



**ANALISA *OVER CURRENT RELAY* (OCR) PADA TRANSFORMATOR
DAYA 60 MVA DENGAN SIMULASI MATLAB
DI GARDU INDUK PAYA GELI**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan**

SKRIPSI

OLEH:

**NAMA : DWI PUTRI WARDANI
N P M : 1614210020
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

M E D A N

2 0 2 0

**ANALISA OVER CURRENT RELAY (OCR) PADA TRANSFORMATOR
DAYA 60 MVA DENGAN SIMULASI MATLAB
DI GARDU INDUK PAYA GELI**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan**

SKRIPSI

OLEH:

**NAMA : DWI PUTRI WARDANI
NPM : 1614210020
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

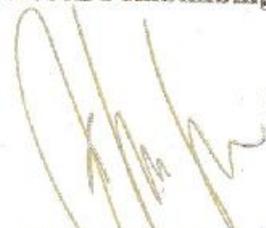
Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Rahmaniar, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II



Siti Anisah, S.T., M.T

Diketahui dan Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



Hamdani, S.T., M.T

Ketua Program Studi



Siti Anisah, S.T., M.T

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dwi Putri Wardani

NPM : 1614210020

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non exclusive Royalty-free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli”** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, Oktober 2020



NPM : 1614210020

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, Oktober 2020



Dwi Putri Wardani

1614210020

SURAT PERNYATAAN

Saya Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : DWI PUTRI WARDANI
N. P. M : 1614210020
Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 20 AGUSTUS 1998
Alamat : DUSUN XVI.A JL.PEMBANGUNAN DESA MULIO REJO KEC.SUNGGAL KAB.DELI SERDANG
No. HP : 085296450874
Nama Orang Tua : WARISNO /HANDAYANI
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli

Bersama dengan surat ini menyatakan dengan sebenar - benarnya bahwa data yang tertera diatas adalah sudah benar sesuai dengan ijazah pada pendidikan terakhir yang saya jalani. Maka dengan ini saya tidak akan melakukan penuntutan kepada UNPAB. Apabila ada kesalahan data pada ijazah saya.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar - benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun dan dibuat dalam keadaan sadar. Jika terjadi kesalahan, Maka saya bersedia bertanggung jawab atas kelalaian saya.

Medan, 29 Juli 2020
Yang Membuat Pernyataan



DWI PUTRI WARDANI
1614210020



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : DWI PUTRI WARDANI
 NPM : 1614210020
 Program Studi : Teknik Elektro
 Jenjang Pendidikan : Strata Satu
 Dosen Pembimbing : Dr Rahmaniar, ST.,MT.
 Judul Skripsi : Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli0

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
04 Desember 2019	Perdalam latar belakang permasalahan dengan 5 jurnal yang sesuai dengan judul penelitian, sebagai pendahuluan pada bab 1	Revisi	
19 Desember 2019	Pertajam tujuan penelitian, dengan memperhatikan tema penelitian	Revisi	
03 Juni 2020	acc Seminar proposal	Disetujui	
03 Juni 2020	Tambahi teori pendukung dengan aturan sitasi yang sesuai	Revisi	
03 Juni 2020	ACC BAB 1 dan 2	Disetujui	
03 Juni 2020	Gunakan Blok diagram dalam mendeskripsikan langkah penelitian	Revisi	
03 Juni 2020	Penggunaan flowchat sebagai alur penelitian harus menggunakan simbol2 yang tepat	Revisi	
03 Juni 2020	Penggambaran online diagram dan gambar rangkaian menggunakan aplikasi visio	Revisi	
03 Juni 2020	Perjelas oneline diagram penelitian	Revisi	
03 Juni 2020	Penggunaan rumus dengan aplikasi eqquesion	Revisi	
03 Juni 2020	ACC bab 3	Disetujui	
03 Juni 2020	analisis data pada bab 4 sesuaikan dengan penggunaan teori pada bab 2	Revisi	
03 Juni 2020	analisis data dipertajam dengan penelitian pendukung	Revisi	
03 Juni 2020	ACC bab 4	Disetujui	
03 Juni 2020	ACC Seminar Hasil	Disetujui	
03 Juli 2020	Perhatikan dengan seksama tata tulis dan bahasa dan kesalahan pengetikan	Revisi	
03 Juli 2020	Perhatikan kaidah penulisan kutipan.	Revisi	
03 Juli 2020	Pada bab 2 tambahi gambar dari teori yang dibuat, exp. gambar berbagai jenis kawat	Revisi	
03 Juli 2020	Pada bab 3, penggunaan tanda bolt, untuk mengurutkan keterangan dirubah menjadi angka atau huruf	Revisi	
03 Juli 2020	Pada Bab 3, berikan deskripsi setelah flowchat	Revisi	
03 Juli 2020	BAB 4 perhatikan penggunaan tanda bolt pada setiap anak judul	Revisi	
03 Juli 2020	BAB4 , tambahi deskripsi keterangan pada setiap tabel	Revisi	

22 Juli 2020 ACC Meja Hijau

Disetujui

30
September
2020 ACC Jilid

Disetujui

Medan, 12 Oktober 2020
Dosen Pembimbing,



Dr Rahmaniar, ST.,MT.



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : DWI PUTRI WARDANI
 NPM : 1614210020
 Program Studi : Teknik Elektro
 Jenjang Pendidikan : Strata Satu
 Dosen Pembimbing : Siti Anisah, ST., MT
 Judul Skripsi : Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli0

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
05 Juni 2020	perhasikan kembali sistem penulisan tabelnya, untuk tabel 1 spasi ya	Revisi	
05 Juni 2020	penulisan bahasa asing masih ada yang belum sesuai, cetak miring	Revisi	
05 Juni 2020	dari ibu sudah acc untuk smhas dengan catatan perbaiki semua hasil koreksi doping, dan lengkapi cover dan daftar pusteka ya	Disetujui	
16 Juli 2020	perhatikan penggunaan kata hubung dan kata depan di bab 1. kata hubung dan kata depan tidak boleh berda pada awal kalimat.	Revisi	
16 Juli 2020	perhatikan penulisan kata asing, seperti Energy atau Energi kalau Energi, kalau menggunakan bahasa asing pastikan sudah tercetak miring cek penggunaan bahasa asing lainnya	Revisi	
18 Juli 2020	Acc Sidang meja hijau	Disetujui	
07 Oktober 2020	Acc Jilid	Disetujui	

Medan, 12 Oktober 2020
Dosen Pembimbing,



Siti Anisah, ST., MT



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Dwi Putri Wardani
 Tempat/Tgl. Lahir : medan / 20 Agustus 1998
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1614210020
 Program Studi : Teknik Elektro
 Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
 Jumlah Kredit yang telah dicapai : 118 SKS, IPK 3.66
 Nomor Hp : 085296450874
 Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

No.	Judul
1.	Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geti0

Catatan : Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Coret Yang Tidak Perlu

(Ir. Bhakti Alamsyah, M.T., Ph.D.)

Medan, 30 Oktober 2019
 Pemohon,

 (Dwi Putri Wardani)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Dekan

 (Sri Shindi Indra, S.T., M.Sc.)

Tanggal : 04-11-2019
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing I :

 (Dr. Rahmawati, ST., MT.)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Ka. Prodi Teknik Elektro

 (Hamdani, ST., MT.)

Tanggal : 05-11-2019
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing II

 (Siti Anisah, ST., MT.)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-02

Revisi: 0

Tgl. Eff: 22 Oktober 2018

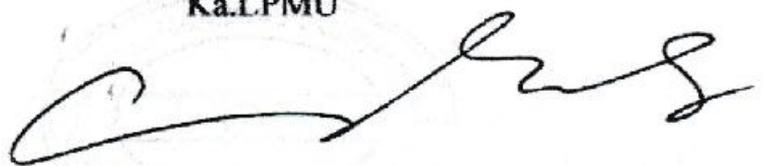
SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Surat ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

3: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.

Ka.LPMU



Cahyo Pramono, SE.,MM

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 29 Juli 2020
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DWI PUTRI WARDANI
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 20 AGUSTUS 1998
 Nama Orang Tua : WARISNO
 N. P. M : 1614210020
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 085296450874
 Alamat : DUSUN XVI.A JL. PEMBANGUNAN DESA MULJO REJO
 KEC.SUNGGAL KAB.DELI SERDANG

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **Analisa Over Current Relay (OCR) Pada Transformator Daya 60 MVA Dengan Simulasi Matlab Di Gardu Induk Paya Geli**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indeks prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercapai keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 eksemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 eksemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiplakan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah ditandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya yang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.
4. [221] Bebas LAB	: Rp.
Total Biaya	: Rp. 0

Periode Wisuda Ke : **65**

Ukuran Toga : **M**

Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



Hamdani, ST., MT
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI



DWI PUTRI WARDANI
 1614210020

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
LABORATORIUM ELEKTRO
Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4.5 Sei Sikambang Telp. 061-8455571
Medan - 20122

KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 1330/BL/LAKO/2020

Yang bertanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : DWI PUTRI WARDANI
N.P.M. : 1614210020
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Benar dan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 25 Agustus 2020
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
D T O
Hamdani, S.T., M.T.



No. Dokumen : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 2546/PERP/BP/2020

Kepala Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan atas nama saudara/i:

Nama : DWI PUTRI WARDANI
N.P.M. : 1614210020
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Bahwasannya terhitung sejak tanggal 27 Juli 2020, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku sekaligus tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 27 Juli 2020
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

No. Dokumen : FM-PERPUS-06-01 Revisi : 01 Tgl. Efektif : 04 Juni 2015

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“ANALISA *OVER CURRENT RELAY* (OCR) PADA TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA DENGAN SIMULASI MATLAB DI GARDU INDUK PAYA GELI”**. Penyusunan Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh kelulusan Program Sarjana jurusan Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam kesempatan ini penulisan ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini. Khususnya kepada:

1. Bapak Dr. H. M. Isa Indrawan, S.E, M.M, selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
2. Bapak Hamdani, S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
3. Ibu Siti Anisah, S.T.,M.T selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan dan selaku Dosen Pembimbing II yang sabar dalam memberikan arahan demi kelancaran Skripsi ini.
4. Ibu Dr. Rahmانيar, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan selama penyusunan Skripsi ini.

5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
6. Ayah dan Ibu serta Kakak dan Adik tercinta dan tersayang yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam proses pelaksanaan dan penyusunan Skripsi.
7. Rekan – rekan seperjuangan yang membantu penulis dalam penyusunan Skripsi ini khususnya Kelas Reguler Pagi A.
8. Abang kelas dan teman-teman di HME yang membantu penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
9. Segenap pegawai PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Gardu Induk Paya Geli, serta pihak-pihak yang tidak dapat dituliskan satu-persatu namanya oleh penulis, yang telah membantu dan mendukung penulis secara langsung dan tidak langsung hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik di kemudian hari nanti. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Medan, Oktober 2020

DWI PUTRI WARDANI

NPM: 1614210020

**ANALISA *OVER CURRENT RELAY* (OCR) PADA
TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA DENGAN SIMULASI
MATLAB DI GARDU INDUK PAYA GELI**

Dwi Putri Wardani*
Rahmaniar**
Siti Anisah**
Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Tersalurnya energi listrik dengan baik banyak aspek yang perlu diperhatikan salahsatunya ialah keandalan sistem proteksi. Sistem proteksi ialah suatu sistem yang berfungsi untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada peralatan akibat dari gangguan dan dalam penyaluran sistem tenaga listrik tidak lepas dari adanya gangguan, oleh karena itu dibutuhkan nya suatu proteksi agar energi listrik dapat tersalur ke konsumen dengan baik, dimana jenis-jenis proteksi diantaranya yaitu relai arus lebih atau *over current relay*. Prinsip kerja dari relai tersebut ialah mendeteksi adanya arus lebih yang melebihi nilai *setting* yang telah ditentukan, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat antar fasa atau beban lebih, dari perhitungan arus gangguan antar fasa yang terjadi didapatkan nilai terbesar arus gangguan hubung singkat antar fasa terletak pada titik 0% sebesar 8113.79 Ampere dan nilai terkecil arus gangguan hubung singkat antar fasa terletak pada titik 100% sebesar 1208.10 Ampere dan perbandingan dengan percobaan menggunakan aplikasi *Matrix Laboratory* (MATLAB) didapatkan hasil yang tidak terlalu jauh dengan hasil perhitungan manual.

Kata Kunci: Keandalan, *Over Current Relay* (OCR), *Matrix Laboratory* (MATLAB)

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: dwiputriwardani20@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

***ANALYSIS OF OVER CURRENT RELAY (OCR) IN 60 MVA
POWER TRANSFORMER WITH MATLAB SIMULATION IN
SUBTATION PAYA GELI***

Dwi Putri Wardani*

Rahmaniar**

Siti Anisah**

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

The distribution of electrical energy properly many aspects that need to be considered is the reliability of the protection system. Protection system is a system that serves to prevent or limit damage to equipment due to interference and in the distribution of the electric power system is not free from interference, therefore it needs a protection so that electrical energy can be channeled to consumers properly, where the types of protection including overcurrent relay or over current relay. The working principle of the relay is to detect the presence of excess current that exceeds the predetermined setting value, either caused by inter-phase short circuit faults or overload, from the calculation of inter-phase fault current that occurs the greatest value of inter-current short circuit fault current is located at the 0% point of 8113.79 Amperes and the smallest inter-phase fault current rating is at the 100% point of 1208.10 Amperes and comparison with experiments using the Matrix Laboratory (MATLAB) application results are not too far from the results of manual calculations.

