistem yang arusnya hendak diukur (yang selanjutnya disebut sirkuit primer) terhadap sirkuit dimana instrumen tersambung (yang selanjutnya disebut sirkuit sekunder). Berbeda dari transformator tenaga yang arusnya tergantung beban disisi sekunder, tetapi pada trafo arus seperti halnya Ampere meter yang disisipkan ke dalam sirkuit primer, arusnya tidak tergantung beban disisi sekunder, melainkan semata-mata tergantung pada arus disisi primernya. (Sarimun.N, 2008).

2.3.3 Transformator Tegangan/*Potensial Transformer (PT)*

Transformator Tegangan/*Potensial Transformer* adalah suatu peralatan listrik yang dapat memperkecil tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak-balik. Fungsi transformator tegangan adalah untuk memperoleh tegangan yang sebanding dengan tegangan yang hendak dipergunakan dan untuk memisahkan sirkuit dari sistem dengan tegangan tinggi

(yang selanjutnya di sebut sirkuit primer) terhadap sirkuit dimana alat ukur (instrumen) tersambung (yang selanjutnya disebut sirkuit sekunder). Beda dengan transformator tenaga yang dibutuhkan adalah tegangan dan daya keluarannya tetapi pada transformator tegangan yang dibutuhkan adalah tingkat ketelitiannya dan penurunan tegangannya yang disesuaikan dengan alat ukur. (Sarimun.N, 2008).

2.4 Gangguan Hubung Singkat

Dalam proteksi sistem tenaga listrik, sangat penting untuk mengetahui distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat sebagai akibat timbulnya gangguan. Dengan mengetahui distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat maka dapat menentukan setelan (*setting*) untuk *relay* proteksi dan *rating* dari pemutus tenaga/*Circuit Breaker* (CB) yang akan digunakan.

Hubung Singkat (*short circuit*) adalah sesuatu koneksi yang tidak normal antara satu konduktor ke tanah maupun ke konduktor lain. Gangguan arus hubung singkat adalah menjadi tugas *relay* untuk mengetahui (mendeteksi) adanya gangguan tersebut lalu memerintahkan peralatan pemutus CB (*Circuit Breaker*) untuk mengisolasi atau melakukan pengamanan peralatan yang mengalami gangguan secara cepat. Gangguan hubung singkat adalah salah satu penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini terjadi karena adanya saluran fasa yang terhubung dengan tanah atau dengan saluran fasa lainnya.

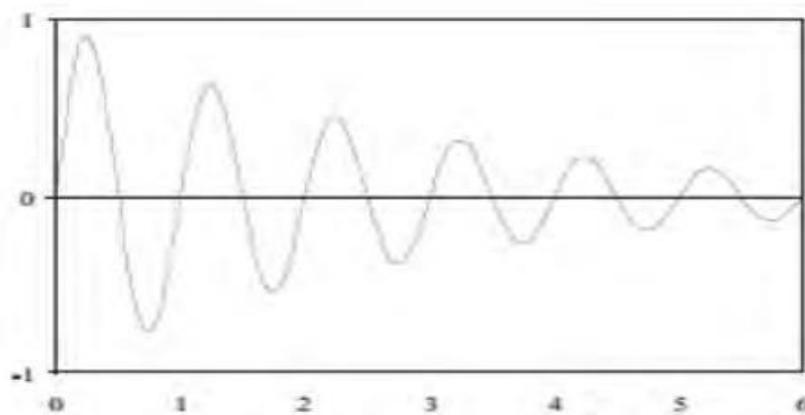
Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan aliran arus menjadi besar, besarnya arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat. Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh dua aspek, yakni aspek eksternal dan aspek internal. Pada aspek eksternal hambatan berasal dari luar sistem (hewan, tanaman dan musibah alam). Kebalikannya aspek internal berasal dari dalam sistem (kebocoran isolator maupun penuaan pada perlengkapan). Gangguan ini biasanya diakibatkan oleh putusnya kawat saluran transmisi sehingga terjalin hubung singkat ke tanah, pecahnya isolator maupun rusaknya isolasi. Impedansi gangguan biasanya rendah, sehingga arus gangguan jadi besar. Arus gangguan yang besar bisa mengganggu tidak cuma perlengkapan, namun instalasi yang dilalui arus gangguan. Gangguan

dalam perlengkapan yang berarti bisa mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik, misalnya dipengaruhi stabilitas sistem saat terhubung. (Safitri et al., 2020)

Gangguan hubung singkat sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu sebagai berikut :

1. Gangguan Hubung Singkat Simetri

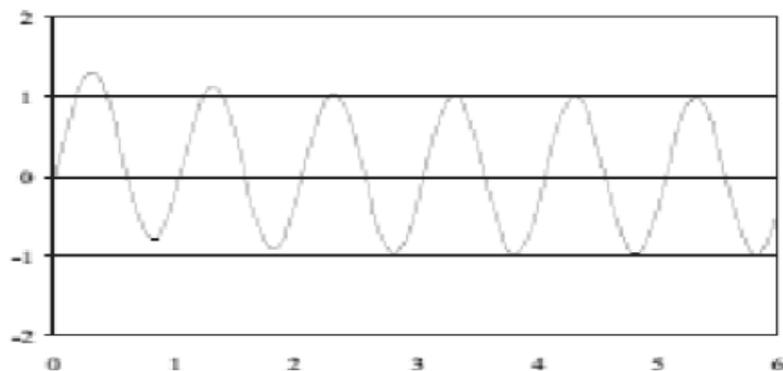
Gangguan hubung singkat simetri atau disebut gangguan hubung singkat seimbang yaitu terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa. Gelombang arus hubung singkat dikatakan simetri apabila nilai puncak atas dengan puncak bawah adalah sama dilihat dari garis nol dalam satu siklus.



Gambar 2. 8 Arus Hubung Singkat Simetri

2. Gangguan Hubung Singkat Tak Simetri (Asimetri)

Gangguan hubung singkat asimetri atau disebut gangguan tidak seimbang terjadi pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa ketanah, dan hubung singkat dua fasa.



Gambar 2. 9 Arus Hubung Singkat Asimetri

$$I_{Hs} = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

I_{Hs} = Arus yang mengalir di hambatan Z (Ampere)

V = Tegangan pada sumber (Volt)

Z = Impedansi jaringan

A. Impedansi Sumber

Untuk menghitung arus hubung singkat yaitu pertama – tama hitung impedansi sumber (reaktansi) dalam hal ini diambil dari data hubung singkat pada bus 150kV, kedua menghitung reaktansi transformator tenaga, ketiga menghitung impedansi penyulang. Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang akan diperlukan adalah data hubung singkat pada bus *primer* transformator.

$$X_S = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

X_S = Impedansi sumber (Ω)

kV^2 = Tegangan sisi primer transformator tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 Kv (MVA)

Secara dimensi, impedansi sama dengan resistansi; dan satuan SI adalah ohm. Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 Kv dilakukan dengan cara berikut :

$$X_{S(sisi\ 20\ kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times X_{S(sisi\ 150\ kV)} \dots\dots\dots (2.3)$$

B. Impedansi Transformator

$$X_{t(\text{pada } 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

X_t = Impedansi transformator tenaga (Ω)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder transformator tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator tenaga (MVA)

C. Reaktansi Transformator Tenaga

Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) yaitu :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_{t(\text{pada } 100\%)} \dots\dots\dots (2.5)$$

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

1. Untuk transformator tenaga dengan hubungan belitan Δ/Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
2. Untuk transformator tenaga dengan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$
3. Untuk transformator tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 X_{t1} .

D. Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah).

$$Z = (R + jX) \Omega/\text{km} \dots\dots\dots (2.6)$$

E. Impedansi *Ekivalen* Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}), dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber, sesuai dengan urutan di atas. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung menjumlahkan impedansi-impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan. Untuk menghitung Z_{0eq} ini, diumpamakan transformator tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Y_{yd} , dimana mempunyai nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$. Berikut perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} yaitu sebagai berikut : (Wibowo et al., 2017)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

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

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (Ω)

Z_{s1} = Impedansi sumber sisi 20 Kv (Ω)

Z_{t1} = Impedansi transformator tenaga urutan positif dan negatif (Ω)

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω)

Perhitungan Z_{0eq}

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \dots\dots\dots (2.8)$$

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen jaringan nol (Ω)

Z_{t0} = Impedansi transformator tenaga urutan nol (Ω)

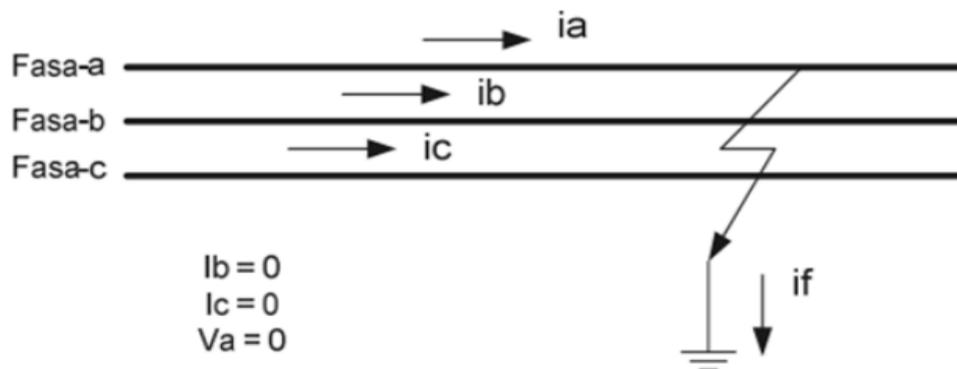
RN = Tahanan tanah transformator tenaga (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

2.4.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah (*line to ground*) merupakan tipe kesalahan yang sangat universal serta sifat umumnya tidak merusak sistem. Hitungan pada besaran arus gangguan ini menggunakan metode perhitungan spesial

dari komponen simetris karena besar arus gangguan dapat ditetapkan ketika sistem tersebut diberikan serta jalur balik tanah dari arus yang mengalami gangguan. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, 2015)



Gambar 2. 10 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{A1} = \frac{3 \cdot V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots \cdot (2.9)$$

Keterangan :

$V_f = 3 \times$ Tegangan fasa-netral

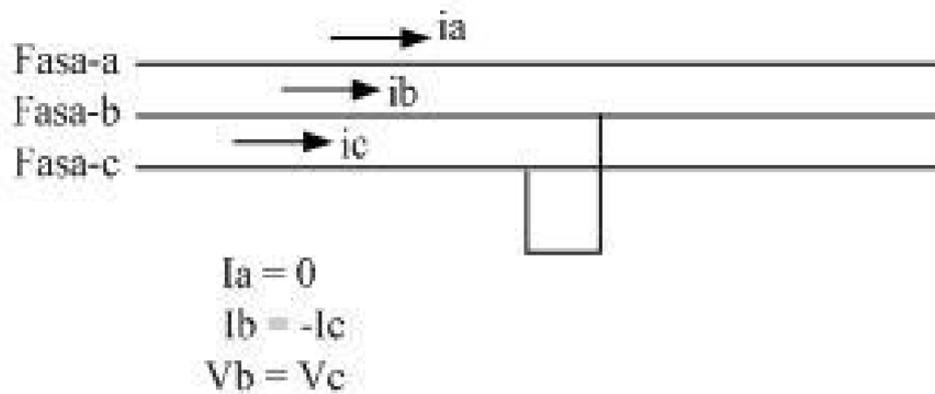
$Z_0 =$ Impedansi urutan nol

$Z_1 =$ Impedansi urutan positif

$Z_2 =$ Impedansi urutan negatif

2.4.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Pada sistem ini yang menjadi kesalahan pada hubung singkat dua fasa adalah meningkatnya sebuah konduktor apabila memasukan fasa kedua. Ini adalah kesalahan yang tidak seimbang, dikarenakan besarnya arus garis ke tanah dari pada gangguan garis ke garis akan tetapi lebih kecil dari gangguan tiga fasa. Perhitungan arus ini menggunakan komponen simetris. Hal ini tentu sangat mempengaruhi impedansi jalur pengembalian tanah yang mana dapat mempengaruhi hasil tersebut sehingga dapat dilakukan jika memungkinkan. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, 2015)



Gambar 2. 11 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

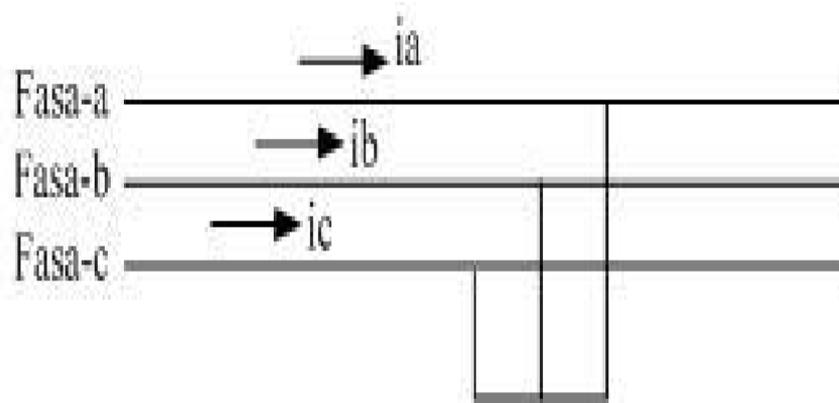
V_f = Tegangan fasa-netral

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negative

2.4.3 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada gangguan hubung singkat tiga fasa ini hal yang sering terjadi dimana ketiga penghantar disatukan dengan impedansi nol atau penghantar tersebut mengalami secara bersamaan. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, 2015)



Gambar 2. 12 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

V_f = Tegangan fasa-netral

Z_1 = Impedansi urutan positif

2.5 Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

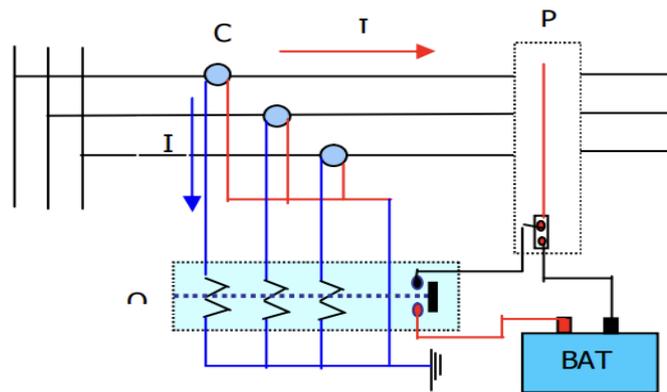
Relay arus lebih atau OCR (*Over Current Relay*) memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan *relay* arus gangguan tanah atau GFR (*Ground Fault Relay*). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR hanya memiliki 1 sensor arus (satu fasa). Waktu kerja *relay* OCR maupun GFR tergantung nilai *setting* dan karakteristik waktunya.

