



**ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA
PENGHANTAR 150 KV GARDU
INDUK PAYA GELI**

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

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : JOSLAN SITUMORANG
NPM : 1614210092
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

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

MEDAN

2021

**ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA
PENGHANTAR 150 KV GARDU
INDUK PAYA GELI**

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

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : JOSLAN SITUMORANG
NPM :1614210092
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN :TEKNIK ENERGI LISTRIK

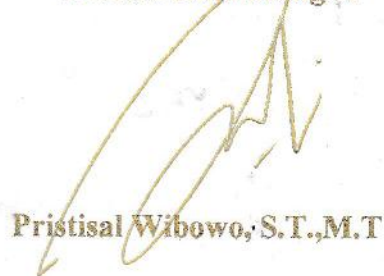
Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I



Hj Zuraidah Tharo, S.T.,M.T

Dosen Pembimbing II



Pristisal Wibowo, S.T.,M.T

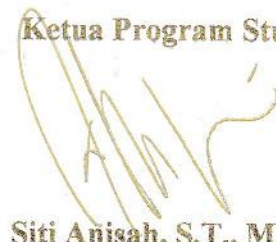
Diketahui dan Disahkan Oleh :

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 : Joslan Situmorang
NPM : 1614210092
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: "**Analisis Kinerja Relai Distance Pada Penghantar 150 KV 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.



an, 'Maret 2021

Joslan Situmorang

NPM : 1614210092

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, Maret 2021



Joslan Situmorang

1614210092

KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 07/BL/LEP/2020

ka tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

: JOSLAN SITUMORANG
: 1614210092
: Akhir
: SAINS & TEKNOLOGI
: Teknik Elektro

ester

di

ah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 06 Maret 2021
Ka. Laboratorium

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



FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3124/PERP/BP/2020

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

: JOSLAN SITUMORANG
: 1614210092
Semester : Akhir
: SAINS & TEKNOLOGI
Prodi : Teknik Elektro

nya terhitung sejak tanggal 01 Oktober 2020, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 01 Oktober 2020
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,


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



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*

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : JOSLAN SITUMORANG

Tempat/Tgl. Lahir : BUNTUMAULI / 19 Mei 1997

Nomor Pokok Mahasiswa : 1614210092

Program Studi : Teknik Elektro

Konentrasi : Teknik Energi Listrik

Persentase Kredit yang telah dicapai : 118 SKS, IPK 3.49

Nomor Hp : 081360761220

Tugas ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

Judul

ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV GARDU INDUK PAYA GELIO


Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Yang Tidak Perlu


 Rektor I,
 (Ir. Bhakri Alamsyah, M.T., Ph.D.)

Medan, 21 November 2019

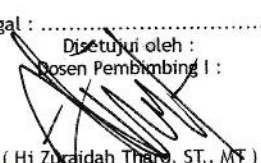
Pemohon,


 (Joslan Situmorang)

Tanggal :


 Disahkan oleh :
 Dekan
 (Sri Shindi Indira, S.T., M.Sc.)

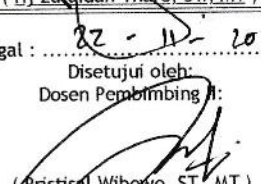
Tanggal :


 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing I :
 (Hj Zukaidah Thero, ST., MT)

Tanggal : 26/11/19


 Disetujui oleh :
 Kepala Prodi Teknik Elektro
 (Hamdani, ST., MT)

Tanggal : 22-11-2019


 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing II :
 (Pristisa Wibowo, ST., MT)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-02

Revisi: 0

Tgl. Eff: 22 Oktober 2018

SURAT PERNYATAAN

Saya Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : JOSLAN SITUMORANG
N. P. M : 1614210092
Tempat/Tgl. Lahir : Buntumauli / 19 Mei 1997
Alamat : Jl.Setia Budi Pasar v Tj.Sari Medan
No. HP : 081360761220
Nama Orang Tua : Kasben Situmorang/Esra Nainggolan
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV 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, 01 Oktober 2020

Saya yang membuat Pernyataan



JOSLAN SITUMORANG

1614210092

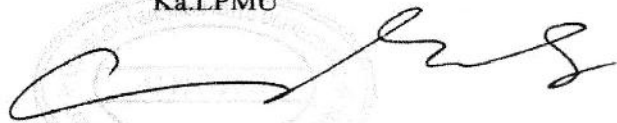
SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan 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.

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

Ka.LPMU



Cahyo Pramono, SE.,MM

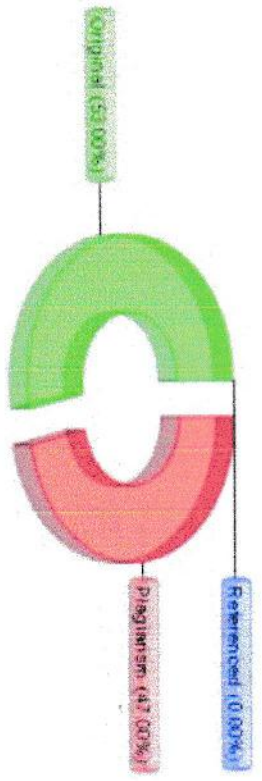
Plagiarism Detector v. 1460 - Originality Report 30-Sep-20 10:30:38

Comparison Preset: Rewrite. Detected language: Indonesian

Analyzed document: JOSLAN SITUMORANG_1614210092_TEKNIK ELEKTRO.docx

Uploaded to: Universitas Pembangunan Panca Budi_Licensi

Relation chart



Distribution graph



Top sources of plagiarism

- % 12** **words: 1049**
<https://id.123dok.com/document/y033456wq-pertemuan-1-kelompok-joslan-situmorang>
- % 11** **words: 917**
<http://id.gidib.uninus.ac.id/files/1611/1321/jiliduninus-g04-tajirpana-a-0585-3-14>
- % 10** **words: 720**
<https://jurnal.azca.bogorpost.com/2012/06/teknik.html>

[Show other Sources]

Processed resources details



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 : JOSLAN SITUMORANG
 NPM : 1614210092
 Program Studi : Teknik Elektro
 Jenjang Pendidikan : Strata Satu
 Dosen Pembimbing : Pristisal Wibowo, ST., MT
 Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV GARDU INDUK PAYA GELI

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
7 Agustus 2020	Format penulisan pada bab 2 belum sesuai panduan	Revisi	
7 Agustus 2020	Penamaan gambar belum sesuai panduan. Serta di beberapa gambar belum terdapat sumber	Revisi	
7 Agustus 2020	Masih terdapat sumber gambar yang dikutip dari blogspot. Kutipan yang di izinkan hanya melalui jurnal atau buku atau thesis	Revisi	
7 Agustus 2020	Gambar di bab 3 belum diberi nomor serta sumber.	Revisi	
7 Agustus 2020	Tabel di bab 3 belum ada sumber	Revisi	
7 Agustus 2020	Gambar di bab 4 belum diberi nama dan sumber	Revisi	
7 Agustus 2020	Masih terdapat pemakaian bahasa asing di semua tulisan yang belum sesuai panduan.	Revisi	
7 Agustus 2020	Belum tercapai pembahasan masalah di bab 4	Revisi	
7 Agustus 2020	Kesimpulan belum tercapai dengan pembahasan	Revisi	
7 Agustus 2020	Lengkapi dengan cover, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dll	Revisi	
4 Agustus 2020	Coba di cek kembali, kenapa ada sumber yang tidak ada di daftar pustaka?	Revisi	
4 Agustus 2020	Kita jumpa seminar hasil ya untuk mempertanggung jawabkan yang kamu kerjakan. ACC SEMINAR HASIL	Disetujui	
14 September 2020	Perbaiki format penulisan, terutama posisi bab, sub bab, sesuaikan dengan format penulisan. Perhatikan mulai dari bab 2 sampai bab 4	Revisi	
14 September 2020	Belum terlihat perbaikan yang disarankan dari seminar hasil	Revisi	
28 September 2020	Acc sidang meja hijau	Disetujui	
26 November 2020	Belum terlihat perbaikan di sidang..Tulisan belum rapi..masih ada yang belum sesuai format penulisan..coba perhatikan dan perbaiki kembali dengan lebih teliti	Revisi	
02 Desember 2020	ACC JILID	Disetujui	

Medan, 06 Maret 2021
 Dosen Pembimbing,



Pristisal Wibowo, ST., MT

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 01 Oktober 2020
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : JOSLAN SITUMORANG
 Tempat/Tgl. Lahir : Buntumauli / 19 Mei 1997
 Nama Orang Tua : Kasben Situmorang
 N. P. M : 1614210092
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 081360761220
 Alamat : Jl.Setia Budi Pasar v Tj.Sari Medan

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV 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 tercap 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 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangi 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 uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp. 0
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp. 1.500.000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp. 100.000
4. [221] Bebas LAB	: Rp. 5.000
Total Biaya	: Rp. 1.605.000

Periode Wisuda Ke :

66

Ukuran Toga :

M

Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



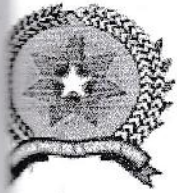
Hamdani, ST., MT
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI



JOSLAN SITUMORANG
 1614210092

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

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 : JOSLAN SITUMORANG
 NPM : 1614210092
 Program Studi : Teknik Elektro
 Jenjang Pendidikan : Strata Satu
 Dosen Pembimbing : Hj Zuraidah Tharo, ST., MT
 Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV GARDU INDUK PAYA GELI

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
03 Juli 2020	Pada bab 1, perbaiki manfaat penulisan skripsi	Revisi	
03 Juli 2020	Teori pendukung pada bab 2 masih belum lengkap, gambar belum ada.	Revisi	
03 Juli 2020	Tambahkan landasan teori tentang Relay Distance pada bab 2	Revisi	
03 Juli 2020	Perlu dijelaskan tahap-tahap penelitian pada bab 3	Revisi	
03 Juli 2020	Ada kejanggalan pada flowchart , setiap dari desision kembalinya ke input data bukan langsung ke proses	Revisi	
03 Juli 2020	Lakukan perbaikan dan boleh dilanjutkan ke bab berikutnya	Revisi	
08 Agustus 2020	Upload kembali skripsi yang sudah diperbaiki seperti arahan doping 2 dan doping 1	Revisi	
04 Agustus 2020	ACC seminar hasil	Disetujui	
13 September 2020	dalam kesimpulan nilai setting impedansi sudah diketahui, tetapi nilai impedansi gangguan yang terukur belum ada, coba dicantumkan nilai impedansi gangguan yang terukur, agar terlihat lebih jelas	Revisi	
13 September 2020	tambahkan referensi dari jurnal yang terbaru sesuai bahasan yang kamu tulis	Revisi	
13 September 2020	ubah simbol kesimpulan pada flowchart, menjadi simbol input/output	Revisi	
28 September 2020	ACC sidang meja hijau	Disetujui	
16 Desember 2020	ACC Jilid	Disetujui	
16 Desember 2020	ACC Jilid	Disetujui	

Medan, 06 Maret 2021
 Dosen Pembimbing,



Analisis Kinerja Relai Distance pada Penghantar 150 Kv Gardu Induk Paya Geli

Joslan Situmorang*
Hj Zuraidah Tharo**
Pristisal Wibowo**

ABSTRAK

Salah satu proteksi utama pada sistem proteksi jaringan transmisi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV adalah relai jarak (*distance relay*). Sistem kerja relai jarak yaitu dengan menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi gangguan pada saluran transmisi dan membandingkannya dengan impedansi setting relai. Apabila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai maka relai akan trip. Daerah pengaman relai jarak dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3. Jarak gangguan yang dapat dideteksi oleh SUTT 150 kV GI Paya Geli yaitu zona 1 sebesar 80% dari impedansi saluran yang diproteksi, pada zona 2 sebesar 120% dari impedansi saluran yang diproteksi dan pada zona 3 sebesar impedansi saluran yang diamankan ditambah 80% saluran sebelumnya. Hasil perhitungan impedansi jangkauan sesuai data kabel penghantar didapatkan sebagai berikut: zona 1 Zona 1 sebesar $(3,178+j5,761) \Omega$, Zona 2 sebesar $(7,106+j12,794) \Omega$ dan Zona 3 sebesar $(12,041+j21,832) \Omega$.

Kata Kunci : proteksi, gangguan, impedansi, relai jarak.

*Mahasiswa program studi teknik elektro: sideak1997@gmail.com

**Dosen Program Studi Teknik Elektro

Analisis Kinerja Relai Distance pada Penghantar 150 Kv Gardu Induk Paya Geli

Joslan Situmorang*
Hj Zuraidah Tharo**
Pristisal Wibowo**

ABSTRACT

One of the main protections in the 150 KV high voltage air line transmission network (SUTT) protection system is the distance relay. The distance relay working system uses voltage and current measurements to obtain the fault impedance on the transmission line and compare it with the relay setting impedance. If the fault impedance value is less than the relay setting impedance, the relay will trip. The safety area of the distance relay is divided into several coverage areas, namely zone 1, zone 2, and zone 3. The disturbance distance that can be detected by the SUTT 150 kV GI Paya Geli is zone 1 of 80% of the impedance of the protected line, in zone 2 of 120% of the protected line impedance and in zone 3 equal the impedance of the secured line plus 80% of the preceding line. The results of the range impedance calculation according to the cable conductor data are obtained as follows: Zone 1 is Zone 1 of $(3,178 + j5,761) \Omega$, Zone 2 is $(7,106 + j12,794) \Omega$ and Zone 3 is $(12,041 + j21,832) \Omega$.

Keywords: protection, interference, impedance, distance relay.