Keywords: Reliability, Over Current Relay (OCR), Matrix Laboratory (MATLAB)

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: dwiputriwardani20@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR RUMUS	viii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Persyaratan Sistem Proteksi	6
2.3 Perangkat Sistem Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah.....	8
2.4 Relay Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	9
2.4.1 Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu	10
2.4.2 Prinsip Kerja Relay Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	12
2.4.3 Setting Relay Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	13
2.5 Analisa Gangguan Hubung Singkat	15
2.6 Penghantar.....	24

2.6.1	Klasifikasi Penghantar	25
2.6.1.1	Berdasarkan Bahan Kawat	25
2.6.1.2	Berdasarkan Bentuk Kawat	30
2.7	Kawat Penghantar AAAC (<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>).....	34
2.8	Perangkat Lunak Matlab	36
2.9	Memulai Program Matlab	38
2.10	<i>Single Line Diagram</i> (SLD) Gardu Induk Paya Geli	40

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	42
3.2	Metode Penelitian	42
3.3	Alur Penelitian.....	43
3.4	Deskripsi <i>Flowchart</i>	44
3.5	Karakteristik Gardu Induk Paya Geli	45

BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat	48
4.1.1	Menghitung Impedansi Sumber	48
4.1.2	Menghitung Reaktansi Trafo.....	49
4.1.3	Menghitung Impedansi Penyulang	49
4.1.4	Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan.....	52
4.1.5	Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat	54
4.1.5.1	Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	54
4.2	Penyetelan Relai Arus Lebih.....	59
4.2.1	Setelan Relai Arus Lebih	59
4.2.2	Setelan Waktu Kerja OCR	61
4.3	Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Pada Penyulang PL 07	63
4.4	Perbandingan Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Manual Dengan Simulasi Matlab	66

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 68
5.2 Saran 69

DAFTAR PUSTAKA 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik Relai seketika (<i>instantaneous</i>).....	10
Gambar 2.2	Karakteristik Relai dengan waktu tertentu (<i>definite</i>)	11
Gambar 2.3	Karakteristik Relai dengan waktu kerja terbalik (<i>invers</i>).....	11
Gambar 2.4	Rangkaian Pengawatan Relay Arus Lebih (OCR).....	12
Gambar 2.5	Perubahan 2 Fasa Pada Rangkaian 3 Fasa.....	22
Gambar 2.6	Vektor Arus Urutan Positif dan Negatif.....	23
Gambar 2.7	Kawat Tembaga	26
Gambar 2.8	Kawat Aluminium.....	28
Gambar 2.9	Kawat Logam Campuran.....	29
Gambar 2.10	Kawat Logam Paduan	30
Gambar 2.11	Kawat padat	31
Gambar 2.12	Kawat Berlilit.....	33
Gambar 2.13	Kawat Berongga.....	34
Gambar 2.14	Kawat Penghantar AAAC (<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>)	35
Gambar 2.15	Rating Factor AAAC (<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>)	36
Gambar 2.16	Desktop MATLAB (<i>Command Windows</i>)	39
Gambar 2.17	Tampilan Menu Pada Desktop MATLAB	40
Gambar 2.18	Diagram Satu Garis Pada TD 2 di Gardu Induk Paya Geli	41
Gambar 3.1	Alur Penelitian	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Operasi Waktu Jarak Relay Invers Time	14
Tabel 3.1	Data Settingan Relai Pada Transformator Daya 2 Di Gardu Induk Paya Geli	46
Tabel 3.2	Impedansi Jenis Penghantar	47
Tabel 4.1	Impedansi Urutan Positif dan Urutan Negatif	50
Tabel 4.2	Impedansi Urutan Positif dan Urutan Negatif	51
Tabel 4.3	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif	52
Tabel 4.4	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif	53
Tabel 4.5	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	55
Tabel 4.6	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	56
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan I_{HS} Inc. TD2.....	57
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan I_{HS} Penyulang PL 07	58
Tabel 4.9	Waktu Kerja Relay Pada Penyulang PL 07.....	64
Tabel 4.10	Setelan Relay OCR.....	65
Tabel 4.11	Perbandingan Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Pada Incoming.....	66
Tabel 4.12	Perbandingan Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Pada Penyulang.....	67

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Arus Setting OCR Sisi Primer	13
Rumus 2.2	Arus Setting OCR Sisi Sekunder	13
Rumus 2.3	Setting Waktu Relai OCR.....	15
Rumus 2.4	Dasar Arus Gangguan Hubung Singkat.....	16
Rumus 2.5	Impedansi Sumber Sisi 150 KV.....	18
Rumus 2.6	Impedansi Sumber Sisi 20 KV.....	19
Rumus 2.7	Reaktansi Dalam Nilai Ohm Pada 100%	19
Rumus 2.8	Reaktansi Trafo Daya Urutan Positif Dan Negatif.....	19
Rumus 2.9	Impedansi.....	20
Rumus 2.10	Impedansi Penyulang Urutan Positif Dan Negatif.....	20
Rumus 2.11	Impedansi Ekivalen Urutan Positif Dan Negatif.....	21
Rumus 2.12	Arus Gangguan Dua Fasa	23
Rumus 2.13	Arus Gangguan Dua Fasa Yang Mempunyai Nilai Yang Sama	24

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan pasokan listrik pada sistem tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari. Terjaminya energi listrik tersalur dengan baik banyak aspek yang perlu diperhatikan salahsatunya ialah keandalan sistem proteksi pada sistem tenaga listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik untuk masa sekarang dan yang akan datang, dalam penyaluran sistem tenaga listrik tidak lepas dari adanya gangguan. Salahsatu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yaitu gangguan hubung singkat, hal ini tentu saja dapat merusak peralatan dan menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik. (Agung, 2014)

Transformator merupakan suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik static yang dimana fungsi transformator ialah menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. (Kustanto, 2014).

Mengatasi hal tersebut, maka diperlukan suatu pengaturan relai proteksi yang baik untuk menjamin gangguan yang terjadi tidak meluas. Suatu proteksi sangat diperlukan untuk menjaga kehandalan pada transformator maupun peralatan-peralatan kelistrikan pada gardu induk paya geli. Sistem proteksi ialah suatu sistem yang berfungsi untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada peralatan akibat dari gangguan. (Kamal A, 2014).

Selain itu juga dapat mengisolir bagian yang terganggu saja sehingga bagian lainnya dalam kondisi aman. Jenis-jenis proteksi pada trafo diantaranya yaitu relai arus lebih atau *over current relay*. Prinsip kerja dari relay arus lebih ialah mendeteksi adanya arus lebih yang melebihi nilai *setting* yang telah ditentukan, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload*. (A Tjahjono, 2015)

Transformator daya yang di proteksi oleh relai arus lebih berfungsi sebagai *back up* (pengaman cadangan) proteksi atau *back up 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 di kedua sisi transformator daya. (Arif, 2017)

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dicantumkan di atas penulisan dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menghitung arus hubung singkat antar fasa pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli?
2. Bagaimana cara menentukan nilai setting relai arus lebih pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli?
3. Bagaimana cara menentukan nilai waktu kerja relai terhadap titik gangguan tertentu pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli?
4. Bagaimana Perbandingan hasil perhitungan hubung singkat antar fasa manual dengan menggunakan simulasi matlab?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Membahas settingan relai arus lebih pada penyulang di gardu induk paya geli.
2. Membahas perbandingan hasil perhitungan arus hubung singkat antar fasa manual dengan menggunakan simulasi matlab.
3. Tidak membahas tentang minyak transformator rugi-rugi daya dan efisiensi pada transformator
4. Hanya membahas tentang gangguan hubung singkat antar fasa.
5. Hanya membahas tentang *Over Current Relay* (OCR).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung arus hubung singkat antar fasa pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli.
2. Menentukan nilai *setting* relai arus lebih yang dipasang pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli.
3. Mengetahui waktu kerja relai terhadap titik gangguan tertentu pada penyulang di Gardu Induk Paya Geli.
4. Membandingkan hasil perhitungan hubung singkat antar fasa manual dengan menggunakan simulasi Matlab.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Meningkatkan kehandalan sistem proteksi terutama pada penyulang PL 07 di Gardu Induk Paya Geli.
2. Meningkatkan nilai kinerja perusahaan dibidang kehandalan sistem proteksi di jaringan distribusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan laporan ini berisikan lima bab yang terdiri sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 LANDASAN TEORI

Berisikan tinjauan pustaka berkaitan dengan pengertian *Over Current Relay*, prinsip kerja dari *Over Current Relay*.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisikan metode penelitian yang memakai metode rangkaian listrik dan terdiri dari data-data *Over Current Relay* pada penyulang.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Berisikan hasil dan pembahasan yang berkaitan dengan hasil perbandingan arus hubung singkat antar fasa manual dengan menggunakan simulasi Matlab.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi dan kutipan buku, jurnal, dan lain – lain.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik, bila terjadi gangguan listrik atau beban lebih. Penempatannya mulai dari pembangkit sampai dengan instalasi di rumah tinggal. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik adalah cara untuk membatasi kerusakan peralatan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat berjalan dengan baik. (Sarimun, 2012)

Permasalahan dalam sistem tenaga listrik ialah sering terjadi gangguan yang menyebabkan penyaluran energi listrik menjadi terhambat. Gangguan yang terjadi merupakan gangguan hubung singkat yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilaluinya, untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi. Tujuan dari sistem proteksi antara lain: (Sarimun, 2012)

- a. Menghindari dan mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan. Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan terhadap kerusakan peralatan.
- b. Mengisolir daerah yang terganggu saja sehingga bagian listrik yang tidak terganggu tetap aman.
- c. Memberikan pelayanan listrik dengan kehandalan yang tinggi kepada konsumen.
- d. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Beberapa syarat yang perlu diketahui dalam suatu sistem proteksi tenaga listrik yaitu: (Irfan, 2009)

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Salahsatu prinsip pada relay arus yaitu harus peka dalam mendeteksi gangguan artinya relay harus mampu memastikan apakah yang dirasakannya itu merupakan sebuah gangguan atau tidak.

2. Keandalan (*Realibility*)

Prinsip pengaman harus dapat andal atau dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu. Relai proteksi tidak boleh gagal bekerja.

Keandalan terdiri dari 3 aspek yaitu: (Irfan, 2009)

a. *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya. Prinsip kerja pada pengaman harus dapat diandalkan ketika bekerja (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu). Tidak boleh gagal dalam bekerja.

b. *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Salah kerja yang dimaksud dalam hal ini adalah bahwa yang semestinya relai tidak harus bekerja tetapi relai tersebut bekerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja dapat mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi, jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja.

c. *Availability*

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap dalam bekerja dan waktu total dalam operasinya dengan relai elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi, sebaiknya diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC voltage), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya atau benar-benar terjadi.

3. Selektifitas (*Selectivity*)

Suatu pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengaman utamanya. Pengaman sedemikian disebut pengaman yang selektif, jadi relai harus dapat membedakan, apakah: (Irfan, 2009)

- a. Gangguan terletak di kawasan pengaman utamanya dimana relai harus bekerja cepat.
- b. Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana relai harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak *trip*.
- c. Gangguannya di luar daerah pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali.

Relai dalam sistem terletak secara seri, dikoordinir dengan mengatur peningkatan waktu (*time grounding*) atau peningkatan setting arus (*current grounding*), atau gabungan dari keduanya, maka relai dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya, dengan pemilihan jenis dan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan *setting* relai yang terkoordinir dengan baik.

4. Kecepatan (*Speed*)

Suatu proteksi harus dapat memperkecil kerusakan ketika terjadi gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebanan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan ini berfungsi untuk: (Irfan, 2009)

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

2.3 Perangkat Sistem Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Proteksi terdiri dari komponen-komponen berikut ini: (Persero, 2014)

- a. Trafo arus dan trafo tegangan, sebagai alat yang berfungsi untuk melakukan pengukuran besaran arus atau tegangan pada instalasi listrik primer yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus atau tegangan yang besar menjadi besaran arus atau tegangan yang kecil secara akurat..
- b. Relai yaitu sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah kepada pemutus tenaga untuk *trip*.
- c. Pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu dari sistem yang tidak terganggu.
- d. Baterai beserta alat pengisi (baterai charger) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya relay dan peralatan bantu *tripping*.
- e. *Wiring* terdiri dari sirkit sekunder, sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu.

2.4 Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relai arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) adalah peralatan yang digunakan sebagai proteksi cadangan local pada trafo yang berfungsi untuk mendeteksi adanya arus yang berlebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang berada dalam wilayah proteksinya. Relay arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik. (Irfan, 2009)

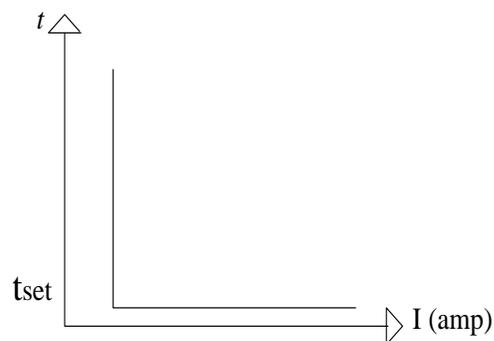
Over Current Relay (OCR) pada transformator daya hanya berfungsi sebagai proteksi cadangan (*back up protection*) atau sebagai *back up* bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan menengah sekaligus. Selanjutnya, OCR dapat

menjatuhkan PMT pada sisi dimana relay terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. (Arif, 2017)

2.4.1 Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

a. Relai Arus Lebih Sesaat (*Instantaneous*)

Yaitu relay yang tidak mempunyai waktu tunda. Relay ini bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana relay terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem.

