

TUGAS AKHIR

**ANALISIS SISTEM PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA
TRAFO TENAGA DI PT. PLN NUSANTARA POWER UPDK
BELAWAN**

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

Disusun Oleh:

ABDI WIJAYA KESUMA

2007220006



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Abdi Wijaya Kesuma

NPM : 2007220006

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan

Bidang Ilmu : Sistem Kendali (Sistem Kontrol)

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.

Medan, 05 November 2024

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T.

Penguji I



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

Penguji II



Noorly Bualina, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro



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



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Kapt. Muchtar Basri Street No.3 Medan-20238, Telp. (061) 661059

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Abdi Wijaya Kesuma
NPM : 2007220006
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan
Bidang Ilmu : Sistem Kendali (Sistem Kontrol)

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN
KEPADA PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 05 November 2024

Dosen Pembimbing

Rimbawati, S.T., M.T.

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dbawah ini:

Nama : Abdi Wijaya Kesuma

Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 22. 02. 2001

NPM : 2007220006

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT PLN Nusantara Power UPD Belawan”

Bukan merupakan hasil plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan aterial dan nonmaterial, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik deprogram studi teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 04 November 2024



Abdi Wijaya Kesuma

ABSTRAK

Sistem proteksi merupakan salah satu bagian paling penting dalam sistem tenaga listrik, secara keseluruhan. Over Current Relay merupakan relai yang bekerja saat mengalami arus lebih. Saat terjadi arus lebih relay akan menerima sinyal dan sinyal ini akan mengaktifkan PMT (pemutus) untuk memutus arus di jaringan. Gangguan ini menyebabkan lonjakan arus yang cukup besar sehingga dapat merusak transformator tersebut dan di butuhkannya sistem pengaman tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk Menganalisis setting proteksi antar OCR pada trafo tenaga yang ada pada PT. PLN Nusantara Power UPGK Belawan dan Menganalisis besar nilai saat terjadinya OCR pada trafo tenaga yang ada pada PT. PLN Nusantara Power UPGK Belawan. Hasil perbandingan waktu trip gangguan OCR di sisi incoming adalah sebesar 0,108 detik dan sisi outgoing BICT adalah sebesar 0,109 detik. Koordinasi antara relay incoming dan outgoing masih belum bekerja dengan baik, karena waktu kerja relay melebihi batas setting waktu kerja relay di lapangan. Hal ini akan menyebabkan relay outgoing tidak akan bekerja jika arus gangguan terjadi pada sisi outgoing. Sehingga relay pada sisi incoming yang akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutus aliran listrik kearah penyulang, agar peralatan pendistribusian tidak rusak. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa terbesar pada penyulang bisa mencapai 603,2 A.

Kata Kunci : Proteksi, Over Current Relay, Transmisi

ABSTRAK

The protection system is one of the most important parts in the electric power system as a whole. Over Current Relay is a relay that works when experiencing overcurrent. When an overcurrent occurs, the relay will receive a signal and this signal will activate the PMT (breaker) to cut off the current in the network. This disturbance causes a current surge that is large enough to damage the transformer and requires a safety system. This research aims to analyze the protection settings between OCRs on existing power transformers at PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan and Analyze the value when OCR occurs on the power transformer at PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan. The results of the comparison of the OCR trip time for the incoming side were 0.108 seconds and the BICT outgoing side was 0.109 seconds. Coordination between incoming and outgoing relays is still not working well, because the relay working time exceeds the relay working time setting limit in the field. This will cause the outgoing relay to not work if a fault current occurs on the outgoing side. So the relay on the incoming side will work to order the PMT to cut off the electricity flow to the feeder, so that the distribution equipment is not damaged. From the calculation results it can be seen that the value of the largest single phase short circuit fault current in the feeder can reach 603.2 A.

Keywords: Protection, Over Current Relay, Transmission

KATA PENGANTAR



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 sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS SISTEM PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA TRAFO TENAGA DI PT. PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN”. 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. Teristimewah kedua orang tua Penulis ayahanda Sarno Hadiwibowo dan ibunda Herawati yang darahnya mengalir dalam tubuh penulis, yang dengan sabar membesarkan putranya, yang selalu melangitkan doa-doa baik demi studi penulis. Dan juga untuk keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Dosen Pembimbing Ibu Rimbawati S.T., M.T., yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.

6. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Univ.....
Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Saudara sedarah dirumah papan kecil yang sederhana di tengah hamparan
ladang, Abangda Yuda Ramadhani dan Adinda Dwi Putri Aulia beserta
Kakanda Sri Utari atas seluruh kebaikan, kontribusi dan dukungan nyata
hingga skripsi ini selesai.
8. Shavia Aulia, Almeyra Khansa, Fadilla Salsabila dan Irfan Syahputra teman
sejati saya yang ikut berkontribusi memberi dukungan nyata serta motivasi.
9. Wahyu Hidayat Hasibuan, Duwi Ramadhan, Fadli dan Mhd. Ali Indra
Syahputra teman seperjuangan.
10. Rekan-rekan mahasiswa utamanya Teman Kelas A3 2020 dari Program
Studi Teknik Elektro satu angkatan.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak
membantu memberikan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan
penyusunan skripsi ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT, kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 01 Oktober 2024

Abdi Wijaya Kesuma
2007220006

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | i |
| <i>ABSTRAK</i> | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematis Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan | 5 |
| 2.2 Landasan Teori | 13 |
| 2.2.1 Sistem Tenaga Listrik | 13 |
| 2.2.2 Pengertian Gangguan dan Klasifikasi Gangguan | 14 |
| 2.2.3 Sistem Proteksi | 15 |
| 2.2.3.1 Tujuan Sistem Proteksi | 19 |
| 2.2.3.2 Persyaratan sistem proteksi | 19 |
| 2.2.4 Metode Komponen Simetris Untuk Gangguan Hubung Singkat | 24 |
| 2.2.4.1 Komponen Urutan Positif (positive sequence components) | 25 |
| 2.2.4.2 Komponen Urutan Negatif (negative sequence components) | 25 |
| 2.2.4.3 Komponen Urutan Nol (zero sequence components) | 26 |
| 2.2.5 Gangguan Hubung Singkat | 27 |
| 2.2.6 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik | 33 |
| 2.2.7 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik | 35 |
| 2.2.7.1 Current Transformator | 36 |
| 2.2.7.2 Rele Proteksi | 37 |
| 2.2.7.3 Pemutus Tenaga | 38 |
| 2.2.8 Rele Arus Lebih | 39 |

| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| 2.2.8.1 | Relay Arus Lebih Seketika | 39 |
| 2.2.8.2 | Relay Arus Lebih Waktu Tertentu | 40 |
| 2.2.9 | Relay Gangguan Tanah..... | 41 |
| 2.2.10 | Over Current Relay (OCR) | 43 |
| 2.2.10.1 | Kordinasi OCR | 46 |
| 2.2.10.2 | Setelah OCR..... | 47 |
| 2.2.11 | Relay Hubung Tanah (GFR) | 49 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | | 52 |
| 3.1 | Waktu dan Tempat Tempat | 52 |
| 3.1.1 | Waktu Penelitian | 52 |
| 3.1.2 | Tempat Penelitian..... | 53 |
| 3.2 | Data Penelitian | 53 |
| 3.3 | Teknik Analisis Penelitian | 54 |
| 3.4 | Flowchart Penelitian | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 56 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Komponen Simetris..... | 26 |
| Gambar 2. 2 Rangkaian Komponen Urutan Positif, Negatif dan Nol..... | 27 |
| Gambar 2. 3 Diagram Penyaluran Listrik | 30 |
| Gambar 2. 4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah | 31 |
| Gambar 2. 5 Gangguan Hubung Sinkat 2 Fasa ke tanah | 31 |
| Gambar 2. 6 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa | 32 |
| Gambar 2. 7 Elemen Proteksi Sistem Tenaga Listrik | 36 |
| Gambar 2. 8 Rangkaian Sederhana Rele PMT..... | 38 |
| Gambar 2. 9 Karakteristik OCR..... | 39 |
| Gambar 2. 10 Karakteristik Arus Lebih Tertentu | 40 |
| Gambar 2. 11 Karakteristik OCR Tipe Berbanding Terbalik | 40 |
| Gambar 2. 12 Ground Fault Relay | 42 |
| Gambar 2. 13 Rangkaian Pengawatan OCR dan GFR..... | 43 |
| Gambar 2. 14 Karakteristik Relay OCR | 45 |
| Gambar 2. 15 Karakteristik OCR..... | 46 |
| Gambar 2. 16 Rangkaian Pengawatan OCR | 50 |
| Gambar 2. 17 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe sepam..... | 51 |
| Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian | 53 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-----------------------------------|----|
| Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian..... | 52 |
| Tabel 3. 3 Alir Penelitian | 55 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi merupakan salah satu bagian paling penting dalam sistem tenaga listrik, secara keseluruhan. Oleh sebab itu sistem tenaga listrik di haruslah terkondisi dengan aman, tanpa adanya pengaman tenaga listrik yang dibutuhkan akan tidak dapat didistribusikan kepada beban-beban dengan tingkat kualitas yang tinggi. Mengingat memiliki pembangkit sendiri untuk memenuhi kebutuhan daya akan beban pada PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan yaitu PLTU, maka keamanan pada sistem kelistrikan distribusi PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan tersebut harus dapat ditingkatkan, jadi sangat diperlukan adanya sistem pengaman yang sesuai. Dengan digunakannya sistem pengaman yang ada di itu sendiri yaitu *Over Current Relay* sebagai pengaman pada sistem *Feeder Overland Substation Switchboard*, maka sistem pengaman rele harus dapat meminimalisir adanya koordinasi yang tidak sesuai dengan karakteristik pengaman karena adanya gangguan fasa dan tanah.

Pada sebuah sistem kelistrikan seringkali 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. Gangguan ini bisa disebabkan oleh binatang, sambaran petir bahkan setting dari sistem proteksi yang salah. Kesalahan sebuah sistem proteksi biasanya disebabkan oleh adanya 2 jaringan yang berbeda karakteristik bebannya. Misalnya sebuah pembangkit yang mendistribusikan listrik ke jaringan PLN dan jaringan milik perusahaan itu sendiri. Dalam hal ini bisa saja terjadi perbedaan nilai *setting Over Current relay* sebagai salah satu proteksi antara jaringan PLN dan milik perusahaan. Sehingga saat ada perubahan nilai beban menyebabkan sistem proteksi aktif dan mendeteksi kenaikan beban yang juga menaikkan nilai arus sebagai gangguan. Maka jaringan distribusi akan otomatis mati.

Over Current Relay merupakan relai yang bekerja saat mengalami arus lebih. Saat terjadi arus lebih relay akan menerima sinyal dan sinyal ini akan mengaktifkan

PMT (pemutus) untuk memutus arus di jaringan. *Over Current relay* biasanya terpasang pada jaringan transmisi sampai ke distribusi. Seiring dengan bertambahnya jumlah beban maka nilai setting pada juga perlu diperbaharui. Terkadang hal ini jarang diperhatikan karena penamabahan jumlah beban yang hanya sedikit. Namun lama kelamaan beban akan menumpuk dan menyebabkan nilai *setting Overcurrent relay* sudah tidak relevan lagi. Sehingga diperlukan nilai setting relai yang memenuhi syarat yakni selektivitas, sensitivitas, reliabilitas dan kecepatan. Dengan *setting relay* yang tepat maka tidak akan ada relai yang bekerja secara bersamaan. Dimana apabila itu terjadi relai yang seharusnya tidak bekerja akan memadamkan jaringan yang tidak mengalami gangguan. Maka apabila koordinasi antar sistem proteksi sudah bekerja dengan baik dapat meningkatkan kehandalam jaringan transmisi dan distribusi listrik.

Gangguan ini menyebabkan lonjakan arus yang cukup besar sehingga dapat merusak transformator tersebut dan di butuhkannya sistem pengaman tersebut [2]. Dari kegagalan sistem koordinasi sistem proteksi dapat membuat produksi terhenti hingga terjadi black out pada station itu sendiri dan membutuhkan waktu yang lama untuk normal kembali yang bisa berakibat juga kepada sistem controlnya dan dapat pula menghindarkan adanya kesalahan kerja dari *Over Current relay* itu sendiri sehingga kontinuitas pelayanan dan penyediaan tenaga listrik dapat dipertahankan. Rele proteksi memiliki kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai tingkat keandalan sistem yang tinggi karena kinerja pengaman yang cepat dan tepat akan dapat mengisolir gangguan seminimal mungkin [3]. Gangguan ini tidak dapat dihilangkan keberadaanya, gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu gangguan yang bersifat tetap (permanen) dan gangguan yang bersifat sementara (temporer).

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana setting proteksi OCR pada trafo tenaga pada PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan?

2. Berapa besar nilai arus saat terjadinya OCR pada trafo tenaga yang ada pada PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Sistem proteksi OCR pada trafo tenaga yang menjadi pokok pembahasan adalah milik PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan.

1. Sistem proteksi OCR pada trafo tenaga yang menjadi pokok pembahasan adalah milik PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan.
2. Sistem proteksi OCR diambil dari trafo tenaga milik PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan.
3. Beban yang digunakan hanya pada trafo tenaga.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai latar rumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis setting proteksi antar OCR pada trafo tenaga yang ada pada PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan
2. Menganalisis besar nilai saat terjadinya OCR pada trafo tenaga yang ada pada PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan

1.5 Manfaat Penelitian

Sesuai uraian diatas, adapun manfaat dari penelitian yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan kehandalan dan kualitas koordinasi sistem proteksi pada trafo tenaga milik PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan
2. Sebagai panduan untuk perusahaan didalam melakukan koordinasi proteksi dan setting OCR pada trafo.

1.6 Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Tinjauan pustaka relevan pada penelitian ini merupakan hasil dari penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Tinjauan pustaka relevan ini menjadi acuan atau referensi bagi penulis untuk melakukan penelitian, adapun tinjauan pustaka yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Menurut (Ramlan et al., 2022) gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik berupa gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Pengaman yang digunakan pada gangguan hubung singkat fasa-fasa yaitu *Over Current Relay* (OCR) sedangkan untuk hubung singkat fasa ke tanah yaitu *Ground Fault Relay* (GFR). Penelitian ini dilakukan pada Trafo 60 MVA di GI Tallasa untuk menganalisis koordinasi relai proteksi OCR dan GFR baik sisi penyulang 20 kV, sisi incoming 20 kV, dan sisi 150 kV Trafo. Penelitian ini dilakukan dengan metode perhitungan manual kemudian melakukan simulasi menggunakan software DigSILENT PowerFactory. Hasil pengecekan koordinasi existing Setting relai didapatkan koordinasi GFR yang telah sesuai sedangkan untuk OCR didapatkan koordinasi yang tidak sesuai dengan urutan kerja relai, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan urutan kerja relai antara sisi penyulang, incoming, dan sisi 150 kV. Untuk itu perlu diadakan resetting relai OCR. Hasil perhitungan diperoleh nilai Setting penyulang, $I_{set} = 5,5$ Ampere, $TMS = 0,138$. Setting incoming, $I_{set} = 4,74$ Ampere, $TMS = 0,189$. Setting OCR 150 kV, $I_{set} = 8,46$ Ampere, $TMS = 0,27$. Hasil simulasi koordinasi resetting menunjukkan urutan kerja relai OCR sisi penyulang, incoming 20 kV, dan sisi 150 kV telah terkoordinasi dengan baik.