Relay harus di *setting* sedemikian rupa sehingga dapat bekerja secepat mungkin dan meminimalkan bagian dari system yang harus padam. Hal ini diterapkan dengan cara mengatur waktu kerja *relay* agar bekerja lambat ketika terjadi arus gangguan kecil, dan bekerja semakin cepat apabila arus gangguan semakin besar, hal ini disebut karakteristik *inverse*.

Relay ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus yang terbaca oleh *relay* melebihi nilai *setting*, maka *relay* akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada *setting*.

Relay arus lebih (*Over Current Relay*) merupakan *relay* yang beroperasi untuk mendeteksi adanya kenaikan arus yang naik yang melebihi/melewati nilai yang sudah ditentukan yang dapat diakibatkan karena gangguan hubung singkat dan *overload*. *relay* arus lebih (*Over Current Relay*) juga berfungsi sebagai *relay* yang mengamankan transformator dari besarnya arus yang melebihi batas arus yang ditentukan untuk melewati transformator. Jika pada sistem terjadi gangguan antar fasa atau gangguan tiga fasa dengan arus yang melebihi sudah di *setting* maka *relay* arus lebih akan memberikan perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT)

untuk membuka atau *trip*. Arus *setting* merupakan besarnya arus yang tidak boleh dilewati agar *relay* masih tetap bisa bekerja. Karakteristik *relay* arus lebih (*Over Current Relay*) ditentukan atas dasar arus setting dan waktu yang diperlukan untuk kerja *relay* dengan tujuan untuk mencapai suatu tingkat sensitivitas yang diinginkan. (Dermawan & Nugroho, 2017)



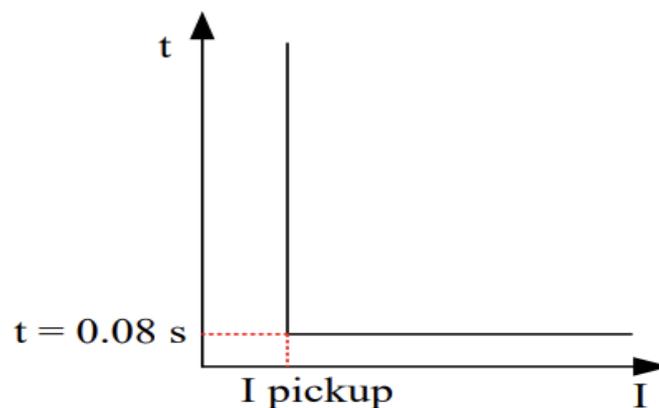
Gambar 2. 13 Relay Arus Lebih (*Over Current relay*)

2.5.1 Macam-Macam Karakteristik Relay

Adapun beberapa macam karakteristk *relay* yaitu sebagai berikut :

a. Relay Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

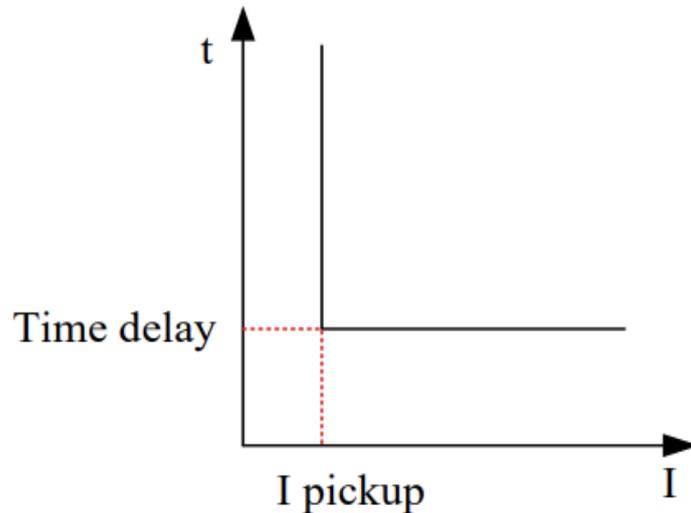
yaitu *relay* tersebut bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, *relay* akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10–20 ms). *relay* waktu seketika ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan *relay* arus lebih dengan karakteristik yang lain.



Gambar 2. 14 Relay Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

b. *Relay Dengan Waktu Tertentu (Definite Time Relay)*

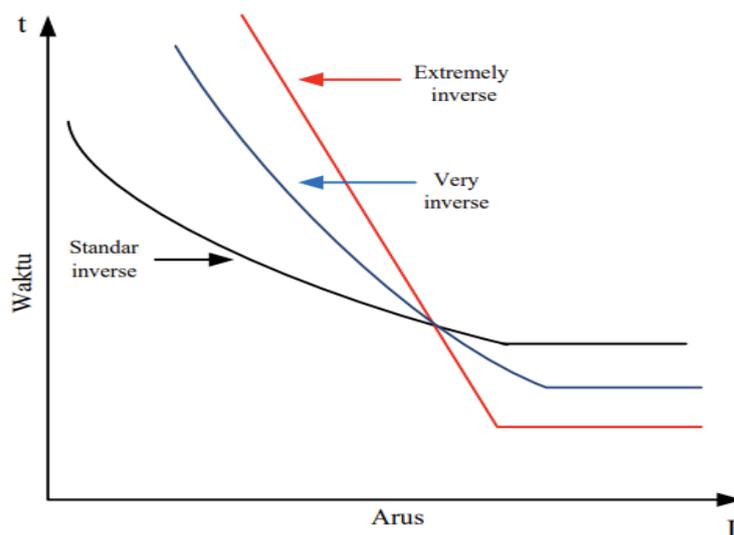
yaitu *relay* ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *settingnya (Iset)*, dan jangka waktu kerja *relay* mulai *pick up* sampai kerja *relay* di perpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan *relay*.



Gambar 2. 15 *Relay Dengan Waktu Tertentu (Definite Time Relay)*

c. *Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Time Relay)*

yaitu *relay* ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktunya.



Gambar 2. 16 *Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Time Relay)*

Karakteristik ini terdapat bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam empat kelompok yaitu sebagai berikut :

a. *Normally Inverse*

Waktu trip *relay* proteksi menggunakan kurva *Normally Invers* adalah :

$$t = \frac{0.14}{I_{hs}^{0.02} - 1} \cdot tms$$

b. *Very Inverse*

Waktu trip *relay* proteksi menggunakan kurva *Very Invers* adalah :

$$t = \frac{13.5}{I_{hs} - 1} \cdot tms$$

c. *Extremely Inverse*

Waktu *trip relay* proteksi menggunakan kurva *Extremely Invers* adalah :

$$t = \frac{80}{I_{hs}^2 - 1} \cdot tms$$

d. *Long Time Inverse*

Waktu *trip relay* proteksi menggunakan kurva *Long Time Invers* adalah :

$$t = \frac{120}{I_{hs} - 1} \cdot tms$$

Keterangan :

I_{hs} = Nilai arus gangguan hubung singkat (*Ampere*)

t = Waktu *trip relay* (detik)

Tms = *Time Multiple Setting* pada peralatan proteksi

2.5.2 *Setting OCR (Over Current Relay)*

Arus *setting* untuk *relay* OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{Set(Primer)} = 1.05 \times I_{nom(Transformer)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada *relay* OCR (*Over Current Relay*), maka harus dihitung dengan menggunakan ratio *Current* Transformator (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga. (Dermawan & Nugroho, 2017)

$$I_{Set(Sekunder)} = I_{Set(Primer)} \times \frac{1}{Ratio\ CT} \dots\dots\dots (2.13)$$

A. Setelan Waktu/Time Multiple Setting (Tms)

Untuk itu, nilai Tms yang akan disetkan pada *relay* arus lebih di *incoming* 20 kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama :

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f^{0.02}}{I_s} \right) - 1}{0.14} \dots\dots\dots (2.14)$$

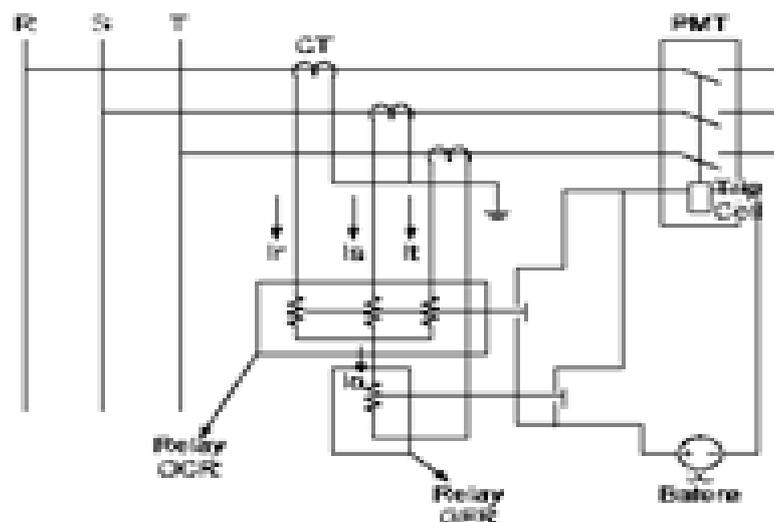
Keterangan :

t = waktu set OCR (*Over Current Relay*) penyulang + waktu koordinasi

2.6 Relay Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) adalah suatu *relay* yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai seting pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah. *Relay* gangguan tanah hanya efektif dipakai untuk pentanahan netral langsung atau dengan tahanan rendah.

Relay Ground Fault yaitu dipergunakan sebagai perlindungan dari adanya gangguan dengan cara membatasi arus gangguan tanah. GFR (*Ground Fault Relay*) adalah pengaman terhadap gangguan tanah. *relay* ini berfungsi untuk memproteksi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. (Sa'adah, 2017)



Gambar 2. 17 Relay Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Arus *setting* untuk *relay* GFR (*Ground Fault Relay*) baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah :

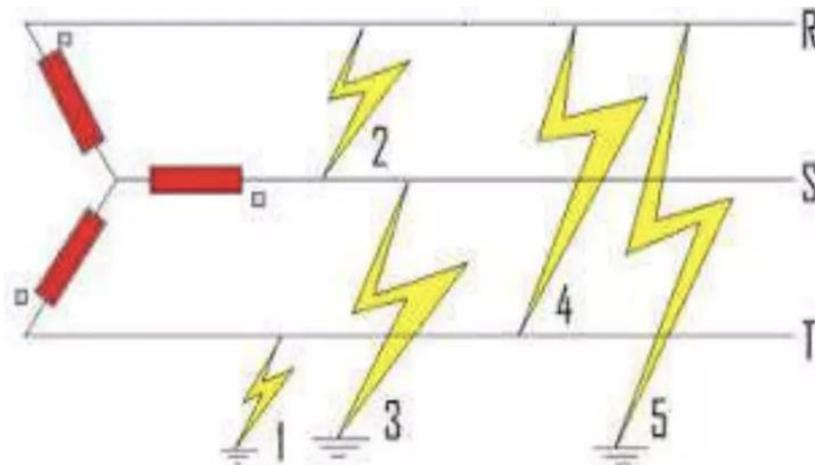
$$I_{Set(Primer)} = 10\% \times I_{nom(Transformer)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk menghitung *setting* arus untuk sisi sekunder yaitu: (Dermawan & Nugroho, 2017)

$$I_{Set(Sekunder)} = I_{Set(Primer)} \times \frac{1}{Ratio\ CT} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.7 Overload (Gangguan Beban Lebih)

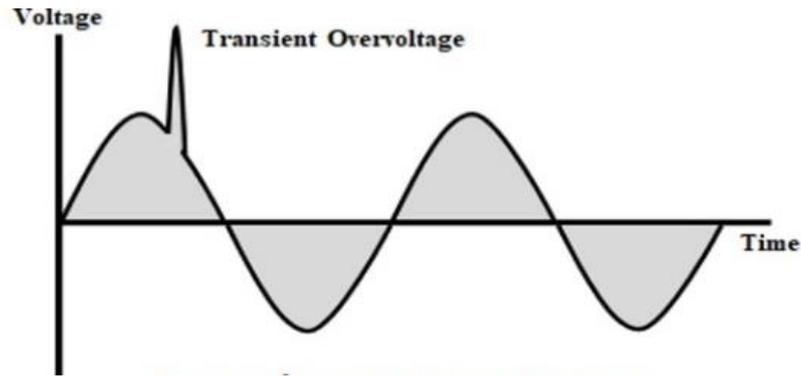
Gangguan beban lebih (*overload*) merupakan suatu gangguan yang terjadi akibat pemasangan beban pada jaringan melebihi batas (kapasitas) maksimal beban yang ditetapkan. (Elektro et al., n.d.)