*Mahasiswa program studi teknik elektro: sideak1997@gmail.com

**Dosen Program Studi Teknik Elektro

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian dan Fungsi Penghantar.....	5
2.2 Jenis-Jenis Penghantar	6
2.2.1 Penghantar NYA.....	6
2.2.2 Penghantar NYM	7
2.2.3 Penghantar NYAF.....	8
2.2.4 Penghantar NYY	9
2.2.5 Penghantar NYFGbY	9
2.2.6 Penghantar ACSR	10

2.2.7 Penghantar AAAC (<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>)	10
2.3 Macam-Macam Gangguan pada Penghantar.....	11
2.4 Faktor Penyebab Terjadinya Gangguan	12
2.5 Cara Mengatasi Gangguan	13
2.5.1 Pengaman Utama	14
2.5.2 Pengaman Cadangan	15
2.6 Pengertian Relai	16
2.6.1 Relai Pengaman	16
2.6.2 Dasar-Dasar Sistem Pengaman	17
2.6.3 Fungsi Relay Pengaman	17
2.6.4 Syarat-Syarat Relay Pengaman.....	18
2.6.5 Daerah Pengaman (<i>Protection Zone</i>)	21
2.7 Relai Jarak (<i>Distance Relay</i>)	22
2.7.1 Prinsip Kerja Relay Distance	24
2.7.2 Setting Relay Distance	27
2.8 Impedansi Saluran Tranmisi.....	30
2.9 Penentuan Zona Perlindungan Relai Distance	31
2.9.1 Sistem Zone Time Actual	32
2.10 Impedansi yang dilihat Relai	35
2.11 Prinsip Dasar Perhitungan Arus Hubung Singkat	36
2.12 Busbar (Rel)	37
2.12.1 Gangguan pada Busbar	38
2.13 Reaktansi Transformator.....	39
2.14 Hubungan tegangan, arus dan Impedansi	40

BAB 3 METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian	41`
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	41
3.4 Data.....	44

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kerja Relai Jarak (<i>Distance</i>) pada penghantar 150 kv Gardu induk paya geli	46
--	----

4.2	Perhitungan Impedansi	47
4.3	Impedansi yang Dilihat Relai.....	50
4.4	Perhitungan Arus dan Tegangan pada Sistem Transmisi	51
4.5	Perhitungan impedansi gangguan (Z_f)pada sistem transmisi	56
4.6	Menentukan letak gangguan	58
BAB 5 PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....		68
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 penghantar NYA	7
Gambar 2.2 penghantar NYM.....	8
Gambar 2.3 penghantar NYAF.....	8
Gambar 2.4 penghantar NYY	9
Gambar 2.5 penghantar NYFGbY	10
Gambar 2.6 penghantar AAAC.....	11
Gambar 2.7 zona pengaman.....	21
Gambar 2.8 daerah pengaman relai jarak	23
Gambar 2.9 diagram segaris relai jarak	26
Gambar 2.10 pengamanan saluran dengan relay jarak	26
Gambar 2.11 jangkauan zona 1	28
Gambar 2.12 zona pengaman relai jarak	32
Gambar 2.13 single line garduk induk sistem single busbar	33
Gambar 2.14 single line gardu induk sistem double busbar	34
Gambar 2.15 skema proteksi zona 1 relai distance	34
Gambar 2.16 skema proteksi zona 2 min pada relai jarak	35
Gambar 2.17 skema proteksi zona 2 maks pada relai distance.....	35
Gambar 2.18 skema proteksi zona 3 min pada relai distance	38
Gambar 2.19 skema proteksi zona 3 maks pada relai distance.....	38

Gambar 3.1 flowchart penelitian.....	43
Gambar 4.1 sistem Kerja Relai Jarak (<i>Distance</i>) pada penghantar Gardu induk paya geli	46
Gambar 4.1 gangguan pada sistem transmisi.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 data kabel penghantar GI paya geli- GI binjai	44
Tabel 3.2 data kabel penghantar GI binjai – GI Tanjung pura	44
Tabel 3.3 data impedansi urutan positif, negatif dan nol	45
Tabel 4.1 pembacaan gangguan oleh relai jarak	62

KATA PENGANTAR

Atas Rahmat Tuhan Yang Maha Esa, sehingga skripsi ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik, dengan judul “**ANALISIS KINERJA RELAI DISTANCE PADA PENGHANTAR 150 KV GARDU INDUK PAYA GELI**”. Penyusunan Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh kelulusan Program Sarjana Teknik 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
4. Ibu Hj Zuraidah Tharo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengetahuan dan arahan selama penyusunan skripsi ini
5. Bapak Pristisal Wibowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengetahuan dan arahan selama penyusunan skripsi ini
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Sains Dan Teknologi Program Studi Teknik

Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

7. Bapak dan Ibu serta abang dan kakak tercinta yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam proses penyusunan dan penulisan skripsi.
8. Rekan-rekan seperjuangan Kelas Regular Pagi B yang membantu dalam penulisan skripsi.

Dalam penulisan skripsi ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin, namun demikian bila terdapat kesalahan, penulis mengharapkan masukan sebagai koreksi, terimakasih.

Medan, Maret 2021

Joslan Situmorang

NPM: 161421009

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik merupakan kebutuhan pokok untuk semua kalangan, mulai dari industri yang besar hingga masyarakat secara umum. Saluran transmisi menjadi salah satu komponen yang penting dalam penyaluran tenaga listrik. Salah satu komponen penting pada saluran transmisi yaitu sistem proteksi, oleh karena itu proteksi pada saluran transmisi perlu diperhatikan dalam perencanaannya. Relai adalah salah satu bagian penting dalam sistem proteksi saluran transmisi, maka harus mempunyai kemampuan mendeteksi adanya gangguan pada semua keadaan lalu memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga dapat meminimalisir kerusakan pada bagian yang terganggu dan mencegah gangguan meluas ke saluran lain yang tidak terganggu (tobing, 2008). Gangguan pada sistem transmisi dapat terjadi karena beberapa sebab diantaranya karena suhu, hewan, dan kegagalan peralatan. Gangguan dapat menimbulkan kerusakan besar pada sistem tenaga, untuk itu dibutuhkan peralatan perlindungan untuk mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem.

Proteksi utama pada saluran transmisi adalah relai *distance*. Prinsip kerja relai *distance* adalah mengukur tegangan pada titik relai dengan arus gangguan yang terlihat dari relai kemudian membagi tegangan dan arus untuk mencari nilai impedansi. Impedansi penghantar yang dideteksi oleh relai adalah hasil bagi tegangan dengan arus dari sebuah sirkuit. Bila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi setting relai, maka relai akan trip. Tetapi, apabila nilai

impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting relai, maka relai akan trip. Tetapi, apabila nilai impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting relai, maka relai tidak trip (PLN, 2013).

Sistem proteksi relai jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV dibagi dalam berbagai daerah cakupan atau zona, diantaranya: zona-1, zona-2, dan zona-3 (Hage, 2009). Penyetelan relai jarak memegang peranan yang sangat penting untuk mendapatkan keandalan, dan selektifitas kerja yang tinggi dari relai. Maka dari itu, setting relai jarak perlu dikoodinasikan dengan zona proteksi relai jarak lainnya agar tidak terjadi tumpang tindih antara zona proteksi. Gardu Induk Paya Geli adalah salah satu GI yang penting di kota Medan. Oleh sebab itu, GI Paya Geli harus melayani beban-beban industri. Sehingga pasokan listrik harus tetap terjaga dan terhindar dari berbagai macam gangguan. Gangguan yang terjadi yaitu gangguan hubung singkat, dimana gangguan tersebut dapat diproteksi oleh relai *distance*.

Sistem proteksi dapat berguna untuk memberikan pelayanan listrik yang aman dan handal. Dalam penelitian ini, untuk menganalisis relai *distance* menggunakan perhitungan manual. Hal pertama yang perlu dilakukan untuk koordinasi relai jarak adalah mengimputkan data penghantar, rasio CT, PT, dan setting relai jarak. Dimana dari hasil inputan tersebut menghasilkan output berupa diagram koordinasi waktu dan jangkauan setting relai *distance* (*Time-Distance Diagram*), serta karakteristik kerja relai *distance*. Oleh karena itu, dari uraian diatas maka penelitian tentang relai *distance* akan disusun dalam sebuah skripsi dengan judul **“ANALISIS KINERJA RELAI *DISTANCE* PADA PENGHANTAR 150 KV GI PAYA GELI”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas penulisan dapat merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja relai *distance* pada penghantar 150 KV GI Paya Geli?
2. Bagaimana menentukan nilai *setting* relai jarak pada gardu induk Paya Geli?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Hanya membahas relai *distance* sisi 150 KV sebagai pengaman penghantar GI Paya Geli.
2. Membahas kinerja relai *distance* sebagai pengaman penghantar
3. Tidak membahas perhitungan secara mendetail

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui cara kerja relai *distance* sebagai pengaman peralatan gardu induk 150 kv Paya Geli.
2. Untuk menentukan nilai *setting* relai jarak pada gardu induk Paya Geli.

1.5 Manfaat

Skripsi ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Memberikan pemahaman cara melakukan kinerja relai *distance*.
2. Memberikan pemahaman dalam menyelesaikan permasalahan kerja relai *distance* pada penghantar 150 KV GI Paya Geli.

3. Penulis sendiri untuk menambah pengetahuan dan pengalaman agar mampu melaksanakan kegiatan yang sama kelak setelah bekerja atau terjun kelapangan.

1.6 Teknik Pengumpulan Data

1. pengumpulan data dengan cara referensi buku, jurnal dan informasi yang berhubungan dengan judul ini.
2. Mengadakan konsultasi dan arahan/bimbingan dari dosen pembimbing.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan sebaga berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, teknik pengumpulan data, sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini mengemukakan teori-teori yang mendukung dan yang melandasi permasalahan dalam skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini membahas tentang bagian-bagian relay distance dan fungsinya.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menganalisa data dan hasil yang diperoleh pada bab sebelumnya.

BAB V PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah dengan observasi kelengkapan dan sesuai dengan bentuk penelitian yang dilakukan untuk mencoba melakukan pengkajian terhadap data- data teknis yang terjadi pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data kualitatif yang merupakan data terkait sistem kerja relai jarak dan data kuantitatif yang digunakan dalam analisis setting relai jarak pada Gardu induk paya geli. Data-data tersebut dapat diolah dengan melakukan perhitungan secara matematis untuk memperoleh angka-angka kemudian membandingkannya dengan target GI Payageli PT.PLN (Persero).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

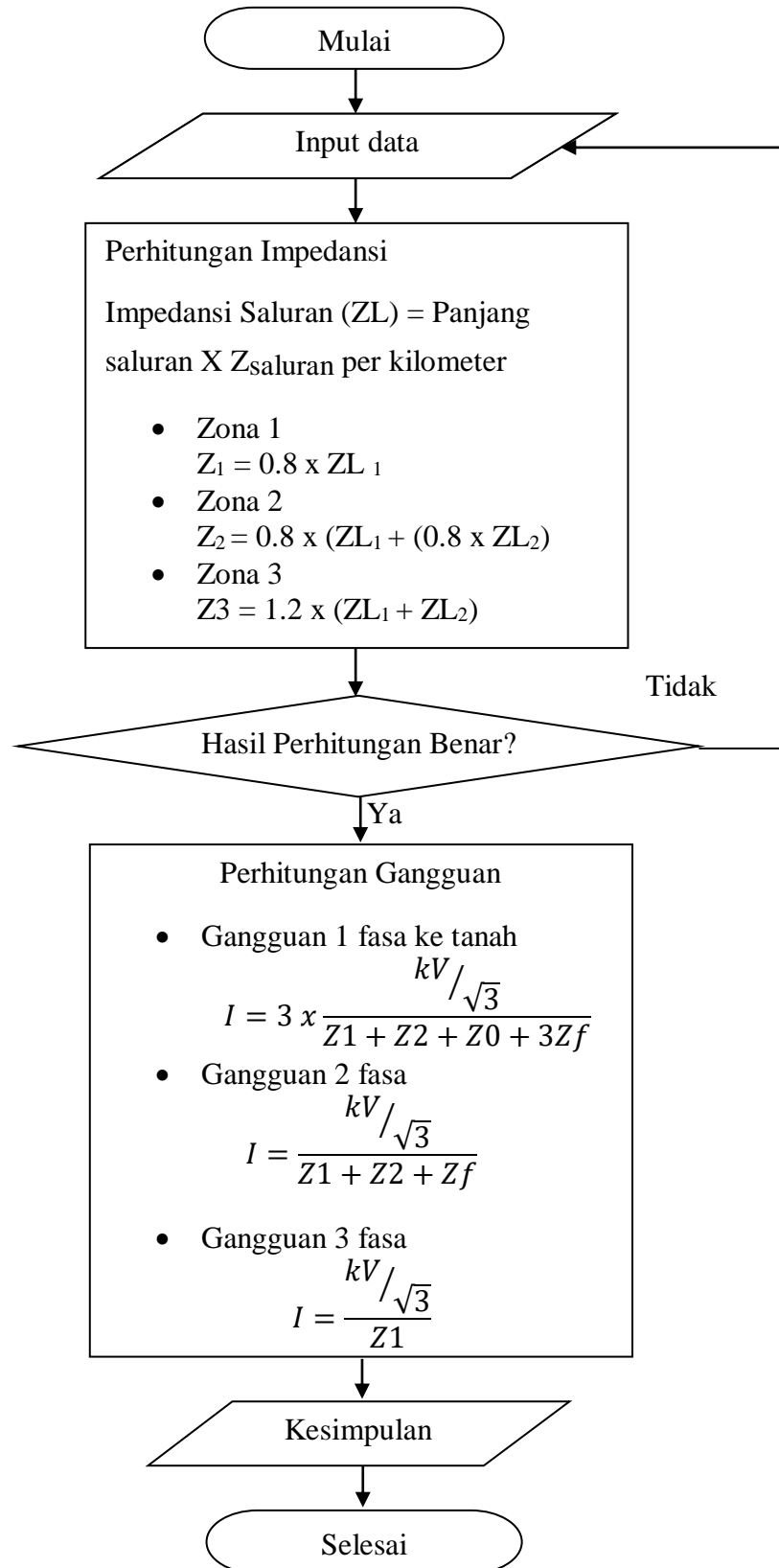
Untuk memenuhi data-data yang akan dibutuhkan dalam perhitungan yang akan dilaksanakan pada jaringan transmisi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 KV GI paya geli PT.PLN (Persero). Penelitian ini mulai dilakukan pada maret sampai april 2020.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lapangan, dimana penulis melakukan observasi langsung kelengkapan di GI paya geli 150 KV untuk memperoleh data informasi yang berhubungan dengan masalah penelitian.

2. Teknik dokumen, penulis melakukan dengan mencari dari buku-buku dipergustakaan dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini agar bisa dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian.
3. Diskusi / wawancara menanyakan sistem kerja relai distance pada penghantar 150 KV GI paya geli untuk mencari data-data tentang alat yang dipergunakan saat melakukan pengerjaan.
4. Analisis data, memastikan apakah data yang dikumpulkan sudah sesuai apa belum. Melakukan perhitungan relai pada zona 1, zona 2, dan zona 3 serta melakukan uji coba perhitungan yang terjadi.