Adapun penelitian lain yang menyatakan pendistribusian energi listrik dengan baik aspek yang perlu diperhatikan adalah keandalan sistem proteksi. Untuk menjaga keandalan peralatan listrik khususnya trafo maka diperlukan suatu sistem proteksi. Sistem proteksi adalah suatu sistem yang berfungsi

untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan akibat adanya gangguan. Salah satu jenis proteksi yang digunakan adalah *Over Current Relay* (OCR). Dimana prinsip kerja OCR adalah mendeteksi adanya arus lebih yang melebihi nilai setting yang telah ditentukan, baik disebabkan oleh hubungan pendek antar fasa maupun beban lebih. Dalam penelitian ini dijelaskan penggunaan metode rangkaian listrik. Simulasi metode rangkaian listrik ini menggunakan Software Matlab sebagai verifikasi perhitungannya. Adapun hasil dari penelitian ini menyatakan nilai arus gangguan hubung singkat antar fasa terbesar terletak pada titik 0% sebesar 8113,79 Ampere dan nilai arus gangguan hubung singkat antar fasa terkecil terletak pada titik 100% sebesar 1208,10 Ampere. Jika dibandingkan dengan percobaan menggunakan software matlab diperoleh hasil yang tidak terlalu jauh dari hasil perhitungan manual. (Anisah, Siti & Wardani, 2020)

Pengertian Transformator daya pada sistem distribusi tenaga listrik menurut (Multi & Addaus, 2022) merupakan sebuah peralatan yang peranannya sangat penting dalam suatu gardu induk. Suatu gangguan dalam sistem distribusi tidak dapat diprediksi, gangguan ini bisa berupa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa ke tanah. sehingga untuk mencegahnya diperlukan suatu peralatan proteksi yang baik dan dapat diandalkan. Proteksi yang digunakan adalah *Over Current relay* (OCR) dan *Ground fault Relay* (GFR) sebagai proteksi cadangan pada transformator daya. Prinsip kerja dari OCR yaitu mendeteksi adanya arus hubung singkat antar fasa dan prinsip kerja dari GFR yaitu mendeteksi adanya arus hubung singkat fasa ke tanah. Pada penelitian ini hasil analisis yang dilakukan menggambarkan ketika arus gangguan melebihi nilai setting yang telah ditentukan, maka *Over Current relay* dan *Ground fault Relay* mengambil keputusan seketika atau dengan perlambatan waktu membuka PMT pada saat terjadi gangguan. Setelah melakukan perhitungan. Untuk arus setting OCR pada sisi 150 kV didapat 277,2 A dengan setting waktu TMS (OCR) yaitu 0,31 dan untuk arus setting (GFR) pada sisi 150 kV didapat 35,22 A dengan setting waktu TMS (GFR) yaitu 0,44. Untuk arus setting (OCR) pada sisi 20 kV didapat 2.078,4 A dengan setting waktu TMS (OCR) yaitu 0,23 dan untuk arus setting (GFR) pada sisi 20 kV didapat 96,07 A dengan setting waktu TMS (GFR) yaitu 0,3.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan G, 2020) dengan objek penelitian Kopel 20 kV yang berfungsi untuk penggabungan beban pada penyulang di sistem 20 kV yang memerlukan sistem proteksi yang handal dalam kinerjanya dengan menggunakan *Over Current Relay* (OCR). Relay OCR pada kopel diharapkan dapat menghindari dari gangguan hubung singkat pada sistem 20 kV penyulang ataupun beban lebih. Relay ini bekerja dengan cara membandingkan arus yang terbaca dengan nilai setinganya, bila arus yang dibaca lebih besar dari pada nilai setingan maka relay akan meng- trip-kan Pemutus Tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) setelah waktu tertentu. Dari hasil perhitungan OCR PMT kopel 20 kV dengan kopel penyulang selisih waktu $t_{ms} = 0,08$ SI, dan waktu kerja $t = 0,2$ s. Untuk waktu kerja rele terhadap OCR penyulang dan incoming dimana waktu kerja incoming yaitu : $t_{set\ penyulang} < t_{set\ inc}$, maka $t_{set\ inc} = 0,4 + t_{set\ penyulang} = 0,4 + 0,3 = 0,7$ detik, penyulang 0,3 detik dan PMT kopel 20 kV 0,4 detik. Waktu kerja OCR PMT 20 kV berada di tengah antara penyulang dan incoming.

Menurut pengamat energi dari *Institute for Essential Services Reform* (IESR) jumlah konsumen listrik di Indonesia naik rata-rata pertahun 6-7% yang diikuti dengan meningkatnya luas daerah pelayanannya. Jaringan yang semakin luas berband- ing lurus dengan potensi terjadinya gangguan pada sistem transmisi dan distribusi. Gardu Induk 150 KV Rembang merupakan bagian sistem kelistrikan Interkoneksi Jawa Bali pada Jawa Tengah bagian Utara yang mensupply listrik ke daerah Rembang dan sekitarnya. Gardu Induk 150 KV Rembang tanggal 24 mei 2019 feeder RBG 01 mengalami gangguan di belakang recloser RB1-32 dan tercatat pada 2019 PMT telah trip sebanyak 4 kali. Selain itu, telah terjadi perubahan perangkat berupa per- gantian trafo II. Masalah tersebut menunjukkan adanya potensi gangguan yang tidak terantisipasi oleh sistem proteksinya yakni *Over Current Relay* dan *recloser*. Kajian ini mengevaluasi setting proteksi OCR *outgoing* 20 KV dan *recloser* pada trafo II feeder RBG 01 Gardu Induk 150 KV Rembang . Skenario yang digunakan berupa perhitungan dengan variasi besar arus hubung singkat berdasarkan % jarak, serta perhitungan setting OCR dan recloser dengan standar IEC 60255. Arus setting pada peralatan proteksinya diatur berdasarkan kuat hantar arus (KHA) dan arus beban pada recloser. Koordinasi setting proteksi hasil reseting ini akan dibanding dengan kondisi di lapangan. Kondisi *existing*

(lapangan) OCR *outgoing* feeder RBG 01 nilai TMS OCR = 0,228 detik, Iset = 480 A, dan t_{op} = 0,3 detik. Kondisi existing OCR recloser nilai TMS OCR = 0,120 detik dan Iset = 400 A. Hasil Resetting koordinasi OCR *outgoing* feeder RBG 01 didapatkan nilai TMS OCR = 0,135 detik, Iset = 585 A, dan $t_{operasi}$ = 0,3 detik. Kondisi resetting OCR recloser didapatkan nilai TMS OCR = 0,10 detik, Iset = 240 A dan $t_{operasi}$ = 0,198 detik. Kondisi resetting telah memenuhi standar IEC 60255 karena waktu kerja recloser lebih kecil dari waktu kerja *outgoing*. (Safitri et al., 2020)

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh (Setyaningrum et al., 2021) dengan objek penelitian Gardu Induk Banaran Trafo 60 MVA 150/20 kV. Permasalahan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat terkadang menyebabkan Penyulang Gumul 20 kV mengalami pemadaman, sehingga pengaman incoming trafo 60 MVA juga terkena gangguan. Hal tersebut dikarenakan koordinasi rele antara OCR penyulang Gumul 20 kV dengan OCR incoming trafo 60 MVA yang kurang selektif dalam mengisolasi gangguan yang menyebabkan antar rele tidak overlapping (tidak tumpang tindih). Oleh karena itu untuk meningkatkan kinerja koordinasi OCR perlu dilakukan setting OCR yang optimal dengan menggunakan metode PSO. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai setting OCR di sisi penyulang menggunakan PSO menghasilkan TMS sebesar 0.1197 s dengan waktu operasi rele lebih cepat sebesar 0.2471 s daripada hasil konvensional diperoleh TMS sebesar 0.1453 s dengan waktu operasi rele sebesar 0.300 s. Sehingga hasil PSO tersebut menghasilkan CTI yang semakin meningkat sebesar 0.3529 s, sedangkan hasil dari metode konvensional diperoleh CTI sebesar 0.300 s. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa koordinasi rele antara OCR Penyulang Gumul 20 kV dengan OCR incoming trafo 60 MVA dapat bekerja cukup selektif dengan mengisolasi gangguan secara tepat.

Adapun analisis ini dibuat dikarenakan pada PT. Pelindo 1 Cabang Belawan sering mengalami pemadaman dikarenakan faktor perawatan dan juga gangguan yang di sebabkan oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu analisis proteksi ini diangkat untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan - peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat yang terjadi. Ruang lingkup dari penulisan ini pun untuk menentukan nilai arus hubung singkat dan menentukan nilai

setting peralatan proteksi menggunakan over current relay agar dapat mengetahui dan memahami arus hubung singkat serta penentuan nilai peralatan proteksi yang tepat sehingga dapat diterapkan nilai arus setting pada peralatan proteksi yang menjangkau relay lain agar peralatan – peralatan distribusi milik PT. Pelindo 1 Cabang Belawan dapat bekerja dengan baik. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan lama waktu relay bekerja saat terjadi gangguan arus hubung singkat serta mengetahui koordinasi relay incoming dan outgoing dan perbandingan besar nilai arus gangguan 1 fasa dilapangan dengan hasil analisa. Dari hasil penelitian, didapat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar 1 fasa adalah sebesar 603, 2 A. Sedangkan untuk koordinasi over current relay tidak dalam kondisi baik yang dimana hasil perhitungan kecepatan waktu kerja relay di sisi incoming sebesar 0, 117 detik dan sisi outgoing BICT sebesar 0, 119 detik. Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan tidak dalam kondisi yang sesuai (terdapat perbedaan), sehingga dapat di simpulkan bahwa nilai setting over current relay PT. Pelindo 1 dilakukan penyettingan ulang, dan setelah dilakukannya penyettingan ulang, hingga saat ini relay proteksi masih dalam keadaan baik. (Pasaribu et al., 2021)

Untuk menjaga kontinuitas peyaluran energi listrik apabila terjadi gangguan hubung singkat, salah satu caranya adalah manuver jaringan dan sistem proteksi. Seperti halnya di saluran WLI 05 yang kerap melakukan manuver jaringan ke saluran WLI 07. Karena adanya manuver jaringan maka relay outgoing dan recloser yang terpasang di kedua saluran ini mengalami overlapping. Hal itu dikarenakan arus setting recloser dan relay tidak sesuai dengan arus beban maksimum dengan kondisi ketika adanya manuver jaringan. Maka dari itu peralatan proteksi yang terpasang di kedua saluran perlu di evaluasi supaya tidak terjadi overlapping. Untuk melakukan evaluasi maka di perlukan arus beban maksimum yang melewati peralatan proteksi, arus beban maksimum ini di peroleh dengan 2 perhitungan. Perhitungan 1 adalah saat kondisi jaringan melakukan manuver 1 yaitu ketika ABSW-47/3 dalam keadaan close. Sedangkan untuk perhitungan 2 adalah saat kondisi jaringan melakukan manuver melalui ABSW-73/51. Hasil resetting menghasilkan waktu kerja peralatan proteksi dengan setting existing lebih kecil dibanding dengan setting perhitungan 1 dan perhitungan 2. Setting hasil perhitungan 1 dan 2 menyebabkan waktu kerja relay dan recloser lebih lama hal ini

dikarenakan pengaruh adanya grading time antar perlatan proteksi namun hal itu masih sesuai standard dan tidak terjadi overlapping.(Muchamad et al., 2017)

Kebutuhan Energi Listrik tiap tahunnya mengalami peningkatan sehingga beresiko terjadi gangguan hubung singkat pada saluran sehingga diperlukan setting Over Current Relay (OCR) yang baik untuk mengatasi gangguan dengan diproyeksikan dalam bentuk sistem Tenaga Listrik 7 Bus IEEE Modified. Perhitungan Setting relay digunakan 2 perhitungan yaitu perhitungan manual dan menggunakan metode ANN. Metode ANN digunakan untuk melihat nilai kesalahan pada waktu pengaman berkoordinasi. Hasil perhitungan dengan metode ANN didapatkan nilai Mean *Squared Error* $3,91e-14$. Hasil Total TDS dan IPickup pada Kondisi 1 yaitu sebesar 1,355328 s dan 38,6715, pada kondisi 2 yaitu 1,199314 s dan 35,5915, pada kondisi 3 yaitu 1,30228 s dan 27,1915 dan pada kondisi 4 yaitu 1,17221 s dan 24,304. Sedangkan hasil dengan metode ANN pada kondisi 1 yaitu 1,355349 s dan 38,671495, pada kondisi 2 yaitu 1,199338 s dan 35,591495, Pada Kondisi 3 yaitu 1,302281 s dan 27,191494 serta pada kondisi 4 yaitu 1,172241 s dan 24,303997. Hasil Koordinasi relay sudah sesuai rancangan pada kondisi 1 dan 2. Kondisi 3 dan 4 dengan letak titik gangguan pada Bus 2 relay Backup R3 digantikan dengan R6 hal ini terjadi karena perubahan arah arus gangguan pada sistem. (Prabowo et al., 2023).