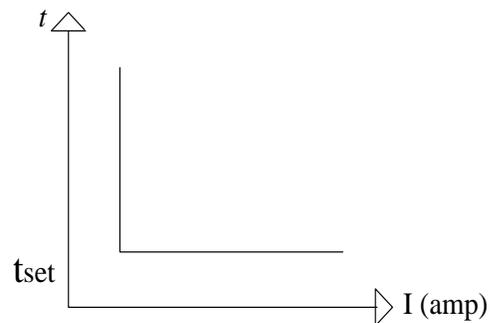


Gambar 2.1 Karakteristik Relai seketika (*instantaneous*)

Sumber: Relai arus lebih, 2017

b. Relai Arus Lebih Definite (*Definite time*)

Yaitu relay yang mempunyai waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan, jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya dan berapapun besarnya arus gangguan maka relay akan bekerja dengan waktu yang tetap.

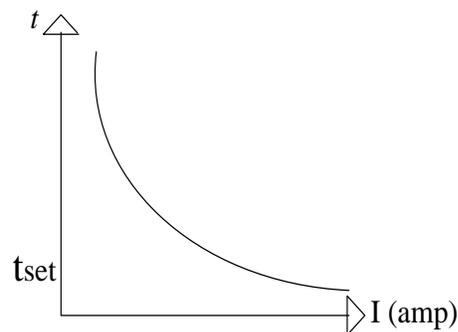


Gambar 2.2 Karakteristik Relai dengan waktu tertentu (*definite*)

Sumber: Relai arus lebih, 2017

c. Relai Arus Lebih Invers (*Invers Time*)

Yaitu relai yang mempunyai waktu tunda tergantung pada besarnya arus gangguan, jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relay.



Gambar 2.3 Karakteristik Relai dengan waktu kerja terbalik (*invers*)

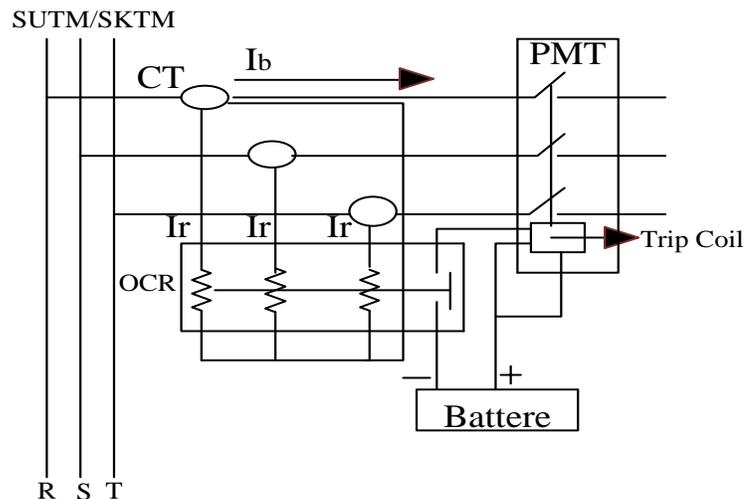
Sumber: Relai arus lebih, 2017

Pada relai jenis ini karakteristik waktu arus dikelompokkan menjadi:

- a. *Normal Inverse*
- b. *Very Inverse*
- c. *Long Inverse*
- d. *Extremely Inverse*

2.4.2 Prinsip Kerja Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Prinsip kerja relai OCR yaitu berdasarkan adanya arus lebih yang melebihi nilai settingan, baik disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload* (beban lebih) kemudian memberikan perintah ke PMT untuk *trip* sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 2.4 Rangkaian Pengawatan Relay Arus Lebih (OCR)

Sumber: Irfan, 2009

Cara kerja relay OCR dapat diuraikan sebagai berikut:

- Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM / SKTM lalu masuk ke trafo arus dimana besaran arus ini ditransformasikan ke besaran arus sekunder (I_r). Arus sekunder (I_r) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini tidak melebihi dari nilai setting yang telah ditetapkan, maka relai tidak berkerja. (Irfan, 2009)
- Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi nilai setting yang telah ditentukan,

maka relai memberikan perintah *trip* untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga yang terganggu dipisahkan dari jaringan. (Irfan, 2009)

2.4.3 Setting Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

a. Arus setting pada OCR

Setting relai OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga dan disetting 1,05-1,3 Arus nominal transformator, sedangkan penyetelannya relay OCR di Incoming gardu induk dan di penyulang keluar diambil dari arus maksimum atau arus beban puncak. Relai OCR pada sisi primer disetting 1,05-1,3 arus maksimum, sehingga rumus yang dipakai penyetelannya relay OCR ialah:

$$I_{set} \text{ (prim)} = 1,05-1,3 \times I \text{ beban maksimum} \quad (2.1)$$

Arus setting tersebut adalah arus setting untuk sisi primer, untuk mendapatkan nilai setelan sisi sekunder yang dapat disetkan pada relai OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sekunder transformator tenaga. (Pusdiklat, 2009)

$$I_{set} \text{ sekunder} = I_{set} \text{ primer} \times \frac{I}{\text{Ratio CT}} \quad (2.2)$$

b. Setting Waktu

Hasil perhitungan arus setting sisi primer dan sekunder, selanjutnya menentukan nilai setelan waktu *Time Multiple Setting* (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain

pabrik pembuat relai, dalam hal ini diambil rumus TMS dengan relai merk MC 30

Tabel 2.1 Karakteristik Operasi Waktu Jarak Relay Invers Time

Tipe Relay	Setelan waktu (TMS)
Standard Invers	$T_{ms} = \frac{t * \left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02 - 1}}{0,14}$
Very Invers	$T_{ms} = \frac{t * \left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02 - 1}}{13,2}$
Extremely Invers	$T_{ms} = \frac{t * \left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02 - 1}}{80}$

Sumber: Catalogue Overcurrent Relay Type MC30, 2009

Tahap berikutnya, hasil dari perhitungan arus gangguan hubung singkat, dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan TMS, dari relai arus lebih dengan tipe jenis standard invers. Disamping itu, setelah nilai setelan relai diperoleh, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan, dipakai untuk memeriksa relai arus lebih itu, apakah masih dapat dinilai efektif atau nilai setelan harus dirubah ke nilai lain yang memberikan kerja relai yang lebih selektif, atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relai bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik). Sedangkan untuk setelan arus dari relai arus lebih dihitung berdasarkan arus beban, yang mengalir di penyulang atau *Incoming feeder*, artinya: (Irfan, 2009)

- a. Relai arus lebih yang terpasang di penyulang keluar (outgoing feeder), dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.
- b. Relai arus lebih yang terpasang di penyulang masuk (incoming feeder), dihitung berdasarkan arus nominal transformator tenaga.

Settingan waktu untuk relay OCR dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$t_{ms} = \frac{t * \left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02-1}}{0,14} \quad (2.3)$$

Penyetelan waktu minimum dari relay arus lebih (terutama di penyulang) tidak boleh lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi, akibat arus inrush current dari transformator daya yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut di operasikan. (Pusdiklat, 2009)

2.5 Analisa Gangguan Hubung Singkat

Analisa gangguan hubung singkat (yang mungkin terjadi pada setiap titik dalam sistem) yang dipelajari terutama adalah besarnya kontribusi arus gangguan hubung singkat pada setiap cabang di transmisi, distribusi, trafo maupun pada setiap node. besar arus atau tegangan. Hasil analisa inilah yang diperlukan oleh engineer proteksi untuk penyetelan proteksi, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar-benar terjadi didalam sistem, peralatan proteksi dapat bekerja mengamankan bagian sistem yang terganggu sesuai yang diharapkan. Gangguan yang mungkin terjadi didalam sistem adalah: (Badaruddin, 2014)

1. Gangguan 3 fasa, terjadi karena putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada jaringan transmisi/distribusi dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertical. Kemungkinan terjadi memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan. Kemungkinan lain terjadinya ialah akibat pohon yang cukup tinggi berayun sewaktu tertiup angin kencang sehingga menyentuh ketiga kawat fasa transmisi atau distribusi.
2. Gangguan 2 fasa terjadi karena putusnya kawat fasa tengah pada jaringan transmisi/distribusi dengan konfigurasi tersusun vertical. Kemungkinan lain terjadinya ialah rusaknya isolator di jaringan transmisi/distribusi sekaligus dua fasa. Gangguan seperti ini biasanya menjadi gangguan dua fasa ketanah. Atau bisa juga akibat *back flashover* antara tiang dan dua kawat fasa sekaligus sewaktu tiang transmisi/distribusi yang mempunyai tahanan kaki tiang yang tinggi tersambar petir.
3. Gangguan satu fasa ke tanah, kemungkinan terjadinya yaitu akibat *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat fasa transmisi/distribusi sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar, walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah. Bisa juga gangguan satu fasa ke tanah terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi/distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi.

Semua gangguan hubung singkat di atas, maka arus gangguan dapat dihitung dengan menggunakan rumus , yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.4)$$

Dimana:

V = Tegangan sumber (V)

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ohm)

Perhitungan arus gangguan hubung singkat yang biasa terjadi seperti gangguan hubung singkat diatas untuk menganalisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dibutuhkan untuk setting dan koordinasi peralatan proteksi, menentukan kapasitas alat pemutus daya, menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan dan menganalisa sistem jika ada hal-hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi, untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti diatas dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- a. Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya terpisah satu dengan fasa yang lain dalam fasa sebesar 120° , lalu mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya atau hanya dapat dirasakan oleh arus urutan positif.

- b. Impedansi urutan negative (Z_2), yaitu impedansi yang sama seperti impedansi urutan positif hanya saja ia mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan phasor aslinya atau hanya dapat dirasakan oleh arus urutan negative.
- c. Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara satu dengan yang lainnya atau hanya dapat dirasakan oleh arus urutan nol.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk sisi *outgoing* berbagai jenis gangguan kemudian pada sisi incoming TD 2 pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari incoming TD 2 tersebut, untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi sumber, impedansi transformator dan impedansi penyulang.

a. Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber untuk di sisi 150 KV, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$X_{SC} = \frac{KV^2}{MVA_{SC}} \quad (2.5)$$

Dimana:

X_{sc} = Impedansi sumber sisi 150 kV (Ohm)

KV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (KV)

MVA_{SC} = Data hubung singkat transformator(MVA)

Impedansi sumber untuk di sisi 20 KV, maka rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$X_{sc} (\text{sisi } 20 \text{ KV}) = \frac{KV^2}{150} \times X_{sc} (\text{sisi } 150 \text{ KV}) \quad (2.6)$$

Dimana:

X_{sc} = Impedansi sumber sisi 20 kV(Ohm)

KV^2 = Tegangan sekunder trafo tenaga (KV)

b. Impedansi Transformator

Perhitungan impedansi trafo yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanan nya diabaikan karena nilainya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Langkah pertama mencari nilai Ohm pada 100%, yaitu:

$$X_T (100\%) = \frac{KV^2}{MVA} \quad (2.7)$$

Dimana :

$X_T (100\%)$ = Impedansi Dasar trafo tenaga (ohm)

KV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (KV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Nilai reaktansi trafo tenaga untuk urutan positif dan negative dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_{T1} = X_{T2} = X_T \times \text{Nilai Reaktansi (diketahui)} \quad (2.8)$$

Dimana:

$X_{T1} = X_{T2}$ = Reaktansi trafo tenaga urutan positif dan negative (ohm)

c. Impedansi Penyulang

Perhitungan Impedansi penyulang tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya. Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Nilai suatu impedansi ditentukan dengan rumus:

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/Km} \quad (2.9)$$

Impedansi suatu penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

1. Urutan positif dan urutan negative

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang} \times Z_1/Z_2 \quad (2.10)$$

Dimana:

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negative (ohm)

d. Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif dan negative dari titik gangguan sampai ke sumber, karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat

langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut. Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

1. Urutan positif dan urutan negative ($Z_{1eq}=Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{SC1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \quad (2.11)$$

Dimana:

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

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

Z_{SC1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

Z_{t1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negative pada penyulang (ohm)

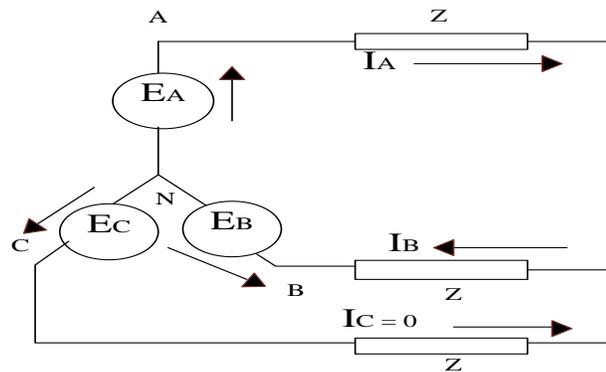
2. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, nilai impedansi ekivalen yang dimasukkan ke dalam rumus dasar adalah jenis gangguan hubung singkat dua fasa, sehingga formula yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat dua fasa.

a. Gangguan Dua Fasa Atau Antar Fasa

Bila pada sistem tiga fasa, dua fasanya dibebani suatu impedansi Z pada masing-masing fasanya kemudian dihubungkan pada ujung yang lain sehingga membentuk sambungan beban dua fasa. Seperti pada gambar 2.5 berikut ini:

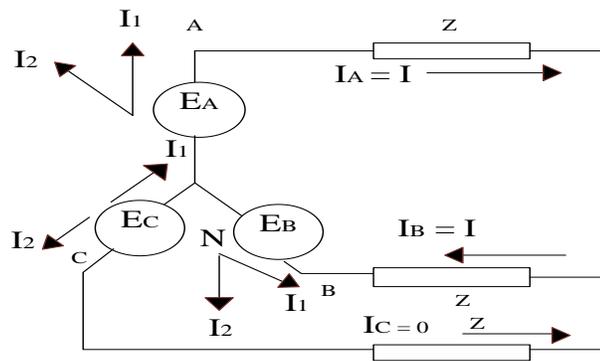
Misalkan impedansi Z dimaksud terhubung pada fasa A dan B.