*Flowchart penelitian
(Sumber: Penulis, 2020)*

3.4 Data

1. Data rasio *Current Transformator* (CT) dan *Potential Transformator* (PT) pada penghantar

$$\text{CT} = 150000:100$$

$$\text{PT} = 600:1$$

2. Data kabel penghantar pada saluran transmisi GI Paya Geli- GI Binjai dan GI Binjai – GI Tanjung Pura

Tabel 3.1 Data kabel penghantar GI Paya Geli- GI Binjai

Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	ACSR	-
Diameter	21	Mm
Luas Penampang	281	mm ²
Impedansi	0,3178 + j0,5761	Ω / km
Kapasitas Arus	455	A
Panjang penghantar	12,5	Km

Sumber: Gardu Induk Paya Geli, 2020

Tabel 3.2 Data kabel penghantar GI Binjai – GI Tanjung Pura

Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	ACSR	-
Diameter	21	Mm
Luas Penampang	281	mm ²
Impedansi	0,3178 + j0,5761	Ω / km
Kapasitas Arus	455	A
Panjang penghantar	19,08	Km

Sumber: Gardu Induk Paya Geli, 2020

3. Data urutan impedansi pada saluran transmisi

Tabel 3.3 Data Impedansi Urutan Positif, Negatif dan Nol

Urutan impedansi	
Urutan positif	$3,14 + j5,7$
Urutan negative	$10,21 + j18,52$
Urutan nol	$23,97 + j43,46$

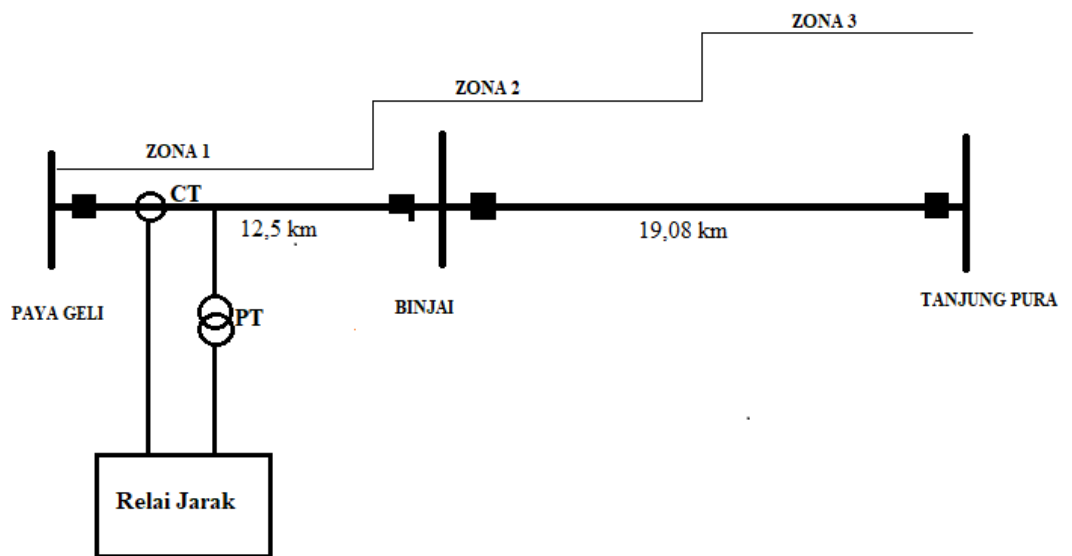
Sumber: Gardu Induk Paya Geli, 2020

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Sistem Kerja Relai Jarak Pada Penghantar Gardu Induk Paya Geli

Relai jarak (*distance*) merupakan sistem proteksi yang mengamankan penghantar 150 kv di Gardu induk paya geli. Sistem kerja relai jarak di Gardu induk paya geli sebagai berikut



Gambar 4.1 Sistem kerja relai jarak (*distance*) pada penghantar Gardu induk paya geli

Sumber : Penulis, 2020

Sistem kerja relai jarak berdasarkan hukum Ohm “Besarnya arus (ampere) yang mengalir pada penghantar berbanding lurus dengan beda potensial (volt) dan berbanding terbalik dengan hambatan atau impedansi (ohm) pada penghantar”. Penyetelan relai jarak pada Gardu induk paya geli dibagi menjadi tiga zona yaitu Gardu induk paya geli sebagai zona 1, Binjai zona 2, dan Tanjung pura Zona 3.

Relai jarak memiliki input tegangan dan arus. Tegangan dan arus pada penghantar sudah dilakukan penyetingan. Ketika terjadi gangguan di penghantar Gardu induk paya geli sebagai zona 1 maka *current transformer* (CT) dan *voltage transformer* (VT) akan mengukur tegangan dan arus gangguan, serta membagi tegangan dengan arus gangguan sehingga mendapatkan impedansi gangguan (Z_f). Setelah ditentukannya impedansi gangguan maka *relay distance* akan membandingkan impedansi gangguan dengan impedansi settingan. jika impedansi gangguan lebih kecil dari impedansi settingan maka *relay distance* akan mengoutput anak kontak untuk memutus/mentriapkan PMT, dan jika impedansi gangguan lebih besar dari impedansi settingan maka *relay distance* akan diam.

1.2 Perhitungan Impedansi

Nilai impedansi pada saluran transmisi dapat dihitung seperti berikut:

Impedansi saluran (Z_L) = Panjang saluran X $Z_{\text{saluran/km}}$

Nilai impedansi saluran GI Paya Geli – GI Binjai

Diketahui Panjang saluran = 12,5 km

$$Z_{\text{saluran/km}} = 0,3178 + j0,5761$$

$$Z_{L_1} = 12,5 \times (0,3178 + j0,5761)$$

$$Z_{L_1} = 3,9725 + j 7,201$$

Nilai impedansi saluran GI Binjai – GI Tanjung Pura

Diketahui: Panjang saluran = 19,08 km

$$Z_{\text{saluran/km}} = 0,3178 + j0,5761$$

$$ZL_2 = 19,08 \times (0,3178 + j0,5761)$$

$$ZL_2 = 6,061 + j 10,992$$

Ditanya: Perhitungan nilai impedansi masing-masing zona

Jawaban :

1. Zona 1

$$Z_1 = 0,8 \times ZL_1$$

$$Z_1 = 0,8 \times (3,9725 + j 7,201)$$

$$Z_1 = 3,178 + j5,761$$

Dengan jangkauan $0,8 \times \text{panjang saluran 1}$

$$= 0,8 \times 12,5$$

$$= 10 \text{ km}$$

Zona 1 memiliki waktu kerja instan karena merupakan pengaman utama saluran transmisi. $T_1 = 0$ detik.

2. Zona 2

$$Z_2 = 0,8 \times (ZL_1 + (0,8 \times ZL_2))$$

$$Z_2 = 0,8 \times ((3,9725 + j 7,201) + (0,8 \times (6,061 + j 10,992)))$$

$$Z_2 = 0,8 \times ((8,822 + j15,993) + (4,849 + j8,794))$$

$$Z2 = 0,8 \times (8,822 + j15,993)$$

$$Z2 = (7,106 + j12,794) \Omega$$

Dengan jangkauan $0,8 \times (\text{panjang saluran 1} + (0,8 \times \text{panjang saluran 2}))$

$$= 0,8 \times (12,5 + (0,8 \times 19,08))$$

$$= 0,8 \times (12,5 + 15,264)$$

$$= 22,21 \text{ km}$$

Zona 2 bekerja sebagai back up zona 1 pada GI sehingga memiliki waktu kerja lebih lama dibandingkan zona 1. $T_2 = 0,4$ detik

3. Zona 3

$$Z3 = 1,2 \times ((3,9725 + j 7,201) + (6,061 + j 10,992))$$

$$Z3 = 1,2 \times (10,033 + j18,193)$$

$$Z3 = (12,041 + j21,832) \Omega$$

Dengan jangkauan $1,2 \times (\text{panjang saluran 1} + \text{panjang saluran 2})$

$$= 1,2 \times (12,5 + 19,08)$$

$$= 37,896 \text{ km}$$

Zona 3 memiliki waktu kerja paling lama dibandingkan dengan zona 1 dan zona 2. $T_3 = 1,2$ detik.

4.3 Impedansi yang Dilihat Relai

Relai jarak akan melihat nilai impedansi gangguan tetapi dalam skala kecil, yaitu setelah dirasioikan oleh PT dan CT. nilai impedansi yang dilihat relai dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$Z_{\text{relai}} = \frac{PT}{CT} \times Z_{\text{zona}}$$

$$\text{Rasio PT} = 150000 : 100$$

$$\text{Rasio CT} = 600 : 1$$

$$n = \frac{100/150000}{1/600} = 0.4$$

1. Zona 1

$$\begin{aligned} Z1 \text{ sekunder} &= n \times Z1 \\ &= 0,4 \times (3,178 + j5,761) \\ &= 1,271 + j2,304 \Omega \end{aligned}$$

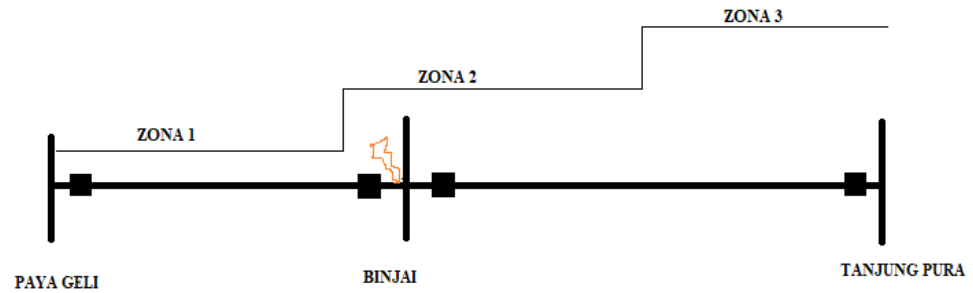
2. Zona

$$\begin{aligned} Z2 \text{ sekunder} &= n \times Z2 \\ &= 0,4 \times (7,106 + j12,794) \\ &= 2,842 + j 5,118 \Omega \end{aligned}$$

3. Zona 3

$$\begin{aligned} Z3 \text{ sekunder} &= n \times Z3 \\ &= 0,4 \times (12,041 + j21,832) \\ &= 4,816 + j8,733 \Omega \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Arus dan Tegangan Gangguan pada Sistem Transmisi.



Gambar 4.2 Gangguan pada sistem transmisi
(Sumber: Penulis, 2020)

Dari gambar diatas dimisalkan gangguan sebesar 12Ω , dengan :

$$Z1 = 3,14 + j5,7$$

$$Z2 = 10,21 + j18,52$$

$$Z3 = 23,97 + j43,46$$

$$Zf = 12 \Omega$$

maka perhitungan nilai arus dan tegangan gangguan sebagai berikut:

1. Gangguan satu fasa ke tanah

a. Arus

$$\begin{aligned}
 I &= 3 \times \frac{kV / \sqrt{3}}{Z1 + Z2 + Z0 + 3Zf} \\
 &= 3 \times \frac{150000 / \sqrt{3}}{(3,14 + j5,7) + (10,21 + j18,52) + (23,97 + j43,46) + (3 \times 12)} \\
 &= 3 \times \frac{86602,54}{73,32 + j67,68} \\
 &= \frac{259807,62 + j0}{73,32 + j67,68} \\
 &= \frac{259807,62 \angle 0}{73,32 + \angle x}
 \end{aligned}$$

Mengubah bilangan rectangular kebilangan polar

$$\begin{aligned}
 \rho &= \sqrt{a^2 + b^2} \\
 &= \sqrt{73,32^2 + 67,68^2} \\
 &= 99,782 \\
 x &= \tan^{-1} \frac{b}{a} \\
 &= \tan^{-1} \frac{67,68}{73,32} \\
 &= 42,709 \\
 &= \frac{259807,62 \angle 0}{99,782 + \angle -42,709} \\
 I &= 2603,752 \angle -42,709
 \end{aligned}$$

Mengubah bilangan polar kedalam rectangular

$$\begin{aligned}
 &= 2603,752 \times (\cos \emptyset + j \sin \emptyset) \\
 &= 2603,752 \times (\cos -42,709 + j \sin -42,709) \\
 &= 2603,752 \times (0,735 - j0,678) \\
 \mathbf{I} &= \mathbf{1913,258 - j1766,06A}
 \end{aligned}$$

b. Tegangan

$$\begin{aligned}
 V &= I \times Z1 \\
 &= ((1913,258 - j1766,06) \times (3,14 + j5,70)) \\
 &= 6007,63 + j10905,571 - j5545,428 - j^2 10066,542 \\
 &= 6007,63 - ((-1)10066,542) + j10905,571 - j5545,428 \\
 &= \mathbf{16074,174 + j5360,143 V}
 \end{aligned}$$

2. Gangguan dua fasa ke tanah

a. Arus

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \\
 &= \frac{150000/\sqrt{3}}{(3,14 + j5,7) + (10,21 + j18,52) + (12)} \\
 &= \frac{86602,54 + j0}{25,35 + j24,22} \\
 &= \frac{86602,54 \angle 0}{25,35 \angle x}
 \end{aligned}$$

Mengubah bilangan rectangular ke bilangan polar

$$\begin{aligned}
 \rho &= \sqrt{a^2 + b^2} \\
 &= \sqrt{25,35^2 + 24,22^2}
 \end{aligned}$$

$$\rho = 35,060$$

$$\begin{aligned}
 x &= \tan^{-1} \frac{b}{a} \\
 &= \tan^{-1} \frac{24,22}{25,35}
 \end{aligned}$$

$$= 43,69$$

$$= \frac{86602,54 \angle 0}{35,06 + \angle 43,694}$$

$$I = 2470,124 \angle - 43,694$$

Mengubah bilangan polar kedalam rectangular

$$= 2470,124 \times (\cos \emptyset + j \sin \emptyset)$$

$$= 2470,124 \times (\cos -43,694 + j \sin -43,694)$$

$$= 2470,124 \times (0,723 - j0,69)$$

$$\mathbf{I = 1785,899 - j1704,386A}$$

b. Tegangan

$$V = I \times Z1$$

$$= ((1785,899 - j1704,386) \times (3,14 + j5,70))$$

$$= 5607,723 + j10179,624 - j5351,772 - j^2 9715$$

$$= 5607,723 - ((-1)9715) + j10179,624 - j5351,77$$

$$\mathbf{V = 15322,723 + j4827,852 V}$$

3. Gangguan tiga fasa ke tanah

a. Arus

$$\begin{aligned} I &= \frac{kV/\sqrt{3}}{Z1} \\ &= \frac{150000/\sqrt{3}}{(3,14 + j5,7)} \\ &= \frac{86602,54 + j0}{3,14 + j5,7} \\ &= \frac{86602,54 \angle 0}{3,14 \angle x} \end{aligned}$$

Mengubah bilangan rectangular kebilangan polar

$$\begin{aligned}\rho &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{3,14^2 + 5,7^2}\end{aligned}$$

$$\rho = 6,50$$

$$\begin{aligned}x &= \tan^{-1} \frac{b}{a} \\ &= \tan^{-1} \frac{5,7}{3,14}\end{aligned}$$

$$= 61,15$$

$$= \frac{86602,54 \angle 0}{6,508 + \angle 61,151}$$

$$I = 13307,089 \angle -61,151$$

Mengubah bilangan polar kedalam *rectangular*

$$= 13307,089 \times (\cos \emptyset + j \sin \emptyset)$$

$$= 13307,089 \times (\cos -61,151 + j \sin -61,151)$$

$$= 13307,089 \times (0,483 - j0,876)$$

$$\mathbf{I = 6427,324 - j11657A}$$

b. Tegangan

$$V = I \times Z1$$

$$= ((6427,324 - j11657) \times (3,14 + j5,70)$$

$$= 20181,797 + j36635,747 - j36602,98 - j^2 66444,9$$

$$= 20181,797 - ((-1)66444,9) + j36635,747 - j36602,98$$

$$\mathbf{V = 86626,697 + j32,767 V}$$

Perhitungan diatas menunjukkan nilai arus gangguan dan tegangan gangguan yang muncul ketika gangguan sebesar 12Ω . Tiap gangguan berbeda memerlukan perhitungan yang berbeda.