Sistem proteksi yang handal bertugas untuk melacak dan menemukan secara cepat adanya gangguan sehingga secara cepat juga sistem ini mengisolir sistem yang terganggu sehingga tidak mengganggu sistem di atasnya. sistem proteksi dapat dikatakan handal apabila saat gangguan sedang berlangsung maka cb terdekatlah yang langsung bekerja dan memutus aliran listrik agar tidak mengganggu sistem lain nya, maka dari itu diperlukan adanya suatu sistem koordinasi yaitu Over Current Relay pada Recloser saluran penyulang Pandaan dan Sukorejo. Koordinasi sistem proteksi ini bertujuan agar, ketika salah satu BUS terjadi gangguan sistem ini akan merasakan ketidak seimbangan yang menyebabkan kontinuitas aliran daya bisa terganggu sehingga Sangat diperlukan setting relai arus lebih agar didapatkan settingan yang baik serta peralatan listrik dapat terhindar dari segala macam kerusakan. Setelah melakukan perhitungan dan perbaikan terhadap setting Over Current Relay pada nilai Arus Pickup dan Time Dial nya bahwa setting baru yang

diterapkan telah bekerja sesuai fungsinya masing-masing saat terjadi gangguan, Nilai T yang digunakan dari yang terdekat dengan beban adalah 0,3 kemudian 0,5 detik dan yang paling ujung yang jauh dengan beban adalah 0,9 dan 1,1 detik. (Hendra Prasetya et al., 2022)

Dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik, evaluasi kinerja relay arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) sebagai sistem proteksi perlu dilakukan secara berkala. Keandalan proteksi menjadi faktor kunci dalam meningkatkan pelayanan ke konsumen. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja OCR pada transformator sisi 150 KV dan incoming 20 KV di Gardu Induk Sengkang. Hasil penelitian menunjukkan akurasi arus Pick Up OCR sebesar 3.92% (150 KV) dan 1.87% (20 KV), dengan rasio Drop Off terhadap Pick Up OCR masing-masing 95.83% dan 95.28%. Karakteristik waktu kerja relay pada kedua sisi transformator juga telah diuji dan memenuhi standar PT. PLN (Persero), dengan nilai kesalahan yang lebih kecil dari $\pm 5\%$. Dengan demikian, kinerja OCR pada Gardu Induk Sengkang dapat dianggap andal berdasarkan kriteria standar yang telah ditetapkan. (Syarifuddin et al., 2023).

Transformator daya adalah peralatan vital yang terdapat di Gardu Induk. Peralatan ini mempunyai banyak sistem proteksi yang salah satunya adalah Over Current Relay dan Ground Fault Relay. Sistem proteksi ini berfungsi untuk melindungi peralatan dari kerusakan yang ditimbulkan oleh hubung singkat. Kerja dari proteksi ini adalah dengan mendeteksi arus berlebih yang nantinya akan memberi perintah PMT untuk trip dengan waktu yang sudah ditentukan. Hasil analisis yang dilakukan menggambarkan untuk sistem proteksi Over Current Relay dan Ground Fault Relay dapat bekerja sebagai proteksi utama apabila terjadi gangguan di luar transformator dan menjadi proteksi cadangan apabila terjadi gangguan di dalam transformator. Setelah melakukan perhitungan, didapat arus seting primer Over Current Relay untuk sisi 150 kV sebesar 277,2 A dan sisi 20 kV sebesar 2.080,8 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,33 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,22. Sedangkan arus seting primer Ground Fault Relay untuk sisi 150 kV sebesar 92,4 A dan sisi 20 kV sebesar 693,6 A dengan nilai TMS sisi 150 kV adalah 0,34 dan nilai TMS sisi 20 kV adalah 0,23. (Setyowati et al., 2023).

Transformator Daya merupakan suatu peralatan yang sangat vital yang berfungsi menyalurkan energy listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah ataupun sebaliknya dan tidak pernah lepas dari gangguan. Adanya gangguan yang terjadi pada transformator dapat menghambat proses penyaluran energy listrik kepemakai (konsumen). Karena itu, system proteksi yang handal sangat dibutuhkan untuk melindungi transformator dari gangguan hubungan singkat yang diamankan oleh *Over Current Relay* yang digunakan adalah type SPAJ 140 C merupakan tipe salah satu relay proteksi cadangan yang digunakan oleh EMP Malacca Strait SA untuk menjaga transformator (PT-110) dengan rating tegangan 13.8/0.48 kV dengan daya 1250KVA dari gangguan hubungan singkat. Penelitian ini adalah untuk mendapatkan settingan dari Over Current Relay yang disebabkan oleh gangguan pada transformator daya yang digunakan. Dari hasil penelitian didapatkan besar arus gangguan fasa ketanah yang mengalir sebesar 9375 A dan setting waktu Over Current Relay 0.24 detik. Nilai arus gangguan yang mengalir pada transformator tersebut merupakan nilai yang besar, maka relay OCR pun bekerja diwaktu yang cepat. (Zulkarnaini, 2016).

Pada sistem distribusi tenaga listrik terdapat penyulang tegangan menengah yang berguna untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Tetapi tidak terlepas dari masalah, masih terdapat gangguan yang perlu dianalisa, diantaranya gangguan hubung singkat. Untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan. Peralatan proteksi yang sering digunakan pada sistem distribusi adalah *over current relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR), yaitu relai yang berfungsi memberi perintah PMT untuk membuka, sehingga saluran yang terganggu dipisahkan dari jaringan. Di dalam penelitian ini studi kasus di ambil di PLN Gardu Induk Jababeka pada penyulang Rambutan dimana selektifitas kerja relai diambil dari empat titik gangguan pada penyulang. Semua dilakukan untuk peningkatan kerja relai. Pada Tugas Akhir ini akan membahas mengenai perbandingan antara setting relai proteksi hasil dari perhitungan dengan setting proteksi yang terpasang (existing) pada jaringan distribusi 20 kV GI Jababeka di penyulang Rambutan. (Dermawan & Nugroho, 2017).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah rangkaian kompleks yang berfungsi untuk menghasilkan, mentransmisikan, dan mendistribusikan listrik dari sumber energi ke konsumen akhir. Sistem ini mencakup tiga komponen utama: pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Pembangkitan listrik dilakukan di pembangkit tenaga listrik yang menggunakan berbagai sumber energi seperti bahan bakar fosil, tenaga air, angin, gas, atau energi matahari. Selanjutnya, listrik yang dihasilkan ditransmisikan melalui jaringan tegangan tinggi untuk mengurangi rugi-rugi energi selama perjalanan jarak jauh. Pada tahap distribusi, tegangan listrik diturunkan ke tingkat yang lebih aman untuk dikonsumsi oleh pengguna rumah tangga, bisnis, dan industri. Efisiensi dan keandalan sistem ini sangat bergantung pada pengelolaan yang baik, termasuk pengaturan beban, pemeliharaan jaringan, serta pemanfaatan teknologi yang tepat. Sistem tenaga listrik yang stabil dan berkelanjutan sangat penting untuk mendukung perkembangan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

Sistem tenaga listrik adalah jaringan yang terdiri dari berbagai komponen yang bekerja bersama untuk menghasilkan, mengalirkan, dan mendistribusikan energi listrik kepada konsumen. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen utama dalam sistem tenaga listrik:

1. **Pembangkitan:**

Ini adalah tahap di mana energi listrik dihasilkan. Sumber energi dapat berupa bahan bakar fosil (seperti batubara, gas, dan minyak), tenaga nuklir, atau sumber energi terbarukan (seperti tenaga air, angin, matahari, dan biomassa).

2. **Transmisi:**

Setelah energi listrik dihasilkan, listrik dialirkan melalui jaringan transmisi dengan tegangan tinggi untuk mengurangi kehilangan energi selama perjalanan. Jaringan ini terdiri dari saluran udara dan kabel bawah tanah yang menghubungkan pembangkit dengan pusat distribusi.

3. **Distribusi:**

Energi listrik yang telah ditransmisikan kemudian didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi. Ini melibatkan penurunan tegangan

untuk memenuhi kebutuhan konsumen, seperti rumah tangga, industri, dan bisnis.

4. Konsumsi:

Ini adalah tahap di mana konsumen menggunakan energi listrik untuk berbagai keperluan, seperti penerangan, pemanasan, pendinginan, dan operasi alat-alat listrik.

5. Pengendalian dan Pemeliharaan:

Seluruh sistem memerlukan pengendalian untuk memastikan kestabilan dan keandalan pasokan listrik. Ini melibatkan monitoring, pengaturan, serta pemeliharaan infrastruktur untuk mencegah gangguan.

6. Regulasi dan Kebijakan:

Sistem tenaga listrik juga dipengaruhi oleh regulasi dan kebijakan pemerintah yang mengatur penyediaan, tarif, dan penggunaan energi listrik. Sistem tenaga listrik harus dirancang dengan efisiensi tinggi, keandalan, dan keberlanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat serta mendukung pertumbuhan ekonomi.

2.2.2 Pengertian Gangguan dan Klasifikasi Gangguan

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (interferes) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus beban. Tujuan dilakukan analisa gangguan adalah : (Jainuri, 2021)

1. Penyelidikan terhadap unjuk rele proteksi.
2. Penyelidikan terhadap unjuk rele proteksi.
3. Penyelidikan terhadap unjuk rele proteksi.

Berikut ini adalah klasifikasi gangguan :

- a. Berdasarkan Kesimetrisannya :

Gangguan asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :

1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.
2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.
3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tidak seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terjadi dari :

- 1) Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.
- 2) Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.

b. Berdasarkan lama terjadi gangguannya :

- Gangguan transient (temporer), merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya jika pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk sementara dan setelah itu dihubungkan kembali.
- Gangguan permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.

Selain klasifikasi gangguan yang telah disebutkan di atas, terbukanya pemutus tenaga tidak selalu dikarenakan terjadinya gangguan pada sistemnya tetapi juga dikarenakan rusaknya rele tersebut, kabel kontrol atau adanya kontribusi dari luar seperti induksi atau interferensi. Gangguan seperti ini disebut juga gangguan non-sistem.(Jainuri, 2021)

2.2.3 Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah.[9] Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk

mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (3.3 kV – 20 kV), yang terdiri dari:

1. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
2. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

Sistem proteksi pada tenaga listrik merupakan sistem perlindungan yang dapat dilakukan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem jaringan kelistrikan, seperti: transformator, generator, busbar, dan peralatan lainnya yang terhubung dalam sistem kelistrikan. Sistem proteksi ini melindungi dari kondisi abnormal sistem yang dapat berupa: tegangan lebih, beban lebih, hubung singkat dan kondisi abnormal lainnya. Sistem proteksi akan dapat melindungi peralatan listrik apabila sistem proteksi dapat mendeteksi gangguan, yang selanjutnya suatu sistem proteksi akan mengisolasi daerah gangguan tersebut agar tidak merambat dan memberikan dampak pada daerah yang normal dengan memutus aliran listrik di lokasi terjadinya gangguan. Tujuan dari sistem proteksi ini antara lain:

- a. Mengurangi dan mencegah kerusakan peralatan akibat gangguan
- b. Mengisolasi area yang terganggu secepat dan sekecil mungkin
- c. Mencegah meluasnya daerah gangguan.
- d. Melindungi manusia dari bahaya yang timbul karena gangguan listrik
- e. Memberi pelayanan kontinuitas listrik dengan tingkat keandalan dan mutu listrik yang tinggi kepada pengguna

Ada beberapa hal yang mempengaruhi keandalan sistem proteksi, yaitu:

- a. Ketepatan dalam pemilihan jenis relay.
- b. Perhitungan yang tepat untuk menentukan setting
- c. Penempatan dan pemasangan relay
- d. Koordinasi antara relay lainnya
- e. Pemeliharaan relay proteksi

Pada suatu sistem proteksi mempunyai beberapa syarat yang akan menjadi tolak ukur apakah sistem proteksi itu telah bekerja dengan baik atau tidak. Sistem proteksi dikatakan baik apabila memenuhi syarat-syarat, sebagai berikut:

- a. Kecepatan, peralatan proteksi harus dapat memisahkan sub sistem yang mengalami gangguan secepat mungkin. Kemampuan dalam mendeteksi gangguan yang paling kecil dan dapat beroperasi dengan benar sesuai nilai setting yang optimal.
- b. Sensitifitas, peralatan proteksi harus dapat bekerja dengan kepekaan yang sangat tinggi dalam kondisi operasi yang cenderung menyimpang atau dapat mendeteksi gangguan di daerah pengamannya walau hanya dengan merasakan rangsangan terkecil.
- c. Selektifitas, kemampuan peralatan proteksi harus dapat selektif menentukan area yang terjadi gangguan dan mengambil langkah yang tepat agar penanganan gangguan dapat dilakukan sesuai dengan kondisinya.
- d. Keandalan, keandalan peralatan proteksi dikatakan baik apabila mempunyai tingkatan keandalan yang dihitung berdasarkan jumlah angka 9, seperti 99% dan 99,99% semakin banyak angkanya semakin tinggi nilai keandalannya.
- e. Ekonomis, suatu peralatan proteksi yang telah memenuhi syarat-syarat di atas juga harus ekonomis sesuai dengan kualitas dari pengaman utama dan pengaman backup

Pembagian tugas dalam sistem proteksi dapat dibagi menjadi :

- a. Proteksi utama , berfungsi meningkatkan kecepatan kerja, keandalan, dan fleksibilitas sistem pengaman pada sistem kelistrikan.
- b. Proteksi pengganti (backup), berfungsi apabila proteksi utama mengalami kegagalan dalam menangani gangguan yang muncul
- c. Proteksi tambahan, berfungsi ketika penggunaan waktu tertentu untuk membantu proteksi utama dalam area tertentu yang diperlukan

Gangguan beban lebih dalam suatu sistem tenaga listrik ini pada dasarnya merupakan sebuah kondisi abnormal dari sistem di mana apabila dibiarkan secara terus menerus akan dapat membahayakan peralatan dan sistem kelistrikannya, sehingga gangguan ini harus segera dapat ditinjau dan diamankan. Gangguan beban lebih ini terjadi akibat arus yang mengalir pada peralatan listrik seperti, transformator, generator, motor, dan peralatan lainnya atau pada saluran yang telah melebihi arus nominal yang ditetapkan ($I > I_n$). Pada saat terjadinya gangguan arus

yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang. Gangguan ini dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan dan apabila gangguan ini dibiarkan akan mempercepat penuaan dan memperpendek umur peralatan listrik.

Gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan kenaikan arus lebih pada fasa yang terganggu dan dapat membahayakan peralatan listrik. Gangguan hubung singkat ini dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri.

- a. Hubung singkat simetri Hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi pada seluruh fasa atau gangguan yang seimbang antar tiap fasanya. Pada hubung singkat simetri ini, besar arus tiap fasa adalah sama dan terpisah sebesar 120° .
- b. Hubung singkat asimetri Hubung singkat asimetri merupakan gangguan hubung singkat yang mengakibatkan magnitudo pada setiap fasanya tidaklah sama, dengan magnitudo setiap fasa yang tidak sama. Contoh hubung singkat ini yaitu hubung singkat dua fasa, hubung singkat dua fasa ke tanah dan hubung singkat satu fasa ke tanah. Hubung singkat asimetri membutuhkan komponen simetri untuk mempresentasikan keadaan asimetri menjadi keadaan simetri.

Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya (abc). Gambar (2.1) merupakan gambar fasor komponen urutan positif. Komponen urutan negatif, yang terdiri dari fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya (acb). Gambar (2.2) merupakan gambar fasor komponen urutan negatif. Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lainnya. Gambar (2.3) merupakan gambar fasor komponen urutan nol.

2.2.3.1 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:

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
2. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.2.3.2 Persyaratan sistem proteksi

Tujuan utama sistem proteksi yaitu:

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

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu:

1. Kepekaan Proteksi

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 mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo, relay yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tsb diatas hal

ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya sangat sukar dan mahal.

Sebagai pengamanan gangguan tanah pada SUTM, relay yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiup 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.

2. Keandalan Proteksi

Ada aspek dalam keandalan sistem proteksi yaitu :

- a. Dependability yaitu tingkat kepastian bekerjanya (Keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengamanan harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan dependability-nya harus tinggi

Security Yaitu tingkat kepastian untuk tidak melakukan kesalahanbekerja (keandalan untuk tidak melakukan kesalahanbekerja). Kesalahanbekerja adalah kerja yang semestinya tidak harus dilakukan, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang erlalu cepat atau terlalu lambat. Kesalahanbekerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengamanan tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan security-nya harus tinggi.

- b. Availability Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengamanan dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan

serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC voltage), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi availability dan keandalannya tinggi.

3. Selektifitas Proteksi

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 disebut pengaman yang selektif. Jadi relay harus dapat membedakan apakah Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat. Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip. 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 trafo arus yang benar, serta penentuan setting relay yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh. Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator, dan busbar pada sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengamanan yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

4. Kecepatan Proteksi

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 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 (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan risikonya.

Relay adalah salah satu peralatan pengaman yang berfungsi sebagai pendeteksi, penerima, dan pemberi perintah sebagai respon besaran yang diterima oleh relay tersebut. Relay merupakan peralatan listrik yang didesain untuk memberi respon terhadap kondisi input sesuai dengan kondisi setting yang telah ditetapkan. Setting pada relay harus tepat agar terhindar dari kegagalan dan kesalahan kerja.

Relay arus lebih merupakan relay proteksi yang bekerja berdasarkan arus lebih yang disebabkan oleh terjadinya gangguan beban lebih dan hubung singkat yang kemudian akan memberikan perintah trip pada Circuit Breaker sesuai dengan karakteristik waktu relay arus lebih. Relay arus lebih bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p) maka relay arus lebih bekerja. Di mana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (Current Transformer). Bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan relay, besarnya arus gangguan (I_f) yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT.

Relay arus lebih waktu inverse ini memiliki sifat kerja di mana waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Dapat diartikan bahwa, semakin besar arus gangguan maka relay akan beroperasi dalam waktu yang sangat cepat dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi relay akan lebih lama. Kurva karakteristik kerja relay arus lebih waktu inverse digambarkan dalam kurva arus-waktu atau *time-current characteristic* (TCC). Standar karakteristik inverse ini dijelaskan dalam IEC 60255-3 dan British Standard 142, pada standar ini dijelaskan beberapa jenis perlindungan waktu inverse yang dibedakan oleh gradien kurva yaitu standar inverse, very inverse, dan extremely inverse. Karakteristik kurva inverse ini juga disebut dengan istilah inverse definite minimum time (IDMT), karena dengan seiringnya arus yang bertambah besar maka waktu operasi relay turun semakin cepat seolah mendekati waktu definite minimumnya. Relay dengan karakteristik kurva inverse definite minimum time (IDMT) memiliki tipe-tipe kurva penundaan waktu opsersainya, yaitu *kurva instantaneous*, *definite time*, dan

Relay arus lebih waktu instan bekerja tanpa penundaan waktu, akan tetapi bekerja dengan waktu tercepat sebesar 0,1 detik dan pada biasanya dengan waktu tercepat 0.08 detik. relay jenis ini memiliki sifat kerja yang didasarkan besarnya gangguan hubung singkat yang dipilih. Berdeda dibandingkan dengan relay arus lebih waktu inverse, relay arus lebih waktu instan akan mengalami trip dalam waktu yang sama walaupun besar arus hubung singkat berbeda-beda selama besar arus hubung singkat masih didalam cakupan setting relay dalam waktu instan. Dalam penentuan setting pickup instan ini digunakan arus hubung singkat minimum arus hubung singkat 2 phasa.

Relay ini merupakan gabungan antara relay arus lebih waktu inverse dengan relay arus lebih waktu instan. Relay ini memiliki dua sifat kerja, pertama relay akan bekerja pada kurva daerah instan apabila sumber gangguan terlalu dekat sehingga *Circuit Breaker* dapat trip lebih cepat. Kedua, relay ini akan bekerja inverse apabila gangguan berada jauh dari relay.

Koordinasi relay arus lebih pada dasarnya terdiri dari relay pengaman utama dan relay pengaman backup, di mana kedua relay pengaman tersebut tidak boleh tripping secara bersamaan. Relay harus bergantian pada saat tripping dimulai dari

relay utama, jika relay utama gagal dalam beroperasi maka ada relay backup yang menggantikannya. Untuk itu diperlukan adanya jeda waktu atau *time delay* (Δt) antara relay pengaman utama dan relay pengaman backup.

Relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) merupakan pelindung atau pengaman terhadap gangguan hubung singkat ke tanah. Pada dasarnya relay gangguan tanah mempunyai prinsip yang sama dengan relay arus lebih, namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila relay arus lebih mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, maka relay gangguan tanah mendeteksi adanya hubung singkat fasa ke tanah. Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem merupakan sistem yang menghubungkan titik netral transformator ke tanah. Pada dasarnya ada tiga macam sistem pentanahan yaitu:

- a. Pentanahan solid, pentanahan di mana netral transformator dihubungkan ke tanah secara langsung.
- b. Pentanahan dengan impedansi, pentanahan netral dengan transformator dihubungkan ke tanah dengan impedansi berupa resistor ataupun reaktor. Impedansi pentanahan akan membatasi besarnya arus gangguan.
- c. Pentanahan mengambang, pentanahan netral dengan transformator tidak dihubungkan ke tanah. Arus gangguan tidak bisa mengalir apabila terjadi gangguan.

2.2.4 Metode Komponen Simetris Untuk Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik umumnya merupakan gangguan aismetris, dimana gangguan tersebut mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada masing-masing fasanya menjadi tidak seimbang. Pada tahun 1918, C.L Fortesque menemukan suatu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa sistem tiga fasa yang tidak seimbang. Fortesque membuktikan bahwa suatu sistem yang tidak seimbang yang terdiri dari tegangan atau arus yang tidak seimbang antar fasanya dapat dipecah menjadi tiga komponen simetris dari sistem tiga fasa yang seimbang. Tiga komponen simetris tersebut adalah.

2.2.4.1 Komponen Urutan Positif (positive sequence components)

Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang besarnya sama, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan memiliki urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya. Saat sistem berada dalam kondisi normal, hanya terdapat arus dan tegangan urutan positif saja, sehingga impedansi sistem pada kondisi normal adalah impedansi urutan positif. Ketika gangguan, cabang yang terganggu pada sistem dapat digantikan dengan berubahnya tegangan $\Delta V = V - V_1$ dan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dihubungkan singkat, sehingga akan diperoleh arus gangguan ΔI yang mengalir ke dalam sistem, yaitu : (Romadhoni, 2022)

$$\Delta I = - \frac{(V - V_1)}{Z_1} \quad (2.1)$$

Dan

$$\Delta I = I - I_1 \quad (2.2)$$

Karena arus awal sistem sebelum terjadi gangguan adalah nol ($I=0$), maka arus yang mengalir di cabang yang mengalami gangguan $I_1 = -\Delta I$ sehingga di dapat.

$$V_1 = V - I_1 Z_1 \quad (2.3)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan dari komponen urutan positif arus dan tegangan pada cabang yang mengalami gangguan.

2.2.4.2 Komponen Urutan Negatif (negative sequence components)

Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya, jika pada kondisi normal hanya terdapat komponen urutan positif, maka komponen urutan negatif hanya ada pada saat terjadinya gangguan. Karena tidak ada komponen urutan negatif sebelum terjadinya gangguan, maka apabila terjadi gangguan akan timbul perubahan tegangan sebesar $-V_2$ dan arus I_2 yang mengalir dari sistem ke gangguan adalah :

$$I_2 = - \frac{V_2}{Z_2} \quad (2.4)$$

$$V_2 = I_2 Z_2 \quad (2.5)$$

Z_2 merupakan impedansi urutan negatif dan pada umumnya sama dengan impedansi urutan positif. (Romadhoni, 2022)

2.2.4.3 Komponen Urutan Nol (*zero sequence components*)

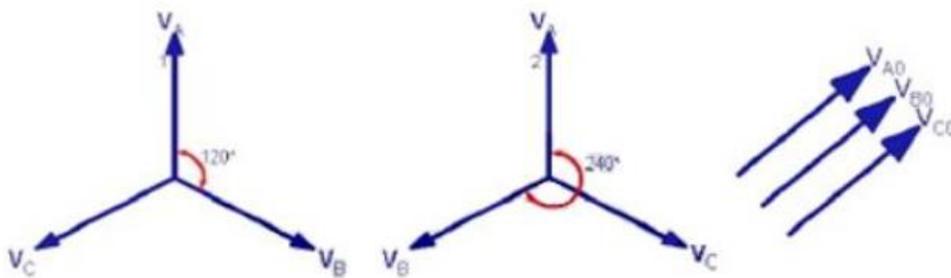
Komponen Urutan Nol (*zero sequence components*). [6] Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan tidak ada pergeseran fasa antara fasor yang satu dengan yang lain. Persamaan untuk komponen urutan nol saat terjadi gangguan yaitu :

$$I_0 = -\frac{V_0}{Z_0} \quad (2.6)$$

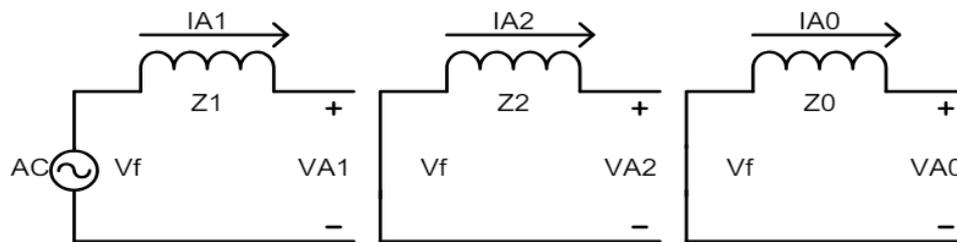
$$V_0 = I_0 Z_0 \quad (2.7)$$

Arus dan tegangan pada komponen urutan nol adalah sefasa, oleh karena itu arus urutan nol untuk dapat mengalir di sistem memerlukan jalan balik (return connection) melalui pentanahan netral sistem. Impedansi urutan nol umumnya tidak sama dengan impedansi urutan positif dan tergantung dari beberapa faktor seperti jenis peralatan sistem, cara menghubungkan belitan (Δ atau Y), dan cara pentanahan titik netral. (Romadhoni, 2022)

Gambar ketiga himpunan komponen simetris adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Komponen Simetris



Gambar 2. 2 Rangkaian Komponen Urutan Positif, Negatif dan Nol

Karena adanya pergeseran fasa pada komponen simetris tegangan dan arus dalam sistem tiga fasa, akan lebih mudah bila didapatkan metode penulisan yang dapat langsung menunjukkan perputaran fasor dengan 120° . Operator merupakan suatu operator fasor yang menghasilkan putaran sebesar 120° dalam arah yang tidak searah jarum jam (counterclockwise), dengan tidak mengubah besar fasornya. (Romadhoni, 2022)

2.2.5 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisis tegangan dan arus pada saat gangguan terjadi. Gangguan yang terjadi dapat dianalisis dengan menghubungkan-singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (node) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol. (Thaha et al., 2022)

Cara yang digunakan untuk mengurangi atau memperkecil dampak dari gangguan tersebut yaitu dengan memasang suatu sistem proteksi yang baik. Setiap sistem proteksi dituntut memiliki keandalan yang tinggi, selektif, operasi yang cepat dan memiliki sifat diskriminasi yang baik. Selain itu suatu sistem proteksi juga harus memperhatikan faktor ekonomis, semakin mahal harga alat yang dilindungi semakin mahal pula harga peralatan proteksi yang terpasang. Peralatan-peralatan proteksi yang terpasang pada suatu sistem tenaga listrik, terletak mulai

dari unit-unit pembangkitan, saluran transmisi, jaringan distribusi primer, jaringan distribusi sekunder dan konsumen. Dimana peralatan-peralatan proteksi tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing tergantung besaran penggerak dari rele proteksi yang terpasang. Sebagai contoh rele yang bekerja berdasarkan besaran penggerak berupa tegangan yaitu: Rele tegangan lebih (Over voltage Relay), berupa arus yaitu: Rele arus lebih (Over Current Relay), berupa impedansi (Impedance Relay) dan sebagainya. Salah satu bagian terpenting dari sistem tenaga listrik yang perlu dilindungi yaitu sistem tenaga listrik yang terhubung dengan konsumen dimana kotinyuitas penyaluran daya listrik harus tetap terjaga. Klasifikasi Gangguan pada sistem tenaga listrik terdiri atas gangguan Hubung Singkat dan Gangguan Konduktor Terbuka (Open Conductor). Gangguan Hubung Singkat terdiri atas : 1. Gangguan Simetris Yaitu Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa 2. Gangguan Tidak Simetris, Yaitu: a. Gangguan Satu Fasa Ketanah b. Gangguan Dua Fasa Ketanah c. Gangguan Dua Fasa. (Rimbawati, 2013)

Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem merupakan sistem yang menghubungkan titik netral transformator ke tanah. Pada dasarnya ada tiga macam sistem pentanahan yaitu:

- a. Pentanahan solid, pentanahan di mana netral transformator dihubungkan ke tanah secara langsung.
- b. Pentanahan dengan impedansi, pentanahan netral dengan transformator dihubungkan ke tanah dengan impedansi berupa resistor ataupun reaktor. Impedansi pentanahan akan membatasi besarnya arus gangguan.
- c. Pentanahan mengambang, pentanahan netral dengan transformator tidak dihubungkan ke tanah. Arus gangguan tidak bisa mengalir apabila terjadi gangguan.