Gambar 2.5 Perubahan 2 Fasa Pada Rangkaian 3 Fasa

Sumber: Pusklat PT. PLN (Persero), 2015

Gambar 2.5, di atas dimana arus yang mengalir pada rangkaian tertutup adalah di fasa A mengalir arus I_A , di fasa B mengalir arus I_B dimana $I_A = I_B = I$, dengan sumber tegangan fasa A-B yang besarnya $E_{AB} = \sqrt{3} * E_A$, kalau diperhatikan arus I_A (yang mengalir di impedansi Z) keluar dari fasa A urutannya sama dengan urutan ggl fasa A (positif) sehingga impedansi urutan positif (Z_1), sementara I_B yang mengalir kembali ke sumber (lewat impedansi Z di fasa B) terlihat melawan urutan ggl yang dibangkitkan di fasa B (negative), sehingga dikatakan bahwa impedansi yang menghambat aliran arus di fasa B disebut dengan impedansi urutan negative (Z_2 , impedansi yang melawan urutan ggl yang dibangkitkan di fasa B), dari gambar 2.5 direpresentasikan ke gambar 2.6 saat fasa A dan fasa B terhubung, terbentuk vector antara arus urutan positif dan negative di fasa A dan fasa B, dimana urutan positif di fasa A akan berbeda sudut 120° , dengan urutan di fasa B begitu juga untuk urutan negatifnya.



Gambar 2.6 Vektor Arus Urutan Positif dan Negatif

Sumber: Pusdiklat PT. PLN (Persero), 2015

Hubungan impedansi $Z_1 + Z_2$ didalam rangkaian diatas adalah seri, sehingga besarnya impedansi yang menghubungkan antara fasa A dan B adalah sebesar $Z_1 + Z_2$. Kalau impedansi Z_1 yang tersambung di fasa A dan Z_2 yang tersambung di fasa B. merupakan impedansi didalam jaringan dan diujung impedansi itu dihubungkan langsung, maka terbentuklah suatu sistem tiga fasa yang sedang mengalami gangguan hubung singkat dua fasa.

Dengan berpedoman seperti uraian diatas, maka arus gangguan dua fasa data dihitung dengan menggunakan rumus tersebut yaitu:

$$I_{2 \text{ Fasa}} = \frac{V_{Ph-Ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (2.12)$$

Dimana:

$I_{2 \text{ Fasa}}$ = Arus gangguan 2 fasa (A)

V_{Ph-Ph} = Tegangan Fasa-Fasa 20 Kv = 20.000 V

$Z_{1eq} = Z_{2eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif

Impedansi Z_1 dan Z_2 adalah impedansi urutan positif dan impedansi urutan negative dari seluruh impedansi masing-masing urutan didalam sistem, baik yang tersambung

seri dan atau parallel yang disederhanakan menjadi impedansi ekivalen urutan positif dan impedansi ekivalen urutan negative.

Jika masing-masing Z_1 dan Z_2 memiliki besaran nilai yang sama, maka:

$$I_{2 \text{ Fasa}} = \frac{V_{Ph-Ph}}{2 * Z_{1eq}} \quad (2.13)$$

2.6 Penghantar

Kawat penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan arus listrik pada sistem saluran udara dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban (*load center*), baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara didasarkan pada besarnya beban yang dilayani, semakin luas beban yang dilayani maka semakin besar ukuran penampang kawat penghantar yang digunakan, dengan penampang kawat yang besar akan membuat tahanan kawat menjadi kecil, agar tak terjadi kehilangan daya pada jaringan dan daya guna (efisiensi) penyaluran tetap tinggi, diperlukan tegangan yang tinggi, dengan demikian besarnya penampang kawat penghantar tidak mempengaruhi atau mengurangi penyaluran tenaga listrik.

Penampang kawat yang besar akan berdampak pada kenaikan harga peralatan, oleh sebab itu pemilihan kawat penghantar diperhitungkan seekonomis mungkin dengan konduktivitas dan kekuatan tarik yang tinggi, serta dengan beban yang rendah tentunya, oleh karena itu untuk jaringan tegangan tinggi maupun tegangan rendah lebih banyak menggunakan kawat penghantar aluminium yang mempunyai faktor-faktor yang memenuhi syarat sebagai kawat penghantar. (Adha, 2017)

2.6.1 Klasifikasi Penghantar

Penghantar mempunyai banyak sekali jenis atau macam-macamnya, baik berdasarkan bahan kawat maupun bentuk kawat. Klasifikasi tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut: (Adha, 2017)

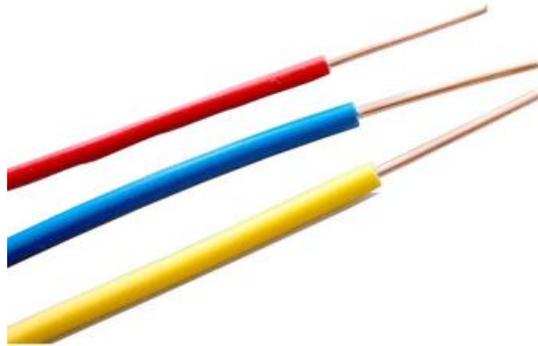
2.6.1.1 Berdasarkan Bahan Kawat

Bahan-bahan kawat penghantar untuk jaringan tenaga listrik biasanya dipilih dari logam-logam yang mempunyai konduktivitas yang besar, keras dan mempunyai kekuatan tarik (*tensile strenght*) yang besar, serta memiliki berat jenis yang rendah, juga logam yang tahan akan pengaruh proses kimia dan perubahan suhu serta mempunyai titik cair yang lebih tinggi, untuk memenuhi syarat-syarat tersebut, kawat penghantar hendaknya dipilih suatu logam campuran (alloy), yang merupakan percampuran dari beberapa logam yang dipadukan menjadi satu logam, dari hasil campuran ini didapatkan suatu kawat penghantar dengan kekuatan tarik dan konduktivitas yang tinggi. Logam campuran yang banyak digunakan untuk jaringan distribusi adalah kawat tembaga campuran (copper alloy) atau kawat aluminium campuran (aluminium alloy), karena faktor ekonomis, saat ini lebih banyak menggunakan kawat aluminium campuran untuk jaringan distribusi, sedangkan kawat lain seperti kawat tembaga, kawat tembaga campuran, atau kawat aluminium berinti baja tidak banyak digunakan.

1. Kawat Tembaga

Tembaga murni merupakan logam liat berwarna kemerah merahan, yang mempunyai tahanan jenis 0,0175 dengan berat jenis 8,9 dan titik cair sampai 1083° C, lebih tinggi dari kawat aluminium. Kawat tembaga ini mempunyai

konduktivitas dan daya hantar yang tinggi, pada mulanya kawat tembaga ini banyak dipakai untuk penghantar jaringan, tetapi bila dibandingkan dengan kawat aluminium untuk tahanan (resistansi) yang sama, kawat tembaga lebih berat sehingga harganya akan lebih mahal, dengan berat yang sama, kawat aluminium mempunyai diameter yang lebih besar dan lebih panjang dibandingkan kawat tembaga dan pada masa sekarang cenderung kawat penghantar jaringan digunakan dari logam aluminium.

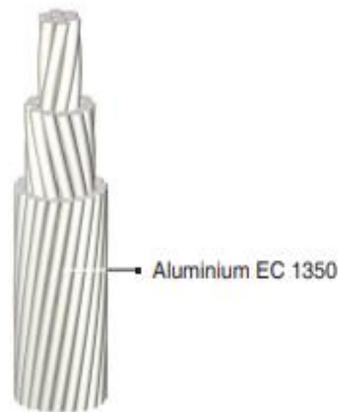


Gambar 2.7 Kawat Tembaga
Sumber: Banuhermawan, 2016

2. Kawat Aluminium

Aluminium merupakan suatu logam yang sangat ringan, beratnya sepertiga dari tembaga, dan mempunyai tahanan jenis tiga kali dari tembaga. Sifat logam aluminium ini mudah dibengkok-bengkokkan karena lunak, oleh karena itu kekuatan tarik dari kawat aluminium lebih rendah daripada kawat tembaga, yaitu setengah dari kekuatan tarik dari kawat tembaga, untuk itu kawat aluminium hanya dapat dipakai pada gawang (span) yang pendek, sedangkan untuk gawang yang panjang dapat digunakan kawat aluminium

yang dipilin menjadi satu dengan logam yang sejenis maupun yang tidak sejenis, agar mempunyai kekutan tarik yang lebih tinggi, maka dari itu kawat aluminium baik sekali digunakan sebagai kawat penghantar jaringan. Kelemahan pada kawat aluminium ini tidak tahan akan pengaruh suhu, sehingga pada saat cuaca dingin renggangan kawat akan menjadi kendor, agar kekendoran renggangan kawat diperkecil, biasanya dipakai kawat aluminium campuran (*alloy aluminium wire*) pada gawang-gawang yang panjang. Selain itu kawat aluminium tidak mudah dipatri atau disolder maupun di las dan tidak tahan akan air yang bergaram, untuk itu diperlukan suatu lapisan dari logam lain sebagai pelindung, juga kawat aluminium ini mudah terbakar, sehingga apabila terjadi hubung singkat (*short circuit*) akan cepat putus, karena itu kawat aluminium ini banyak digunakan untuk jaringan distribusi sekunder maupun primer yang sedikit sekali mengalami gangguan dari luar, sedangkan untuk jaringan transmisi kawat yang digunakan adalah kawat aluminium campuran dengan diperkuat oleh baja (*aluminium conductor steel reinforced*) atau (*aluminium clad steel*).



Gambar 2.8 Kawat Aluminium
Sumber: Kabel Metal Indonesia, 2020

3. Kawat Logam Campuran

Kawat logam campuran merupakan kawat penghantar yang terdiri dari pencampuran beberapa logam tertentu yang sejenis agar mendapatkan sifat-sifat tertentu dari hasil pencampuran tersebut, dimana di dalam pencampuran tersebut sifat-sifat logam murni yang baik untuk kawat penghantar dipertahankan sesuai dengan aslinya, hanya saja pencampuran ini khusus untuk menghilangkan kelemahan-kelemahan dari logam tersebut. Jenis yang banyak digunakan untuk kawat penghantar logam campuran ini adalah kawat tembaga campuran (*copper alloy*) dan kawat aluminium campuran (*alloy aluminium*). Kawat tembaga campuran sedikit ringan dari kawat tembaga murni, sehingga harganya lebih murah. Kekuatan tarik kawat tembaga campuran ini lebih tinggi, sehingga dapat digunakan untuk gawang yang panjang, sedangkan kawat aluminium campuran mempunyai kekuatan mekanis yang lebih tinggi dari kawat aluminium murni, sehingga banyak dipakai pada gawang-gawang yang lebih lebar, juga konduktivitasnya akan

lebih besar serta mempunyai daya tahan yang lebih tinggi terhadap perubahan suhu. yang mempunyai tahanan jenis 0,0175 dengan berat jenis 8,9 dan titik cair sampai 1083°C , lebih tinggi dari kawat aluminium.



Gambar 2.9 Kawat Logam Campuran

Sumber: Iwan, 2020

4. Kawat Logam Paduan

Kawat logam paduan merupakan kawat penghantar yang terbuat dari dua atau lebih logam yang dipadukan sehingga memiliki kekuatan mekanis dan konduktivitas yang tinggi. Tujuan dari perpaduan antara logam-logam tersebut digunakan untuk merubah atau menghilangkan kekurangan-kekurangan yang terdapat pada kawat-kawat penghantar dari logam murninya. Kawat logam paduan ini yang banyak digunakan adalah kawat baja yang berlapis dengan tembaga maupun aluminium, karena kawat baja merupakan penghantar yang memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari kawat aluminium maupun kawat tembaga, sehingga banyak digunakan untuk gawang-gawang yang lebar, tetapi kawat tembaga ini memiliki konduktivitas yang rendah, oleh sebab itu diperlukan suatu lapisan logam yang mempunyai konduktivitas yang tinggi, antara lain kawat tembaga dan aluminium, selain

itu dapat digunakan untuk melindungi kulit kawat logam paduan dari bahaya karat atau korosi. Jenis kawat logam paduan ini antara lain kawat baja berlapis tembaga (*copper clad steel*) dan kawat baja berlapis aluminium (*aluminium clad steel*). Kawat baja berlapis tembaga mempunyai kekuatan mekanis yang besar dan dapat dipakai untuk gawang yang lebih lebar, sedangkan kawat baja berlapis aluminium mempunyai kekuatan mekanis lebih ringan dari kawat baja berlapis tembaga, tetapi konduktivitasnya lebih kecil, oleh karena itu banyak digunakan hanya untuk gawang-gawang yang tidak terlalu lebar. logam liat berwarna kemerah-merahan, yang mempunyai tahanan jenis 0,0175 dengan berat jenis 8,9 dan titik cair sampai 1083° C, lebih tinggi dari kawat aluminium.



Gambar 2.10 Kawat Logam Paduan

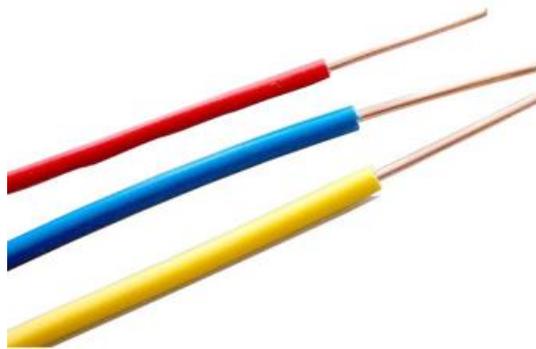
Sumber: Iwan, 2020

2.6.1.2 Berdasarkan Bentuk Kawat

Dilihat dari bentuknya kawat pengantar dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu: jenis kawat padat (*solid wire*), jenis kawat berlilit (*stranded wire*), dan jenis kawat berongga (*hallow wire*).