4.5 Perhitungan Impedansi Gangguan (Z_f) Pada Sistem Transmisi

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f}$$

1. Impedansi gangguan 1 fasa ketanah

$$\begin{aligned} \text{Impedansi gagguan} &= \frac{16074,174+j5360,143}{1913,258-j1766,06} \\ &= \frac{(16074,174+j5360,143)(1913,258+j1766,06)}{(1913,258-j1766,06)(1913,258+j1766,06)} \\ &= \frac{30754042+j28387955,73+j10255336,48+j^2 9466334,14}{3660556,175+j3378928,42-j3378928,42-j^2 3118967,92} \\ &= \frac{30754042+j29413492,21+((-1)9466334,14)}{3660556,175-((-1)3118967,92)} \\ &= \frac{21287707,86+j29413492,21}{6779524.09} \\ &= 3,14 + j4,338 \Omega \end{aligned}$$

2. Impedansi gangguam 2 fasa

$$\begin{aligned} \text{impedansigangguan} &= \frac{15322,723 + 4827,852}{1785,899 - j1704,386} \\ &= \frac{(15322,723 + j4827,852)(1785,899 + j1704,386)}{(1785,899 - j1704,386)(1785,899 + j1704,386)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{27364835,68 + j26115834,56 + j8622056,05 + j^2 8228523,36}{3198435,24 - j304386611,253 + j304386611,253 - j^2 2904931,64} \\
&= \frac{27364835,68 + j34737890,61 + ((-1)8228523,36)}{3198435,24 - ((-1)2904931,64)} \\
&= \frac{19136312,32 + j34737890,61}{6103366,88} \\
&= 3,135 - j5,692 \Omega
\end{aligned}$$

3. Impedansi gangguan 3 fasa

$$\begin{aligned}
\text{impedansi gangguan} &= \frac{86626,697 + j32,767}{6427,324 - j11657} \\
&= \frac{(86626,697 + j32,767)(6427,324 + j11657)}{(6427,324 - j11657)(6427,324 + j11657)} \\
&= \frac{556777848,7 + j1009807407 + j210604,125 + j^2 381964,92}{41310493,8 - j74923315,87 + j74923315,87 - j^2 135885649} \\
&= \frac{556777848,7 + j1010018011 + ((-1)381964,92)}{41310493,8 - ((-1)135885649)} \\
&= \frac{556395883,8 + 1010018011}{177196142,8} \\
&= 3,139 + j5,699 \Omega
\end{aligned}$$

4.6 Menentukan Letak Gangguan

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{\text{impedansi yang dibaca relai} \times \frac{PT}{CT} \times L1}{ZL1}$$

1. Impedensi gangguan = 0,5

$$0,5 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 12,5$$

$$= \frac{3,9725 + j 7,201}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{15,625}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{15,625 + j0}{3,9725 + j 7,201}$$

$$\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{3,9725^2 + 7,201^2}$$

$$\rho = 8,224$$

$$x = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$= \tan^{-1} \frac{7,201}{3,9725}$$

$$= 61,116$$

$$= \frac{15,625 \angle 0}{8,224 + \angle 61,116}$$

$$= 1,889 \angle -61,116$$

$$= 1,889 \times (\cos \emptyset)$$

$$= 1,889 \times (\cos -61,116)$$

Jarak jangkauan = 0,91 km

2. Impedensi gangguan = 1 Ω

$$1 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 12,5$$

$$= \frac{3,9725 + j 7,201}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{31,25}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{31,25 + j0}{3,9725 + j 7,201}$$

$$\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{3,9725^2 + 7,201^2}$$

$$\rho = 8,224$$

$$x = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$= \tan^{-1} \frac{7,201}{3,9725}$$

$$= 61,116$$

$$= \frac{31,25 \angle 0}{8,224 + \angle 61,116}$$

$$= 3,799 \angle -61,116$$

$$= 3,799 x (\cos \emptyset)$$

$$= 3,799 x (\cos -61,116)$$

Jarak jangkauan= 1,83 km

3. Impedensi gangguan = 1,5 Ω

$$= \frac{1,5x \frac{150000/100}{600/1} x 12,5}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{46,875}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{46,875 + j0}{3,9725 + j 7,201}$$

$$\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{3,9725^2 + 7,201^2}$$

$$\rho = 8,224$$

$$x = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$= \tan^{-1} \frac{7,201}{3,9725}$$

$$= 61,116$$

$$= \frac{46,875 \angle 0}{8,224 + \angle 61,116}$$

$$= 5,699 \angle -61,116$$

$$= 5,699 x (\cos \emptyset)$$

$$= 5,699 \times (\cos -61,116)$$

Jarak jangkauan = 2,753 km

4. Impedensi gangguan = 2Ω

$$= \frac{2 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 12,5}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{62,5}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{62,5 + j0}{3,9725 + j 7,201}$$

$$\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{3,9725^2 + 7,201^2}$$

$$\rho = 8,224$$

$$x = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$= \tan^{-1} \frac{7,201}{3,9725}$$

$$= 61,116$$

$$= \frac{62,5 \angle 0}{8,224 + \angle 61,116}$$

$$= 7,599 \angle -61,116$$

$$= 7,599 \times (\cos \emptyset)$$

$$= 7,599 \times (\cos -61,116)$$

Jarak jangkauan = 3,671 km

5. Impedensi gangguan = 2,5 Ω

$$= \frac{2,5 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 12,5}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{78,125}{3,9725 + j 7,201}$$

$$= \frac{78,125 + j0}{3,9725 + j 7,201}$$

$$\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$= \sqrt{3,9725^2 + 7,201^2}$$

$$\rho = 8,224$$

$$x = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$= \tan^{-1} \frac{7,201}{3,9725}$$

$$= 61,116$$

$$= \frac{78,125 \angle 0}{8,224 + \angle 61,116}$$

$$= 9,499 \angle -61,116$$

$$= 9,499 \times (\cos \emptyset)$$

$$= 9,499 \times (\cos -61,116)$$

Jarak jangkauan= 4,587 km

Tabel 4.1 Pembacaan gangguan oleh relai jarak sebesar 0,5 Ω hingga 2,5 Ω

Impedansi gangguan	Letak gangguan
0,5 Ω	0,91 km
1 Ω	1,83 km
1,5 Ω	2,753 km
2 Ω	3,671 km
2,5 Ω	4,587 km

Sumber: Penulis, 2020

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Prinsip kerja *relay distance* dengan mengukur tegangan gangguan dan arus gangguan, serta membagi besaran tegangan gangguan dan arus gangguan sehingga didapatkan impedansi gangguan. Apabila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai maka relai akan mentriapkan PMT. Apabila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi *setting* relai maka relai akan diam.
2. Nilai impedansi setting relai jarak dan nilai impedansi gangguan Gardu Induk Paya Geli.

Impedansi setting

$$\text{Zona 1} = (3,178+j5,761) \Omega$$

$$\text{Zona 2} = (7,106+j12,794) \Omega$$

$$\text{Zona 3} = (12,041+j21,832) \Omega$$

Impedansi gangguan

$$1 \text{ fasa ketanah} = 3,14 + j4,338 \Omega$$

$$2 \text{ fasa} = 3,135 - j5,692 \Omega$$

$$3 \text{ fasa} = 3,139 + j5,699 \Omega$$

Relai bekerja karena nilai impedansi setting lebih besar dari pada impedansi gangguan

3. Jarak gangguan yang dapat dideteksi oleh SUTT 150 kV GI Paya Geli yaitu zona 1 sebesar 80% dari impedansi saluran yang diproteksi, pada zona 2 sebesar 120% dari impedansi saluran yang diproteksi dan pada zona 3 sebesar impedansi saluran yang diamankan ditambah 80% saluran sebelumnya.

5.2 Saran

Dalam menjaga keamanan penghantar yang ada di lapangan dilakukan kordinasi relai jarak. Kordinasi bertujuan apabila pengaman utama gagal bekerja maka ada pengaman cadangan yang akan bekerja, sehingga gangguan yang terjadi pada sistem tidak menyebar luas.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Dan Fungsi Penghantar

Penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada saluran udara dari pusat pembangkit ke pusat beban (*load center*), baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi. Karena sifatnya yang konduktif maka disebut konduktor. Konduktor yang baik adalah yang memiliki tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifat konduktif. Emas (Au), perak (Ag), tembaga (Cu), aluminium (Al), seng (Zn) besi (Fe) berturut-turut memiliki tahanan jenis semakin besar. Jadi sebagai penghantar emas adalah sangat baik, tetapi karena sangat mahal harganya, maka secara ekonomis tembaga dan aluminium paling banyak digunakan.

Penghantar atau kabel yang sering digunakan untuk instalasi listrik penerangan umumnya terbuat dari tembaga. Penghantar tembaga setengah keras (BCC1/2 H=*Bare Copper Conductor Hard*), memiliki nilai tahanan jenis 0.0185 ohm mm²/m dengan tegangan tarik putus kurang dari 41 kg/mm². Sedangkan penghantar tembaga keras (BCCH=*Bare Copper Conductor Hard*), kekuatan tegangan tariknya 41 kg/mm². Pemakaian tembaga sebagai penghantar adalah dengan pertimbangan bahwa tembaga merupakan suatu bahan yang mempunyai daya hantar yang baik setelah perak. Berdasarkan konstruksinya, penghantar diklarifikasikan sebagai berikut:

1 Penghantar pejal (*solid*)

Penghantar pejal (*solid*) yaitu penghantar yang terbentuk kawat pejal yang berukuran sampai 10 mm². Tidak dibuat lebih besar lagi dengan maksud untuk memudahkan penggulungan maupun pemasangannya.

2 Penghantar berlilit (*stranded*)

Penghantar berlilit (*stranded*) terdiri dari beberapa urat kawat yang berlilit dengan ukuran 1 mm²-500 mm².

3 Penghantar serabut (*fleksibel*)

Penghantar serabut (*fleksibel*) banyak digunakan untuk tempat tempat yang sulit dan sempit, alat-alat portabel, alat-alat ukur listrik pada kendaraan bermotor. Ukuran kabel ini antara 0,5 mm²-400 mm².

4 Penghantar persegi (*busbar*)

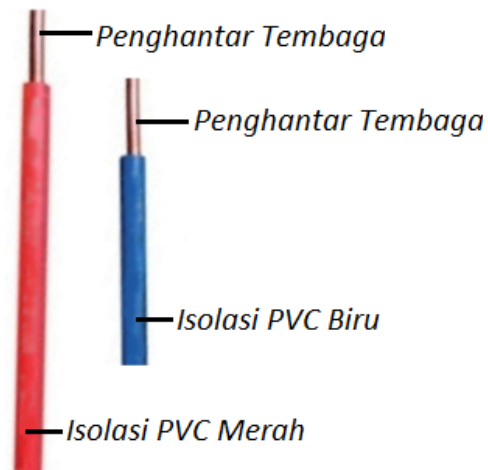
Penampang penghantar ini berbentuk persegi empat yang biasanya digunakan pada PHB (Papan Hubung Bagi) sebagai rel-rel pembagi atau penghubung.

2.2 Jenis Jenis Penghantar

2.2.1 Penghantar NYA

Penghantar NYA berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, biasanya digunakan untuk instalasi luar atau kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru, dan hitam sesuai dengan peraturan PUIL. Lapisan isolasi hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak

mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.



Gambar 2.1: Penghantar NYA
Sumber: capitalcablesksa, 2016

2.2.2 Penghantar NYM

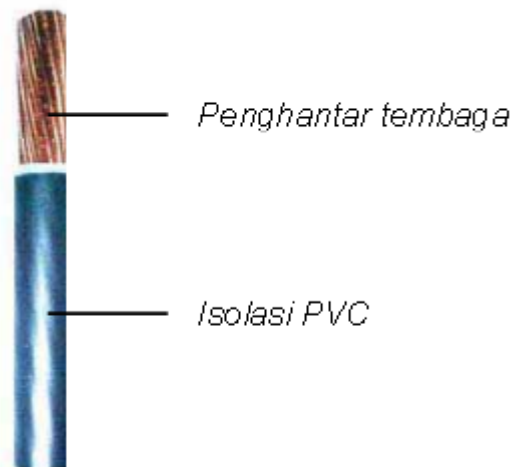
Penghantar NYM memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2,3, atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA dan harganya lebih mahal dari NYA. Kabel NYM biasanya digunakan pada instalasi beban pada motor 3 fasa memiliki 3 inti selain itu, Kabel ini dapat penggunaan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.2: Penghantar NYM
Sumber: jytopcable,2016

2.2.3 Penghantar NYAF

Penghantar NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar Tembaga serabut berisolasi PVC digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.