Gambar 2. 18 *Overload* (Gangguan Beban Lebih)

2.8 Over Voltage (Gangguan Tegangan Lebih)

Over Voltage merupakan salah satu bentuk gangguan yang terjadi akibat adanya tegangan dalam jaringan yang melebihi batas atau ambang tegangan. Tegangan lebih (*over voltage*) ini biasanya disebabkan oleh 2 hal yaitu kesalahan pada pengatur tap transformator pada sistem distribusi tenaga listrik dan penyebab yang kedua adalah sambaran petir. Petir yang menyambar biasanya pada saluran yang tinggi dimana awan yang bermuatan akan menuju ketanah melalui tiang (menara), jika arus petir lebih besar dari tahanan pentanahan dari menara maka akan timbul tegangan tinggi pada menara.



Gambar 2. 19 *Over Voltage* (Gangguan Tegangan Lebih)

2.9 ETAP *Power Station 19.0.1*

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*.

Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain *fitur* yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik,. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *transient stability*, koordinasi *relay* proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. (Permadi, 2022)

Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan pada *software* ETAP antara lain :

- a) Analisa aliran daya
- b) Analisa hubung singkat
- c) *Arc Flash Analysis*

- d) *Starting* motor
- e) Koordinasi proteksi
- f) Analisa kestabilan *transien*, dan lainnya

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.

ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*) merupakan sebuah *software* yang dapat mensimulasikan sistem tenaga listrik, yang mana secara garis besar digunakan sebagai percobaan dalam mensimulasikan sebuah penyettingan dan analisis dari sistem tenaga listrik apakah bekerja sesuai dengan yang ditentukan atau tidak, kemudian dapat menghitung gangguan hubung singkat serta koordinasi proteksi. (Alwie et al., 2020)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanakan di PT Domas Agroiinti Prima, yang terletak di Jalan Raya *Access Road* INALUM Km 15 Desa Lalang – Kuala Tanjung, Kecamatan Medang Deras, Kabupaten Batubara, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dimulai dari penulisan skripsi ini sampai dengan selesai yang bertempat di PT Domas Agroiinti Prima. Objek penelitian ini yaitu berkaitan dengan analisis koordinasi sistem proteksi gangguan sistem di PT Domas Agroiinti Prima.

3.2 Teknik Analisa Data

Adapun dalam penulisan menyelesaikan tugas akhir dilakukan beberapa metode penilitian, yaitu sebagai berikut :

1. Studi literatur

Dilakukan dengan membaca dari berbagai sumber seperti buku, jurnal dan lain sebagainya, yang mendukung pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data-data di PT Domas Agroiinti Prima. Adapaun data-data yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain :

- a. Data spesifikasi transformator
- b. *Single line diagram*
- c. Data *Over Current relay* (OCR)
- d. Data *Ground Fault relay* (GFR)

3. Analisa Data

Menghitung dan menganalisis data yang diperoleh di PT Domas Agroiinti Prima menggunakan *software* ETAP 19.0.1

4. Kesimpulan

Membuat kesimpulan akhir dari keseluruhan proses yang telah didapatkan.

3.3 Data Penelitian

Adapun data penelitian yang diperlukan dalam penelitian ini yang diperoleh dari PT. Domas Agroiinti Prima, yaitu sebagai berikut :

a. Transformator 5000 kVA



Gambar 3. 1 Transformator 5000 kVA

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator 5000 kVA

<i>Standard</i>	<i>International Electrotechnical Commission (IEC)-60076</i>
No. of Phases	3 Phases
Rated Power (Kva)	5000
Frequency (Hz)	50
Cooling	(Oil Natural Air Forced) ONAN
High Voltage (V)	20000
Low Voltage (V)	6300
Impedansi (%)	8
Total Weight (Kg)	10950
HV Current (A)	144.34
LV Current (A)	458.21
Serial No.	1808478



Gambar 3. 2 Transformator 6000 kVA

Tabel 3. 2 Spesifikasi Transformator 6000 kVA

<i>Standard</i>	<i>International Electrotechnical Commission (IEC)-76</i>
No. of <i>Phases</i>	<i>3 Phases</i>
<i>Rated Power (Kva)</i>	6000
<i>Frequency (Hz)</i>	50
<i>Cooling</i>	<i>(Oil Natural Air Forced) ONAN</i>
<i>High Voltage (V)</i>	20000
<i>Low Voltage (V)</i>	6300
Impedansi (%)	8
<i>Total Weight (Kg)</i>	11350
<i>HV Current (A)</i>	173.2
<i>LV Current (A)</i>	549.8
<i>Serial No.</i>	1960002053

b. Data Kabel Penghantar

Tabel 3. 3 Data Kabel Penghantar

Item	Uraian	Satuan
Type	N2XSEBY	-
Luas Penampang	300	mm^2

c. Data Sistem Proteksi Sisi Incoming

Tabel 3. 4 Data Sistem Proteksi Sisi *Incoming*

Data	OCR	GFR
Merk/Type	Schneider Sepam T20	Schneider Sepam T20
<i>I Setting</i>	0,23 In	0,2 Ien
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>	<i>Standart Inverse</i>
Tms	0,1 s	0,1 s
Ratio CT	600/5	200/5

d. Data Sistem Proteksi Sisi *Outgoing*

Tabel 3. 5 Data Sistem Proteksi Sisi *Outgoing*

Data	OCR	GFR
Merk/Tipe	Schneider Sepam T20	Schneider Sepam T20
I Setting	0,23 In	0,2 Ien
Karakteristik	<i>Standart Inverse</i>	<i>Standart Inverse</i>
Tms	0,1 s	0,1 s
Ratio CT	200/5	100/5

e. Data Arus Gangguan

Tabel 3. 6 Data Arus Gangguan

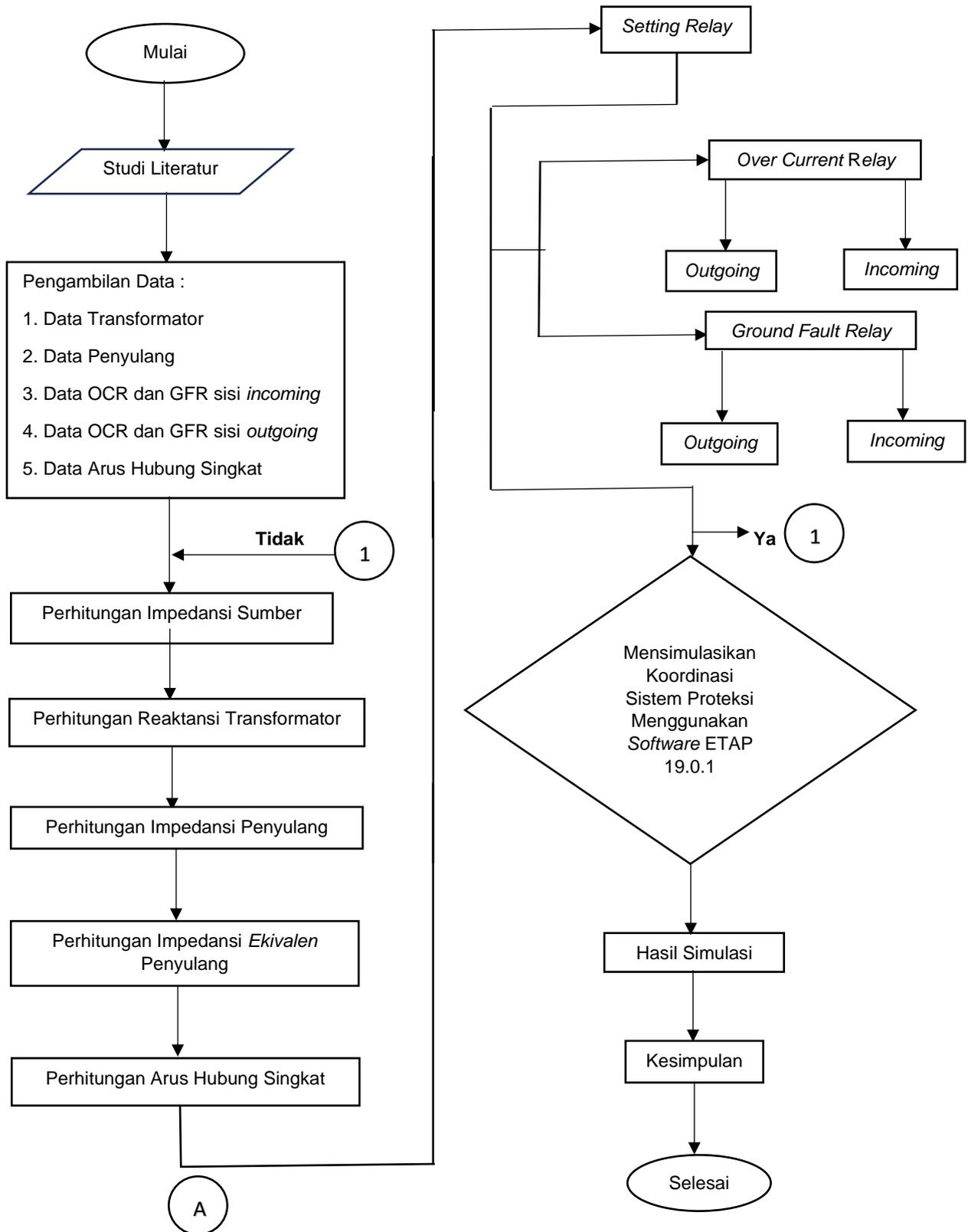
Posisi	Tanggal	Arus Gangguan	Keterangan
<i>Incoming</i>	08/02/2023	$I_{I1} = 500 \text{ A}$	OCR
<i>Outgoing</i>	09/02/2023	$I_{I1} = 820 \text{ A}$	GFR

Berikut beberapa data peralatan yang digunakan di PT Domas Agroiinti Prima dalam melakukan perhitungan penyetingan *relay* serta menentukan koordinasi dari peralatan proteksinya. Berikut data yang digunakan sebagai berikut :

1. Data Transformator Daya 6 MVA :
 - a. Hubungan Belitan : DYnS
 - b. Pendingin : ONAN (*Oil Natural Air Forced*)
 - c. Impedansi : 9%
 - d. In transformator sisi primer/sekunder : 173,2 A/549.8 A
 - e. Ratio CT : 600/2A
2. Data Transformator Daya 5 MVA :
 - a. Hubungan Belitan : DYnS
 - b. Pendingin : ONAN (*Oil Natural Air Forced*)
 - c. Impedansi : 8%
 - d. In transformator sisi primer/sekunder : 144,34 A/458,21 A

- e. Ratio CT : 500/2A
3. Data Spesifikasi OCR dan GFR di *Outgoing* Penyulang :
- a. Merk : Schneider
 - b. Tipe : SM6-DM1W
 - c. No Seri : C1-2018-W26-6-0021
 - d. Karakteristik : *Standart Inverse*
 - e. Ratio CT : 200/5A
4. Data Spesifikasi OCR dan GFR di *Incoming* Penyulang :
- a. Merk : Schneider
 - b. Tipe : SM6-1M
 - c. No Seri : C1-2017-W33-2-0027
 - d. Karakteristik : *Standart Inverse*
 - e. Ratio CT : 600/5A

3.4 Flowchart



3.5 Metode Analisa Data

Metode penelitian ini yaitu metode yang mensimulasikan proteksi terhadap gangguan menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Penelitian ini untuk mengetahui koordinasi sistem proteksi menggunakan *relay* OCR (*Over Current Relay*) dan mengetahui *Tripped by relay* dari CB (*Circuit Breaker*).

3.6 Simulasi Sistem Ptoteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut terhadap kondisi abnormal dari sistem tenaga listrik.