1. Kawat Padat

Kawat padat merupakan kawat tunggal yang berpenampang bulat dan banyak dibuat dalam ukuran yang kecil, karena kawat padat yang berpenampang besar akan kaku dan kokoh sehingga sukar dibengkokkan dan tidak fleksibel, oleh karena itu banyak sekali kerugian-kerugian yang dimiliki bila dipakai kawat padat tersebut, terutama apabila terjadi kawat terputus maupun bila terjadi proses pengkaratan pada kawat, dan kawat padat ini mempunyai kekuatan tarik yang rendah, sehingga tidak ekonomis dalam penggunaannya. Biasanya kawat padat ini digunakan untuk jaringan distribusi sekunder atau jaringan pelayanan (*service*) ke konsumen, serta untuk jaringan telepon maupun instalasi rumah dan gedung-gedung. Walaupun digunakan untuk jaringan distribusi tegangan rendah, kawat ini hanya untuk gawang-gawang yang pendek. Penggunaan kawat padat ini sudah mulai dihindari pemakaiannya, selain itu tidak ekonomis dalam pendistribusian tenaga listrik akan mengalami hambatan-hambatan bila terjadi kawat putus, dan gejala-gejala listrik lainnya.



Gambar 2.11 Kawat Padat
Sumber: Banuhermawan, 2016

2. Kawat Berlilit

Kawat berlilit merupakan sejumlah kawat padat yang diproses dengan cara dipilin secara berlapis-lapis terkonsentris membentuk lingkaran dalam suatu lilitan dengan penampang yang sama. Salahsatu kawat yang terdapat ditengah sebagai pusat kawat tidak ikut dipilin, oleh karena itu kawat berlilit akan memiliki ukuran yang besar, lebih kaku dan mempunyai kekuatan mekanis yang tinggi serta mudah lentur. Jenis kawat yang dipilin ini biasanya tidak hanya terdiri dari satu jenis kawat, untuk meningkatkan sifat-sifat kawat berlilit ini digunakan kawat yang terdiri dari beberapa macam kawat. Kombinasi dari beberapa kawat penghantar lain disesuaikan dengan penggunaan untuk jaringan tenaga listrik pada tegangan yang dipakai. Semakin tinggi tegangan suatu sistem makin disesuaikan kombinasi kawat logam tersebut tanpa meninggalkan sifat logam itu sebagai kawat penghantar. Kawat berlilit yang dikombinasikan ini umumnya digunakan hanya untuk saluran transmisi tegangan tinggi maupun untuk saluran tegangan ekstra tinggi (*extra high voltage*) dan saluran tegangan ultra tinggi (*ultra high voltage*) untuk gawang-gawang yang lebar. Jumlah serat kawat dalam kawat penghantar tersebut ditentukan oleh banyaknya lapisan.

pada penghantar Jumlah serat kawat biasanya terdiri dari 7, 19, 37, 61, 71, dan 127 berkas/serat. Untuk jaringan distribusi pada umumnya dipakai 7 berkas/serat kawat penghantar, dimana satu kawat sebagai kawat pusat yang berada ditengah sedangkan 6 berkas/serat kawat melilitinya. Kawat berlilit ini selain menguntungkan dari segi penggunaannya juga sangat baik dari

segi keamanan dan pemeliharaannya dibandingkan dengan kawat padat. Jenis kawat berlilit ini adalah kawat tembaga berlilit (*standed copper conductor*), kawat aluminium berlilit (*standed aluminium conductor*), kawat aluminium campuran berlilit, dan kawat tembaga campuran berlilit, dan sebagainya, sedangkan kawat berlilit yang menggunakan dua kawat sebagai kombinasi adalah kawat *aluminium conductor steel reinforced* (ACSR) dan kawat *aluminium conductor alloy reinforced* (ACAR) yang merupakan kombinasi kawat aluminium dengan kawat baja atau kawat campuran (*alloy*), untuk jaringan distribusi yang banyak digunakan adalah kawat aluminium berlilit atau kawat aluminium campuran berlilit. Perbaikan mutu kawat aluminium ini akan menghasilkan kawat tarikan keras (*hard drawn*), kekuatan mekanis tinggi dan beratnya lebih ringan, walaupun konduktivitasnya agak rendah dari kawat tembaga.



Gambar 2.12 Kawat Berlilit
Sumber: Johan Hardja, 2017

3. Kawat Berongga

Kawat berongga merupakan kawat yang diproses dengan cara dipilin membentuk suatu lingkaran dimana ditengah kawat ini tidak ditempatkan satu kawat pun, sehingga merupakan rongga yang kemudian ditunjang oleh sebuah batang (*I beam*) atau sebuah segmen berbentuk cincin. Kawat berongga ini jarang sekali digunakan untuk jaringan distribusi, selain tidak ekonomis dan juga sangat berat. Biasanya digunakan pada gardu induk sebagai rel penghubung dikarenakan kokoh dan ukurannya besar, kawat ini juga mempunyai kekuatan mekanis yang sngat besar. Bentuk kawat berongga ini direncanakan untuk menghindarkan terjadinya pangaruh kulit (*skin effect*) pada kawat penghantar.



Gambar 2.13 Kawat Berongga
Sumber: Banuhermawan, 2016

2.7 Kawat Penghantar AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)

AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) merupakan suatu jenis kawat penghantar udara yang digunakan pada saluran transmisi tegangan menengah pada gardu induk paya geli. AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) yaitu suatu jenis

kawat penghantar yang terdiri dari pencampuran beberapa logam tertentu yang sejenis agar mendapatkan sifat-sifat tertentu dari hasil pencampuran tersebut, dimana di dalam pencampuran tersebut sifat-sifat logam murni yang baik untuk kawat penghantar dipertahankan sesuai dengan aslinya, hanya saja pencampuran ini khusus untuk menghilangkan kelemahan-kelemahan dari logam tersebut. Kawat penghantar ini terbuat dari kawat-kawat aluminium campuran yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti. Kawat jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50-4,50 mm dengan bentuk fisiknya berurat banyak. Berikut gambar 2.14 kawat penghantar jenis AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dan gambar 2.15 informasi tentang rating factor untuk susunan kabel AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*).



Gambar 2.14 Kawat Penghantar AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)
Sumber: Catalogue Sutrado Kabel, 2020

AAAC								
PHYSICAL PROPERTIES					ELECTRICAL PROPERTIES			
Cross Sectional Area		Number and Diameter Wire	Approx. Overall Diameter	Approx. Net Weight	Calculated Breaking Force	DC Resistance at 20°C	Current Carrying Capacity	Standard Length
Nominal Size	Actual Size							
mm ²	mm ²	pcs/mm	mm	kg/km	kg	ohm/km	A	m
16	16.84	7/1.75	5.25	45	480	1.955	105	500
25	27.83	7/2.25	6.75	76	790	1.183	135	500
35	34.36	7/2.50	7.50	94	980	0.958	170	500
50	49.48	7/3.00	9.00	135	1,410	0.665	210	500
50	48.70	19/1.75	8.75	126	1,300	0.724	210	500
55	58.07	7/3.75	10.75	160	1,655	0.567	240	500
70	75.55	19/2.25	11.25	208	2,140	0.448	255	1,000
95	93.77	19/2.50	12.50	257	2,670	0.355	320	1,000
100	99.30	7/4.25	12.75	272	2,830	0.332	325	1,000
120	112.65	19/2.75	13.75	310	3,220	0.293	355	1,000
150	157.62	19/3.25	16.25	431	4,450	0.210	425	1,000
150	147.12	37/2.25	15.75	406	4,190	0.225	425	1,000
185	181.60	37/2.50	17.50	501	5,175	0.183	480	1,000
240	238.76	19/4.00	20.00	657	6,805	0.127	585	1,000
240	242.54	61/2.25	20.75	670	6,910	0.149	585	1,000
310	299.44	61/2.50	22.50	877	8,540	0.111	670	1,000
410	431.18	61/3.00	27.00	1,141	12,490	0.077	810	1,000
500	506.04	61/3.75	29.75	1,598	16,720	0.066	950	1,000
630	643.24	91/3.00	33.00	1,782	18,330	0.052	1,065	1,000
800	754.92	91/3.25	35.75	2,091	21,515	0.044	1,225	1,000
1,000	1,005.07	91/3.75	41.25	2,784	28,640	0.033	1,450	1,000

Gambar 2.15 Rating Factor AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Sumber: Catalogue Sutrado Kabel, 2020

2.8 Perangkat Lunak Matlab

MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory*. MATLAB dipandang sebagai salah satu perangkat lunak favorit. MATLAB dapat dipakai secara interkatif dan memiliki fungsi-fungsi yang sangat memudahkan pekerjaan pemrograman, dalam aspek komputasi, MATLAB merupakan perangkat lunak yang sangat tangguh yang terlibat dalam permasalahan-permasalahan sains dan keteknikan. MATLAB juga merupakan sebuah bahasa dalam petunjuk kerja yang tinggi untuk komputasi teknik. (Dr.Eng.R.H.Sianipar, 2017)

Bagian-bagian yang penting di dalam program matlab yaitu:

- Matematika dan komputasi.
- Pengembangan algoritma.
- Analisa data, eksplorasi dan visualisasi.

- d. Pengetahuan dan grafik teknik.
- e. Modeling, simulasi dan pembuatan prototype.
- f. Pengembangan aplikasi.

Para peneliti tingkat universitas sudah banyak menggunakan Matlab sejak lama. Matlab memiliki suatu instruksional standard dalam mengenal dan mendalami lebih lanjut tentang materi-materi matematika, teknologi dan ilmu pengetahuan di aplikasi matlab. Aplikasi matlab memiliki fitur-fitur aplikasi khusus yang disebut dengan *toolboxes*.

Toolboxes merupakan suatu tempat dimana pengguna bisa mengkoreksi secara komprehensif dari fungsi-fungsi Matlab (M-Files) serta menambah fasilitas Matlab untuk menyelesaikan beberapa bagian permasalahan secara khusus. Bagian-bagian yang terdapat di dalam *toolboxes* terdiri dari *signal processing*, *control system*, *neural networking*, *fuzzy logic*, *wavelets*, *simulation*, *power system block sheet* dan yang lainnya.

Sistem Matlab memiliki beberapa bagian utama, yaitu:

- a. Library Matlab untuk fungsi matematika

Merupakan koleksi algoritma komputasi yang diatur dalam fungsi-fungsi dasar seperti *cosine*, *sum*, *sine and complex arithmetic*, dan yang lebih kompleks lagi seperti invers matrik, eigen values dan fungsi Bessel serta FFT (*Fast Fourier Transforms*).

- b. Pengembangan

Merupakan sekumpulan dari perangkat dan fasilitas yang membantu pemakai untuk menggunakan fungsi-fungsi dan file dalam Matlab, dimana

pengembangan terdiri dari perangkat GUI, termasuk Matlab desktop dan *Command Windows*, *Hystory*, dan *browsers* untuk menampilkan *help*, *the workspace*, *files*.

c. Bahasa MATLAB

Merupakan bahasa tingkat tinggi berbasis matriks dan array dengan pernyataan kendali aliran, fungsi, struktur data, input/output dan fitur OOP (*Object-Oriented Programming*), dalam hal ini program kelihatan kecil untuk mengelola secara cepat keseluruhan proses dan membuat program kelihatan besar untuk persoalan yang benar-bener kompleks dan benar.

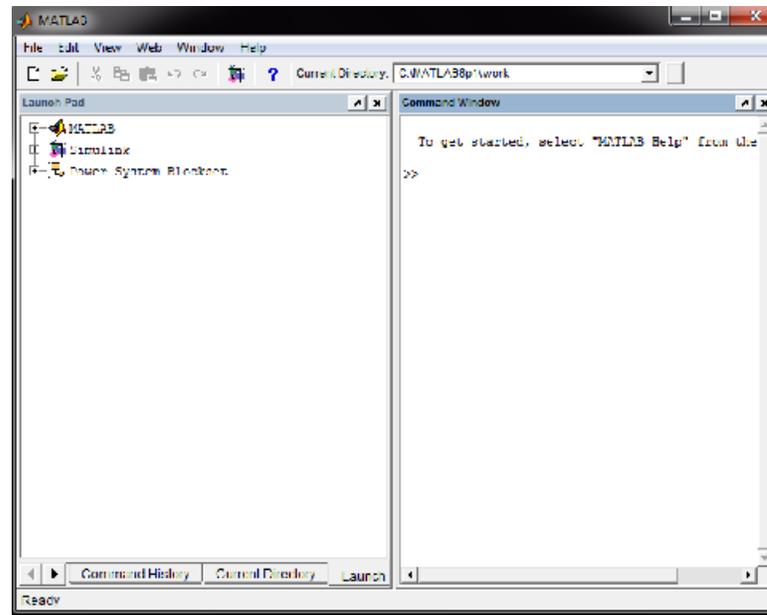
d. Penanganan Grafik pada MATLAB

MATLAB terdapat perintah-perintah tingkat tinggi untuk mengelolah segala grafik 2D dan 3D baik untuk visualisasi, *image processing*, animasi, dan presentasi grafis dan juga terdiri dari perintah dalam tingkat rendah yang memungkinkan pemakai secara *full* membuat sendiri garfis-grafis yang menarik dan membangun GUI yang kompleks untuk program aplikasinya sendiri.

2.9 Memulai Program Matlab

Platform *Microsoft Windows*, untuk awal menjalankan aplikasi Matlab dapat dilakukan dengan *double-click* pada shortcut icon Matlab pada desktop windows. Lalu jika pada platform UNIX, untuk memulai program Matlab, dapat dituliskan matlab pada prompt sehingga akan terbuka desktop dari MATLAB, kemudian pemakai dapat mengubah *directory* (folder) aktif dimana file-file kerja yang sudah dilakukan lalu ditempatkan. (Gunaidi Away, 2006)

Penulisan perintah interaktif dapat dilakukan pada jendela perintah (*command windows*) dan jika ingin mengganti *directory* dapat dilakukan pada *text-box current directory*, serta jika ingin mengetahui *toolboxes* apa saja yang ada di Matlab tersebut serta menggunakannya, dapat dilakukan pada jendela *Launch Pad*.