Gambar 2.3: Penghantar NYAF
Sumber: shanpowercable,2016

2.2.4 Penghantar NYY

Penghantar NYY memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM. Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 2.4: Penghantar NYY
Sumber: bysoncable,2016

2.2.5 Penghantar NYFGbY

Penghantar NYFGbY ini digunakan untuk instalasi bawah tanah, didalam ruangan saluran-saluran dan pada tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap mekanis dibutuhkan untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.



Gambar 2.5: Penghantar NYFGbY
 Sumber: *bysoncable, 2016*

2.2.6 Penghantar ACSR

Kabel ACSR adalah kawat penghantar yang terdiri dari aluminium berinti kawat baja. Kabel ini digunakan untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antar menara ke tiang mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuta tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

2.2.7 Penghantar AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)

Kabel ini terbuat dari *aluminium-magnesium-silicon* campuran logam, keterhantaran listrik tinggi yang berisi *magnesium silicide*, untuk member sifat yang lebih baik. Kabel ini biasanya dibuat dari paduan aluminium 6201. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik, sehingga daya hantarannya lebih baik.



Gambar 2.6: Penghantar AAAC
Sumber: hnkyal,2016

2.3 Macam-Macam Gangguan pada Penghantar

Salah satu factor yang mempengaruhi keandalan sistem adalah masalah gangguan, baik yang terjadi pada peralatan maupun yang terjadi pada sistem. Defenisi gangguan adalah terjadinya suatu kerusakan didalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus dibelokkan dari saluran yang sebenarnya. Penyebab gangguan dapat dikelompokkan menjadi :

1. Gangguan *intern* (dari dalam):

Yaitu gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya gangguan hubung singkat, kerusakan pada alat, *switching* kegagalan isolasi, kerusakan pada pembangkit dan lain-lain.

2. Gangguan *extern* (dari luar)

Yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar system. Misalnya terputusnya saluran kabel karena angin, badai, petir, pepohonan, layang-layang dan sebagainya.

3. Gangguan karena factor manusia

Yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidak telitian, tidak mengindahkan peraturan pengamanan diri, dan lain-lain.

2.4 Faktor Penyebab Terjadinya Gangguan

Gangguan dapat terjadi pada sistem antara lain:

1. Beban Lebih

Pada saat terjadi gangguan maka system akan mengalami kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke sistem dan mengakibatkan sistem tidak menjadi normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan operasi peralatan sistem.

2. Hubung Singkat

Pada saat hubung singkat akan menyebabkan gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen. Gangguan permanen dapat terjadi pada hubung singkat 3 phasa, 2 phasa ke tanah, hubung singkat antar phasa maupun hubung singkat 1 phasa ketanah. Sedangkan pada gangguan temporer terjadi karena *flash over* antar penghantar dan tanah, antara penghantar dan tiang, antara penghantar dan kawat tanah dan lain-lain.

3. Tegangan Lebih

Tegangan lebih dengan frekuensi daya, yaitu peristiwa kehilangan atau penurunan beban karena *switching*, gangguan AVR, *over speed* karena kehilangan beban. Selain itu tegangan lebih juga terjadi akibat tegangan lebih transient surja petir dan surja hubung/*switching*.

4. Hilangnya Sumber Tenaga

Hilangnya pembangkit biasanya di akibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung singkat jaringan sehingga relai dan CB bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit.

2.5 Cara Mengatasi Gangguan

Dalam pengamanan sistem tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/relai pengamanan. Untuk mencapai hal ini, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah-daerah (zona) pengamanan. Setiap daerah pengamanan pada umumnya terdiri atas satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Misalnya generator, bus bar, transformator, saluran udara, dan lain-lain. Untuk mengamankan daerah listrik harus ada daerah *overlap*, artinya dua daerah dijaga dengan relai yang sesuai dengan peralatan yang diamankan. Pada umumnya yang menjadi pembatasan antar daerah pengamanan ialah trafo arus yang menyatu ke relai. Untuk daerah pengamanan tumpang tindih (*overlap*), maka trafo arus A mengamankan daerah B, sedangkan trafo arus B untuk mengamankan daerah A. Jika terjadi gangguan pada daerah yang tumpang tindih maka banyak pemutus beban yang bekerja. Hal ini lebih baik dan lebih aman dari pada daerah kosong yang tidak diamankan.

Untuk mengatasi adanya kegagalan kerja dari sistem pengaman, maka pengaman sistem tenaga listrik dibuat berlapis menjadi dua kelompok.

2.5.1 Pengaman Utama

Pengaman utama bekerja jika terjadi gangguan. Relai cepat memutuskan beban, waktu mulai terjadi gangguan sampai selesai pembukaan pemutus beban maksimum 100 ms, yaitu terdiri dari waktu kerja relai 20-40 ms dan waktu pembukaan 40-60 ms. Pada pengamanan jenis tertentu, misalnya pengamanan dengan relai arus lebih, waktu kerjanya justru diperlambat untuk mendapatkan selektivitas karena terjadi pengaman yang tumpang tindih. Selain sebagai pengaman utama relai juga berfungsi sebagai pengaman cadangan. Elemen-elemen pengaman utama terdiri atas relai, trafo tegangan, baterai (catu daya), kumparan trip, dan pemutus tenaga. Kegagalan kerja pada elemen-elemen pengaman utama dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kegagalan pada relainya sendiri
2. Kegagalan catu arus dan atau catu tegangan ke relai. Hal ini dapat disebabkan kerusakan trafo arus atau trafo tegangannya. Bias juga rangkaian catu ke relai dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
3. Kegagalan sistem catu arus searah untuk tripping pemutus beban. Hal ini disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbuka, atau terhubung singkatnya arus searah.
4. Kegagalann pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima catu, terjadi kerusakan mekanis, atau kegagalan pemutus arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus bebannya.

2.5.2 Pengaman Cadangan

Pengaman cadangan akan bekerja jika pengaman utama gagal bekerja. Kegagalan kerja dari sistem pengaman disebabkan oleh salah satu elemen pengaman tersebut. Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu untuk memberikan kesempatan pengaman utama bekerja lebih dahulu. Jika pengaman utama gagal, maka pengaman cadangan bekerja. Pengaman cadangan ada dua jenis yaitu:

1. Pengaman Cadangan Setempat (*Local Back Up*)

Pengaman cadangan setempat bekerja jika pengaman utamanya gagal bekerja. Akan tetapi, jika pengamanannya masih gagal karena pemutus beban gagal bekerja, maka relai tersebut akan memberikan perintah untuk membuka semua pemutus beban yang ada kaitannya dengan pemutus beban tersebut. Pengaman cadangan setempat umumnya digunakan pada sistem tenaga listrik dengan tegangan ekstra tinggi. Cadangan ini mempunyai kecepatan sama dengan pengaman utamanya, karena mempunyai pengaman ganda. Disebut pengaman ganda, sebab trafo arus, baterai, maupun kumparan trip semuanya ganda.

2. Pengaman cadangan jauh (*remote back up*).

Pengaman cadangan jauh digunakan untuk mengantisipasi adanya kegagalan kerja pengaman di daerah tertentu, yaitu dengan menghilangkan atau memisahkan gangguan pada daerah tertentu ketempat lain berikutnya (cadangan jauh). Pengaman cadangan jauh yang banyak digunakan adalah pengaman dengan relai arus lebih dan pengaman dengan relai jarak. Pengaman ini kurang memadai untuk

sistem yang besar, karena gagal bekerja dapat gagal bekerja dan dapat terjadi tripping yang tidak diharapkan.

2.6 Pengertian Relai

Relai adalah komponen elektronika berupa saklar atau *switch elektrik* untuk dioperasikan secara listrik dan terdiri dari 2 bagian utama yaitu Elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). Komponen elektronika ini menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

2.6.1 Relai Pengaman

Salah satu bagian penting dalam sistem pengamanan saluran transmisi harus mempunyai kemampuan mendeteksi adanya gangguan pada semua keadaan yang kemudian memisahkan bagian sistem yang terganggu tersebut sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada bagian yang terganggu dan mencegah gangguan meluas ke saluran lain yang tidak terganggu (Tobing, 2008).

Relai pengaman adalah susunan piranti, baik elektronik maupun magnetik yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidak normalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan. Relai pengaman akan otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus (*circuit breaker*) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal. Relai pengaman untuk saluran transmisi melindungi saluran dan peralatan terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat (Arismunandar dan Kuwahara, 2004).

2.6.2 Dasar- Dasar Sistem Pengaman

Secara umum relai pengaman harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, dan mencegah meluasnya pemadaman bagi konsumen. Relai pengaman adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik, dan segera secara otomatis member perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan member isyarat berupa lampu dan bel. *Relay* pengaman dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya dengan besaran yang telah ditentukan, dan selanjutnya mengambil keputusan untuk seketika atau pun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.(Kurnain, Felienty,2001).

2.6.3 Fungsi Relai Pengaman

Relai pengaman pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk:

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.

3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan (Kurnain, Felienty, 2001).

2.6.4 Syarat- Syarat Relai Pengaman

Sebagai pengaman relai harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Waktu kerja relai cepat

Relai pengaman harus dapat bekerja dengan cepat untuk memisahkan/mengisolir pada saat terjadi gangguan sehingga dapat mengurangi atau mencegah jumlah kerusakan yang lebih fatal dari suatu sistem maupun peralatan, membantu menjaga stabilitas dari mesin-mesin yang sedang bekerja parallel dan mengurangi total energy listrik yang tidak tersalurkan. Gangguan 3 fasa lebih berpengaruh pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kestabilan sehingga waktu penyelesaian gangguan harus secepat mungkin. Interval waktu kerja sistem pengaman dengan memisahkan seksi yang terganggu pada sistem yang tidak terganggu adalah merupakan jumlah antara waktu kerja relai pengaman dengan waktu kerja mekanik penggerak dari *circuit breaker*.

$$t_{oper} = t_p + t_{cb} \quad (2.1)$$

keterangan :

t_{oper} = waktu kerja sistem pengaman

t_p = waktu kerja relai pengaman

t_{cb} = waktu kerja mekanik penggerak dari *circuit breaker*

2. Selektif

Suatu relai pengaman bertugas untuk mengamankan suatu alat atau bagian dari sistem tenaga listrik dalam jangkauan pengamanannya letak pemutus tenaga (PMT) sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisah-pisahkan. Maka tugas dari relai pengaman adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamanannya, dan dengan segera memberi perintah untuk memisahkan rangkaian dari sistem dengan membuka / mentriapkan pemutus tenaga (PMT) yang paling dekat dengan titik gangguan tersebut sehingga sistem yang lain tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal. Jika hal ini dapat direalisasikan, maka pengaman yang demikian disebut pengaman yang selektif. Dengan kata lain, pengaman dikatakan selektif, bila relai pengaman yang bekerja hanyalah pada daerah yang terganggu saja.

3. *Reliable* (dapat diandalkan)

Bila sistem dalam kondisi normal, relai tidak akan merasakan kondisi abnormal maka relai tidak bekerja, mungkin berbulan-bulan, atau bertahun-tahun. Tetapi bila pada suatu saat ada gangguan maka relai harus bekerja dengan segera memberi perintah membuka/ mentriapkan PMT untuk menghindari pemadaman yang meluas. Dalam hal ini, yang harus dapat diandalkan bukan hanya relai saja, tetapi harus didukung oleh komponen-komponen sistem pengaman yang lain. Keandalan relai pengaman itu ditentukan mulai dari rancangan, pengerjaan, bahan yang digunakan dengan

perawatannya. Oleh karena itu perlu dilakukan perawatan dengan cara pengujian secara periodik.

4. Sensitif (Peka)

Dalam hal ini relai pengaman harus dapat mendeteksi gangguan sekecil mungkin sehingga gangguan tersebut dapat segera terlokalisir. Sensitifitas relai pengaman dalam hal merespon berbagai jenis hubung singkat (tiga fasa, fasa ke fasa, fasa ke tanah, dll) ditentukan tergantung dari arus hubung singkat minimum yang terjadi.

5. Ekonomis

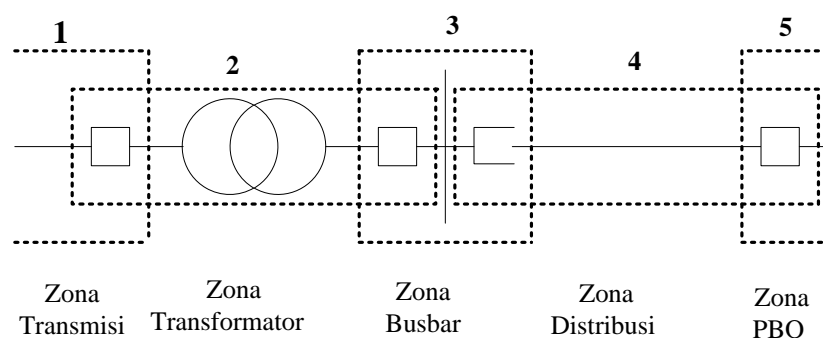
Untuk menentukan peralatan pengaman yang akan digunakan harus ditinjau dari segi ekonomi teknisnya. Namun untuk mencapai seluruh kriteria diatas adakalanya harus kompromi, karena pengaman tidak dapat sempurna walaupun sudah diusakan pemilihan jenis relay yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal-hal yang dapat menimbulkan kegagalan sistem pengaman adalah sebagai berikut:

- a. Kegagalan pada relaynya sendiri
- b. Kegagalan suplai arus atau tegangan dari transformator ke *relay* terbuka atau terhubung singkat
- c. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan.
- d. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis,

ataupun kegagalan pemutus arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui dari pemutus tenaganya.