Data-data sistem tenaga listrik yang didapatkan diperoleh dari hasil wawancara dan observasi kemudian disimulasikan dengan *software* ETAP 19.0.1. Dalam menggunakan *software* ETAP 19.0.1 terlebih dahulu menggambar diagram garis tunggal dari sistem tenaga listrik PT. Domas Agrounti Prima, kemudian masukkan parameter data setiap komponen sistem tenaga listrik tersebut, jika input data sudah lengkap kemudian pilih metode *start-protection-coordination*. Untuk lebih jelasnya, maka tahap-tahap untuk analisis aliran daya menggunakan *software* ETAP 19.0.1 adalah sebagai berikut :

a) Membuat *Single Line Diagram*

Tahap awal untuk memulai simulasi aliran daya adalah dengan menggambar *single line diagram* terlebih dahulu. *Single line diagram* yang telah dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada lampiran.

b) Data Masukan

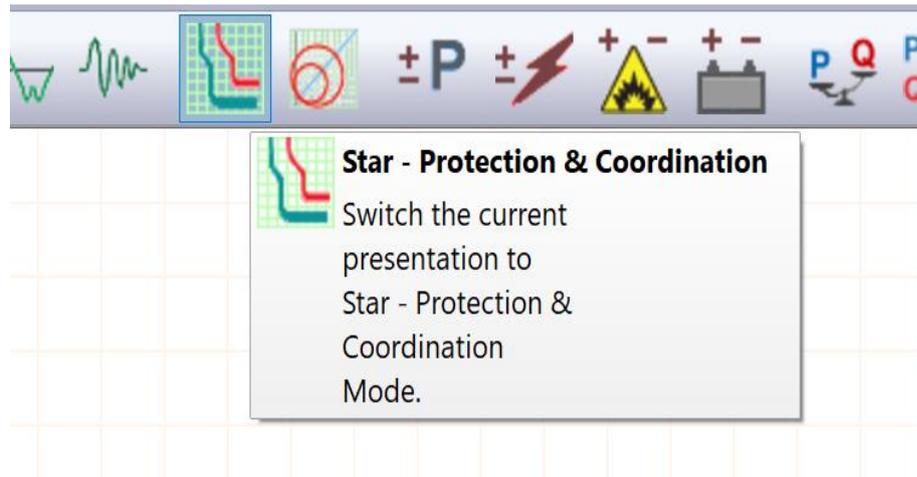
Setelah *single line diagram* selesai dibuat, maka tahap selanjutnya adalah memasukkan data dari setiap komponen yang telah didapatkan dari PT. Domas Agrounti Prima.

c) Simulasi *Software* ETAP 19.0.1

Tahap selanjutnya setelah *single line diagram* selesai dibuat dan semua data tiap komponen sudah dimasukkan, langkah selanjutnya adalah mensimulasikan koordinasi sistem proteksi terhadap gangguan menggunakan *Software* ETAP 19.0.1. *Software* ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang dapat mendukung sistem tenaga listrik.

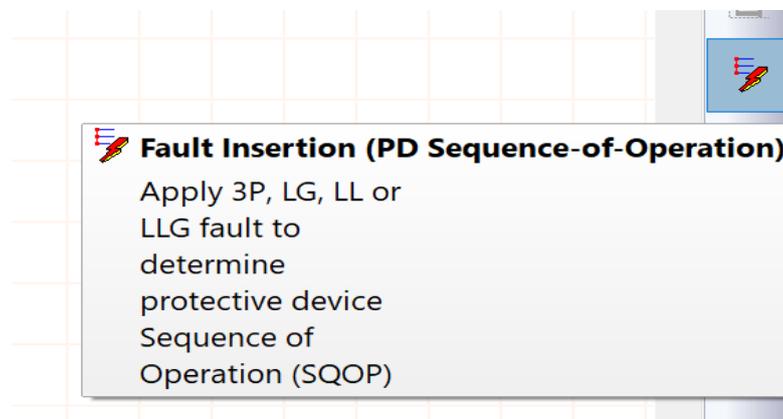
Adapun langkah-langkah yang akan digunakan untuk mensimulasikan *Software* ETAP 19.0.1 yaitu sebagai berikut :

1. Pilih *Star-Protection-Cordination* pada menu *toolbar* program seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. *Star-Protection-Coordination* adalah fitur yang harus dipilih untuk menampilkan fitur-fitur lainnya dalam memulai simulasi sistem proteksi.



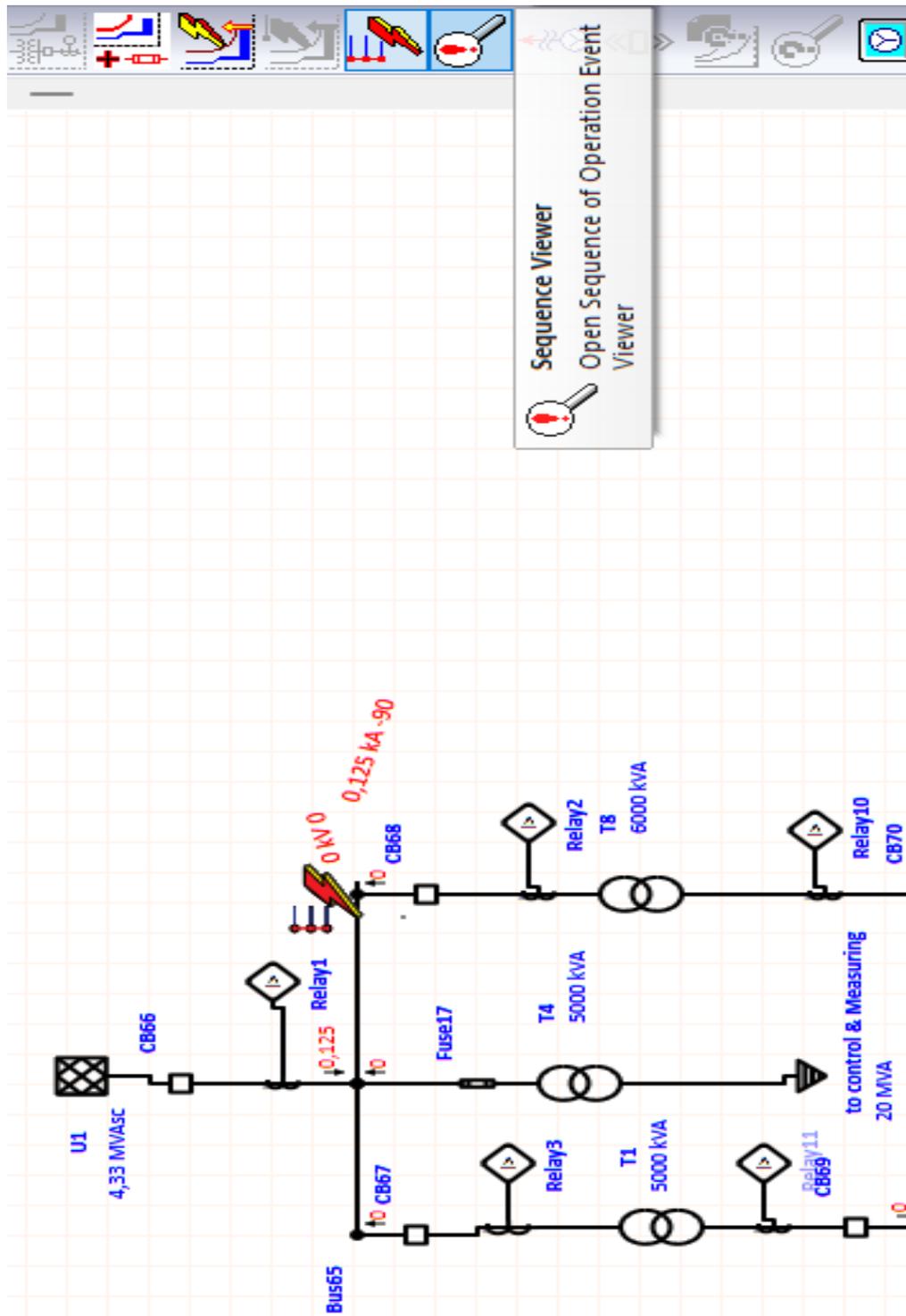
Gambar 3. 3 *Star-Protection-Coordination*

2. Kemudian, pilih *Fault Insertion* seperti gambar 3.4 dibawah ini. *Fault Insertion* ini adalah fitur selanjutnya yang harus dipilih setelah *Star-Protection-Cordination* dalam melakukan simulasi gangguan. Adapun dengan cara menekan fitur *Fault Insertion* kemudian meletakkannya di bus yang dipilih sebagai titik yang mengalami gangguan, sehingga dapat mengetahui *Tripped by relay* pada CB (*Circuit Breaker*).



Gambar 3. 4 *Fault Insertion*

3. Pilih *Sequence Viewer* menampilkan hasil *Output Report* pada sistem proteksi yang membaca waktu durasi *tripped* CB (*Circuit Breaker*) pada *relay* dan jenis komponen seperti *relay* dan CB (*Circuit Breaker*) dalam kondisi *tripped by relay* nya seperti Gambar 3.5 di bawah ini



Gambar 3.5 *Sequence Viewer*

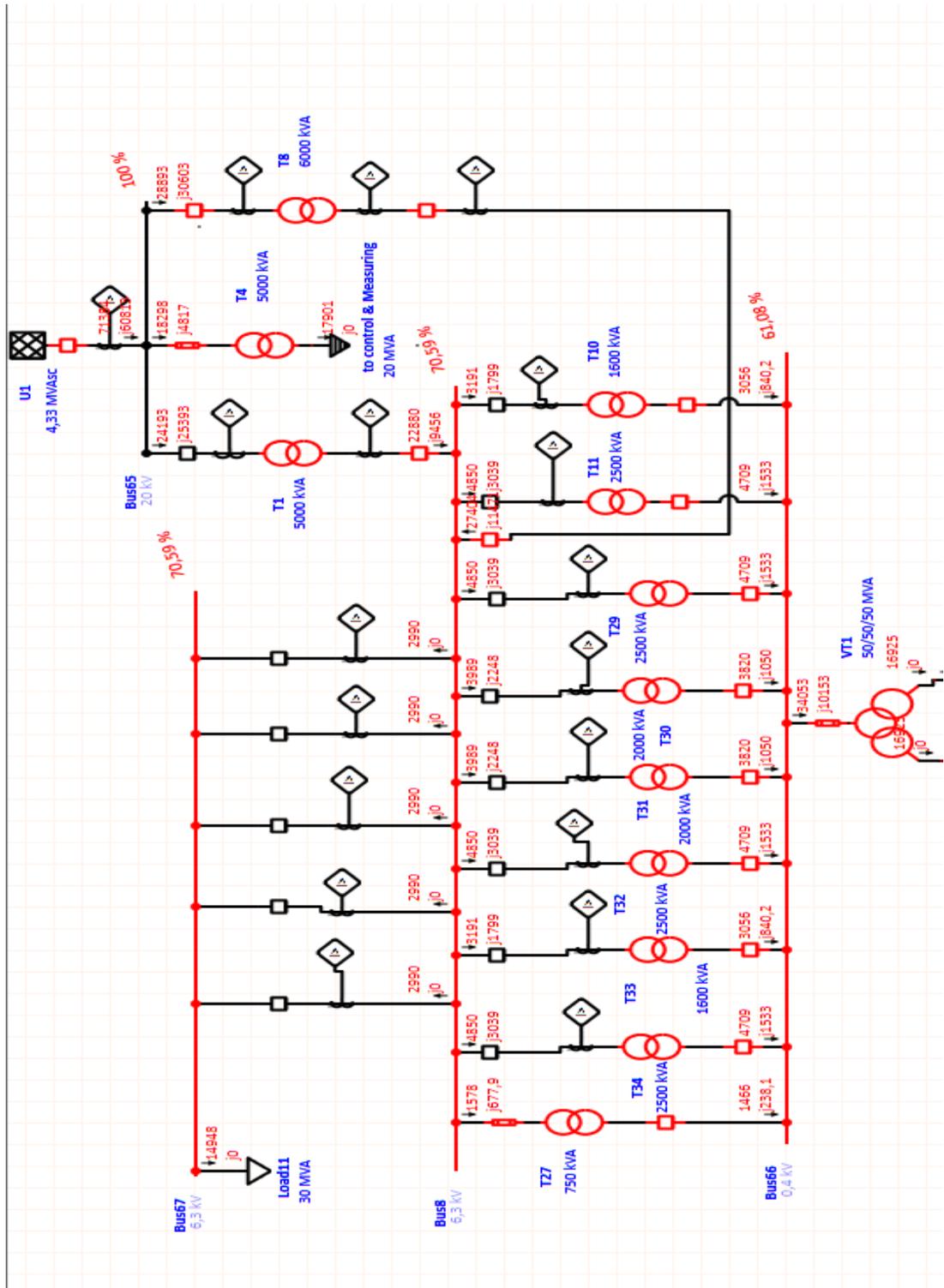
Setelah di arahkan *Fault Insertion* pada bus yang dipilih maka akan muncul nilai gangguan pada *Single Line Diagram*. Setelah itu, kita pilih fitur *Sequence Viewer* untuk melihat hasil *Output Report* pada sistem proteksi yang membaca waktu durasi *tripped CB (Circuit Breaker)* pada *relay* dan jenis komponen seperti *relay* dan *CB (Circuit Breaker)* dalam kondisi *tripped by relay*

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus65					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Tim...	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 ...	Condition
4,8	Relay1	0,125	4,8		Phase - OC1 - 51
87,...	CB66		83,0		Tripped by Relay1 Pha...