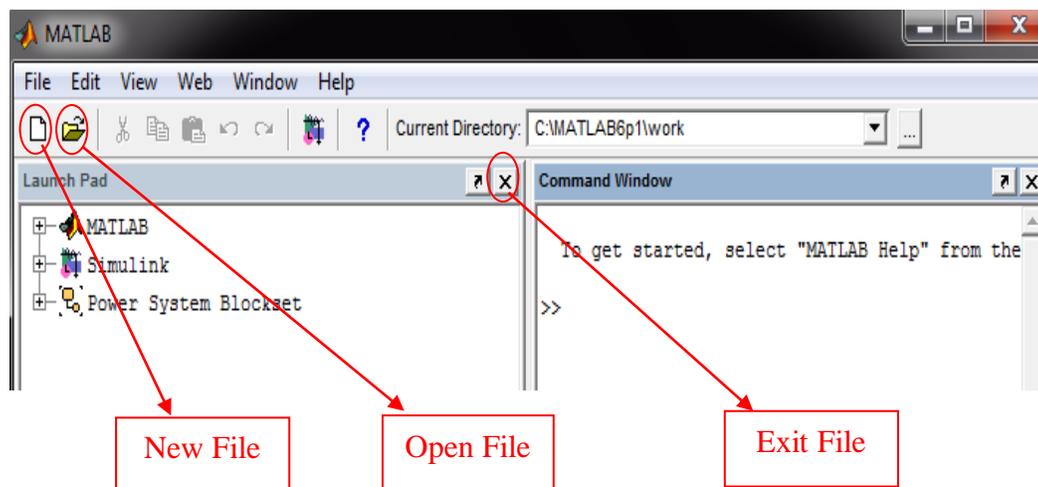
Gambar 2.16 Desktop MATLAB (Command Windows)

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

Salahsatu file yang penting didalam icon file pada matlab adalah M-File, file ini merupakan file program yang dapat dijalankan dalam lingkungan Matlab, karena itulah dalam M-File, terisi perintah-perintah Matlab yang secara kesatuan menjalankan suatu tugas tertentu. Program ini berguna untuk menggambar fungsi kuadrat m yang disimpan dalam suatu M-File, misalnya dengan nama kuadrat m , tinggal menuliskan kuadrat m pada command windows, sehingga file itu dapat dijalankan.

Adapun langkah-langkah untuk membuat M-File baru pada matlab dengan cara memilih bagian *icon new file* pada menu yang ada dibagian kiri atas layar, untuk

membuka M-File tersebut pengguna dapat memilih menu open file pada menu desktop Matlab disudut kiri atas layar, sedangkan untuk mengakhiri penggunaan Matlab, pilih menu Exit pada Matlab pada menu File dalam desktop, atau dapat juga menuliskan quit pada *Command Windows*. (Gunaidi Away, 2006) Sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.8 dibawah ini.



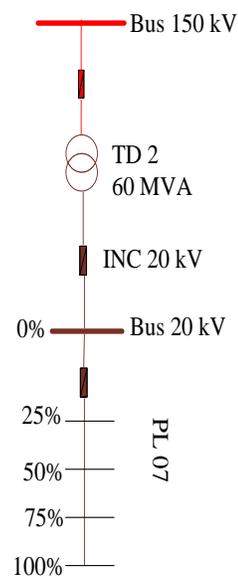
Gambar 2.17 Tampilan Menu Pada Desktop MATLAB

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

2.10 *Single Line Diagram (SLD) Gardu Induk Paya Geli*

Diagram satu garis (*single line diagram*) merupakan diagram satu garis garis sistem tenaga listrik yang sederhana, yang menunjukkan penggambaran dari penyelesaian tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan rangkaian satu fasa dimana jalur netralnya sebagai jalan baik. Penggambaran single line pada gardu induk paya geli bertujuan untuk memberikan keterangan-keterangan penting tentang sistem tenaga listrik secara singkat. Gardu Induk Paya Geli melayani sebanyak 38 Penyulang dimana terdiri dari 4 Incoming dan 34 Penyulang keluar. Salahsatu incoming di Gardu Induk Paya Geli ialah Incoming TD 2 yang melayani sebanyak 8 penyulang

keluar, salahsatunya ialah penyulang PL 7. Incoming TD 2 di Gardu Induk Paya Geli di supply dari Trafo Daya 2 (TD 2) yang berkapasitas 60 MVA, untuk memperoleh sistem proteksi yang handal untuk memproteksi peralatan-peralatan listrik lainnya dari arus gangguan singkat hubung singkat maka dibutuhkan penyetelan relai yang baik dan tepat. Berikut gambar diagram satu garis pada transformator daya 2 di gardu induk paya geli.



Gambar 2.18 Diagram Satu Garis Pada TD 2 di Gardu Induk Paya Geli
Sumber: PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Geli, 2020

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

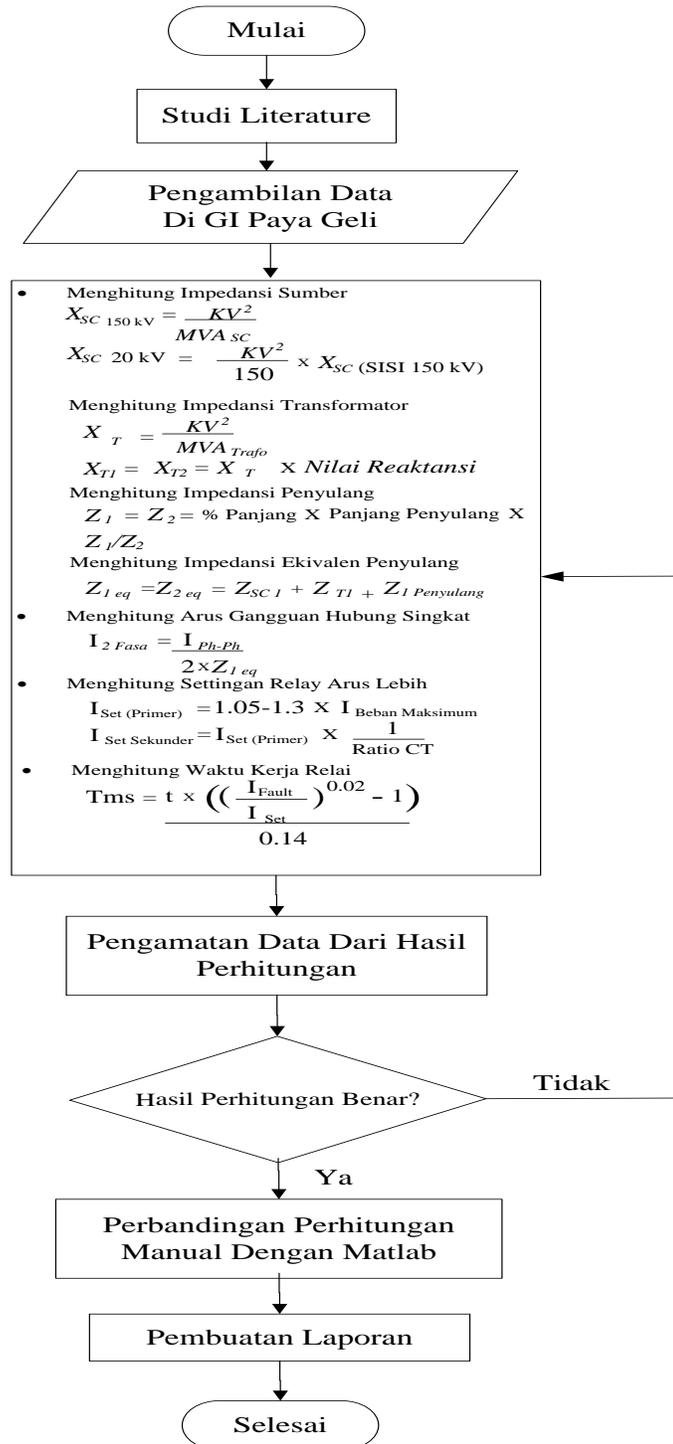
Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Geli, yang beralamat di jalan Medan-Binjai Km.10 Paya Geli, Medan Binjai, Sumatera Utara.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literature, yaitu mengumpulkan referensi-referensi yang berkaitan dengan pokok permasalahan pada skripsi ini.
2. Pengumpulan data, yaitu data settingan relai proteksi, impedansi, kapasitas trafo dan *current transformer* pada trafo.
3. Pada tahap perhitungan penulis menggunakan metode rangkaian listrik untuk menghitung arus gangguan hubung singkat.
4. Penulis melakukan pengamatan data secara langsung terhadap objek yang telah dipilih yang menyangkut dengan pembahasan dan pengambilan keputusan.
5. Penulis membandingkan hasil perhitungan manual yang telah didapat dengan hasil perhitungan di *software* Matlab.

3.3 Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian
 Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

3.4 Deskripsi *Flowchart*

1. Studi Literature

Studi literature penulis mencari berbagai sumber yang berkaitan dengan tugas akhir mulai dari jurnal-jurnal, buku, artikel laporan penelitian dan situs-situs di internet.

2. Pengambilan Data di Gardu Induk Paya Geli (150 Kv)

Tahap pengambilan data penulis melakukan penelitian langsung ke lapangan dengan mengunjungi gardu induk paya geli. Penulis mencari dan mengumpulkan data yang diperlukan dalam perhitungan setting relai dan arus gangguan antar fasa serta penulis langsung berinteraksi dengan karyawan atau operator yang ada di gardu induk paya geli dengan cara bertanya mengenai keadaan relai proteksi yaitu relai OCR pada transformator daya dan meminta data tentang transformator daya serta setting relai proteksi tersebut.

3. Perhitungan

Tahap perhitungan dimana setelah mendapat data mengenai keadaan relai dan data transformator daya, penulis melakukan perhitungan dengan mencari impedansi sumber, lalu impedansi pada transformator dari impedansi dasar di trafo hingga nilai reaktansi di trafo pada urutan positif dan urutan negative, lalu penulis mencari perhitungan impedansi pada penyulang dan impedansi ekivalen pada penyulang, lalu penulis menghitung arus gangguan hubung singkat antar fasa, lalu penulis menghitung setting relai arus lebih dan menghitung waktu kerja relai.

4. Pengamatan Data dari Hasil Perhitungan

Tahap ini yaitu penulis mengamati data yang telah dihitung dan data sesuai yang ada di lapangan dan untuk mengetahui dari hasil perhitungan yang penulis buat dengan data lapangan, maka penulis melakukan konsultasi kepada pembimbing skripsi dengan menyertakan rujukan yang menyatakan bahwa relai OCR pada transformator daya dapat bekerja dengan baik ketika terjadi gangguan dan relai bekerja sesuai dengan hasil dari penulis dapatkan.

5. Membandingkan Hasil Perhitungan Manual dengan Perhitungan Simulink Matlab

Setelah data perhitungan manual di dapat, penulis melakukan perbandingan perhitungan simulink dengan aplikasi Matlab sebagai verifikasi perhitungan.

6. Pembuatan Laporan

Setelah semua hasil yang telah dihitung di dapat, penulis melakukan pembuatan laporan dengan mencantumkan kesimpulan dan saran untuk melengkapi skripsi penulis.

3.5 Karakteristik Gardu Induk Paya Geli

1. Data transformator daya di gardu induk paya geli

Transformator daya 60 MVA di gardu induk paya geli dengan merek unindo dengan tipe P632 serta tegangan 150/20 KV mempunyai impedansi sebesar 12,41% dengan ratio CT yang dimiliki sebesar 300/5 dengan arus nominal yang dimiliki 1732,1 dimana hubungan belitan pada trafo daya ini yaitu YNyn0(d).

2. Data relai proteksi di GI Paya Geli

Relai proteksi di gardu induk paya geli dengan merek areva dan tipe P121 mempunyai ratio CT sebesar 300/1.

3. Data relai proteksi incoming 20 KV di GI Paya Geli

Relai proteksi yang terletak di incoming dengan merek micom dan tipe P123 memiliki ratio CT sebesar 2000/5 dengan arus maksimal yang dilalui nya sebesar 2000 ampere.

4. Data Relai Penyulang PL 7

Relai proteksi yang terletak di sisi penyulang yaitu penyulang PL 7 dengan merek micom dan tipe P123 serta ratio CT yang terpasang sebesar 800/5 memiliki arus maksimal yang dilalui nya sebesar 457 ampere.

5. Data Settingan Relai Proteksi

Tabel 3.1 Data Settingan Relai Pada Transformator Daya 2 Di Gardu Induk Paya Geli

No.	Nama Bay TD 2	Data Setting					
		OCR (Td)			OCR(Inst)		
		I Set (A)	Time (ms)	Kurva	I Set (A)	Time (ms)	Kurva
1.	150 kV	276	0.37	SIT	0	0	DEF
2.	Inc 20 kV	2000	0.25	SIT	0	0	DEF
3.	Feeder PL 7	480	0.125	SIT	3400	0	DEF
4.	Feeder PL 8	480	0.125	SIT	3400	0	DEF

Sumber: PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Geli, 2020

6. Data Kawat Penghantar

a. Data Kawat Penghantar Incoming GI Paya Geli

Nama Penyulang : Incoming TD 2

Jenis Penghantar : XLPE

Ukuran : 240 mm²

Panjang Penyulang : 60 Meter

b. Data Kawat Penghantar Penyulang PL 7 GI Paya Geli

Nama Penyulang : Penyulang PL 7

Jenis Penghantar : AAAC

Ukuran : 150 mm²

Panjang Penyulang : 18.288 Km

7. Impedansi Jenis Penghantar

Tabel 3.2 Impedansi Jenis Penghantar

Jenis Penghantar	Luas Penampang (mm ²)	Impedansi Positif dan Negative (Z1 dan Z2)	Impedansi Urutan Nol (Z0)
XLPE	240	0.125 + j0.09	0.2750 + j0.2900
AAAC	150	0.216 + j0.33	0.3631 + j1.6180

Sumber: SPLN 64, 1985

BAB 4

PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan sistem tenaga listrik terutama pada proteksi *Over Current Relay* (OCR), yaitu:

1. Gangguan hubung singkat antar fasa atau dua fasa

Penulis menghitung gangguan hubung singkat antar fasa berdasarkan besarnya nilai arus gangguan hubung singkat serta berdasarkan panjang penyulang yang diasumsikan terjadi di 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari panjang penyulang.