2.6.5 Daerah Pengaman (*Protective Zone*)

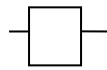
Relai dari suatu sistem daya direncanakan bersama-sama dengan desain sistem. Pemutus tenaga (PMT) ditempatkan pada titik yang tepat sehingga setiap komponen sitem daya dapat dipisahkan untuk kebutuhan operasi yang normal dan pemeliharaan serta juga dalam kondisi abnormal seperti hubung singkat. Setiap komponen sistem daya (generator, transformator, jaringan transmisi, busbar,dst) dicakup oleh suatu zona pengaman. Suatu bagian dari sistem dilindungi oleh suatu skema pengaman tertentu yang disebut dengan zona pengaman. Keseluruhan sistem daya dicakup oleh beberapa zona pengaman dan tidak ada bagian sistem yang tidak berpengaman. Setiap zona mencakup satu atau dua komponen sistem daya. Zona yang berdekatan saling overlap, sehingga tidak ada daerah yang dibiarkan tidak terlindungi (*dead spot*). Batas zona pengaman ditentukan oleh lokasai transformator arus. Dengan demikian transformator arus ditempatkan sedemikian sehingga pemutus tenaga dicakup didalam zona pengama(Kurnain,2001).



Gambar 2.7 Zona Pengaman
(Sumber : Penulis,dkk,2020)

Keterangan:

..... Batas zona pengaman ditentukan oleh lokasi CT



Pemutus tenaga PMT

- a. Zona pengaman transmisi
- b. Zona pengaman transformator unit
- c. Zona pengaman busbar
- d. Zona pengaman jaringan distribusi
- e. Zona pengaman PBO

Zona pengaman terdiri dari 2 sistem yaitu :

1. Sistem unit

Sistem unit adalah suatu sistem dimana zona dapat ditentukan secara pasti. Pengaman hanya bereaksi pada gangguan didalam zona yang dilindunginya, dan tidak bereaksi terhadap gangguan lewat (gangguan diluar zona pengaman)

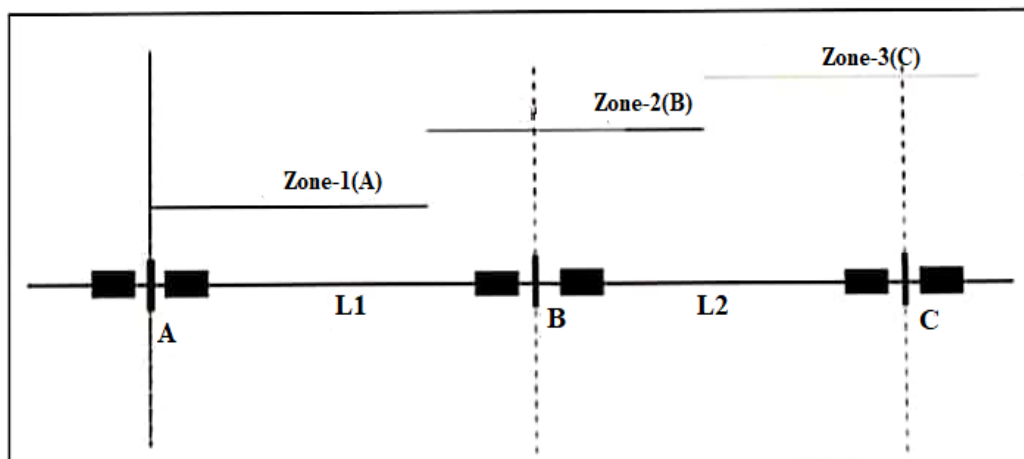
2. Non Sistem Unit

Non sistem unit adalah pengaman gangguan hubung singkat tidak mempunyai batas yang pasti. Setiap zona mempunyai skema pengaman tertentu dan setiap skema pengaman mempunyai sistem pengaman.

2.7 Relai jarak (Distance Relay)

Relai jarak merupakan sebuah pengaman utama (*main protection*) pada SUTT/SUTET dan sebagai *backup* untuk seksi didepan. Sistem kerja relai jarak yaitu dengan menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur diatas

batas *setting*-nya, maka relai akan bekerja. Impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran, sehingga relai jenis ini disebut dengan relai jarak. Relai jarak digunakan untuk mengamankan saluran transmisi terhadap hubung singkat antar fasa dan antar fasa dengan tanah.



Gambar 2.8 Daerah Pengaman Relay Jarak
(sumber: PLN,2006)

Penjelasan daerah cakupan relay distance:

1. Zona 1, merupakan daerah proteksi utama, pada daerah ini relai jarak bekerja secara seketika atau tidak ada perlambatan waktu. Jadi kalau titik gangguan berada di daerah ini, maka relai jarak langsung bekerja. Batas zona 1 ini adalah dari lokasi relai jarak sampai 80% panjang saluran transmisi. Panjang saluran transmisi adalah jarak dari satu bus dimana lokasi relai berada ke bus di depannya.
2. Zona 2, merupakan daerah proteksi cadangan dari zona 1, bekerja meliputi seluruh daerah yang berada di saluran pertama ditambah dengan 20% daerah yang berada setelah bus depan yaitu daerah yang terletak mulai awal saluran pertama sampai dengan 120% panjang saluran pertama atau 100% panjang saluran pertama ditambah 20% panjang

saluran berikutnya. Reaksi relay distance untuk gangguan yang terjadi didaerah ini mengalami perlambatan waktu, karena daerah ini merupakan daerah cadangan dari zona 1.

3. Zona 3, merupakan daerah poteksi cadangan zona 2 yang meliputi seluruh daerah pada saluran utama dan kedua ditambah 20% panjang saluran ketiga (zona 3 mengamankan 220% dari panjang saluran pertama). Reaksi relay distance untuk gangguan di zona 3 adalah sesuai fungsinya sebagai cadangan dari zona 2 sehingga perlambatan waktunya lebih besar dari perlambatan waktu zona 2.

2.7.1 Prinsip Kerja Relay Distance

Relay distance mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadi gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Jemjem dan Syofvi, 2006)

$$Z_f = V_f / I_f \quad (2.2)$$

Keterangan:

Z_f = Impedansi

V_f = Tegangan (Volt)

I_f = Arus gangguan (Ampere)

Relay distance akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting, dengan ketentuan (Titarenko dan Noskov, 1987).

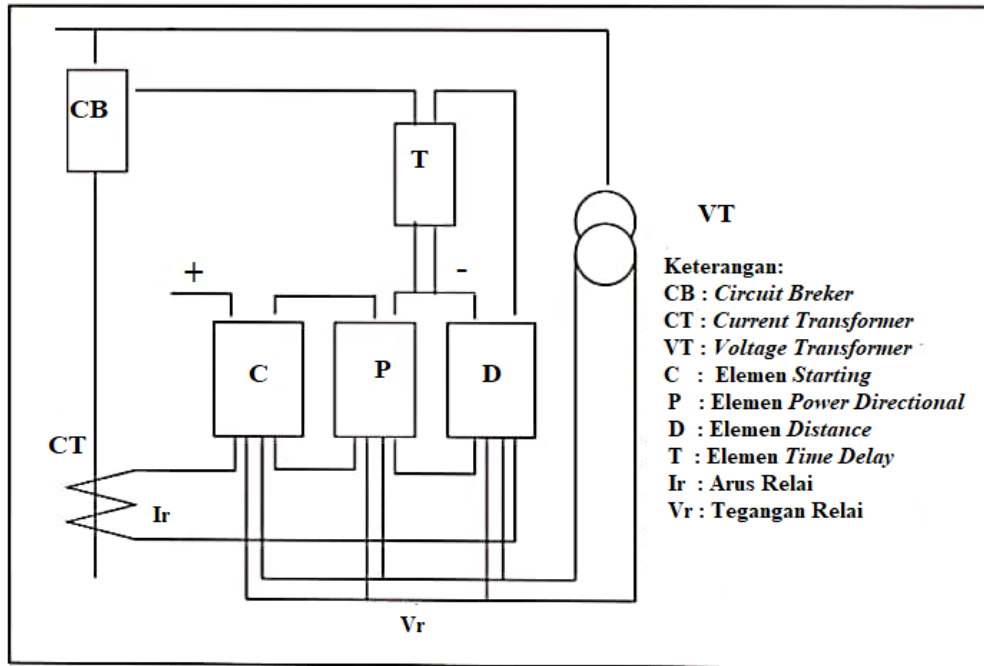
1. Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting relay* maka relai akan trip

2. Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi seting relai maka relai tidak akan trip.

Pada dasarnya *relay distance* memiliki 4 komponen dasar yaitu:

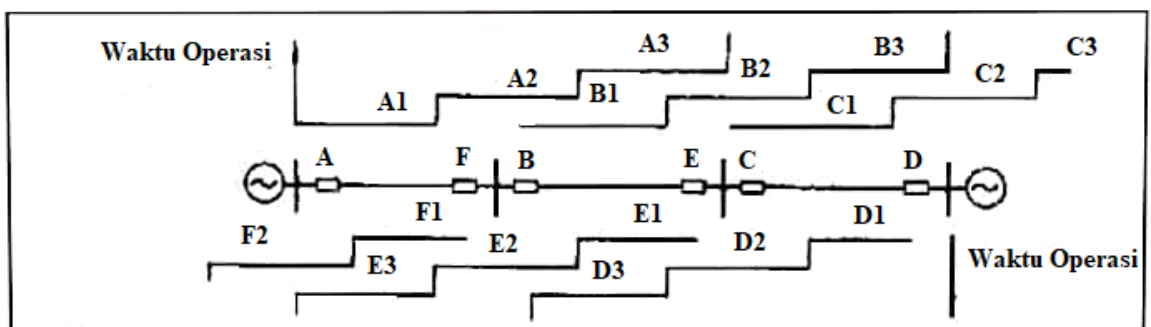
- a. *Elemen starting*, ditandai dengan huruf C, yaitu suatu komponen di dalam relay distance yang berfungsi sebagai pembatas gangguan sehingga apabila terjadi gangguan diluar dari zonanya maka relai tidak boleh bekerja.
- b. *Elemen power directional*, ditandai dengan P, merupakan rangkaian yang mengizinkan suatu pengaman bekerja bila ada gangguan dengan arah dari bus ke saluran transmisi yang diamankan.
- c. *Elemen distance*, ditandai dengan huruf D, merupakan rangkaian yang bertanggung jawab terhadap perbandingan tegangan dan arus (U_r/I_r) sehingga diperoleh harga impedansi yang kemudian secara benar mengukur jarak dari pengaman ke titik gangguan yang terjadi.
- d. *Elemen time delay*, ditandai dengan huruf T, merupakan rangkaian waktu dimana nilainya tergantung dari jarak pengaman ke titik gangguan yang terjadi.

Adapun rangkaian diagram proteksi jarak yang memperlihatkan hubungan dari elemen-elemen tersebut adalah seperti gambar berikut.



Gambar 2.9 Diagram Segaris Relai Jarak
(Sumber : Titarenko dan Noskov, 1987)

Berdasarkan gambar diatas, arus dan tegangan yang terbaca pada CT dan VT akan dibandingkan pada elemen *power directional* (p) dan elemen *distance* (D) (U_r/I_r) untuk memperoleh arah gangguan dan harga impedansi yang kemudian secara benar mengukur lokasi dan jarak dari pengaman ketitik gangguan yang terjadi.



Gambar 2.10 Pengamanan Saluran dengan *Relay* Jarak
(sumber: Arismunandar dan Kuwahara, 2004)

Pada gambar 2.4 menunjukkan wilayah cakupan relai distance dengan sistem penjatuhan daerah secara bertingkat (*zone tripping*). Tingkat pertama A_1 –

F₁ dipasang pada jarak 70 – 90% dari daerah yang dilindungi, sehingga penjatuhan (*tripping*) dari daerah tersebut berlangsung dengan kecepatan tinggi. Pengamanan tingkat kedua A₂ – F₂ yang dipasang pada jarak 120 – 150% dari daerah tersebut, dengan pengunduran waktu tertentu (*time delay*). Tingkat ketiga A₃ dipasang pada jarak yang lebih jauh lagi serta penundaan waktu bekerja yang lebih lama dari tingkat kedua.

2.7.2 Setting relay Distance

Dalam *setting relay distance*, pertama-tama ditetapkan terlebih dahulu nilai impedansi di sistem tenaga primer. Sehingga impedansi sekunder dapat di hitung dengan persamaan berikut ini: (Samuel,dkk,2012):

$$Z_s = Z_p \times \left(\frac{CT_{ratio}}{PT_{ratio}} \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

Z_s = Impedansi sekunder

Z_p = Impedansi primer

CT_{ratio} = Rasio Transformator Arus

PT_{ratio} = Rasio Transformator Tegangan

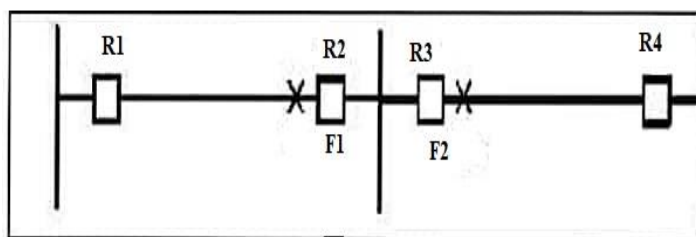
Berikut adalah penjelasan setting relai distance pada setiap zona:

1. Setting zona 1

Setting zona 1 tidak mencakup 100% saluran yang diproteksi. Saluran yang dicakup zona 1 tergantung pada akurasi relai dengan ketidakpastian lainnya, akibat adanya gangguan. Zona 1 biasanya *disetting* 80% dari panjang saluran transmisi.

Berikut ini yang perlu diperhatikan dalam *setting* zona 1 adalah:

- a. Unit zona 1 tidak boleh bekerja bila ada gangguan diterminal ujung saluran. Zona 1 bekerja seketika bila ada gangguan yang terdeteksi. Akurasi rel kurang dapat membedakan apakah gangguan tersebut ada didekat rel depan saluran yang diproteksi, atau dekat rel pada saluran tetangganya. Akibatnya bisa terjadi pemutus daya yang luas, karena kedua rel pada rel rel tetangganya akan segera bekerja. Gambar 2.4, memperlihatkan ini, bila terjadi gangguan di F1 atau di F2 maka relai R1 dan R4 bekerja. Bila terjadi gangguan pada F1 maka seharusnya hanya rel – rel pada saluran tersebut yang bekerja seketika, yaitu R1 dan R2, sedangkan relai R4 tidak bekerja.