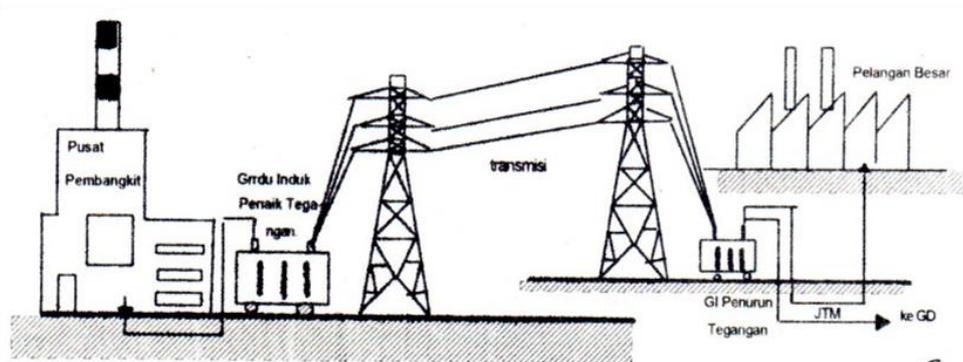
Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem merupakan sistem yang

menghubungkan titik netral transformator ke tanah. Pada dasarnya ada tiga macam sistem pentanahan yaitu:

- a. Pentanahan solid, pentanahan di mana netral transformator dihubungkan ke tanah secara langsung.
- b. Pentanahan dengan impedansi, pentanahan netral dengan transformator dihubungkan ke tanah dengan impedansi berupa resistor ataupun reaktor. Impedansi pentanahan akan membatasi besarnya arus gangguan.
- c. Pentanahan mengambang, pentanahan netral dengan transformator tidak dihubungkan ke tanah. Arus gangguan tidak bisa mengalir apabila terjadi gangguan.

Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem mempengaruhi besarnya nilai arus gangguan. Pentanahan sistem merupakan sistem yang menghubungkan titik netral transformator ke tanah. Pada dasarnya ada tiga macam sistem pentanahan yaitu:

- a. Pentanahan solid, pentanahan di mana netral transformator dihubungkan ke tanah secara langsung.
- b. Pentanahan dengan impedansi, pentanahan netral dengan transformator dihubungkan ke tanah dengan impedansi berupa resistor ataupun reaktor. Impedansi pentanahan akan membatasi besarnya arus gangguan.
- c. Pentanahan mengambang, pentanahan netral dengan transformator tidak dihubungkan ke tanah. Arus gangguan tidak bisa mengalir apabila terjadi gangguan.



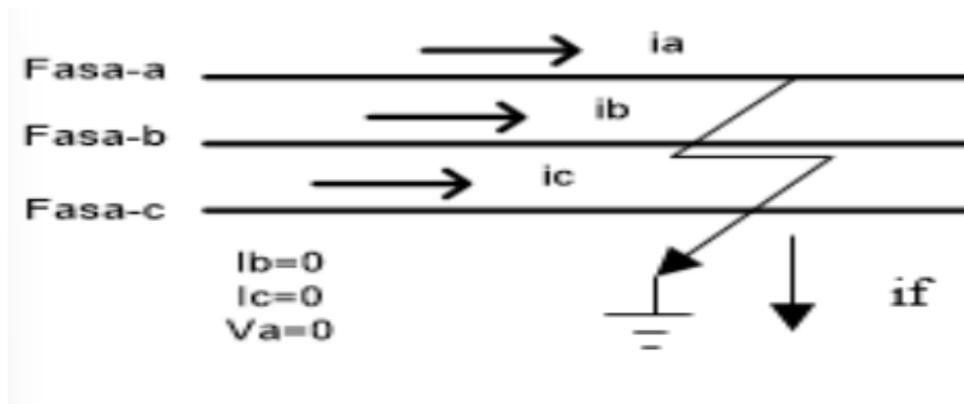
Gambar 2. 3 Diagram Penyaluran Listrik

Gangguan temporer merupakan gangguan sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (autorecloser) maupun secara manual oleh operator. Gangguan ini terjadi pada kawat penghantar yang tidak berisolasi, gangguannya bersifat sementara jadi setelah gangguan itu hilang peralatan bisa bekerja kembali. Biasanya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: Bersentuhannya antar kabel penghantar, angin kencang juga bisa menyebabkan kabel penghantar bersentuhan biasanya akibat andongan yang tarikannya kurang kuat atau sudah kendur

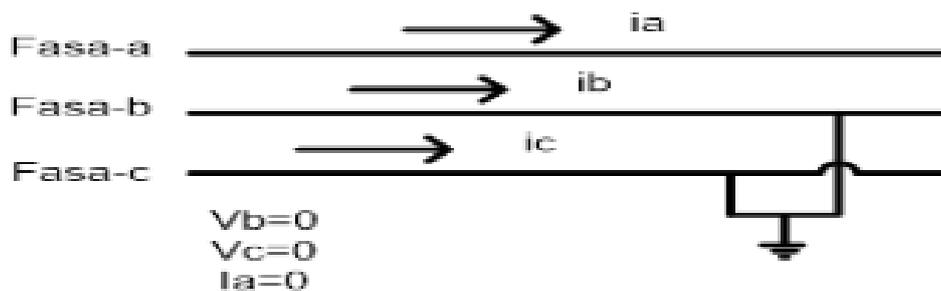
Bisa juga terjadi pada daerah yang banyak pepohonan, biasanya jika terjadi angin kencang ranting pohon yang bergerak dapat bersentuhan dengan kabel penghantar yang menyebabkan hubung singkat antara fasa dengan tanah. Gangguan permanen merupakan gangguan yang tidak dapat hilang dengan sendirinya dan butuh penanganan dari petugas untuk menangani penyebab gangguan tersebut. Contoh- contoh gangguan yang dikategorikan sebagai gangguan permanen adalah seperti kawat putus, gangguan kerana isolator bocor, kegagalan Lightning Arrester dan lain-lain . Pada gangguan permanen peralatan baru bisa dioperasikan kembali apabila bagian yang rusak atau peralatan yang terganggu sudah diperbaiki maupun sudah diganti.

Hampir pada setiap gangguan hubung singkat baik 3 fasa, 2 fasa ataupun 1 fasa ketanah tetap melalui suatu nilai tahanan gangguan yang terbentuk oleh arching (R arc) ataupun oleh tahanan kontak (dahan pohon). Tetapi dalam analisa hubung singkat perhitungan arus gangguan hubung singkat selalu dianggap bahwa tahanan gangguan = 0 (nol).

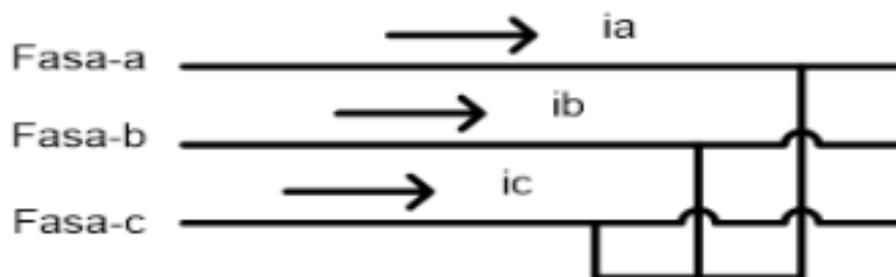
Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi didalam sistem maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus diatas. Lebih lanjut lagi, arus gangguan yang mengalir pada tiap komponen jaringan juga dapat dihitung dengan bantuan rumus tersebut diatas. Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan hubung singkat itu sendiri.



Gambar 2. 4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 2. 5 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke tanah



Gambar 2. 6 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. (Thaha et al., 2022)

Daerah - daerah perlindungan (zones of protection) bertujuan untuk membantu mendefinisikan persyaratan sistem perlindungan. pada gambar 2.1 dapat dijelaskan bagian sistem daya terdiri dari satu generator, dua transformator, dua saluran transmisi, dan tiga buah rel dilukiskan oleh diagram segaris. garis terputus-putus dan tertutup menunjukkan pembagian sistem daya ke dalam lima daerah perlindungan. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya selain dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah perlindungan yang berdekatan, misalnya Daerah 1 mengamankan generator, transformatornya yang saling berhubungan dan saluran penghubung antara generator dan transformator tersebut, sementara daerah 3 hanya mengamankan suatu saluran transmisi. Perhatikan bahwa daerah 1 dan 5 masing-masing memiliki dua komponen sistem daya.

Batas setiap daerah menentukan bagian sistem daya sedemikian rupa sehingga untuk gangguan yang terjadi didalam daerah tersebut, sistem perlindungan yang bertanggung jawab akan bertindak untuk memisahkan semua gangguan yang berada dalam daerah tersebut untuk seluruh bagian yang lain dari 12 sistem. Karena pemisahan atau pemutusan daya = deergenezation dalam keadaan terganggu maka pemutusan dilakukan oleh pemutus rangkaian, dari penjelasan tersebut maka pada setiap titik hubungan antara peralatan dengan bagian lain dari sistem harus

menyisipkan pemutus rangkaian atau pemutus rangkaian dapat membantu untuk menentukan batas daerah perlindungan.

Aspek penting lainnya tentang daerah perlindungan adalah bahwa daerah yang berdekatan selalu tumpang tindih (overlap). Hal ini memang perlu karena jika tidak demikian maka bagian kecil sistem yang berada diantara daerah yang berdekatan, tidak ada satu bagian pun dari sistem daya yang dibiarkan tanpa perlindungan. bagian yang lebih besar dari sistem daya yang berhubungan dengan kedua daerah yang saling tumpang tindih akan dipisahkan dan tidak dapat bekerja. Untuk mengurangi kemungkinan semacam ini hingga sekecil-kecilnya, bagian yang tumpang tindih dibuat sekecil mungkin.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisis suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (basic insulation strength) antara sesama kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk:

1. Setting dan koordinasi peralatan proteksi.
2. Menentukan kapasitas alat pemutus daya.
3. Menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan.
4. Menganalisa sistem jika ada hal-hal tidak baik yang terjadi pada waktu sistem yang sedang beroperasi.

2.2.6 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan ideal, karena dalam kenyataannya dapat terjadi suatu kondisi abnormal (seperti adanya gangguan atau terjadinya short circuit). Kondisi abnormal tersebut dapat membahayakan sistem secara keseluruhan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat

meminimalisir efek dari kondisi abnormal tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat terjadi di pembangkit, jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimanapun gangguan itu terjadi, sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin. (Zulfarhain et al., 2022)

Rele proteksi sebagai komponen yang penting sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi short-circuit, harus memenuhi beberapa persyaratan keandalan (reliability) yaitu :

a. Sensitifitas

Merupakan kemampuan pada sistem proteksi untuk mengidentifikasi terjadinya ketidaknormalan atau gangguan yang terjadi pada daerah yang diproteksinya.

b. Selektifitas

Koordinasi pada sistem proteksi, dimana jika terjadi hubung singkat rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutus / pemadaman jaringan yang lebih luas).

c. Keamanan

Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan beroperasi jika terjadi suatu gangguan dan tidak beroperasi jika tidak terjadi gangguan.

d. Kecepatan

Ketika terjadi gangguan, komponen pada proteksi haruslah dapat mengirimkan respon waktu yang cukup tepat, sesuai dengan setting koordinasi yang telah diinginkan.

Ada dua syarat dasar yang harus dipenuhi agar sistem proteksi dapat bekerja mengisolasi bagian sistem yang terganggu yaitu :

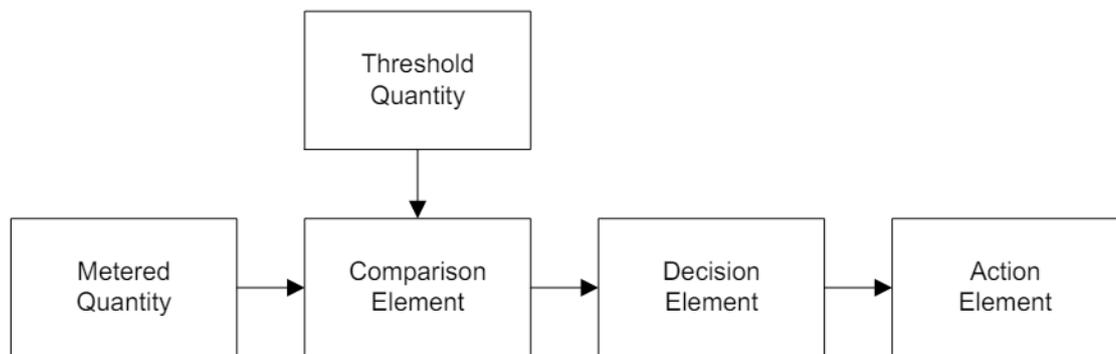
Sistem tenaga listrik harus memiliki pemutus tenaga dengan jumlah yang cukup untuk dapat melakukan tugas isolasi. Setiap pemutus tenaga harus dilengkapi dengan

suatu alat kontrol yang dapat mendeteksi kondisi abnormal, dan membuka pemutus tenaga yang diperlukan untuk mengisolasi kondisi abnormal tersebut (selective fault clearance). (Zulfarhain et al., 2022)

Untuk dapat menerapkan prinsip selectivity, suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari banyak pemutus tenaga harus diatur dan dikoordinasikan sedemikian rupa sehingga pada saat terjadinya kondisi abnormal, rele dapat membuka hanya pemutus tenaga yang diperlukan saja, hal inilah yang disebut dengan selective fault clearance. Rele proteksi harus diberi informasi yang memungkinkan rele untuk membedakan antara kondisi abnormal yang berada di dalam zona proteksinya (dimana harus terjadi tripping), dan gangguan eksternal atau arus beban normal (dimana tidak boleh terjadi tripping). Informasi ini diperoleh dari sistem tenaga listrik, seperti arus, tegangan dan sudut fasa antara keduanya yang diukur pada saat terjadi gangguan. (Yunitasari et al., 2021)

2.2.7 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi pada sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarnya dengan besaran ambang-batas (threshold setting) pada peralatan proteksi. Apabila besaran arus yang diperoleh dari sistem melebihi setting ambang-batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi tersebut akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan proteksi pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem yang diamatinya. (Prabowo et al., 2023)



Gambar 2. 7 Elemen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Waktu pemutusan gangguan merupakan waktu total yang dibutuhkan peralatan proteksi sampai terbukanya pemutus tenaga atau disebut juga fault clearing time.

$$T_c = T_p + T_d + T_a \quad (2.8)$$

Keterangan:

T_c = clearing time.

T_p = comparison time.

T_d = decision time.

T_a = action time, including circuit breaker operating time.

Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang berkerja. (Gunawan et al., 2018)

2.2.7.1 Current Transformer

Untuk memperoleh besaran arus yang proposional dengan arus sistem yang dapat digunakan dalam peralatan kontrol, rele proteksi dan peralatan instrumen yang lain, umumnya digunakan trafo arus atau *Current Transformer*. Current Transformer merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mengambil sample atau masukan arus sistem dan mentransformasikannya ke level yang lebih rendah

untuk peralatan-peralatan proteksi, pengukuran maupun peralatan kontrol. Trafo arus mempunyai beberapa fungsi yaitu :

- a. Memperkecil besaran arus listrik (ampere) pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi rasio primer tegangan tinggi.

Rating dari trafo arus ditentukan berdasarkan ratio arus primer dengan arus sekunder. Umumnya ratio trafo arus yang digunakan adalah 600:5, 800:5, 1000:5, 1600:1. Rating arus 5 ampere atau 1 ampere banyak digunakan sebagai standar pada trafo arus. Beberapa rele proteksi menggunakan arus sekunder CT sebagai input masukan seperti rele jarak, rele arus lebih, rele differensial dan lain-lain.

2.2.7.2 Rele Proteksi

Rele adalah suatu alat yang bekerja saat diberi energi oleh besaran-besaran sistem yang tepat dapat memberi indikasi suatu kondisi abnormal. Apabila kontak-kontak rele menutup, maka rangkaian-rangkaian tersebut akan trip pemutus tenaga yang terkait mendapat energi dan kontak-kontak breaker membuka, mengisolasi bagian yang terganggu dari sistem. Rele proteksi dapat diklasifikasi berdasarkan fungsi atau kegunaannya. Berikut ini adalah klasifikasi rele berdasarkan fungsi atau kegunaannya : (Nurchahyo, 2019)

- a. Overcurrent Relay

Rele yang bekerja apabila arus yang dirasakan oleh rele lebih besar dari setelan nilai ambang batas arusnya.

- b. Differential Relay

Rele yang di khususkan untuk mendeteksi perbedaan antara arus yang masuk dalam daerah atau zona yang diproteksinya dengan arus yang keluar. Rele ini akan bekerja apabila arus yang masuk tidak sinkron dengan arus yang keluar.

- c. Directional Relay

Rele yang di rancang untuk mengidentifikasi perbedaan fasa antara arus yang satu dengan yang lain atau perbedaan fasa antar tegangan. Rele

ini dapat membedakan apakah gangguan yang terjadi berada di belakang (reverse fault) atau di depan (forward fault)

d. Distance Relay

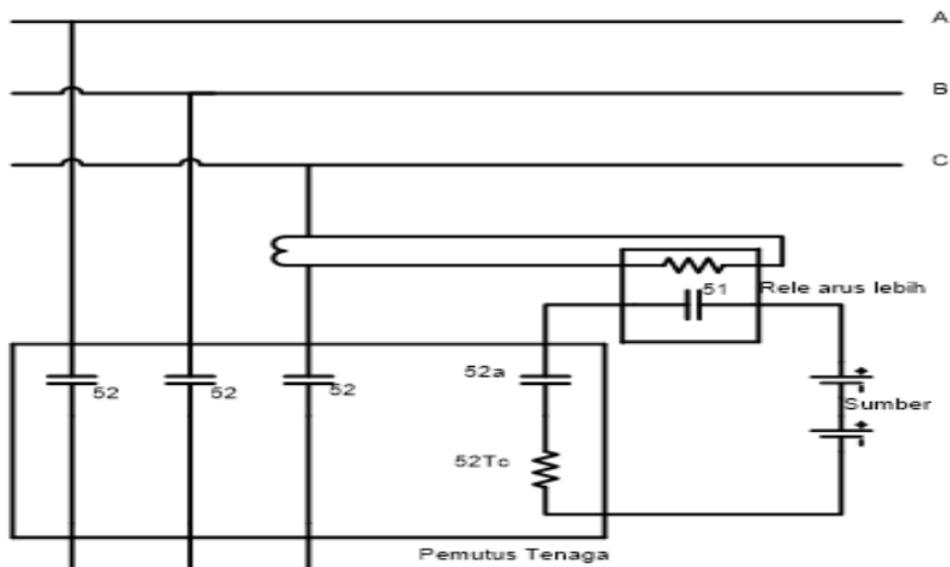
Rele ini biasa digunakan untuk proteksi pada saluran transmisi kerana rele jarak dapat mengukur impedansi untuk mencapai titik tertentu. Distance Relay dapat bekerja untuk mendeteksi gangguan hubung singkat yang terjadi antara lokasi rele dan batas jangkauan yang telah ditentukan.

e. Ground Fault Relay

Rele ini bekerja untuk mendeteksi gangguan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

2.2.7.3 Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan kapasitas ratingnya. CB mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus beban dan arus gangguan hubung singkat pada tegangan tinggi dalam waktu yang relatif sangat cepat. Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolik, tekanan pneumatik atau dari beberapa kombinasi diantaranya. Pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api dan untuk memadamkan busur api tersebut digunakan beberapa bahan pada CB antara lain : minyak, udara, dan gas. (Nurchahyo, 2019)



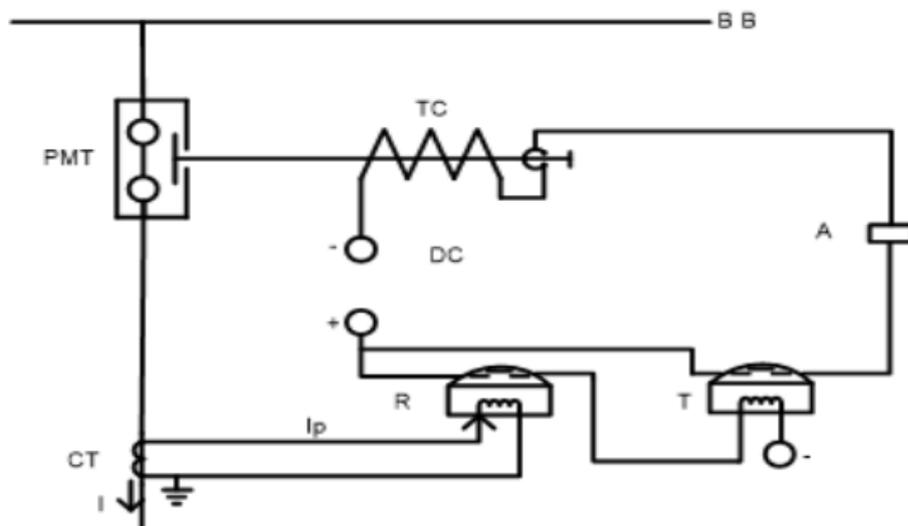
Gambar 2. 8 Rangkaian Sederhana Rele PMT

2.2.8 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Disamping terhadap kenaikan arusnya, rele tersebut juga harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan. Pengaturan waktu ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengamanan. Berdasarkan prinsip kerja dan konstruksinya rele ini termasuk rele yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetulan. Rele ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ketanah, dan juga dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih. Digunakan sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi system radial, sebagai pengaman cadangan untuk generator, transformator daya dan saluran transmisi. (Taryo, 2022)

2.2.8.1 Relay Arus Lebih Seketika

Rele ini adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai pick-up sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, waktu kerja rele ditentukan oleh waktu settingnya). (Amirullah, 2021)



Gambar 2. 9 Karakteristik OCR

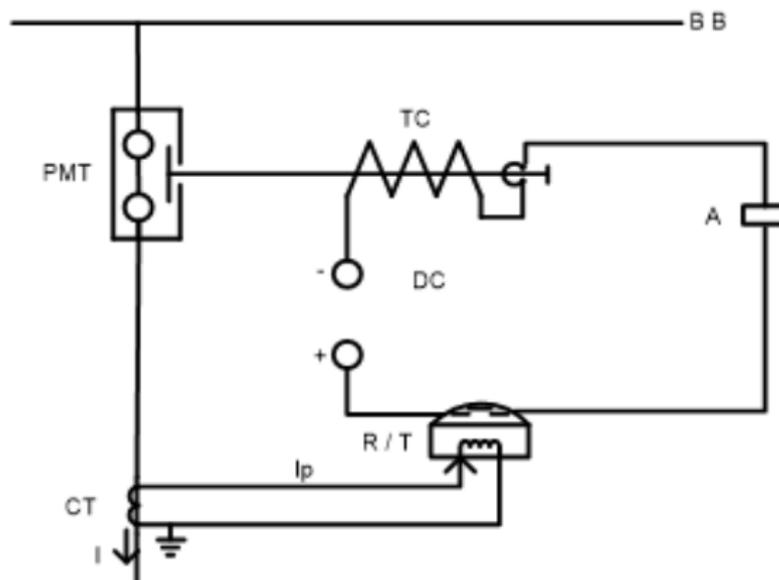


Gambar 2. 10 Karakteristik Arus Lebih Tertentu

Dengan memasang rele kelambatan waktu T (Time lag relay) maka beroperasinya rangkaian rele akan tergantung pada penyetelan (setting) waktu pada rele kelambatan waktunya (Amirullah, 2021)

2.2.8.2 Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele ini adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai pick-up sampai selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya.



Gambar 2. 11 Karakteristik OCR Tipe Berbanding Terbalik

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu :

1. Berbanding terbalik biasa (inverse).
2. Sangat berbanding terbalik (very inverse).
3. Sangat berbanding terbalik sekali (extremey inverse).

2.2.9 Relay Gangguan Tanah

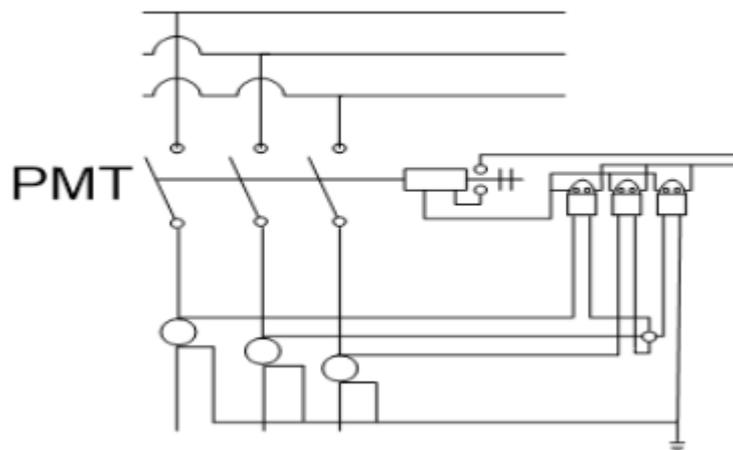
Dalam mmproteksi adanya gangguan hubung singkat fasa ke tanah mnggunakan GFR karena jenis pengaman untuk hubung singkat ke tanah pada tegangan tinggi adalah GFR berbeda dengan tegangan rendah yang menggunakan alat proteksi ELCB. Batas maksimum arus bocor ke tanah yang diijinkan adalah sebesar 65 mA maka pemasangan alat pengaman ini sangat diperlukan guna melindungi alat dan juga manusia. (Nasution et al., 2021)

Rele gangguan tanah adalah rele yang digunakan untuk mengamankan antara fasa dengan tanah. Gangguan satu fasa ketanah dan dua fasa ketanah dapat diamankan dengan rele gangguan tanah atau ground fault relay.

GFR bekerja berdasarkan komponen arus (I_0) gangguan yang timbul akibat terjadinya gangguan hubung singkat fasa ketanah dan gangguan unbalance, Rele ini memiliki konsep kerja yang sama dengan OCR dimana mendeteksi adanya arus lebih yang mengalir ke tanah hanya saja pada GFR komponen arusnya didapat dari ZCT yang merupakan arus urutan nol. Jika nilai arus yang mengalir ke tanah telah mencapai arus setting, maka rele akan bekerja dan memutuskan rangkaian yang terganggu. Jika ada gangguan satu fasa ketanah pada rangkaian maka akan mengalir arus gangguan, yang mana arus tersebut kemudian akan terdeteksi oleh suatu alat yang dinamakan *Zero Current Transformer (ZCT)*. (Nasution et al., 2021)

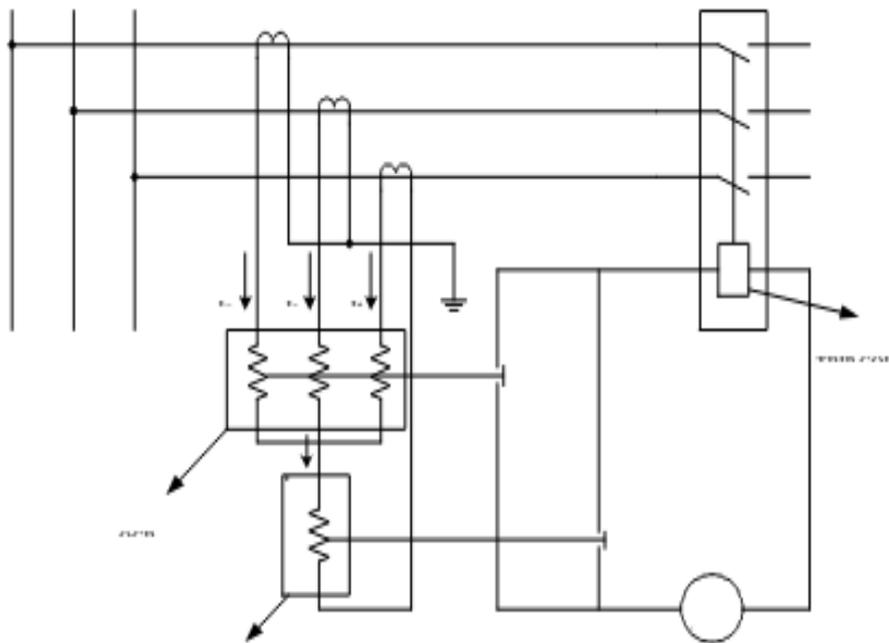
ZCT merupakan salah satu jenis *Current Transformer (CT)*, yang fungsinya yaitu untuk mendeteksi arus gangguan. Tetapi ZCT didesain khusus untuk mendeteksi arus (I_0) gangguan yang timbul pada saat terjadi hubung singkat dari sistem yang terhubung ke tanah. Arus (I_0) gangguan yang dideteksi tersebut merupakan arus ketidak seimbangan pada sistem, dimana dalam sistem 3 fasa yang seimbang.

CT bisa dirangkai untuk menggantikan fungsi ZCT, tetapi bukan pemasangan 1 buah CT yang dipasang seperti pemasangan ZCT yang melingkupi 3 konduktor (3 kawat 1 fasa) seperti pada gambar 2.12. CT dapat dirangkai untuk menggantikan fungsi dari ZCT dengan kombinasi 3 buah CT yang disebut Zero Sequence Current Filter (ZSCF) dan bisa dengan kombinasi 2 buah CT, dimana keluaran dari kedua rangkaian kombinasi tersebut dihubungkan ke rele tanah. Dalam penyettingan nilai pick-up dari ground fault relay digunakan nilai sebesar 10% sampai dengan 40% dari arus nominalnya.