Gambar 3. 6 Hasil *Sequence Viewer*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Simulasi *Software* ETAP 19.0.1



Gambar 4. 1 *Single Line Diagram* PT. Domas Agroi Prima

Sistem Kelistrikan di PT. Domas Agroiinti Prima menggunakan Gardu PLN sebesar 4,33 MW dan terpasang transformator *Step Down*, CB (*Circuit Breaker*), CT (*Current Transformer*), *relay* OCR (*Over Current Relay*) pada *Substation*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui koordinasi *Tripped by relay* pada CB (*Circuit Breaker*) ketika terjadi gangguan. Gambar 4.1 dibawah ini merupakan *Single Line Diagram* di PT Domas Agroiinti Prima yang akan digunakan dalam melakukan simulasi sistem proteksi dengan menggunakan *Software* ETAP 19.0.1.

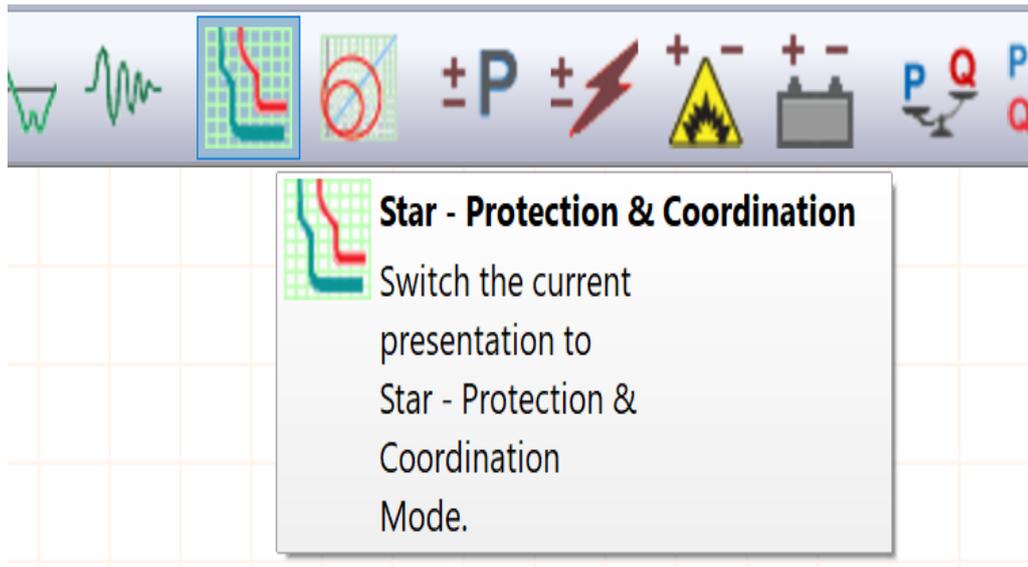
Pada Gambar 4.1 menunjukkan tampilan *Single Line Diagram* di PT Domas Agroiinti Prima. Adapun beberapa komponen yang digunakan antara lain :

- 1.) Gardu PLN sebesar 4,33 MW dan dipasang CB66 dan dikuti oleh *relay* OCR 2.) *Busbar* 65 terdapat Transformator, CB64, CB67, CB68, CB69, CB70, dan OCR2, OCR3, OCR10, OCR11, OCR12
- 3.) *Busbar* 67 terdapat CB71, CB73, CB74, CB75, CB76 dan OCR5, OCR6, OCR7, OCR8
- 4.) *Busbar* 8 terdapat Transformator, CB77, CB84, CB85, CB87, CB88, CB89, CB92, CB93, CB94, CB95, CB96, CB97, CB98, CB99, CB100, CB101, CB102, CB103 dan OCR13, OCR14, OCR22, OCR23, OCR24, OCR25, OCR26, OCR27.

Menjalankan Simulasi Koordinasi Proteksi

1.) Langkah awal dalam menjalankan simulasi proteksi menggunakan *Software* ETAP 19.0.1 terlebih dahulu menggambar *Single Line Diagram*. Setelah itu maka diperlukan *pensettingan* komponen proteksi pada *Single Line Diagram*. Sesudah memasukkan dan memastikan semua data dari setiap komponen sistem proteksi, kemudian pilih menu *Star-Protection-Coordination* yang tersedia dalam *Software* ETAP 19.0.1. *Star-Protection-Coordination* yaitu fitur untuk mensimulasikan koordinasi sistem proteksi terhadap gangguan.

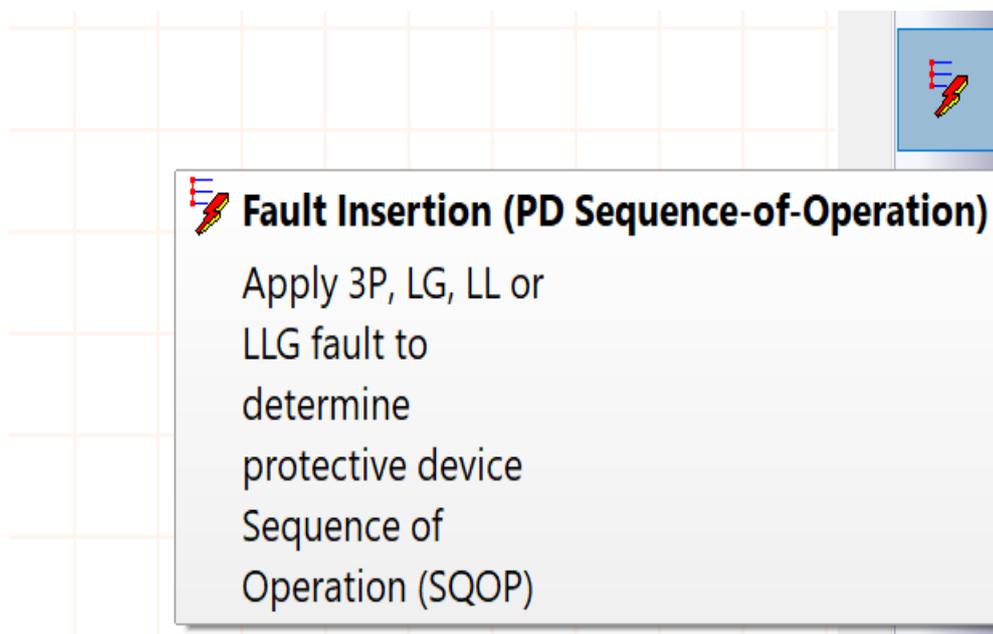
Koordinasi pengaman merupakan kinerja dua buah pengaman atau lebih pada jaringan sistem tenaga listrik yang saling mendukung atau melengkapi dalam melakukan proses tugasnya. *relay* arus lebih ini harus di koordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu, sehingga dapat mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan yang terjadi



Gambar 4. 2 *Star Protection & Coordination*

Fitur *Star-Protection-Coordination* berfungsi untuk menampilkan fitur-fitur yang mendukung dalam menjalankan simulasi koordinasi proteksi dan juga sebagai langkah awal dalam melakukan atau menjalankan simulasi koordinasi proteksi.

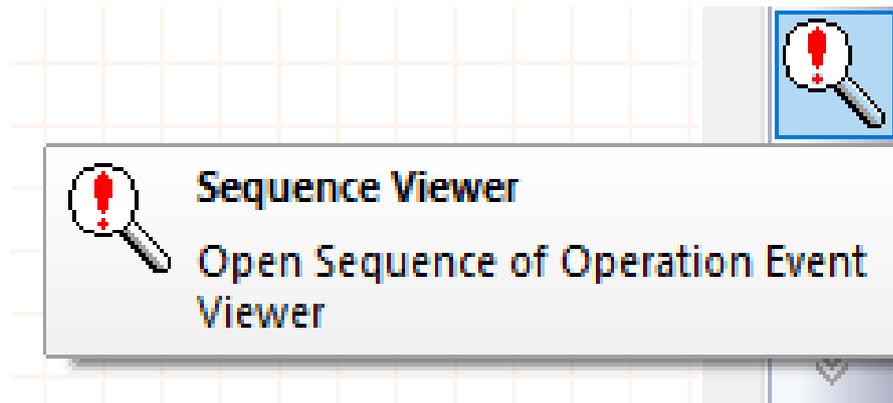
2.) Langkah selanjutnya yaitu pilih fitur *Fault Insertion* seperti gambar 4.3 dibawah ini. *Fault Insertion* ini adalah sebagai simulasi gangguan yang kemudian diarahkan ke bus yang dipilih sebagai titik yang mengalami gangguan.



Gambar 4. 3 *Fault Insertion*

Fitur *Fault Insertion* ini adalah fitur selanjutnya yang harus dipilih setelah *Star-Protection-Cordination* dalam melakukan simulasi gangguan, sehingga dapat mengetahui *tripped by relay* pada CB (*Circuit Breaker*).

3.) Selanjutnya pilih fitur *Sequence Viewer* untuk dapat menampilkan hasil *Output Report* yang terjadi pada gangguan sistem proteksi.



Gambar 4. 4 *Sequence Viewer*

Maka hasil dari *Sequence Viewer* Menampilkan hasil *Output Report* pada sistem proteksi yang membaca waktu durasi *tripped Circuit Breaker* (CB) pada *relay* dan jenis komponen seperti *relay*, *Circuit Breaker* (CB) dan kondisi *tripped by relay* nya seperti Gambar 4.5 di bawah ini.

Hasil simulasi sistem proteksi pada gambar 4.5 menampilkan bahwa di *wiring* proteksi busbar 65 ada arus lebih masuk sehingga relay 1 membacanya dan memberi perintah dan menunjukkan *tripped by relay* pada *Circuit Breaker* (CB66), dalam durasi waktu 19,2 ms dan komponennya relay (*Over Current relay*) OCR sehingga mengamankan gardu PLN.

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus65					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
19,2	Relay1	0,125	19,2		Phase - OC1 - 51
102	CB66		83,0		Tripped by Relay1 Pha...

Gambar 4. 6 Hasil *Sequence Viewer Busbar 65*

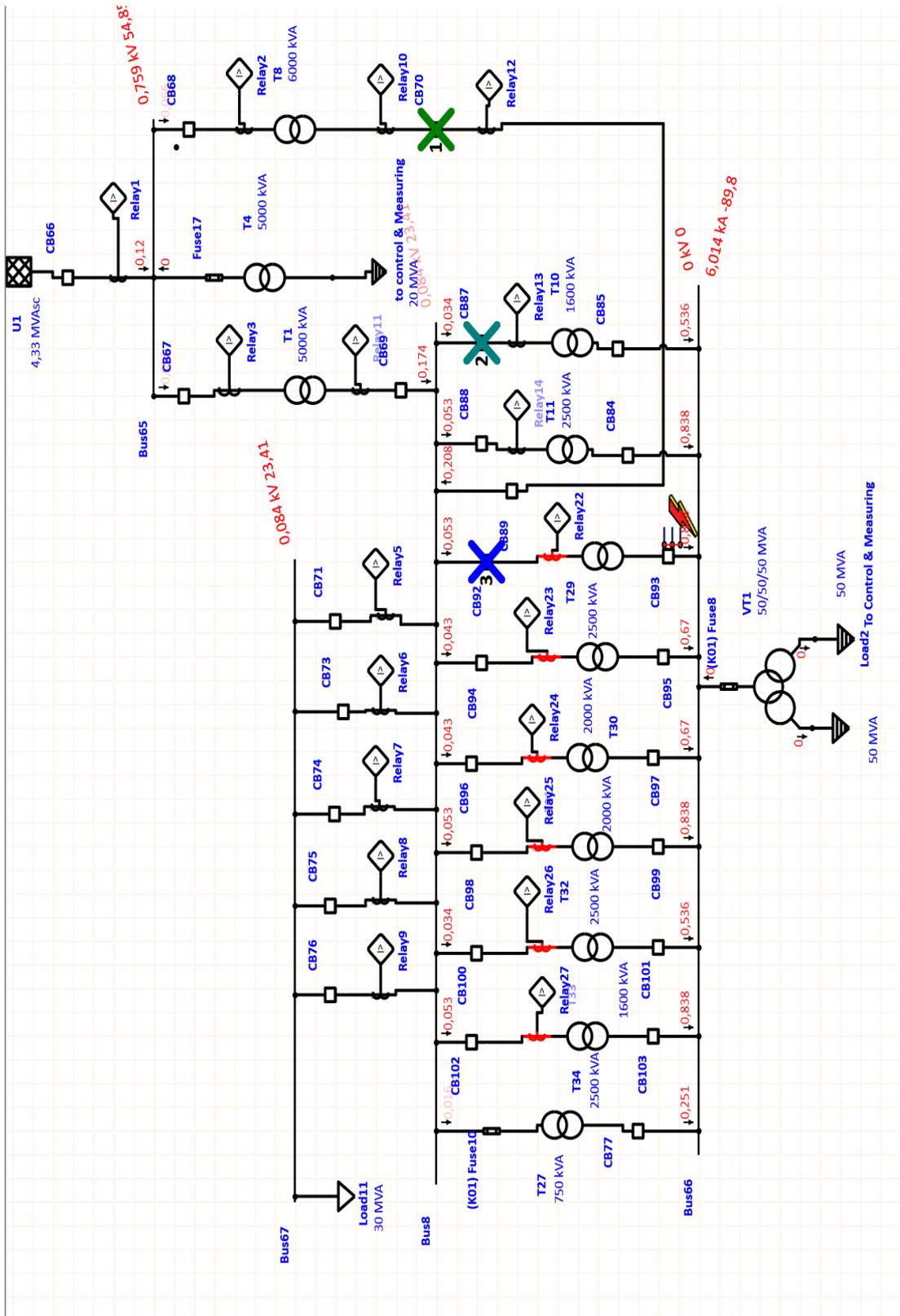
Gambar 4.6 menunjukkan hasil *Sequence Viewer* dimana ketika *Fault Insertion* di letakkan di busbar 65 maka yang akan terjadi relay 1 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,125 kA dan dengan waktu 19,2 ms. Setelah itu, dalam waktu 102 ms memberi perintah ke CB66 untuk *tripped by relay* OCR.