Gambar 2.11 Jangkauan Zona 1
(Sumber : Suprijono, 2012)

- b. Jangkauan zona 1 panjang saluran tidak boleh kurang dari 50%, karena pengaruh tahan gangguan. Sebab ada daerah pada
- c. saluran tersebut yang tidak mempunyai proteksi seketika. Maka zona 1 *disetting* sedikitnya 60% untuk tingkat amannya pada saluran yang
- d. diproteksi, karena adanya tahan gangguan terbesar yang diramalkan(Suprijono,2012).

2. *Setting* zona

Biasanya zona 2 *disetting* mencakup sampai beberapa bagian saluran depan kedua. Impedansi penyetelan adalah 100% saluran depan ditambah

20% saluran depan kedua. Ketidakpastian operasi unit zona 1 harus memperhatikan waktu penyetelan zona 2, agar benar-benar yakin bahwa unit zona 1 memang tidak mendeteksi gangguan tersebut. Penyetelan relai pada unit zona 2 adalah memiliki prinsip sebagai berikut:

- a. Jangkauan zona 2 harus mencakup minimal gangguan di rel depan, karena adanya variasi nilai tahanan gangguan. Zona 2 relai *disetting* 20% lebih besar dari impedansi gangguan, dengan memori tahanan gangguan terbesar yang mungkin terjadi.
- b. Dengan memperhatikan transformator di rel depan bila ada unit zona 2 tidak boleh bekerja bila ada gangguan pada transformator tersebut, asalkan waktu kerja zona 2 lebih lama dari waktu kerja relai proteksi cadangan trafo terlama yang mungkin terjadi. Waktu penyetelan zona 2 tidak dapat dinaikkan agar bisa lebih besar dari waktu penyetelan terlama dari proteksi cadangan, karena zona 2 dimaksudkan sebagai proteksi cadangan utama pada saluran transmisi, tidak bisa terlalu lama dari waktu terlama unit zona 1. Kesenambungan aliran daya adalah alasan lain, yaitu jangan sampai gangguan *local* menyebabkan pemutusan aliran daya yang luas. Zona 2 hampir selalu *disetting* tidak boleh mencakup gangguan pada transformator di rel depan (Suprijono,2012).

3. *Setting* zona 3

Setting jangkauan zona 3 merupakan cadangan unit zona 2 sehingga jangkauannya pasti lebih jauh dari jangkauan zona 2. Untuk penyetelan daerah ini tidak ada batasan yang mutlak, karena zona 3 berada antara

jangkauan zona 2 dan jangkauan unit *starting*. Untuk mencakup gangguan zona 2 *disetting* pada rel-rel dalam kondisi apapun, sedangkan unit *starting* dibatasi oleh aliran daya dan ayunan daya. Biasanya zona 3 *disetting* 220% melewati saluran didepan. Transformator berada di rel depan, maka zona 3 *disetting* lebih kecil dari impedansi saluran ditambah reaktansi transformator. Waktu penyetelan proteksi cadangan transformator perlu diperhatikan apabila *setting* zona 3 tidak memungkinkan. Bila zona 3 lebih kecil dari waktu penyetelan maka tidak perlu dirubah lagi, tetapi bila lebih besar, maka waktu penyetelan zona 3 bisa diperbesar lagi. Rata-rata waktu penyetelan zona 3 jauh lebih besar dari waktu cadangan relai-relai transformator (Suprijono,2012).

2.8 Impedansi saluran transmisi

Impedansi saluran transmisi terdiri dari impedansi urutan positif, impedansi urutan negative, dan impedansi urutan nol (Tobing,2008).

Perhitungan impedansi dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut:

$$Z = R + j (X_L + X_C) \quad (2.3)$$

dengan :

Z = Impedansi (Ω)

R = Resistansi (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

Sedangkan untuk mencari total impedansi suatu saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

dengan :

$$Z = R + j (X_L - X_C) \times L \quad (2.4)$$

dengan :

L = panjang saluran (km)

2.9 Penentuan zona perlindungan relai distance

1. Zona 1

Jangkauan perlindungan zona 1 mencakup sejauh mungkin area transmisi didepannya yang dilindungi, dengan mempertimbangkan kesalahan data saluran sebesar 20% sehingga persamaan matematisnya dapat dituliskan seperti berikut.

$$Z_1 = 0,8 \times ZL_1 \quad (2.5)$$

Dimana :

ZL_1 = Impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

Waktu kerja relai zona 1 adalah instan, $t = 0$ detik

2. Zona 2

Daerah perlindungan zona 2 mencakup sisa daerah yang tidak terlindungi oleh zona 1 sampai ke penghantar seksi berikutnya. Zona 2 dapat dituliskan dalam persamaan matematis.

$$Z_2 = 0,8 \times (ZL_1 + (0,8 \times ZL_2)) \quad (2.6)$$

Dimana :

ZL_1 = Impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

ZL_2 = Impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan (ohm)

Waktu kerja relai zona 2 adalah $t = 0,4$ detik.

3. Zona 3

Penentuan zona 3 dapat diukur dari sisa penghantar yang tidak terlindungi oleh zona 2, minimal sampai berakhir seksi berikutnya.

Persamaan matematis zona 3 dapat dituliskan seperti berikut .

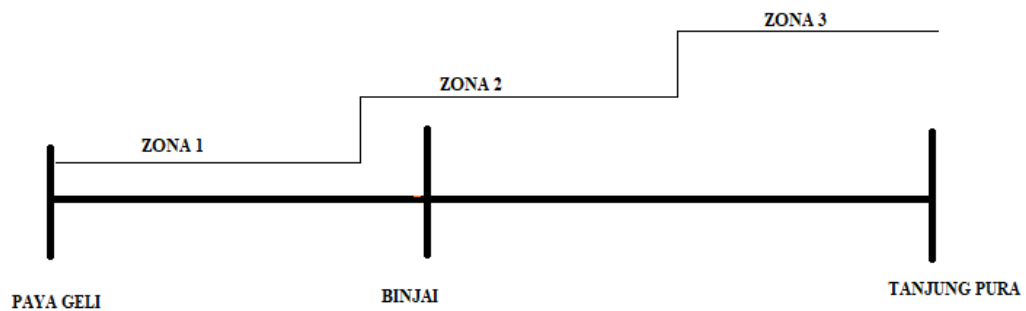
$$Z_3 = 1,2 \times (ZL_1 + ZL_2) \quad (2.7)$$

Dimana :

ZL1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

ZL2 = impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan (ohm)

Waktu kerja relai zona 3



Gambar 2.12 Zona pengaman relai jarak
(sumber: penulis,2020)

2.9.1 Sistem Zone Time Actual

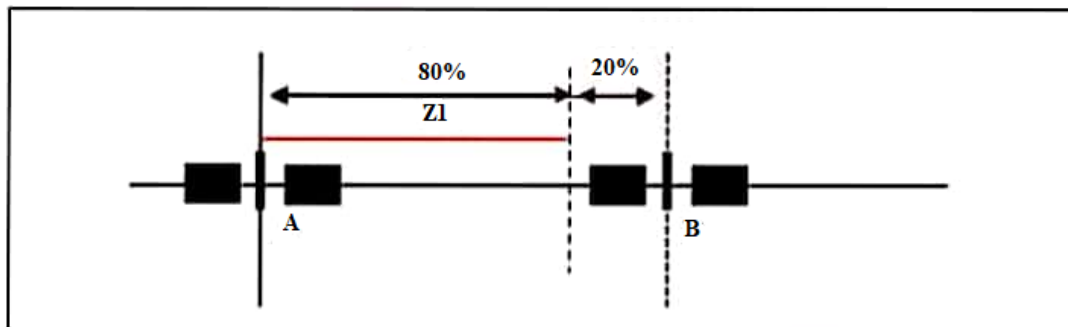
Sistem proteksi pada relai jarak dibagi dalam 3 *zone* dan masing-masing mempunyai waktu tunda berbeda-beda. Untuk memperoleh koordinasi dalam mengamankan sistem dari berbagai gangguan perlu dilakukan pembagian *zone*. Pada zona pertama 80% dari panjang saluran yang diamankan, zona kedua adalah 120% dari panjang saluran, dan zona ketiga adalah 220% dari panjang saluran yang diamankan (PLN, 2019). Berikut ini ketentuan pembagian *time actual* setiap *zone* :

1. *Time actual* dan *setting* pada zone 1

Secara umum zone 1 diset 80% dari panjang saluran. Pada saat pengukuran bisa saja terjadi kesalahan pengukuran pada relai jarak, hal ini dapat terjadi disebabkan karena kesalahan perbandingan dari trafo arus (CT), trafo tegangan (PT), dan impedansi saluran. Dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data saluran, CT, PT, dan peralatan penunjang lain sebesar 10%-20%, maka *zone 1* relai diset 80% panjang saluran yang diamankan (PLN, 2019):

$$\text{Zone 1 reach} = 0,8 \times \text{panjang saluran pertama (Z}_{AB}) \quad (2.8)$$

$$T_1 = 0 \text{ detik (tanpa perlambatan waktu)}$$

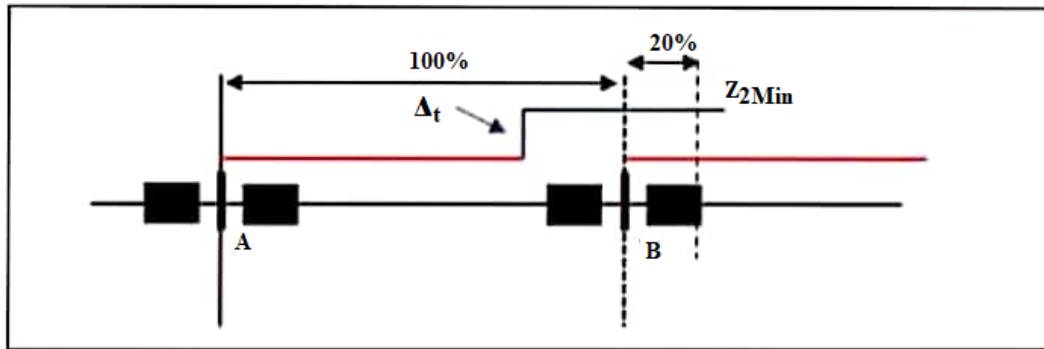


Gambar 2.13 Skema Proteksi Zona 1 pada Relai *Distance*
(sumber: Mason, 1956)

2. *Time actual* dan *setting* pada zone 2

Pada zona 2 ditentukan lebih panjang dari pada zona 1, dengan demikian waktu tundanya lebih lama dibanding zona 1. Pada zona 2 secara umum diset 100% dari panjang saluran pertama dan 20% dari panjang saluran kedua, dengan waktu (*time actual*) sekitar 0,4 sampai dengan 0,8 detik. Zona 2 ini dimaksudkan sebagai pengaman cadangan apabila zona 1 gagal bekerja.

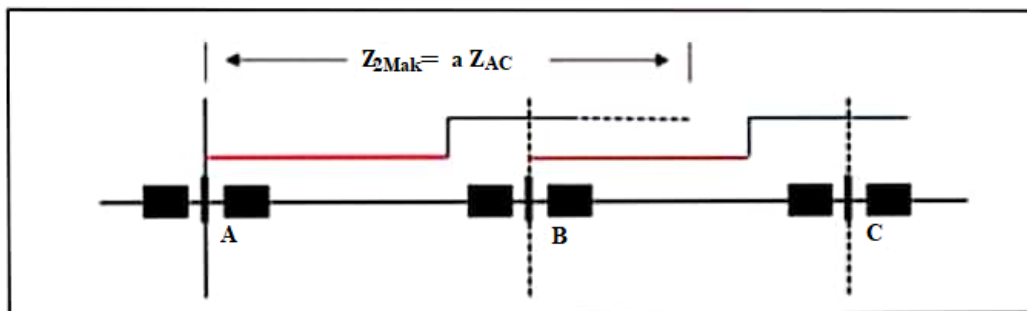
$$\text{Zona 2 min} = 1,2 \times \text{panjang saluran pertama (Z}_{AB}) \quad (2.9)$$



Gambar 2.14 Skema Proteksi Zona 2 Min pada Relai Jarak
(sumber: Mason, 1956)

Zona 2 maks ini diusahakan memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin setelah z1.

$T_2 = 0,4$ sampai dengan $0,8$ detik

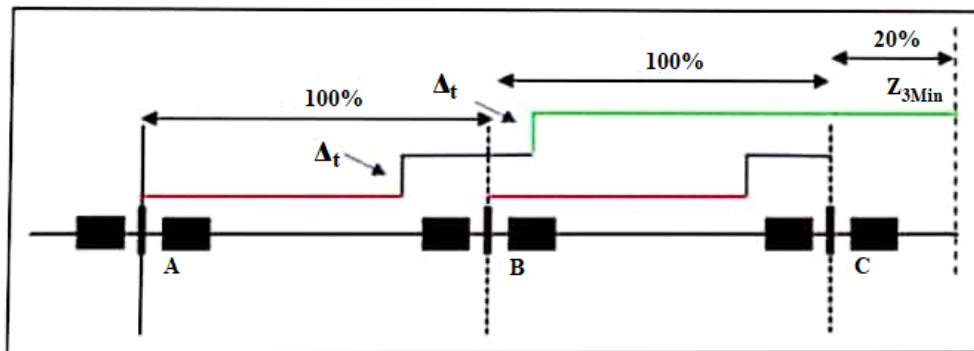


Gambar 2.15 Skema Proteksi Zona 2 Maks pada Relai *Distance*
(Sumber: Mason, 1956)

3. *Time actual* dan *setting* pada zonsa 3

Zona 3 ditentukan 220% dari panjang saluran yang diamankan dan waktu tunda yang digunakan sekitar 1,2 sampai dengan 1,6 detik. Zona 3 difungsikan sebagai pengaman cadangan apabila pada zona 2 gagal beroperasi.

$$\text{Zona 3 min} = 1,2 \times (Z_{AB} + Z_{BC}) \quad (2.10)$$

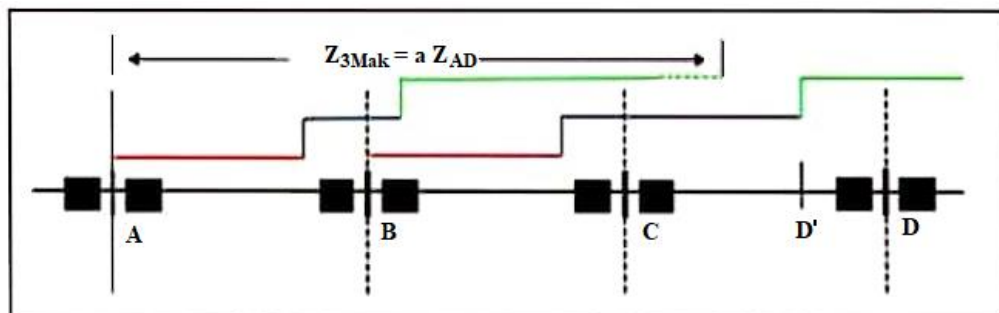


Gambar 2.16 Skema Proteksi Zona 3 Min pada Relai *Distance*
(sumber: Mason, 1956)

$$\text{Zona 3 maks} = 0,8 \times (Z_{AB} + (1,2 \cdot Z_{BC}) \cdot k$$

(k = faktor *infeed*)

$$T_3 = 1,2 \text{ sampai dengan } 1,6 \text{ detik}$$



Gambar 2.17 Skema Proteksi Zona 3 Maks pada Relai *Distance*
(sumber: Mason, 1956)

2.10 Impedansi yang Dilihat Relai

Nilai impedansi gangguan akan dilihat oleh relai jarak dalam skala kecil, yaitu setelah dirasioikan oleh PT dan CT. Nilai impedansi yang dilihat relai dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_{\text{relai}} = \frac{PT}{CT} \times Z_{\text{zona}} \quad (2.11)$$

CT = Current transformer, berfungsi untuk menurunkan high current menjadi low current

PT = Potential Transformer, berfungsi untuk menurunkan *high voltage* menjadi *low voltage*.