4.1.1 Menghitung Impedansi Sumber

Penulis awalnya menghitung MVA *short circuit* di sisi trafo sebesar 1039,2 lalu penulis menghitung impedansi sumber (X_{sc}) yaitu:

$$\begin{aligned} X_{sc} \text{ (sisi 150 KV)} &= \frac{KV^2}{MVA} \\ &= \frac{150^2}{1039,2} \\ &= 21,651 \Omega \end{aligned}$$

Impedansi di sisi 20 KV yaitu:

$$\begin{aligned} X_{sc} \text{ (sisi 20 KV)} &= \frac{KV^2}{MVA} \times X_{sc} \text{ (Sisi 150 KV)} \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 21,651 \Omega \\ &= 0,3849 \Omega \end{aligned}$$

4.1.2 Menghitung Reaktansi Trafo

Penulis awalnya mendapatkan nilai reaktansi trafo daya 2 (TD2) di Gardu Induk Paya Geli sebesar 12,41% lalu penulis menghitung reaktansi urutan positif dan negative dalam satuan ohm, maka terlebih dahulu penulis menghitung besar nilai ohm pada 100% dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_T (100\%) &= \frac{KV^2}{MVA \text{ TRAFO}} \\ &= \frac{20^2}{60000} \\ &= 6,67 \Omega \end{aligned}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga

1. Reaktansi urutan positif dan negative ($X_{T1} = X_{T2}$)

$$\begin{aligned} X_{T1} (100\%) &= 12,41\% \times 6,67 \Omega \\ &= 0,827747 \Omega \end{aligned}$$

4.1.3 Menghitung Impedansi Penyulang

Berdasarkan data yang sudah didapat oleh penulis bahwa jenis penghantar yang digunakan pada incoming TD2 yaitu XLPE 240 mm² dengan panjang penyulang 60 meter dan di sisi penyulang PL 07 menggunakan jenis penghantar A3C 150 mm² dengan panjang penyulang 18,288 km

A. Incoming TD2

Dimana rumus dari impedansi yaitu:

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/km}$$

$$Z1 = Z2 \text{ (XLPE)} = (0,125 + j0,09) \text{ ohm/km}$$

Penulis menghitung impedansi urutan positif dan urutan negative untuk lokasi yang diperkirakan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dengan panjang penyulang 0.06 km, maka dapat dihitung sebagai berikut:

1. Impedansi urutan positif dan urutan negative Pada incoming

Tabel 4.1 Impedansi Urutan Positif dan Urutan Negatif

% Panjang Saluran	Impedansi Incoming Urutan Positif dan Negatif (ohm)
0%	$(0\% * 0.06) * (0.125 + j0.09) = 0$
25%	$(25\% * 0.06) * (0.125 + j0.09) = 0.1875 + j0.135$
50%	$(50\% * 0.06) * (0.125 + j0.09) = 0.375 + j0.27$
75%	$(75\% * 0.06) * (0.125 + j0.09) = 0.5625 + j0.405$
100%	$(100\% * 0.06) * (0.125 + j0.09) = 0.75 + j0.54$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.1

Tabel 4.1 yaitu penulis mencari impedansi penyulang di sisi incoming dimana awal mencari nya pertama penulis mencantumkan nilai % panjang saluran lalu mengkalikan dengan panjang kabel di sisi incoming lalu mengkalikan dengan nilai hambatan. Kedua, penulis mencantumkan nilai % panjang saluran lalu mengkalikan dengan panjang kabel di sisi incoming lalu mengkalikan dengan nilai reaktansi induktif.

B. Penyulang PL 07

Dimana rumus impedansi yaitu:

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/km}$$

$$Z1 = Z2 (A3C) = (0,216 + j0,33) \text{ ohm/km}$$

Penulis menghitung impedansi urutan positif dan urutan negative untuk lokasi yang diperkirakan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dengan panjang penyulang 18,288 km dapat dihitung sebagai berikut.

1. Impedansi urutan positif dan urutan negative Pada Penyulang

Tabel 4.2 Impedansi Urutan Positif dan Urutan Negatif

% Panjang Saluran	Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif (ohm)
0%	$((0\% * 18,288) + 0.06) * (0.216 + j0.33) = 0.1296 + j0.0198$
25%	$((25\% * 18,288) + 0.06) * (0.216 + j0.33) = 1.000512 + j1.5285$
50%	$((50\% * 18,288) + 0.06) * (0.216 + j0.33) = 1.9880 + j3.0373$
75%	$((75\% * 18,288) + 0.06) * (0.216 + j0.33) = 2.9756 + j4.5469$
100%	$((100\% * 18,288) + 0.06) * (0.216 + j0.33) = 3.9631 + j6.0548$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.2

Tabel 4.2 yaitu penulis mencari impedansi penyulang di sisi penyulang dimana awal mencari nya pertama penulis mencantumkan nilai % panjang saluran lalu mengkalikan dengan nilai panjang kabel di sisi penyulang lalu menjumlahkan dengan nilai panjang kabel di sisi incoming setelah itu mengkalikan dengan nilai hambatan. Kedua, penulis mencantumkan nilai % panjang saluran lalu mengkalikan dengan panjang kabel disisi penyulang lalu menjumlahkan dengan nilai panjang kabel di sisi incoming setelah itu mengkalikan dengan nilai reaktansi induktif.

4.1.4 Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Penulis menghitung impedansi ekuivalen jaringan dimana penulis awalnya menghitung impedansi sumber dan reaktansi trafo dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= Z_{2eq} = Z_{SC1} + Z_{T1} + Z_1 \text{ Penyulang} \\ &= j0,3849 + j0.827747 + Z_1 \text{ Penyulang} \\ &= j1,212647 + Z_1 \text{ Penyulang} \end{aligned}$$

A. Incoming TD2

1. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif Pada Incoming

Tabel 4.3 Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif

% Panjang Saluran	Impedansi Incoming Urutan Positif dan Negatif (ohm)
0%	$j1,212647 + 0 = j1,212647$
25%	$j1,212647 + 0.1875 + j0.225 = 0.1875 + j1.347$
50%	$j1,212647 + 0.375 + j0.45 = 0.375 + j1.482$
75%	$j1,212647 + 0.5625 + j0.675 = 0.5625 + j1.617$
100%	$j1,212647 + 0.75 + j0.9 = 0.75 + j1.752$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.3

Tabel 4.3 yaitu penulis mencari impedansi ekuivalen jaringan di sisi incoming dimana awal mencari nya pertama penulis mencantumkan nilai hambatan dari impedansi incoming sebelumnya lalu penulis menghitung nilai impedansi dimana sebelumnya penulis menjumlahkan terlebih dahulu nilai impedansi *short circuit* dengan nilai impedansi trafo, lalu menjumlahkan kembali dengan nilai reaktansi induktif di sisi incoming yang telah didapat sebelumnya.

B. Penyulang PL 07

1. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif Pada penyulang

Tabel 4.4 Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Urutan Negatif

% Panjang Saluran	Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif (ohm)
0%	$j1,212647 + 0.1296 + j0.198 = 0.1296 + j1.2324$
25%	$j1,212647 + 1.000512 + j1.5285 = 1.000512 + j2.741$
50%	$j1,212647 + 1.9880 + j3.0373 = 1.9880 + j4.249$
75%	$j1,212647 + 2.9756 + j4.5469 = 2.9756 + j5.758$
100%	$j1,212647 + 3.9631 + j6.0548 = 3.9631 + j7.267$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.4

Tabel 4.4 yaitu penulis mencari impedansi ekuivalen jaringan di sisi penyulang dimana awal mencari nya pertama penulis mencantumkan nilai hambatan dari impedansi penyulang sebelumnya lalu penulis menghitung nilai impedansi dimana sebelumnya penulis menjumlahkan terlebih dahulu nilai impedansi *short*

circuit dengan nilai impedansi trafo, lalu menjumlahkan kembali dengan nilai reaktansi induktif di sisi penyulang yang telah didapat sebelumnya.

4.1.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah penulis memperoleh nilai impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan yang dipilih maka penulis menghitung arus gangguan hubung singkat dengan rumus sebagai berikut:

4.1.5.1 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Atau Antar Fasa

Penulis dapat menghitung arus gangguan hubung singkat 2 fasa dengan rumus dasar sebagai berikut:

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

Dimana:

I = Arus Gangguan 2 Fasa (Ampere)

V = Tegangan Fasa-Fasa Sistem 20 KV

Z = Jumlah Impedansi urutan positif (Z_{1eq}) dan urutan negative (Z_{2eq})

Sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung oleh penulis sebagai berikut:

$$I_{2 \text{ Fasa}} = \frac{V_{Ph-Ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

$$I_{2 \text{ Fasa}} = \frac{20.000}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Karna nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ maka:

$$I_{2 \text{ Fasa}} = \frac{20.000}{2 \times Z_{1eq}}$$

Penulis menghitung nilai arus gangguan hubung singkat 2 fasa sesuai dengan lokasi gangguan atau titik gangguan yang terjadi, maka dapat dihitung sebagai berikut:

a. Incoming TD2

Tabel 4.5 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

% Panjang Saluran	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0%	$\frac{20000}{2(0 + j1,212647)} = 8246.42$
25%	$\frac{20000}{2(0.1875 + j1.347)} = 7353.01$
50%	$\frac{20000}{2(0.375 + j1.482)} = 6541.47$
75%	$\frac{20000}{2(0.5625 + j1,617)} = 5840.97$
100%	$\frac{20000}{2(0.75 + j1.752)} = 5247.19$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.5

Tabel 4.5 yaitu penulis mencari nilai arus gangguan antar fasa di sisi incoming, dimana penulis menggunakan metode rangkaian listik. Pertama penulis mengubah ke bentuk polar dari impedansi ekivalen jaringan di sisi incoming lalu penulis mengkalikan dengan nilai 2, setelah itu penulis membagikan tegangan sisi 20 kV dengan hasil akhir nilai impedansi.

b. Penyulang PL 07

Tabel 4.6 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

% Panjang Saluran	Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa
0%	$\frac{20000}{2 (0.01296 + j1.2324)} = 8113.79$
25%	$\frac{20000}{2 (1.000512 + j2.741)} = 3427.12$
50%	$\frac{20000}{2 (1.9880 + j4.249)} = 2131.70$
75%	$\frac{20000}{2 (2.9756 + j5.758)} = 1542.87$
100%	$\frac{20000}{2 (3.9631 + j7.267)} = 1208.10$

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.6

Tabel 4.6 yaitu penulis mencari nilai arus gangguan antar fasa di sisi penyulang, dimana penulis menggunakan metode rangkaian listik. Pertama penulis mengubah ke bentuk polar dari impedansi ekivalen jaringan di sisi penyulang lalu penulis mengkalikan dengan nilai 2, setelah itu penulis membagikan tegangan sisi 20 kV dengan hasil akhir nilai impedansi.

Penulis menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa yang dapat dilihat perbandingannya terhadap titik lokasi gangguan yang dinyatakan dalam persen (%) berikut ini:

a. Incoming TD2

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan I_{HS} Inc. TD2

% Panjang Saluran	Arus Gangguan Hubung Singkat (Ampere)
	2 Fasa
0	8246.42
25	7353.01
50	6541.47
75	5840.97
100	5247.19

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.7

Tabel 4.7 yaitu dimana penulis menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa di sisi incoming dari 0%-100% yang dinyatakan dalam persen (%).

b. Penyulang PL 07

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan I_{HS} Penyulang PL 07

% Panjang Saluran	Arus Gangguan Hubung Singkat (Ampere)
	2 Fasa
0	8113.79
25	3427.12
50	2131.70
75	1542.87
100	1208.10

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.8

Tabel 4.8 yaitu dimana penulis menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa di sisi penyulang dari 0% - 100% yang dinyatakan dalam persen (%).

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8 dapat dilihat bahwa titik gangguan sangat mempengaruhi nilai arus hubung singkat, karena semakin jauh titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil dan demikian sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat semakin besar. Nilai arus gangguan paling besar terdapat di titik 0% dan nilai arus gangguan hubung singkat paling kecil terdapat di titik 100%. Tujuan dari perhitungan arus gangguan hubung singkat ini ialah agar penulis dapat memprediksikan besar arus gangguan hubung singkat jika terjadi gangguan

dilapangan, selain itu penulis juga dapat menentukan nilai setting di relai proteksi yang berfungsi mengamankan daerah yang terganggu saja.

4.2 Penyetelan Relai Arus Lebih

4.2.1 Setelan Relai Arus Lebih

a. Incoming TD2

Penulis menghitung setting relai yang terpasang di incoming pada gardu induk paya geli. Penulis hitung berdasarkan arus beban maksimum, untuk relai biasanya diset $1.05-1.3 \times I$ beban maksimum.