Hasil simulasi sistem proteksi pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa di *wiring* proteksi busbar 8 terlihat beberapa koordinasi dari sistem proteksi. Adapun ketika ada gangguan di busbar 8 menampilkan bahwasanya ada arus lebih yang masuk sehingga OCR 12 membaca dan memerintahkan untuk *tripped by relay* pada *Circuit Breaker* (CB70) , kemudian OCR 1 membaca arus lebih yang masuk dan diperintahkan *tripped by relay* untuk (CB66) dan selanjutnya OCR 3 juga membaca arus lebih yang masuk sehingga *tripped by relay* untuk (CB67), dalam durasi waktu 87,8 ms sampai 102 ms.

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus8					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,8	Relay12	0,211	4,8		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay1	0,122	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay2	0,066	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay3	0,055	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay10	0,211	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay11	0,176	19,2		Phase - OC1 - 51
87,8	CB70		83,0		Tripped by Relay12 Ph...
102	CB66		83,0		Tripped by Relay1 Pha...
102	CB67		83,0		Tripped by Relay3 Pha...
102	CB68		83,0		Tripped by Relay10 Ph...
102	CB68		83,0		Tripped by Relay2 Pha...
102	CB69		83,0		Tripped by Relay11 Ph...

Gambar 4. 8 Hasil *Sequence Viewer Busbar 8*

Gambar 4.8 menunjukkan hasil *Sequence Viewer* dimana ketika *Fault Insertion* di letakkan di busbar 8 maka yang akan terjadi relay 12 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,211 kA dan dengan waktu 4,8 ms. Setelah itu, relay 1 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,122 kA dalam waktu 19,2 ms memberi perintah ke CB66 untuk *tripped by relay* OCR. Setelah itu, relay 2 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,066 kA dalam waktu 19,2 ms memberi perintah ke CB67 untuk *tripped by relay* OCR



Gambar 4. 9 Simulasi Proteksi Busbar 66

Hasil simulasi sistem proteksi pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa di *wiring* proteksi busbar 66 terlihat beberapa koordinasi dari sistem proteksi. Adapun ketika ada gangguan di busbar 66 menampilkan bahwasanya ada arus lebih yang masuk sehingga OCR 12 membaca dan memerintahkan untuk *tripped by relay* pada *Circuit Breaker* (CB70) , kemudian OCR 13 membaca arus lebih yang masuk dan diperintahkan *tripped by relay* untuk (CB87) dan selanjutnya OCR 22 juga membaca arus lebih yang masuk sehingga *tripped by relay* untuk (CB89), dalam durasi waktu 87,8 ms.

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus66					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,8	Relay12	0,208	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay13	0,034	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay22	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay23	0,043	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay24	0,043	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay25	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay26	0,034	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay27	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay1	0,12	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay2	0,066	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay3	0,055	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay10	0,208	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay11	0,174	19,2		Phase - OC1 - 51
87,8	CB70		83,0		Tripped by Relay12 Ph...
87,8	CB87		83,0		Tripped by Relay13 Ph...
87,8	CB92		83,0		Tripped by Relay22 Ph...
87,8	CB94		83,0		Tripped by Relay23 Ph...
87,8	CB96		83,0		Tripped by Relay24 Ph...

Gambar 4. 10 Hasil *Sequence Viewer* Busbar 66

Gambar 4.10 menunjukkan hasil *Sequence Viewer* dimana ketika *Fault Insertion* di letakkan di busbar 66 maka yang akan terjadi *relay* 12 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,208 kA dan dengan waktu 4,8 ms. Setelah itu, *relay* 13 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,034 kA dalam waktu 4,8 ms memberi perintah ke untuk *tripped by relay* OCR. Setelah itu, *relay* 22 membaca arus lebih yang masuk sebesar 0,053 kA dalam waktu 4,8 ms memberi perintah untuk *tripped by relay* OCR

4.2. Perhitungan dan Analisis Data

4.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Data Hubung Singkat di bus sisi primer (150 kV) di PT Domas Agroiinti Prima adalah sebesar 2962 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) adalah :

$$X_s = \frac{kV \text{ sisi primer trafo}^2}{MVA \text{ hubung singkat di bus primer}} = \frac{150^2}{2692} = 7,59 \text{ ohm}$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka :

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{kV \text{ sisi sekunder trafo}^2}{kV \text{ sisi primer trafo}^2} \times X_s \text{ (sisi primer)} \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 7,59 \\ &= 0,134 \text{ ohm} \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga satu di PT Domas Agroiinti Prima adalah 12,50 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya.

Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV \text{ sisi sekunder trafo}^2}{MVA \text{ trafo}} = \frac{20^2}{60} = 6,667 \text{ ohm}$$

Nilai reaktansi transformator tenaga :

a. Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = 12.50\% \times 6,667 = 0,833 \text{ Ohm}$$

b. Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena transformator daya yang mensuplai penyulang PLN mempunyai hubungan Y_{nyn0} yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 1. X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10. X_{t1} . Jadi $X_{t0} = 10 \times 0,833 = 8.33 \text{ ohm}$.

4.2.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang PT. DOMAS AGROINTI PRIMA hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu N2XSEBY 300 mm² dan memiliki Panjang penyulang sebesar 900 m.

Tabel 4. 1 Data Penghantar

N2XSEBY 300 mm ²	R	jX
$Z_1 \text{ ohm/km}$	0.6917	0.8539
$Z_0 \text{ ohm/km}$	0.7558	1.8523

Dengan demikian, nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan sepanjang penyulang, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2(\text{N2XSEBY } 300 \text{ mm}^2) &= 100\% \times 0.9 \text{ km} \times (0.6917 + j0.8539) \Omega \\ &= 0,62253 + j0,76851 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0(\text{N2XSEBY } 300 \text{ mm}^2) &= 100\% \times 0.9 \text{ km} \times (0.7558 + j1.8523) \Omega \\ &= 0,68022 + j1,66707 \Omega \end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Impedansi *ekivalen* jaringan dapat diambil data dari tabel 4.1 dan dihitung dengan menggunakan rumus :

c. Urutan Positif dan Negatif

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

$$\begin{aligned}
 Z_{1eq} = Z_{2eq} &= Z_{iS}(\text{sisi } 20 \text{ kv}) + Z_{iT} + Z_1 \text{ Penyulang} \\
 &= j0,134 + j0,833 + Z_1 \text{ Penyulang} \\
 &= j0,967 + Z_1 \text{ Penyulang}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{1eq} = Z_{2eq} (100\%) &= j0,967 + 0,62253 + j0,76851 \\
 &= 0,62253 + j1,73551
 \end{aligned}$$

Perhitungan Z_{0eq} :

$$\begin{aligned}
 Z_{0eq} (100\%) &= Z_{0t} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} \\
 &= j8,33 + 3(12) + Z_0 \text{ penyulang} \\
 &= j8,33 + 36 + Z_0 \text{ penyulang}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{0eq} (100\%) &= j8,33 + 36 + 0,68022 + j1,66707 \\
 &= 36,68022 + j9,99707
 \end{aligned}$$

4.3 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

4.3.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Adapun kemungkinan penyebab terjadinya gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah karena adanya hubung singkat antar tiang kesalah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga karena gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi atau distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi, dan lainnya.

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

$$I_{A1} = \frac{3 \cdot V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

Keterangan :

V_f = Tegangan fasa-netral

Z_0 = Impedansi urutan nol

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Sehingga arus gangguan hubung singkat 1 Fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{A1} &= \frac{3 \times V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{34641,016}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{34641,016}{2 \times Z_1 + Z_2 + Z_0} \\ &= \frac{34641,016}{2(0,62253 + 1,73551) + (36,68022 + 9,99707)} \end{aligned}$$

$$I_{A1} = 674,037 \text{ A}$$

4.3.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat disebabkan oleh terjadinya putusnya kawat fasa tengah pada bagian transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator pada bagian transmisi atau distribusi.

Untuk gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$$

Keterangan :

V_f = Tegangan fasa-netral

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

$$\begin{aligned}
 I_{A1} &= \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} = \frac{20000}{Z_1 + Z_2} \\
 &= \frac{20000}{2(0,62253 + 1,73551)} \\
 &= \frac{20000}{4,71608} \\
 &= 4240,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisis hanya dengan menggunakan urutan positif saja.

Untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1}$$

Keterangan :

V_f = Tegangan fasa-netral

Z_1 = Impedansi urutan positif

$$\begin{aligned}
 I_{A1} &= \frac{V_f}{Z_1} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_1} \\
 &= \frac{11547,005}{(0,62253 + 1,73551)} \\
 &= \frac{11547,005}{2,35804} \\
 &= 4896,87 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Waktu Kerja *relay*

Perhitungan ini pun dihitung menggunakan data arus gangguan dan nilai Tms yang diperoleh dari perusahaan.

Untuk menghitung waktu *trip relay*, kita harus menghitung arus *setting* dan *Time Multiple Setting* (TMS) terlebih dahulu, yaitu :

a. Menghitung arus *setting*

1. Arus *setting* OCR pada sisi *incoming*

$$\begin{aligned} I_{\text{beban}} &= 0.23 \times I_n \\ &= 0.23 \times 144.34 = 33.19 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1.05 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1.05 \times 33.19 \\ &= 34.85 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sekunder)}} &= I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 34.85 \times \frac{1}{600} \\ &= 0.05 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\ &= \frac{1 \times \left(\left(\frac{500}{34.85}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\ &= 0.3908 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Arus *setting* GFR pada sisi *incoming*

Setelan arus gangguan tanah pada *incoming* harus lebih *sensitive*, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi *relay* di penyulang di buat $8\% \times$ arus gangguan tanah terkecil

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 0.08 \times 820 \\ &= 65.6 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ (sekunder)}} &= I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 65.6 \times \frac{1}{600} \\
 &= 0.1093 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\
 &= \frac{1 \times \left(\left(\frac{820}{65.6}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\
 &= 0.37008 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

3. Arus setting OCR pada sisi *outgoing*

$$\begin{aligned}
 I \text{ beban} &= 0.23 \times I_n \\
 &= 0.23 \times 458.21 = 105.38 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ (primer)}} &= 1.05 \times I \text{ beban} \\
 &= 1.05 \times 105.38 \\
 &= 110.65 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ (sekunder)}} &= I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\
 &= 110.65 \times \frac{1}{200} \\
 &= 0.553 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\
 &= \frac{0.1 \times \left(\left(\frac{500}{110.65}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\
 &= 0.021 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

4. Arus *setting* GFR pada sisi *outgoing*

Setelan arus gangguan tanah di penyulang di set $10\% \times$ arus gangguan tanah terkecil. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur.