2.11 Prinsip dasar perhitungan arus hubung singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa
3. Gangguan hubung singkat 3 fasa

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus :

1. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I = 3 \times \frac{KV/\sqrt{3}}{z_1+z_2+z_0+3z_f} \quad (2.12)$$

2. Gangguan hubung singkat 2 fasa

$$I = \frac{kv/\sqrt{3}}{z_1+z_2+z_f} \quad (2.13)$$

3. Gangguan hubung singkat 3 fasa

$$I = \frac{kv/\sqrt{3}}{z_1} \quad (2.14)$$

4. Tegangan gangguan

$$V = I \times Z \quad (2.15)$$

Dengan :

I = Arus Gangguan

Z₁ = Impedensi Urutan Positif

Z₂ = Impedensi Urutan Negatif

Z₃ = Impedensi Urutan Nol

Z_f = Impedensi Gangguan

V = Tegangan Gangguan

2.12 Busbar (Rel)

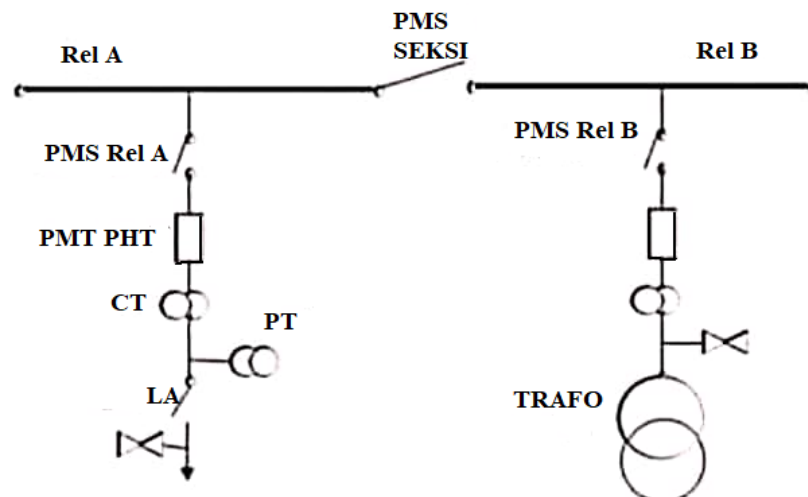
Busbar merupakan titik hubungan pertemuan (*connecting*) antara transformator daya, SUTT/SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan sistem busbar, gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Gardu induk sistem ring busbar

Merupakan gardu induk yang busbarnya berbentuk *ring*. Jenis gardu induk ini, semua busbar yang ada tersambung (terhubung) satu dengan lainnya dan membentuk *ring* (cincin).

2. Gardu induk sistem *single* busbar

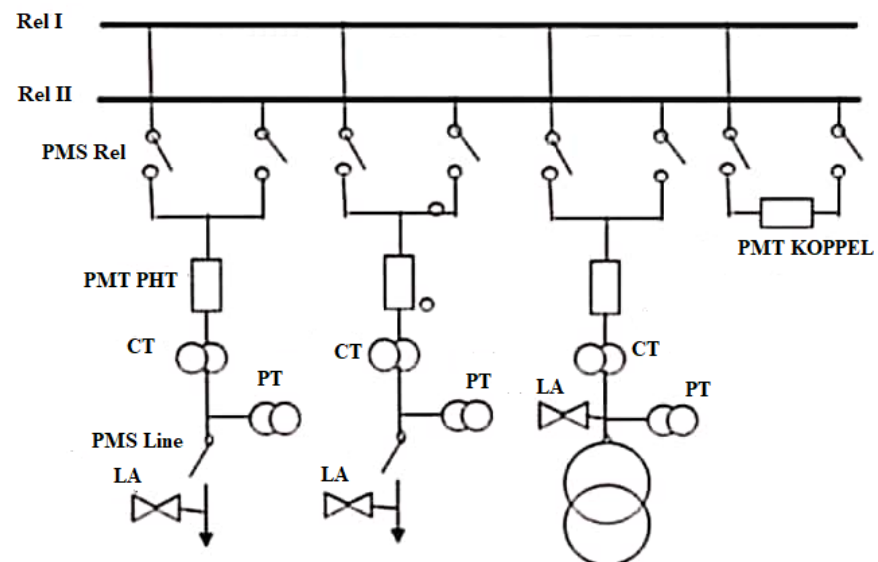
Merupakan gardu induk yang mempunyai satu (*single*) busbar. Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk berada pada ujung (akhir) dari suatu sistem transmisi. *Single line* diagram gardu induk sistem *single* busbar dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 2.18 *Single Line* Gardu Induk Sistem *Single* Busbar
Sumber :Gardu Induk, 2012

3. Gardu induk sistem *double busbar*

Merupakan gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar. Gardu induk sistem *double busbar* sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (*manuver system*). Pada umumnya jenis gardu ini banyak digunakan untuk *single line* diagram gardu induk *double busbar* dapat dilihat pada seperti gambar dibawah,



Gambar 2.19 *Single Line* Gardu Induk Sistem *Double Busbar*
 Sumber : *gardu induk*, 2012

2.13 Gangguan pada Busbar

Busbar berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay pada suatu gardu induk, seperti transformator dan bay line. Dalam pengoperasian busbar tidak terlepas dari kondisi abnormal walaupun gangguan di busbar jarang terjadi dibandingkan gangguan pada penghantar, terutama saat busbar terhubung dengan kapasitas pembangkit yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gangguan yang terjadi pada busbar selain mengganggu keandalan sistem dalam menyalurkan pasokan

daya juga mengakibatkan kerusakan pada peralatan instalasi yang sangat besar baik peralatan pada gardu induk itu sendiri maupun peralatan instalasi lain seperti pemangkit (gangguan meluas). Apabila gangguan pada busbar tidak segera diputuskan maka akan menimbulkan kerusakan instalasi, timbulnya masalah stabilitas *transient* dan dimungkinkan relai arus lebih / *over Current Relay* (OCR) dan relai gangguan tanah / *Ground Fault Relay* (GFR) disistem bekerja sehingga pemutusan menyebar. Proteksi busbar sangat memiliki peran penting dalam sistem kelistrikan, selektif, cepat dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi diluar daerah proteksinya (gangguan diluar busbar relai tidak boleh trip).

2.14 Reaktansi transformator

Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

Langkah pertama, mencari nilai ohm pada 100% untuk transformator pada 20KV, yaitu dengan menggunakan rumus berikut :

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2.16)$$

Dimana :

X_t = Reaktansi trafo (ohm)

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

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Dari persamaan diatas dapat dicari nilai reaktansinya :

1. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus : $X_t = \% \text{ yang diketahui } \times X_t$ (pada 100%)

2. Sebelum mencari nilai reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :
 - a. Untuk trafo tenaga hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
 - b. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{yd} dimana kapasitas belitan delta biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada didalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
 - c. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan Δ didalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 sampai dengan $14 \times X_{t1}$.

2.15 Hubungan, Arus, Tegangan dan Impedansi

1. Tegangan

Tegangan adalah beda potensial antara dua titik rangkaian listrik yang memberi tekanan ke arus listrik untuk mengalir. Tegangan disimbolkan dengan V dan satuannya adalah Volt. Tegangan listrik adalah perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Besaran ini mengukur energi potensial dan menyebabkan aliran listrik mengalir dalam sebuah konduktor listrik

$$V = I \times R \quad (2.17)$$

2. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam sebuah kawat penghantar dalam satuan waktu. Arus listrik disimbolkan dengan I dalam satuan Ampere (A).

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.18)$$

Selain itu besarnya arus listrik adalah proporsional dengan tegangan yang diberikan dan juga besarnya traahanan pada penghantar.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.19)$$

Dimana :

I = Kuat arus (A)

Q = Muatan Listrik (C)

t = waktu (s)

V = Tegangan (V)

R = Hambatan (Ohm)

3. Impedansi

Impedansi disebut juga hambatan dalam (Z) adalah nilai resistansi yang terukur pada kutub – kutub sinyal jack alat elektronik. Semakin besar hambatan / impedansi, makin besar tegangan yang dibutuhkan. Impedansi tidak dapat dikatakan hambatan secara spontan. Karena terdapat perbedaan yang mendasar dari keduanya. Beberapa peneliti mengatakan bahwa impedansi merupakan hasil reaksi hambatan (R- resistansi) dan kapasitas electron (C- Kapascitansi) secara bersamaan. Bila suatu beban diberikan tegangan, Impedansi beban tersebut akan menentukan besarnya arus dan sudut fase yang mengalir pada beban tersebut.

$$Z = V/I \quad (2.20)$$

Atau dalam rangkaian R,L dan C impedansi dirumuskan dengan

$$Z = R + (X_L - X_C) \quad (2.21)$$

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, Y., Ramli, N. M., Syamsumir, D. F., Kassim, M. N. I., Jaafar, J., Aziz, N. A., ... & Mohamad, H. (2019). Phytochemical analysis, antioxidant, antibacterial and cytotoxicity properties of keys and cores part of *Pandanus tectorius* fruits. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 3555-3564.
- Aminudin, Nur, dkk. (2019). Aplikasi Web Mobile Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Ayam Ras Petelur. *Technology Acceptance Model*, vol. 10, no. 1.
- Ayu, Fitri, dkk. (2018). Perancangan Sistem Informasi Pengolahan Data Praktek Kerja Lapangan (PKL) Pada Devisi Humas PT. Pegadaian," vol. 2, no. 2.
- Bangun, Ferdinan, dkk. (2019). Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Tbc Menggunakan Metode Teorema Bayes. *Jurnal Teknik dan Informatika*.
- Bronson, Charles, dkk. (2019). Sistem Pakar Mendiagnosa Kemusyrikan Umat Islam Dengan Metode Forward Chaining. *JUSIKOM PRIMA*, vol. 3, no. 1.
- Fauziah, Dewi, dkk. (2018). Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Hewan Peliharaan Menggunakan Metode Certainty Factor. *Jurnal Teknik Informatika*. vol. 4, no. 1.
- Hariyanto, E., Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Saragih, K. S., & Batubara, S. (2019, March). Comparative study of tiger identification using template matching approach based on edge patterns. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1196, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

- Indrawan, M. I., Alamsyah, B., Fatmawati, I., Indira, S. S., Nita, S., Siregar, M., ... & Tarigan, A. S. P. (2019, March). UNPAB Lecturer Assessment and Performance Model based on Indonesia Science and Technology Index. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1175, No. 1, p. 012268). IOP Publishing.
- Nasution, D., Nasution, D., & Lubis, S. A. (2019, November). Enhance A Methode Power System Policies Based On SCS (Solar Cell System). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1361, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Nico Alvio Maiyedra. (2018). Perancangan Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Kulit Pada Anak Dengan Menggunakan Metode Backward Chaining. *Jurnal JURSIMA*. vol 2 no1.
- Nusa, Hendra. (2018). Implementasi Diagram UML (Unified Modelling Language) Dalam Perancangan Aplikasi Data Pasien Rawat Inap Pada Puskesmas Lubuk Buaya. *Publikasi Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 2, no. 2.
- Rahman, Dedi dan Dasril Aldo. (2019). Sistem Pakar Untuk Identifikasi Jenis Jerawat Dengan Metode Certainty Factor. *JOINTECS (Journal of Information Technology and Computer Science)*. vol. 4, no. 3, p. 79.
- Riyowati, Budi, Nuzul Imam Fadlilah. (2019). Rancang Bangun Aplikasi Ensiklopedia Batik Indonesia Berbasis Android. *Jurnal Evolusi Informatika*, vol. 7, no. 1.
- Sari, Evi Aprilia. (2019). Peran Pustakawan AI (Artificial Intelligent) Sebagai Strategi Promosi Perpustakaan Perguruan Tinggi Di Era Revolusi. *Jurnal Kajian Perpustakaan dan Informasi*. vol. 3, no. 1.

- Sirat, Ni Made, dkk. (2019). Efektifitas Pelatihan Dokter Gigi Kecil Untuk Meningkatkan Kebersihan Gigi dan Mulut. *Jurnal Kesehatan Gigi*.
- Sianturi, Fricles Ariwisanto. (2019). Analisa Metode Teorema Bayes Dalam Mendiagnosa Keguguran Pada Ibu Hamil Berdasarkan Jenis Makanan. *Jurnal TEKINKOM*, vol. 2, no 1.
- Wijayana, Yenita, dkk. (2019). Sistem Pakar Kerusakan Hardware Komputer Dengan Metode Backward Chaining Berbasis Web. *Media ElektriKa*, vol. 12, no. 2.
- Yona, Novi dan Sidratul Munti. (2019). Perancangan Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Lupus Eritmatosus Sistem (Les) Dengan Metode Forward Chaining Menggunakan Pemrograman Php dan Mysql. vol.10,no.1