Data yang diperoleh penulis yaitu kapasitas dari trafo yaitu sebesar 60000 KVA dengan tegangan 150/20 Kv dan impedansi trafo yaitu 12.41% serta CT yang terpasang pada trafo yaitu 2000/5, dan penulis dapat menghitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_n \text{ (Sisi 20 Kv)} &= \frac{KVA}{KV\sqrt{3}} \\
 &= \frac{60000}{20\sqrt{3}} \\
 &= 1732.05 \text{ Ampere} \\
 I_{set} \text{ (Primer)} &= 1.05 \times I_n \text{ (Sisi 20 Kv)} \\
 &= 1818.65 \\
 I_{set} \text{ (Sekunder)} &= 1818.65 \times \frac{5}{2000} \text{ Ampere} \\
 &= 4.54 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

b. Penyulang PL 07

Penulis menghitung setting relai yang terpasang di penyulang pada gardu induk paya geli. Penulis hitung berdasarkan arus beban maksimum, untuk relai biasanya diset $1.05-1.3 \times I$ beban maksimum.

Data yang diperoleh penulis yaitu data arus beban maksimal yang dilalui oleh relai tersebut sebesar 457 ampere dengan CT yang terpasang sebesar 800/5, dan penulis dapat menghitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Iset (Primer)} &= 1.05 \times 457 \text{ Ampere} \\ &= 480 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Besarnya arus di sisi sekunder yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Iset (Sekunder)} &= 480 \text{ Ampere} \times \frac{5}{800} \text{ Ampere} \\ &= 3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

c. Sisi 150 kV

Penulis menghitung settingan relai yang terpasang di sisi 150 kV pada gardu induk paya geli. Penulis hitung berdasarkan arus beban maksimum, untuk relai biasanya diset $1.05-1.3 \times I$ beban maksimum.

Data yang diperoleh penulis yaitu kapasitas dari trafo yaitu sebesar 60000 KVA dengan tegangan 150/20 Kv dan impedansi trafo yaitu 12.41% dengan ratio CT yang terpasang di trafo yaitu 300/1, dan penulis dapat menghitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{In (Sisi 150 Kv)} &= \frac{\text{KVA}}{\text{KV}\sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{150\sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$= 230.94 \text{ Ampere}$$

$$\text{Iset (Primer)} = 1.2 \times \text{In (Sisi 150 Kv)}$$

$$= 277.12$$

$$\text{Iset (Sekunder)} = 277.12 \times \frac{1}{300} \text{ Ampere}$$

$$= 0.92 \text{ Ampere}$$

4.2.2 Setelan Waktu Kerja OCR

a. Penyulang PL 07

$$\text{Tms} = \frac{t * \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{t * \left(\left(\frac{8113.79}{480} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0.3 * \left(\left(\frac{8113.79}{480} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0.124$$

$$t = \frac{0.14 * 0.124}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0.3 \text{ detik}$$

b. Incoming TD2

$$\text{Tms} = \frac{t * \left(\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{t * \left(\left(\frac{8113.79}{1818.65} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{1.2 * \left(\left(\frac{8113.79}{1818.65} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0.26$$

$$t = \frac{0.14 * 0.26}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$= 1.2 \text{ detik}$$

c. Sisi 150 kV

$$T_{ms} = \frac{t * \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{t * \left(\left(\frac{8246.42}{277.12} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= \frac{0.7 * \left(\left(\frac{8246.42}{277.12} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$= 0.35$$

$$t = \frac{0.14 * 0.35}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$= 0.7 \text{ detik}$$

4.3 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Penyulang PL 07

Pemeriksaan waktu kerja relai bertujuan untuk mengetahui kerja relai terhadap besarnya arus gangguan di tiap titik gangguan yang diasumsikan terjadi pada titik 0%, 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang.

1. Waktu kerja relai pada gangguan 2 Fasa

Penulis menghitung waktu kerja relai arus lebih untuk lokasi 0% yaitu:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}}\right)^{0,02-1}} \\
 &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{8113.79}{480}\right)^{0,02-1}} \\
 &= 0.3 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Penulis menghitung waktu kerja relai arus lebih untuk lokasi 25% yaitu:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}}\right)^{0,02-1}} \\
 &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{3427.13}{480}\right)^{0,02-1}} \\
 &= 0.43 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Penulis menghitung waktu kerja relai arus lebih untuk lokasi 50% yaitu:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{Set}}}\right)^{0,02-1}} \\
 &= \frac{0.14 \times \text{tms}}{\left(\frac{2131.70}{480}\right)^{0,02-1}} \\
 &= 0.57 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Penulis menghitung waktu kerja relai arus lebih untuk lokasi 75% yaitu:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14 \times t_{ms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times t_{ms}}{\left(\frac{1542.87}{480}\right)^{0,02} - 1} \\
 &= 0.73 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Penulis menghitung waktu kerja relai arus lebih untuk lokasi 100% yaitu:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{0.14 \times t_{ms}}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02} - 1} \\
 &= \frac{0.14 \times t_{ms}}{\left(\frac{1208.10}{480}\right)^{0,02} - 1} \\
 &= 0.93 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Waktu Kerja Relai Pada Penyulang PL 07

% Panjang Saluran	Waktu Kerja Relai (detik)
	2 Fasa
0	0.3 detik
25	0.43 detik
50	0.57 detik
75	0.73 detik
100	0.93 detik

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.9

Tabel 4.9 yaitu penulis menunjukkan hasil perhitungan waktu kerja relai di sisi penyulang dari 0% - 100% yang dinyatakan dalam persen (%).

Hasil perhitungan di atas dapat penulis peroleh hasil setelan relai arus lebih sebagai berikut:

Tabel 4.10 Setelan Relai OCR

Parameter	Sisi 150 kV	INC TD2	Penyulang PL 07
Iset (Primer) Ampere	277.12 Ampere	1818.65 Ampere	480 Ampere
Iset (Sekunder) Ampere	0.92 Ampere	4.54 Ampere	3 Ampere
Tms	0.35	0.26	0.124
t (detik)	0.7 Detik	1.2 Detik	0.3 Detik

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.10

Tabel 4.10 yaitu penulis menunjukkan hasil perhitungan setelan relai di sisi 150 kV, di sisi incoming dan di sisi penyulang, dimana penulis menunjukkan di dalam nya terdapat keterangan arus setting di sisi primer dan sekunder lalu *Time Multiple Setting* (Tms) dan waktu nya

4.4 Perbandingan Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Manual Dengan Simulasi Matlab

Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulink Matlab Pada Incoming TD 2

Manual	Matlab
8246.42	8246.4
7353.01	7353.0
6541.47	6541.5
5840.97	5841.0
5247.19	5247.2

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.11

Tabel 4.11 yaitu penulis menunjukkan hasil perhitungan manual yang telah di hitung dengan simulink matlab di sisi incoming, dimana dimulai dari titik 0% - 100% yang dinyatakan dalam persen (%).

Tabel 4.12 Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulink Matlab Pada Penyulang PL 7

Manual	Matlab
8113.79	8113.8
3427.12	3426.9
2131.70	2131.3
1542.87	1542.7
1208.10	1208.1

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2020

a) Deskripsi Tabel 4.12

Tabel 4.12 yaitu penulis menunjukkan hasil perhitungan manual yang telah di hitung dengan simulink matlab di sisi penyulang PL 7, dimana dimulai dari titik 0% - 100% yang dinyatakan dalam persen (%).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perhitungan yang penulis dapat dari nilai arus gangguan hubung singkat 2 fasa di sisi incoming TD 2 pada lokasi gangguan yang ditentukan oleh penulis yaitu $0\% = 8246.42$ Ampere dan $100\% = 5247.19$ Ampere.
2. Hasil perhitungan yang penulis dapat dari nilai arus gangguan hubung singkat 2 fasa di sisi penyulang PL 07 pada lokasi gangguan yang ditentukan oleh penulis yaitu $0\% = 8113.97$ Ampere dan $100\% = 1208.10$ Ampere.
3. Hasil perhitungan yang penulis dapat dari arus gangguan hubung singkat antar fasa, dapat penulis lihat bahwa titik gangguan sangat mempengaruhi nilai arus hubung singkat, karena semakin jauh titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat semakin kecil demikian sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin besar.
4. Relai yang dipasang pada trafo daya 2 di gardu induk paya geli merupakan nilai relai yang telah memenuhi standard dari sebuah peralatan. Sesering atau sebesar apapun gangguan yang terjadi, relai tetap dapat bekerja dengan baik.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil analisis penulis, untuk mendapatkan perhitungan yang maksimal, maka hal yang perlu dicermati yaitu agar relai yang di sisi incoming diganti karena relai tersebut mempunyai *setting* waktu kerja yang besar agar proteksi di transformator mendapatkan penyetelan optimal dan sebaiknya.
2. Untuk mendapatkan kelancaran dalam penyaluran sistem tenaga listrik, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap *setting* relai dan dilakukan pemeliharaan pada relai proteksi beserta perlengkapan pendukungnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha, B. N. (2017). Kawat penghantar. Retrieved from Academia: <https://www.academia.edu>
- Badaruddin, B. (2014). Setting Koordinasi *Over Current Relay* Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV Dan Penyulang 20 kV.
- Dr.Eng.R.H.Sianipar. (2017). *Matlab untuk Aljabar Linier dan Matriks*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Irfan, A. (2009). Analisa setting relay arus lebih pada penyulang sadewa. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Pusdiklat. (2009). *Perhitungan Setting Relay Proteksi Transformator*. Jakarta: PT.PLN (Persero).
- Sarimun, W. (2012). Proteksi Sistem Transmisi Tenaga Listrik. Jakarta: Garamond.
- William D. Stevenson, Jr. (1993). *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga
- Rasidin Hardi, Rasidin. (2005). Tugas Akhir : Setting Relay Proteksi Tegangan Menengah Di Gardu Induk Cibabat Penyulang NT4A. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Kustanto,Yuli Hermawan. (2014). Analisis OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) Pada Transformator Daya 1 (60 MVA) Gardu Induk Bantul 150 Kv Menggunakan Program Etap. *Jurnal Elektrical*. Volume 1 No.1. Hal 58-68. Yogyakarta: *Jurnal Elektrical*.
- Zulkarnaini, Iqbal Muhammad. (2015). Perhitungan Koordinasi Relay Proteksi OCR/GFR Dengan Menggunakan Software Mathcad Pada Trafo Daya Unit II 20 MVA GI Salak. *Jurnal Momentum*. Volume 17. No 2. ISSN: 1693-752X. Padang: *Jurnal Momentum*.
- Sodiq, M. Subhan, dkk. (2018). Analisis Sistem Proteksi Transformator Daya (3x60 MVA) Di Gardu Induk 150 Kv Bantul Terhadap Gangguan Arus Lebih. *Jurnal Elektrical*. Volume 5 No.2. (hal 63-71). Yogyakarta: *Jurnal Elektrical*.

- Marwan, S.T., .M.Eng.Sc.,Ph.D. (2018). *Komputasi Sistem Tenaga Listrik Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Muhammad, Arif. (2017). Studi dan Evaluasi Setting Relai Arus Lebih pada Transformator Daya di Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru.. *Jurnal FTEKNIK*. Volume 4 N0. 1. Pekanbaru: *Jurnal FTEKNIK*.
- Agung, A. I. (2014). *Poteksi Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Badawi, A. (2018). Evaluasi Pengaruh Modifikasi Three Pass Protocol Terhadap Transmisi Kunci Enkripsi.
- Batubara, Supina. "Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan." *IT Journal Research and Development* 2.1 (2017): 1-11.
- Bahri, S. (2018). *Metodologi Penelitian Bisnis Lengkap Dengan Teknik Pengolahan Data SPSS*. Penerbit Andi (Anggota Ikapi). Percetakan Andi Offset. Yogyakarta.
- Erika, Winda, Heni Rachmawati, and Ibnu Surya. "Enkripsi Teks Surat Elektronik (E-Mail) Berbasis Algoritma Rivest Shamir Adleman (RSA)." *Jurnal Aksara Komputer Terapan* 1.2 (2012).
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- Hardinata, R. S. (2019). Audit Tata Kelola Teknologi Informasi menggunakan Cobit 5 (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan). *Jurnal Teknik dan Informatika*, 6(1), 42-45.
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., & Sitorus, Z. (2017). Perancangan prototipe helm pengukur kualitas udara. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 1(1).
- Hariyanto, E., & Rahim, R. (2016). Arnold's cat map algorithm in digital image encryption. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(10), 1363-1365.
- Harumy, T. H. F., & Sulistianingsih, I. (2016). Sistem penunjang keputusan penentuan jabatan manager menggunakan metode mfep pada cv. Sapo durin. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia* (pp. 6-7).
- Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Purba, N. E., & Purwanto, D. (2017). Prim's Algorithm for Optimizing Fiber Optic Trajectory Planning. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 3(6), 504-509.
- Marlina, L., Muslim, M., Siahaan, A. U., & Utama, P. (2016). Data Mining Classification Comparison (Naïve Bayes and C4. 5 Algorithms). *Int. J. Eng. Trends Technol*, 38(7), 380-383.
- Muttaqin, Muhammad. "ANALISA PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI E-OFFICE PADA UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI MEDAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE UTAUT." *Jurnal Teknik dan Informatika* 5.1 (2018): 40-43.
- Ramadhan, Z., Zarlis, M., Efendi, S., & Siahaan, A. P. U. (2018). Perbandingan Algoritma Prim dengan Algoritma Floyd-Warshall dalam Menentukan

Rute Terpendek (Shortest Path Problem). JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), 5(2), 135-139.

Rahim, R., Aryza, S., Wibowo, P., Harahap, A. K. Z., Suleman, A. R., Sihombing, E. E., ... & Agustina, I. (2018). Prototype file transfer protocol application for LAN and Wi-Fi communication. *Int. J. Eng. Technol.*, 7(2.13), 345-347.

Wahyuni, Sri. "Implementasi Rapidminer Dalam Menganalisa Data Mahasiswa Drop Out." *Jurnal Abdi Ilmu* 10.2 (2018): 1899-1902.