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 0.1 \times 820 \\ &= 82 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set (sekunder)} &= I_{set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 82 \times \frac{1}{100} \\ &= 0.82 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TMS} &= \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\ &= \frac{0.1 \times \left(\left(\frac{820}{82}\right)^{0.02} - 1\right)}{0.14} \\ &= 0.0336 \text{ detik} \end{aligned}$$

5. Waktu kerja *relay* OCR 1 fasa pada sisi *incoming*

$$\begin{aligned} t &= \frac{0.14}{I_{hs3ph}^{0.02} - 1} \times \text{tms} \\ &= \frac{0.14}{500^{0.02} - 1} \times 0.3908 \\ &= 0.413 \text{ detik} \end{aligned}$$

6. Waktu kerja *relay* GFR 1 fasa pada sisi *incoming*

$$\begin{aligned} t &= \frac{0.14}{I_{hs3ph}^{0.02} - 1} \times \text{tms} \\ &= \frac{0.14}{820^{0.02} - 1} \times 0.37008 \\ &= 0.3607 \text{ detik} \end{aligned}$$

7. Waktu kerja *relay* OCR 1 fasa pada sisi *outgoing*

$$t = \frac{0.14}{I_{hs3ph}^{0.02} - 1} \times \text{tms}$$

$$= \frac{0.14}{500^{0.02-1}} \times 0.021$$

$$= 0.0222 \text{ detik}$$

8. Waktu kerja *relay* GFR 1 fasa pada sisi *outgoing*

$$t = \frac{0.14}{I_{hs} 3ph^{0.02-1}} \times t_{ms}$$

$$= \frac{0.14}{820^{0.02-1}} \times 0.0336 = 0.0327 \text{ detik}$$

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa perhitungan yang telah dilakukan maka di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan simulasi koordinasi proteksi gangguan pada sistem di PT Domas Agroiinti Prima menggunakan *software* ETAP 19.0.1 berjalan sesuai dengan fungsinya, koordinasi proteksi bekerja dan peralatan listrik tetap terjaga Hasil perhitungan yang didapatkan dengan data di lapangan masih dalam kondisi yang sesuai dengan perbedaan yang tidak terlalu jauh, sehingga *setting* yang terjadi pada *Over Current Relay* (OCR), *Ground Fault Relay* (GFR) yang ada di lapangan berada dalam kondisi yang baik.
2. Berdasarkan simulasi pada *software* ETAP 19.0.1 menunjukkan hasil dari aliran beban (*load flow*) PT.Domias Agroiinti Prima terdapat di *Power Plant Site* dari Gardu Induk PLN 4,33 MVA;20kV hingga 6,93MVA;20kV mempunyai 3 *busbar* yang pertama di *busbar* 20 KV hasilnya 100%, di *busbar* yang kedua 6,3 KV hasilnya 70,59% dan yang ketiga di *busbar* 0,4 KV sebesar 61,08%. Hasil dari simulasi sistem proteksi OCR pada *busbar* pertama 20 kV adalah masuknya arus lebih sebesar 0,125KA-90 terjadi gangguan di CT135 CB66. Hasil dari simulasi sistem proteksi OCR pada *busbar* kedua 6,3 kV adalah masuknya arus lebih sebesar 0,387KA-89,89 terjadi gangguan di CT141 CB70, CT22 CB71, CT21 CB73. Hasil dari simulasi sistem proteksi OCR pada *busbar* ketiga 0,4 kV adalah masuknya arus lebih sebesar 6,014KA-89.8 terjadi gangguan di CT141 CB70,CT1 CB87,CT158 CB89.

5.2. Saran

Pada penelitian ini diharapkan menggunakan koordinasi sistem proteksi yang handal sebagai pelindung / keamanan dalam terjadi gangguan instalasi di PT. Domias Agroiinti Prima dalam menjaga keselamatan kinerja petugas / teknisi, dan peralatan listrik lainnya. Untuk kedepannya diharapkan ada pengembangan penelitian tentang simulasi koordinasi proteksi dan diharapkan menggunakan *software* Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrida, Y., & Nursandi, E. (2022). *Analisis Pengujian Kinerja Generator Circuit Breaker (GCB) Unit 1 PT . PLN (Persero) UPK Sebalang Sebelum dan Setelah Maintenance*. 5(1), 1–10.
- Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, P. J. F. (2015). *Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri PLTU Bolok PT. SMSE (IPP) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software ETAP 12.6.0 Agusthinus*. 0380.
- Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetio, A. B., Andespa, R., Lhokseumawe, P. N., & Pengantar, K. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. In *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201* (Vol. 2, Issue 1).
- Azis, A., & Febrianti, I. K. (2019). Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang. *Ampere*, 4, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.31851/ampere.v4i2.3468>
- Bhattacharya, S. K., & Goswami, S. K. (2008). Distribution network reconfiguration considering protection coordination constraints. *Electric Power Components and Systems*, 36(11), 1150–1165. <https://doi.org/10.1080/15325000802084463>
- Change, G., Cimino, M., York, N., Alifah, U., Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, A., Chinatown, Y., Staff, C., & Change, G. (2021). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 3(2), 6.
- Chumaidy, A. (2018). Analisa Gangguan Pemutus Tenaga Mesin Cane Cutter I. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 28(2), 1–8. <https://doi.org/10.37277/stch.v28i2.235>
- Dermawan, E., & Nugroho, D. (2017). Analisa Koordinasi Over Current relay Dan Ground Fault relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka. *Elektum : Jurnal Teknik Elektro*, 14(2), 43–48.
- Dr. Ramadoni Syahputra. (2019). *Rekayasa dan Pengkondisian Energi Terbarukan*. 2019.
- Elektro, T., Teknik, F., & Yogyakarta, U. M. (n.d.). *Analisis Koordinasi Proteksi Penyulang 20 kV dan Proteksi Pelanggan Khusus Tegangan Menengah Pada Gardu Induk Bantul Ahmad Djailani 1 , Ramadoni Syahputra 1 , M. Yusvin Mustar 1*.
- Fahrulrozi, M., Suyono, H., Lomi, A., Elektro, J. T., Teknik, F., Brawijaya, U., & Author, C. (2019). Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi dengan Relokasi Penempatan Fuse-Recloser Optimal karena Injeksi Pembangkit Tersebar. *Jurnal EECCIS*, 13(2), 78–83. <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>

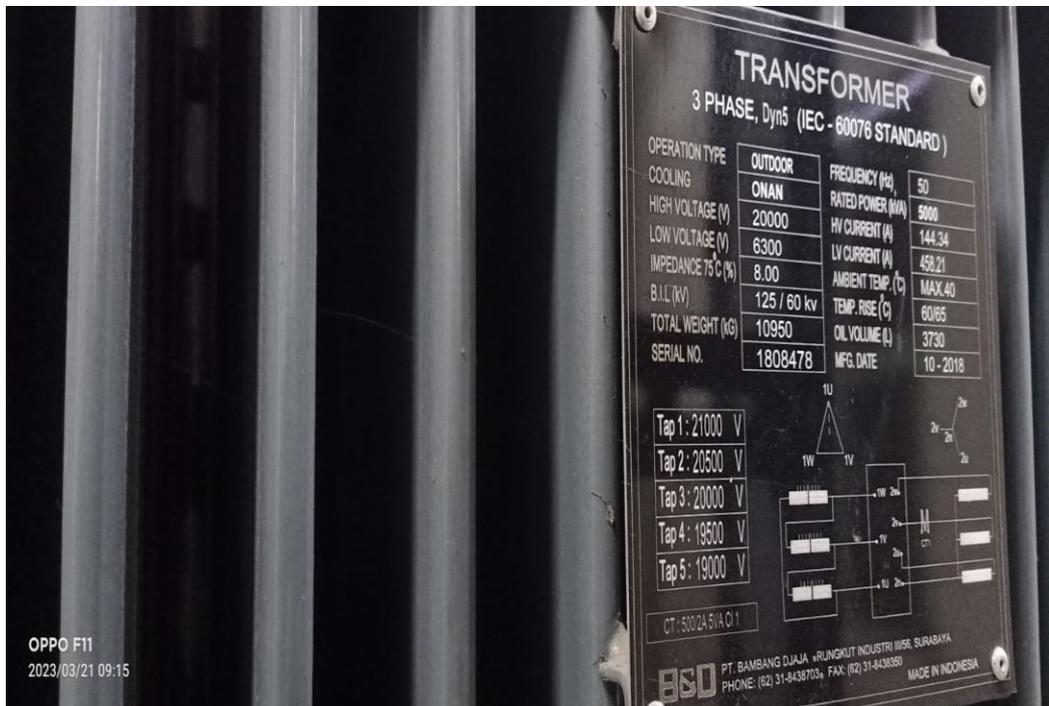
- Gomez, J. C., & Morcos, M. M. (2010). Letter to the editor: A new methodology for coordination of overcurrent protection system with embedded distributed generation. *Electric Power Components and Systems*, 38(5), 615–619. <https://doi.org/10.1080/15325000903376917>
- Gusti, I, Arka, P., & Mudiana, N. (2013). Studi Pengaruh Pemasangan Sistem Proteksi Rele Terhadap Kemungkinan Gangguan Sympathetic Tripping Pada Penyulang. *Jurnal Logic*, 13(3), 142–147.
- Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (1992). Politeknik Negeri Sriwijaya. *Sumber Elektronika*, VI(7), 4–28. <http://electrozone94.blogspot.co.id/2013/10/panel-surya->
- Imran, A., Ruslan, & Syamsurijal. (2021). Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik UP3 Makassar Utara dengan Menggunakan Aplikasi Etap 12.6. *Seminar Nasional Hasil Penelitian 2021*, 1369–1377. <https://www.etalp.com>
- Iriando, G. R., & Agung, A. I. (2019). Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Transformator 20 kV di Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Bandilan. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(3).
- Kamel, A., Alaam, M. A., Azmy, A. M., & Abdelaziz, A. Y. (2013). Protection coordination for distribution systems in presence of distributed generators. *Electric Power Components and Systems*, 41(15), 1555–1566. <https://doi.org/10.1080/15325008.2013.835361>
- Markus Dwiyanto Tobi Sogen, S.T., M. . (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi Di PT PLN (PERSERO) Area Sorong. *Elektro*, 4, 10.
- Maulana, T. A. A., Lubis, R. S., & Sara, I. D. (2019). Analisis Jatuh Tegangan Distribusi Primer 20kV pada Penyulang Ulee Kareng PT. PLN (Persero) Banda Aceh. *Seminar Nasional Dan Expo Teknik Elektro*, 82–89. <http://snete.unsyiah.ac.id/2019/wp-content/uploads/2019/12/Naskah-15-Ahlul.pdf>
- Naparin, M. R. (2018). Analisis Koordinasi Proteksi Overcurrent relay pada Jaringan Distribusi 70 kV PT. Makmur Sejahtera Wisesa. *Repository Universitas Islam Indonesia*, 1–43.
- Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., & Hidayat, M. H. (2021). Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current relay IWU 2-3. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(2), 28–39. <https://doi.org/10.53695/jm.v2i2.562>
- Permadi, R. (2022). *Analisis Aliran Daya Pada Jalur Kelistrikan Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Menggunakan* <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/18815>
- Praktek, K. (2022). *Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan Kerja Praktek (KP) Disusun oleh :*

- Sa'adah, S. K. (2017). *Studi Koordinasi Proteksi Pabrik Ammurea II PT. Petrokimia Gresik*. 131.
- Safitri, I., Gunawan, G., & Nugroho, A. A. (2020). Analisa Koordinasi Setting Proteksi *Over Current relay* (OCR) Outgoing 20 kV dan *Recloser* pada Trafo II 60 MVA Feeder RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang. *Elektrika*, 12(1), 22. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v12i1.2136>
- Sarimun, N., W. (2008). Pemilihan CT Untuk Peningkatan Kinerja Proteksi dan Pengukuran. *Workshop*, 1(1), 1–9.
- Sarwito, S., & Priyanga, S. A. (2021). Analisa Gangguan Short Circuit serta Pengaturan Koordinasi Proteksi pada Container Crane Disuplai dengan Energi Terbarukan Berbasis Simulasi. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.57049>
- Sriwijaya, P. N. (2019). BAB II Tinjauan Pustaka BAB II Tinjauan Pustaka 2.1. 1–64. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- Sunaya, I. N., & Widharma, I. G. S. (2020). Analisis Koordinasi *Over Current relay* dan *Ground Fault relay* Terhadap Keandalan Sistem. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 3(1), 30–40. <https://doi.org/10.47532/jiv.v3i1.98>
- Wahyu Hendra Prasetya, Misbahul Munir, Putra, N. P. U., Nasyith, Rohiem, H., & Masfufiah, I. (2022). Analisa Koordinasi Proteksi *Over Current relay* Pada Gardu Induk Bangil. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 10(2), 1–15.
- Wibowo, O. D., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2017). *Analisa Proteksi Over Current relay Pada Gardu*.
- Zainuddin, M., Eka, F., & Surusa, P. (2015). Analisis Implementasi Static Synchronous Compensator (STATCOM) pada Saluran Transmisi 150 kV. *Jurnal Sains Dan Teknologi Industri*, 12(2), 218–224. <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/1016>

Lampiran 1 *Nameplate* dan unit transformator



OPPO F11
2023/03/21 09:17



OPPO F11
2023/03/21 09:15

TRANSFORMER
3 PHASE, Dyn5 (IEC - 60076 STANDARD)