Gambar 2. 12Ground Fault Relay

Rele arus lebih merupakan peralatan yang dapat merasakan adanya arus lebih yang disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat maupun adanya beban berlebih (overload) yang dapat merusak peralatan yang berada di wilayah proteksi. Sedangkan rele gangguan tanah akan mendeteksi bila terjadi hubung singkat ke tanah. Single line diagram rele tersebut seperti berikut : (Nasution et al., 2021)



Gambar 2. 13 Rangkaian Pengawatan OCR dan GFR

2.2.10 Over Current Relay (OCR)

Relay Arus Lebih (OCR) bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Prinsip kerja relay arus lebih yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.

Relai arus lebih atau yang lebih dikenal dengan *Over Current Relay* (OCR) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relai ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan. OCR pada transformator tenaga berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) untuk gangguan eksternal atau sebagai *back up* bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja atau pada sisi tegangan menengah saja atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT (Sakelar Pemutus Tenaga) pada sisi dimana relai

terpasang atau dapat menjatuhkan PMT (Sakelar Pemutus Tenaga) di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis definite time atau inverse time dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih. OCR sebagai pengamanan transformator tenaga dan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) bertujuan untuk :

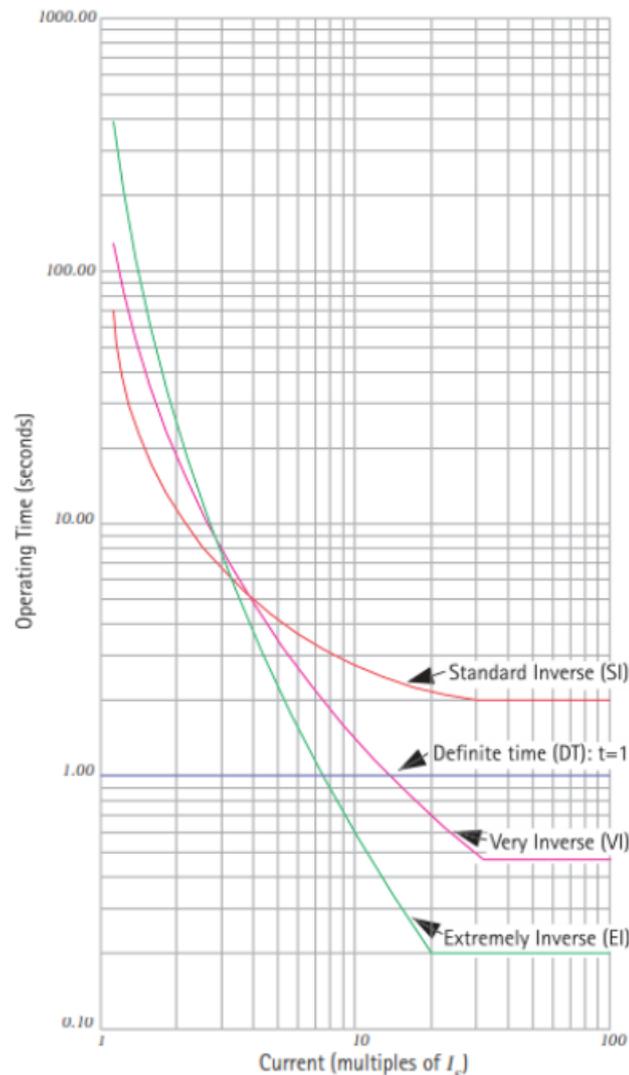
- a. Mencegah kerusakan transformator tenaga atau SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dari gangguan hubung singkat.
- b. Membatasi luar daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- c. Hanya bekerja bila pengamanan utama transformator tenaga atau SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) tidak bekerja.

Sistem proteksi harus dirancang dan disetel sedemikian, sehingga memenuhi sistem safety dan security. Peralatan yang diproteksi harus aman terhadap kerusakan dan tidak boleh trip jika tidak benar-benar dibutuhkan agar tidak terjadi pemadaman listrik yang sia-sia. Hal tersebut diupayakan dengan memilih karakteristik relai yang tepat untuk kebutuhan sistem yang ada. Berdasarkan karakteristik waktu, relai arus lebih dibagi menjadi: Yaitu relai arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat. Relai bekerja pada gangguan paling dekat dengan lokasi dimana relai terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem.

Prinsip kerja OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relai, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya [2]. Sewaktu kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)/SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) dan oleh trafo arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunde (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada setting, maka relai tidak bekerja. Apabila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi setting maka relai akan bekerja dan memberikan perintah tripping coil untuk bekerja membuka PMT, sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dipisahkan pada jaringan.

Penyetelan relai OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung nominal transformator tenaga. Arus setting untuk

relai OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat relai. Penyetelan relai dimaksudkan untuk memberikan batas minimum dari besaran ukur agar rele bekerja



Gambar 2. 14 Karakteristik Relay OCR

Penentuan nilai TMS yang akan disetkan pada relay OCR sisi incoming transformator tenaga yaitu arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di sisi 150 Kv.

| Tipe relay | Setelan Waktu (TMS) |
|-----------------------|--|
| Standar Inverse | $\text{TMS} = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}$ |
| Very Inverse | $\text{TMS} = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$ |
| Extremely Inverse | $\text{TMS} = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1}$ |
| Long time earth fault | $\text{TMS} = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$ |

Gambar 2. 15 Karakteristik OCR

2.2.10.1 Kordinasi OCR

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan Tms (Time Multiple Setting) dari OCR dari jenis inverse. Di samping itu setelah nilai setelan relay didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja OCR, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja relay yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relay bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik). Sedangkan untuk setelan relay arus beban lebih dihitung di incoming trafo, artinya:

Untuk relay arus beban lebih yang terpasang dipenyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir dipenyulang tersebut. Minimum dari relay arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus inrush dari trafo – trafo distribusi ketika penyulang PMT penyulang tersebut dimasukan. Untuk OCR yang terpasang diincoming trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut. Relay inverse diset sebesar 1.05 – 1.1 x I beban, definit diset sebesar

1.2 – 1.3 x I beban. Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih (terutama dipenyulang) tidak lebih kecil dari 0.3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relay tidak sampai trip lagi akibat arus inrush dari trafo.

2.2.10.2 Setelah OCR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah: $I_{set} (prim) = 1.05 \times I_{nominal}$ trafo Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga

Normally Invers

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva Normaly Invers adalah:

$$t = \frac{0,14}{I_{hs}^{0,02} - 1} tms$$

Very Invers

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva Very Invers adalah :

$$t = \frac{13,5}{I_{hs} - 1} tms$$

Extremely Invers

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva Extremely Invers adalah:

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

Long Time Invers

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva Long Time Invers adalah:

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

$$tms = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

Dimana :

t = Waktu trip relay (detik)

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

tms = time multiple setting pada peralatan proteksi

Selisih waktu kerja relay di incoming 20 kV (sisi hulu) lebih lama 0.4 detik dari waktu kerja relay di penyulang (sisi hilir) di sebut grading time, yang maksudnya agar relay di incoming 20 kV memberikan kesempatan relay di penyulang bekerja lebih dahulu.

Nilai setelan Tms yang didapat masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung. Dengan cara yang sama dihitung nilai Tms pada GFR yang tentunya berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan satu fasa ke tanah, sehingga dengan demikian lengkap sudah setelan relay yang diperlukan di dalam sistem penyaluran distribusi yang dipasok dari trafo tenaga gardu induk. Untuk penyulang lain dapat diulangi perhitungan seperti yang sudah dilakukan tetapi data yang dimasukkan bedanya hanya pada data penyulang, baik nilai impedansi per km nya atau panjangnya.

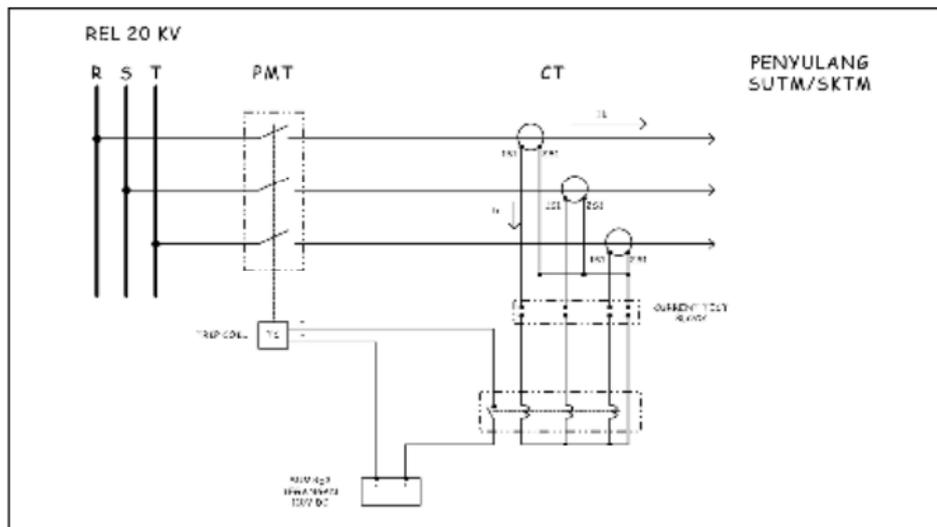
Hasil perhitungan setelan OCR yang didapat pada bab IV masih harus diperiksa apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain, waktu kerja OCR yang terpasang di penyulang dan yang terpasang di incoming trafo tenaga 20kV sudah bekerja selektif, tetapi masih harus diperiksa apakah memberikan beda waktu kerja (grading time) yang terlalu lama. Untuk Grading Time yang terlalu lama, bila terjadi kegagalan kerja OCR di penyulang, maka OCR di incoming 20kV dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama mengetrikan PMTnya sehingga bisa merusak trafo. Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada OCR jenis standart inverse, karena setelan waktu Tms pada OCR jenis inverse bukan menunjukkan lamanya waktu kerja relay tersebut. Lamanya waktu kerja relay ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di relay. Makin besar arus gangguan yang mengalir di relay, makin cepat kerja relay tersebut menutup kontaknya yang kemudian mentrikan PMT.

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin

kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh OCR. Dengan demikian diperlukan relay pengaman gangguan tanah.

2.2.11 Relay Hubung Tanah (GFR)

Relai hubung tanah yang lebih dikenal dengan Ground Fault Relay (GFR) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relai arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya [2]. Bila relai OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Sewaktu kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relai hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral sehingga relai hubung tanah akan bekerja. Penyetelan relai GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relai GFR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator. Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relai GFR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan OCR, relai GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan relai OCR. Tetapi waktu kerja relai yang diinginkan berbeda. Relai GFR cenderung lebih sensitif daripada relai OCR. Nilai TMS yang akan disetkan pada relai GFR sisi incoming 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 2. 16 Rangkaian Pengawatan OCR

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM / SKTM dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan relay tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relay tidak bekerja.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka relay akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

Adapun bentuk fisik dari *Over Current relay* dan *Ground Fault Relay* yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 17 Over Curret Relay dan Ground Fault Relay tipe sepam

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Tempat

3.1.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian berlangsung selama kurang lebih 4 bulan, dimulai studi literatur, pengambilan data dan pengumpulan data, hingga pengolahan data. Adapun klasifikasi jadwal penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

| No | Uraian | Bulan ke- | | | | | |
|----|---|-----------|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Kajian literatur | | | | | | |
| 2 | Pengajuan judul | | | | | | |
| 3 | Penulisan Bab 1 - Bab 3 | | | | | | |
| 4 | Seminar proposal | | | | | | |
| 5 | Pengambilan Data | | | | | | |
| 6 | Analisis dan Pembahasan | | | | | | |
| 7 | Seminar hasil dan Sidang Tugas Akhir | | | | | | |

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan bulan Agustus 2024. Tepatnya PT. Nusantara Power UPDK Belawan.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data Penelitian

Adapun data yang diperlukan untuk mendukung proses pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Single Line Diagram

Data single line diagram adalah gambar rangkaian yang berbentuk diagram satu garis pada rangkaian listrik OCR yang akan dianalisis. Dimana single line diagram diambil mulai dari jalur transmisi sampai dengan jalur distribusi

b. Data Beban

Data beban adalah data penggunaan daya listrik yang disuplai oleh trafo yang akan dianalisis OCR. Dimana data beban ini akan dianalisis tingkat koordinasi yang ada pada OCR terhadap gangguan

c. Data Kinerja OCR

Data kinerja OCR adalah data logger pada saat OCR bekerja memutus jaringan listrik terhadap gangguan arus berlebih, dimana

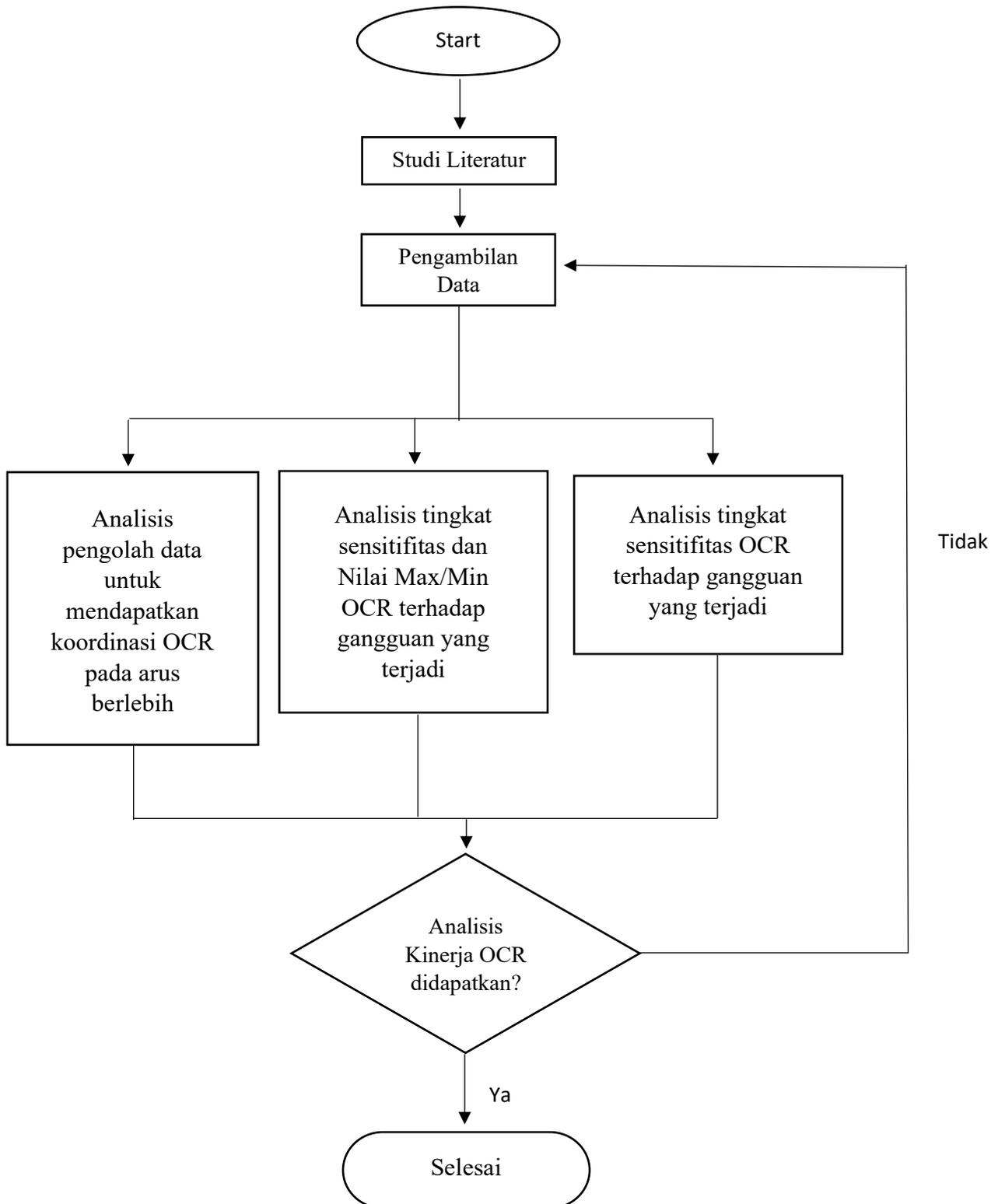
data ini akan dianalisis apakah setting pada OCR sudah optimal atau tidak.