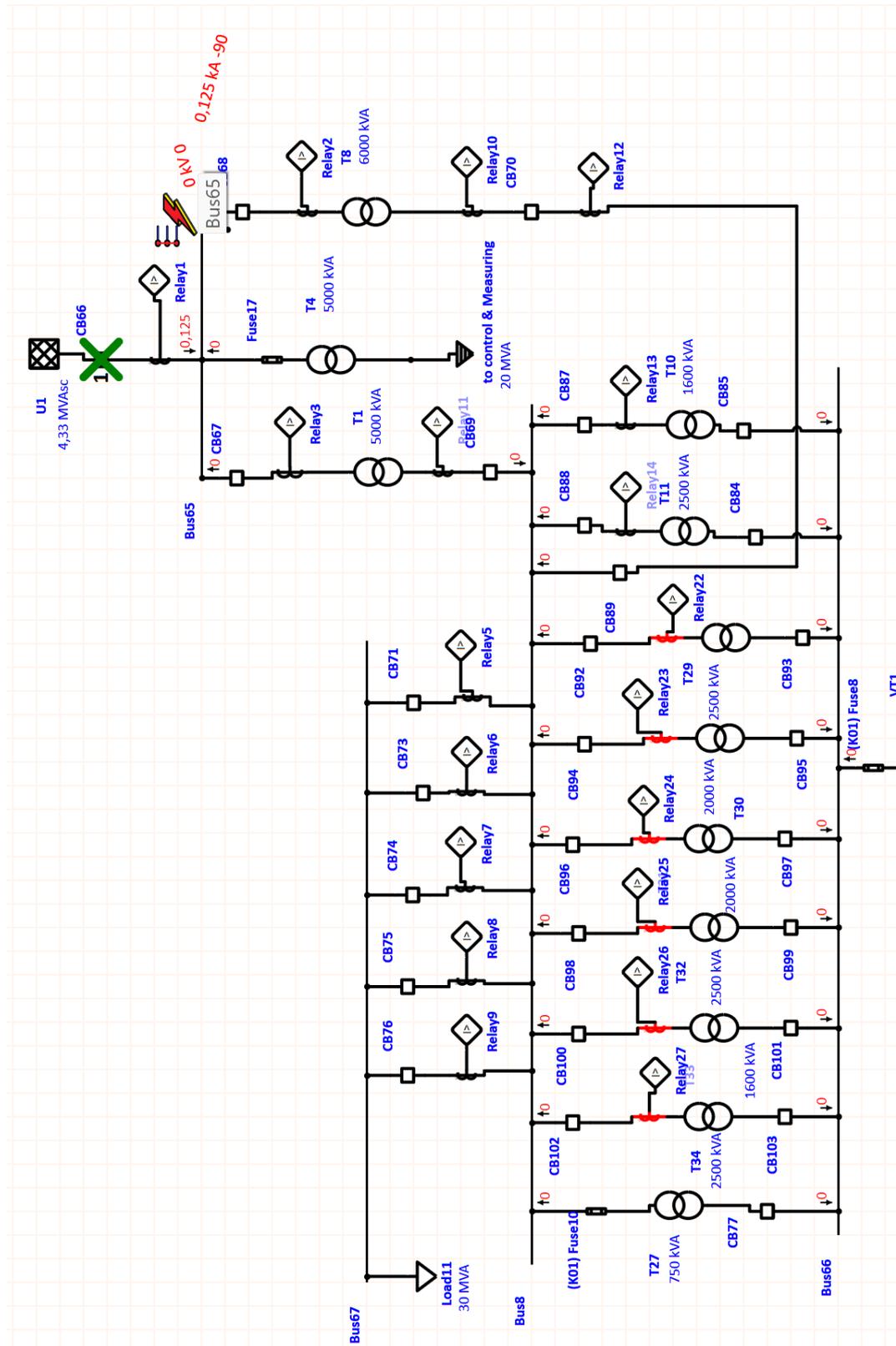
OPERATION TYPE	OUTDOOR	FREQUENCY (Hz)	50
COOLING	ONAN	RATED POWER (MVA)	5000
HIGH VOLTAGE (V)	20000	HV CURRENT (A)	144.34
LOW VOLTAGE (V)	6300	LV CURRENT (A)	450.21
IMPEDANCE 75°C (%)	8.00	AMBIENT TEMP (°C)	MAX.40
B.I.LL (KV)	125 / 60 kv	TEMP. RISE (°C)	60/65
TOTAL WEIGHT (KG)	10950	OIL VOLUME (L)	3730
SERIAL NO.	1808478	MFG. DATE	10 - 2018

Tap 1: 21000 V
Tap 2: 20500 V
Tap 3: 20000 V
Tap 4: 19500 V
Tap 5: 19000 V

CT: 500/24.5/VA Q1

BSO PT. BAMBANG DUAJA WILUNGKUT INDUSTRI BWS, SURABAYA
PHONE: (62) 31-8438703, FAX: (62) 31-8438350
MADE IN INDONESIA

Lampiran 3 Simulasi sistem proteksi di busbar 65



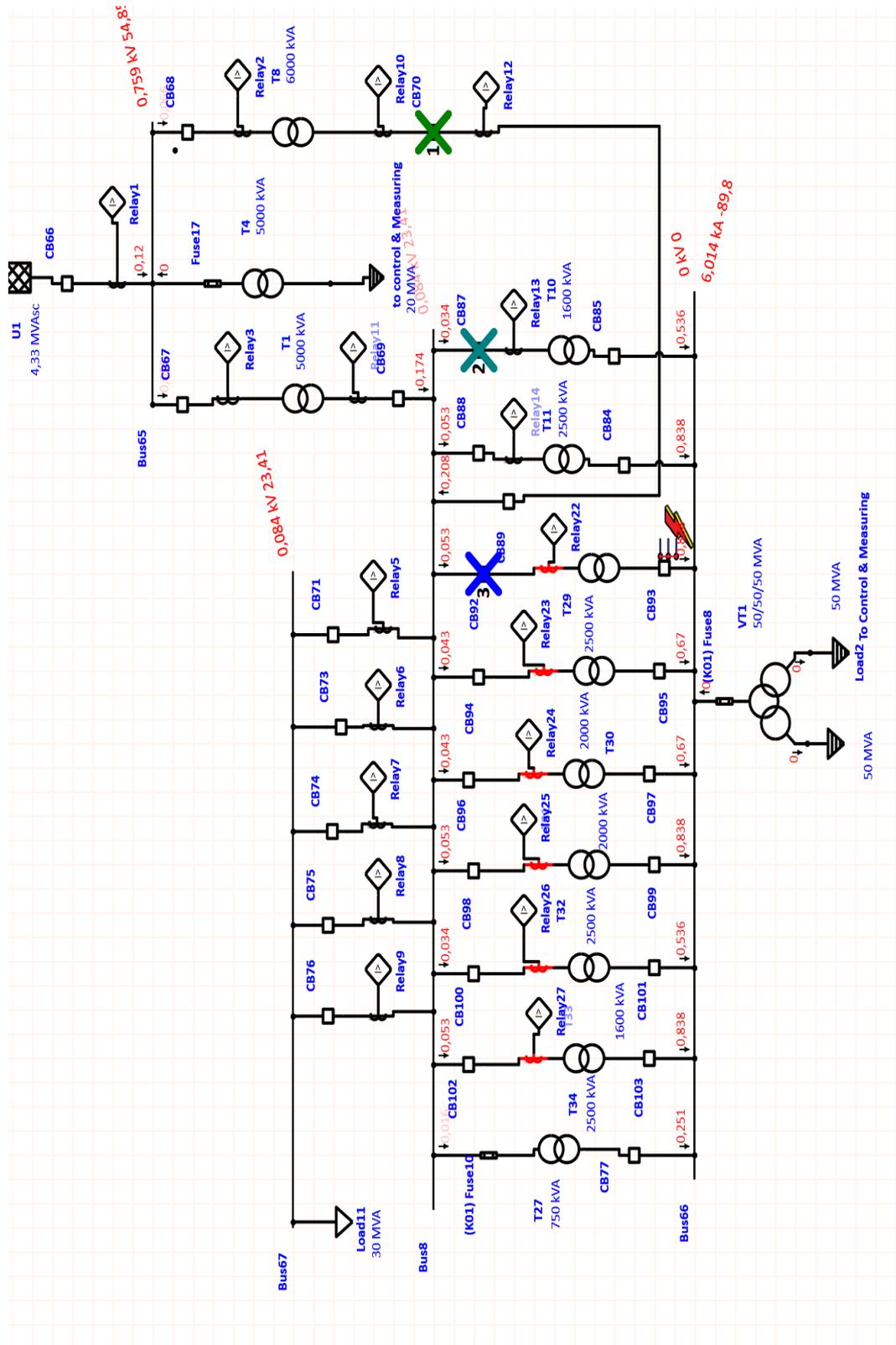
Lampiran 4 Hasil *Sequence Viewer* dari simulasi proteksi di busbar 65

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus65					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
19,2	Relay1	0,125	19,2		Phase - OC1 - 51
102	CB66		83,0		Tripped by Relay1 Pha...

Lampiran 6 Hasil *Sequence Viewer* dari simulasi proteksi di busbar 8

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus8					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,8	Relay12	0,211	4,8		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay1	0,122	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay2	0,066	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay3	0,055	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay10	0,211	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay11	0,176	19,2		Phase - OC1 - 51
87,8	CB70		83,0		Tripped by Relay12 Ph...
102	CB66		83,0		Tripped by Relay1 Pha...
102	CB67		83,0		Tripped by Relay3 Pha...
102	CB68		83,0		Tripped by Relay10 Ph...
102	CB68		83,0		Tripped by Relay2 Pha...
102	CB69		83,0		Tripped by Relay11 Ph...

Lampiran 7 Simulasi sistem proteksi di busbar 66



Lampiran 8 Hasil *Sequence Viewer* dari simulasi proteksi di busbar 66

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus66					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 08-30-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
4,8	Relay12	0,208	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay13	0,034	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay22	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay23	0,043	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay24	0,043	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay25	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay26	0,034	4,8		Phase - OC1 - 51
4,8	Relay27	0,053	4,8		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay1	0,12	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay2	0,066	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay3	0,055	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay10	0,208	19,2		Phase - OC1 - 51
19,2	Relay11	0,174	19,2		Phase - OC1 - 51
87,8	CB70		83,0		Tripped by Relay12 Ph...
87,8	CB87		83,0		Tripped by Relay13 Ph...
87,8	CB92		83,0		Tripped by Relay22 Ph...
87,8	CB94		83,0		Tripped by Relay23 Ph...
87,8	CB96		83,0		Tripped by Relay24 Ph...



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<http://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [f umsumedan](https://www.facebook.com/umsumedan) [i umsumedan](https://www.instagram.com/umsumedan) [t umsumedan](https://www.linkedin.com/company/umsumedan) [y umsumedan](https://www.youtube.com/channel/UC...)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor :475/IL3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 09 Januari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : Muhammad Rafli Sardi
Npm : 1907220055
Program Studi : Teknik Elektro
Semester : VIII (DELAPAN)
Judul Tugas Akhir : Analisis Koordinasi Proteksi Gangguan Sistem Tenaga Listrik Pada PT.Domias Agroiinti Prima Menggunakan Software Etap 19.0.1

Pembimbing : Noorly Evalina,S.T,M.T.

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila Judul Tugas Akhir Kurang sesuai dapat diganti oleh dosen pembimbing setelah mendapatkan persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan Tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen pembimbing dan menetapkan judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.



Ditapkan dimedan Pada Tanggal.
Medan, 16 Jumadil Akhir 1444 H
09 Januari 2023 M


Dekan,
Manawar Alfansury Siregar,ST,M.T
NIDN : 0101017202

cc.File





UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bisa membuat kamu lebih produktif
dalam belajar

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224507 Fax (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [f umsumedan](#) [@ umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

Nomor : 30/II.3.AU/UMSU-07/B/2023
Lamp : -
Hal : Pengambilan Data

Medan, 18 Jumadil Akhir 1444 H
11 Januari 2023 M

Kepada Yth. : Bapak / Ibu Pimpinan
PT. DOMAS AGROINTI PRIMA

Di -
Tempat

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Dengan hormat,

Kami memohon kesediaan Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan Pengambilan data di **PT. Domas Agroiinti Prima**, untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Adapun nama mahasiswa kami tersebut adalah :

Nama : Muhammad Rafli Sardi
Npm : 1907220055
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Gangguan Sistem Pada PT. Domas Agroiinti Prima Menggunakan Software ETAP

Pembimbing I: **Noorly Evalina, ST., MT.**

Data yang di cari :

1. Dokumentasi tempat penelitian
2. Sistem jaringan PLN

Demikianlah harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang bapak/ibu berikan kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.



Muhammad Alfansury Siregar, ST., MT.
NIDN : 0101017202

Cc. File





UMSU

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERTILIA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama: Muhammad Rafli Sardi
 NPM: 1907220055
 Fakultas Jurusan: Teknik Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir: "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Gangguan Sistem Tenaga PT Domas Agrointi Prima menggunakan Software ETAP"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	20/2-2019	Revisi Data	Sandi
2	22/2-2019	Perbaikan Rumus dan tiori	Sandi
	3/3-2019	kefiteran gambar skematik untuk Busbar system !	Sandi
	12/3-2019	Analisis gangguan sistem proteksi busbar dan OVP, GPR, dsb	Sandi
	5/4-2019	Revisi Laporan	Sandi

Mengetahui,
Pembimbing I

(Signature)
 Noorly Evalina S.T.,M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Muhammad Rafli Sardi
NPM : 1907220055
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Koordinasi Proteksi Gangguan Sistem Tenaga Listrik Pada PT DOMAS AGROINTI PRIMA Menggunakan Software ETAP 19.0"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	14/10-2023	Revisi Uraian Kalkulasi	[Signature]
	18/10-2023	Revisi Hasil dan Pembahasan	[Signature]
	22/10-2023	Revisi Rumus, draft hasil pengaji	[Signature]
	23/10-2023	Revisi Sulas	[Signature]
	28/10-2023	Revisi Sidang	[Signature]

22/10-2023
Revisi Sulas
Mengetahui,
Pembimbing I
Noorly Eivalina S.T.,M.T