3.3 Teknik Analisis Penelitian

Dari data yang telah didapat selanjutnya adalah proses analisis data yang ada. Adapun langkah – langkah teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan analisis alur dari saluran jaringan listrik melalui single line diagram yang dimiliki oleh perusahaan. Dimana akan diketahui letak gangguan dan tegangan saat terjadi gangguan
- b. Melakukan peninjauan terhadap beban yang disuplai yaitu meliputi konsumsi daya yang disuplai.
- c. Melihat data logger dari kinerja OCR, nilai in setting pada OCR akan dianalisis apakah cukup optimal atau tidak yang diakibatkan oleh penambahan beban setiap tahunnya.
- d. Pada akhir analisis akan diketahui apakah sistem proteksi OCR ini harus disetting ulang, diperbaiki atau perlu ditambah.

3.4 Flowchart Penelitian



Tabel 3. 2 Alir Penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Rimbawati, Muhammad Adam. (2013). Analisis Gangguan Satu Konduktor Terbuka (One-Konduktor Open Fault) Pada Sistem Tenaga Listrik. *REINTEK Jurnal Pengetahuan Dan Teknologi Terapan*, 8(1), 1-18
- Pasaribu, F. I., Roza, I., Siregar, C., & Sitompul, F. A. (2021). Analisa Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Di PELINDO 1 Cabang Belawan. *Repository.Umsu.Ac.Id*, 4(1), 18–26. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/14738>
- Amirullah. (2021). Analisa Sistem Proteksi Over Current Relay pada Motor Draft fan sisi Sekunder (6kV) di PLTU Keban Agung. *Jteraf*, 1(2), 8–12.
- Anisah, Siti[1] S. Anisah and D. P. Wardani, “Analisa Over Current Relay (Ocr) Pada Transformator Daya 60 Mva Dengan Simulasi Matlab Di,” *Semin. Soc. Sci. Eng. Hum.*, vol. 1, no. Sistem proteksi, p. 9, 2020., & Wardani, D. P. (2020). Analisa Over Current Relay (Ocr) Pada Transformator Daya 60 Mva Dengan Simulasi Matlab Di. *Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora*, 1(Sistem proteksi), 9.
- Gunawan, I., Rinas, W., & Janardana, I. G. N. (2018). Analisa Resetting Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV Dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Padang Sambian. *Jurnal SPEKTRUM*, 5(2), 246. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p31>
- Jainuri, M. (2021). Simulasi Over Current Relay Pada Jalur Transmisi Dengan Menggunakan Aplikasi Etap 12.6. *SinarFe7*, 4(1), 674–683. <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/20%0Ahttps://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/download/20/242>
- Multi, A., & Addaus, T. (2022). Analisa Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Pada Transformator Daya Gardu Induk. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 32(1), 1–8. <https://doi.org/10.37277/stch.v32i1.1215>

- 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>
- Nurchahyo, M. S. (2019). Evaluasi Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Directional Ground Relay (Dgr) Di Gardu Induk 150 Kv Segoromadu Evaluasi Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Directional Ground Relay (Dgr) Di Gardu Induk 150 Kv Segoromadu. *Fakultas Teknik Elektro*, 1–127.
- Prabowo, B. D., Harjanto, A., & Alham, N. R. (2023). Relay Relay Coordination Of Over Current Protection Relay (OCR) ON IEEE 7 Bus Modified System Based Artificial Neural Network (ANN). *Jurnal Media Elektro, XII*(1), 29–38. <https://doi.org/10.35508/jme.v0i0.9831>
- Ramadhan G. (2020). Penerapan Over Current Relay (Ocr) Kopel 20 Kv Di Gardu Induk Boombaru. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 8, 24–33.
- Ramlan, Thaha, S., & Noor, N. A. (2022). Analisis Koordinasi Proteksi OCR dan GFR Pada Trafo 60 MVA di Gardu Induk Tallasa. *Jurnal ELEKTRIK*, 1(2), 39–50.
- Romadhoni, M. L. (2022). Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade pada OCR Incoming dan OCR Penyulang Trafo. *Energi & Kelistrikan*, 14(1), 119–128. <https://doi.org/10.33322/energi.v14i1.1656>
- 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>
- Setyaningrum, Y., Prasetyono, S., & Setiawan, A. (2021). Optimasi Koordinasi Over Current Relay Pada Trafo 60 Mva 150/20 Kv Dan Penyulang 20 Kv Gumul Gardu Induk Banaran Berbasis Particle Swarm Optimization. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.19184/jaei.v7i1.21480>
- Taryo. (2022). Analisa Setting Over Current Relay Dan Ground Fault Relay

Pada Penyulang Babakan Gardu Induk Babakan Kabupaten Cirebon.
Jurnal Teknik AMATA, 3(2), 10–16.
<https://doi.org/10.55334/jtam.v3i2.300>

Thaha, S., Indrawan, A. W., & Pongkiding, Y. J. (2022). Analisis Sistem Koordinasi Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Tegangan 20 Kv Bay Trafo Pada Gardu Induk Sanga-Sanga Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 19(2), 116.
<https://doi.org/10.31963/elekterika.v6i2.3527>

Yunitasari, A. V., Yunitasari, A. V., & Pramono, S. (2021). Sistem Proteksi Over Current Relay Motor Forced Draft Fan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 55–62.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/6002>

Zulfarhain, Supriyanto, & Hikmat. (2022). Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga. *The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13–14.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Abdi Wijaya Kesuma

Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 22 Februari 2001

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Umur : 23 Tahun

Agama : Islam

Status : Belum Menikah

Tinggi Badan / Berat Badan : 170 cm / 79 Kg

kewarganegaraan : Indonesia

Alamat : Jl. Andansari, Lingkungan 17, Pasar 6

No Hp : 085362467309

Email : abdiwijaya2222@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SD N 064996 : Tahun 2007-2013

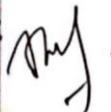
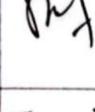
SMP S Harapan Mekar Medan : Tahun 2013-2016

SMA S Harapan Mekar Medan : Tahun 2016-2019

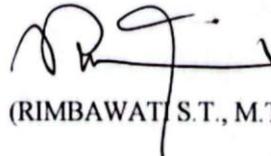
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara : Tahun 2020-2024

LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR PROPOSAL

NAMA : ABDI WIJAYA KESUMA
 NPM : 2007220006
 JUDUL : Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT PLN Nusanantara Power UPDK Belawan

| No | Keterangan | Tanggal | Paraf |
|----|--|------------|---|
| 1 | DISKUSI RUMUSAN MASALAH | 22-12-2023 |  |
| 2 | RIVIEW JURNAL LITERASI DAN REVISI BAB 1 | 15-01-2024 |  |
| 3 | REVISI BAB 2 DILANJUT BAB 3 | 30-01-2024 |  |
| 4 | REVISI BAB 3 dan diskusi METODE PENELITIAN | 17-02-2024 |  |
| 5 | DISKUSI BAB 1 sampai BAB 3 | 23-04-2024 |  |
| 6 | Acc seminar proposal 31/5/2024 | |  |

DOSEN PENDAMPING


 (RIMAWAT S.T., M.T)

LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL

NAMA : ABDI WIJAYA KESUMA
NPM : 2007220006
JUDUL : Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT PLN Nuasantara Power UPDK Belawan

| No | Tanggal | Keterangan | Paraf |
|----|--------------------|---------------------------------------|-------|
| 1 | 6/9 ²⁴ | Bimbingan kerangka Bab IV | Raf |
| 2 | 9/9 ²⁴ | Konsultasi Pengambilan Data | Raf |
| 3 | 12/9 ²⁴ | Evaluasi Data | Raf |
| 4 | 23/9 ²⁴ | Revisi data bab 4 dan Penulisan bab 5 | Raf |
| 5 | 7/10 ²⁴ | Revisi bab 5 dan ACC | Raf |
| 6 | 10/10 2024 | Acc semhas 10/10 2024 | Raf |

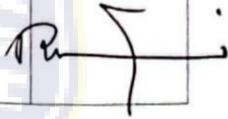
Dosen Pembimbing



RIMBAWATI, ST, MT

LEMBAR PENGESAHAN SIDANG AKHIR

NAMA : ABDI WIJAYA KESUMA
NPM : 2007220006
JUDUL : Analisis Sistem Proteksi Over Current Relay Pada Trafo Tenaga Di PT
PLN Nuasantara Power UPDK Belawan

| No | Tanggal | Keterangan | Paraf |
|----|------------|------------------------|--|
| 1 | 15/10 2024 | Revisi pasca sembas |  |
| 2 | | Aktu sidang 15/10 2024 |  |

Dosen Pembimbing



Rimbawati, ST, MT

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

|  PT. PLN (PERSERO) UP3B SUMATERA PLN | | FORMULIR HASIL PEMELIHARAAN TAHUNAN PEMUTUS TENAGA (PMT) | |  SISTEM MANAJEMEN MUTU ISO 9001 : 2015 | |
|--|----------|--|----------------|---|------------|
| NOMOR DOKUMEN : FR-TR5-BOT-114 | | TANGGAL : 05 June 2024 | | HALAMAN : 1 DARI 1 | |
| Unit Tragi : UPT MEDAN Lokasi GI : GI BELAWAN Bay : GI GIBLW BAY 5B10 DIAMETER#10 150kV Alat Uji : Megger DET4TR2 Pengerak : <input checked="" type="checkbox"/> Pegas <input type="checkbox"/> Penuatik <input type="checkbox"/> Hidrolik <input type="checkbox"/> SF6 Dinamik Media Isolasi : <input checked="" type="checkbox"/> SF6 <input type="checkbox"/> Udara Hembus <input type="checkbox"/> Minyak <input type="checkbox"/> Vacuum | | Merk : CG POWER : CG POWER : CG POWER Serial Number : R : X311500 : S : X311500 : T : X311500 Tanggal Pemeliharaan : 08 June 2021 10:16:00 Tanggal Kirim Server : 08 June 2021 15:52:33 | | Tegangan Operasi : 150 Posisi : B10 Kondisi Cuaca : CERAH Tanggal Input Device : 08 June 2021 10:16:58 Periode HAR : Lainnya(PENGGANTIAN PMT) | |
| F. PENGUKURAN TAHANAN PETANAHAN PMT | | | | | |
| T | | | | | |
| Posisi | Tanggal | Line | Jenis Gangguan | Besar Arus Gangguan | Keterangan |
| Out Going | 5/6/2024 | I L1 L2 | Over Current | 304,5 A | OCR |
| Out Going | 5/6/2024 | I L2 | Over Current | 54,2 A | GFR |

Petunjuk : -

Catatan :

| | | |
|--|---|---|
| Mengetahui 05 June 2024  SYAMSUL AHWAN 7192063A | Pengawas Pekerjaan 05 June 2024  MUHAMMAD HARRY SUSANTO 8204026A2 | Pelaksana Pekerjaan 05 June 2024  RIYAN KURNIAWAN PUTRA 96191396ZY |
|--|---|---|

Nomor : 0220/STH.01.04/PLNNP030008/2024 26 Maret 2024
Lampiran : 1 Lembar
Sifat : Segera
Hal : Permohonan Izin Pengambilan Data / Riset Kepada

Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara
Jalan Mukhtar Basri No. 3
Medan

Sehubungan dengan surat Saudara No 419/II.3.AU/UMSU-07/B/2024 perihal Permohonan Izin Penelitian tanggal 15 Maret 2024, maka dengan ini disampaikan bahwa PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan bersedia menerima Mahasiswa atas nama:

| NO | NAMA | NIM |
|----|------------------|------------|
| 1. | Abdi Jaya Kesuma | 2007220006 |

untuk melaksanakan Penelitian Mahasiswa pada tanggal 27 Maret 2024 Sampai dengan 3 April 2024 di bawah bimbingan Team Leader Rendal Operasi.

1. Mahasiswa/i wajib membawa sendiri Alat Pelindung Diri (safety helmet, wearpack, dan safety shoes).
2. Mahasiswa/i Tidak dibenarkan Naik Angkutan Umum Selama Penelitian / Riset di PLN UPDK Belawan.
3. Mahasiswa/i wajib mengikuti Standar Prosedur Pelaksanaan Penelitian / Riset Mahasiswa di PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan (terlampir).
4. Mahasiswa/i wajib menyertakan BPJS Kesehatan atau asuransi kesehatan lainnya
5. Mahasiswa/i wajib Meyertakan riwayat penyakit setahun terakhir.

Demikian disampaikan untuk dapat diketahui, atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

SENIOR MANAGER UPDK BELAWAN,


UPDK BELAWAN
HENI SETYO HANDOKO