

**ANALISIS PROTEKSI RELE JARAK PADA SALURAN
UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV**

LAPORAN PENELITIAN

Disusun oleh:
Dr-Ing Agus Sofwan M.Eng.Sc
Sugianto, Ir.MT.
Eggi Maulana Yusuf.



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA**

2021

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN**

1. Judul Penelitian : Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV
2. Bidang Ilmu : Teknik Elektro/ Tenaga
3. Jumlah Tim Peneliti : 3 Orang
4. Ketua Peneliti
 - a Nama (lengkap dengan gelar) : Dr-Ing Agus Sofwan .MSc.
 - b NIDN : 0331076204
 - c Jenis Kelamin : Laki-laki
 - d Jabatan Akademik : Lektor
 - e Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
 - f Program Studi : Teknik Elektro
 - g Bidang Keahlian : Arus Kuat
5. Anggota Peneliti
 - a Nama (lengkap dengan gelar) : Sugianto, Ir.MT dan Eggi Maulana Y,ST
 - b Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
 - d Program Studi : Teknik Elektro
 - e Perguruan Tinggi : Institut Sains dan Teknologi Nasional
 - f Bidang Keahlian : Teknik Tenaga
6. Lokasi Penelitian : Gardu Induk Depok 150 kV
7. Jangka Waktu Penelitian : 6 Bulan
8. Biaya Penelitian : Rp.3.210.000,00,-

Jakarta, 30 September 2021

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknologi Industri

Ketua Peneliti

Dr. Musfirah Cahya Fajrah, S. Si., M.Si

NIDN : 0004067109

Dr-Ing Agus Sofwan, MSc.

NIDN : 0331076204

Disetujui Oleh,

Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat

Ir. Syahril Taufik, M. Sc. Eng., Ph. D

NIDN :

PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik, lancar dan selesai tepat pada waktu yang telah ditentukan.

Laporan penelitian ini merupakan salah satu tugas dari tenaga pendidikan dalam melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi dan suatu kewajiban yang harus dilaksanakan sebagai dosen lingkungan program studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ISTN. Penelitian ini dilaksanakan dikawasan Gardu Induk Depok 150 kV, untuk semester genap 2020-2021 mulai dari bulan April 2021 sampai dengan bulan September 2021 dengan judul “Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV”.

Pada kesempatan ini para peneliti mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti yang telah membantu dalam pelaksanaan dilapangan, fasilitas, proses data maupun dana sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

Semoga hasil penelitian ini berguna untuk kemajuan ilmu dan teknologi komunikasi data dan juga komunikasi bidang teknik elektro

Jakarta, 30 September 2021

Peneliti

ABSTRAK

Rele jarak(Distance Rele) difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan *Zone-1*, *Zone-2*, *Zone-3*. Metode yang digunakan untuk menentukan pengaturan rele jarak pada sistem jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Cawang – Depok dan KD.Badak - Depok. yaitu dengan mencari data parameter penghantar dan transformator. Perhitungan nilai setting rele pada diterapkan pada rangkaian dan dianalisa, apakah dapat bekerja dengan baik dan tepat. Hasil perhitungan impedansi jangkauan sesuai data kabel penghantar didapatkan sebagai berikut ;pada transmisi GI Cawang- Depok Pada Zona 1 = 8,768 Ω , Zona 2 = 13,152 Ω , Zona 3 = 24,299 Ω . dan pada transmisi GI KD.Badak - Depok Pada Zona 1 = 8,765 Ω , Zona 2 = 13,149 Ω , Zona 3 = 24,299 Ω

Kata kunci :pengaturan, rele jarak, impedansi, pengaman utama

ABSTRACT

The distance relay (Distance Rele) functions as the main safety for the 150 kV high voltage overhead line (SUTT). The basic principle of distance relay is to read impedance based on *Zone-1*, *Zone-2*, *Zone-3*. The method used to determine the distance relay settings on the 150 kV Cawang High Voltage Air Line (SUTT) network system Cawang - Depok and KD.Badak - Depok. that is by looking for the data of the conductor and transformer parameters. The calculation of the relay setting value is applied to the circuit and analyzed, whether it can work properly and correctly. The results of the range impedance calculation according to the cable conductor data are obtained as follows; in the Cawang-Depok GI transmission, Zone 1 = 8,768 Ω , Zone 2 = 13,152 Ω , Zone 3 = 24,299 Ω . and for the GI KD.Badak - Depok transmission in Zone 1 = 8,765 Ω , Zone 2 = 13,149 Ω , Zone 3 = 24,299 Ω

Keywords : setting, relay distance, impedance, main safety

DAFTAR ISI

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN	
HASIL PENELITIAN.....	i
PRAKATA.....	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Pokok Permasalahan	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Metode Penulisan.....	3

BAB II. PEMBAHASAN

2.1. Sistem Transmisi Tenaga Listrik.....	5
2.1.1. Komponen-komponen Saluran Transmisi.....	6
2.2. Sistem Proteksi Tenaga Listrik	9
2.2.1. Fungsi Sistem Proteksi.....	9
2.2.2. Persyaratan Sistem Proteksi.....	10
2.2.3. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	11
2.2.4. Perlengkapan Sistem Proteksi.....	13
2.3. Gangguan Pada Sistem Transmisi	18
2.3.1. Gangguan Sistem.....	18
2.3.2. Gangguan Non Sistem.....	19
2.4. Relay Jarak (Distance Relay).....	19
2.4.1. Prinsip Kerja Rele Jarak.....	20

2.4.2. Setting Rele Jarak.....	23
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian.....	26
3.2. Penyetelan Zona Perlindungan Rele Jarak.....	26
3.3. Pengujian sistem transmisi saat terjadi gangguan.....	29
3.4. Menentukan Letak Gangguan.....	31
3.5. Langkah - Langkah Penelitian.....	32
BAB IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA	
4.1. System Kelistrikan	34
4.2. Data Penelitian.....	35
4.3. Perhitungan Setting Rele Jarak GI Cawang – GI Depok.....	38
4.4. Perhitungan Setting Rele Jarak GI KD.Badak – GI Depok.....	44
4.5. Nilai Pengujian sistem transmisi saat terjadi gangguan	49
4.6. Menentukan Letak Gangguan.....	52
4.7. Analisis Hasil.....	54
BAB V. SIMPULAN	
Simpulan	56
Daftar Pustaka.....	58
Lampiran.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	a) Saluran Horizontal, dan b) Saluran Vertikal	7
Gambar 2.2.	(a) pasang, (b) pos saluran, dan (c) gantung.....	7
Gambar 2.3.	Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	11
Gambar 2.4.	Skema Perlengkapan Sistem Proteksi.....	14
Gambar 2.5.	Prinsip Kerja Relay Jarak Terhadap Adanya Gangguan.....	20
Gambar 2.6.	Diagram segaris rele jarak.....	21
Gambar 2.7.	Pengamanan Saluran dengan Rele Jarak.....	22
Gambar 2.8.	Skema proteksi zona 1 pada Rele jarak.....	23
Gambar 2.9.	Skema jangkauan proteksi: a) zona 2_{\min} dan b) zona 2_{\max} pada Rele jarak.....	24
Gambar 2.10.	Skema jangkauan proteksi: a) zona 3_{\min} dan b) zona 3_{\max} pada Rele jarak.....	25
Gambar 3.1.	Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 1.....	27
Gambar 3.2.	Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2.....	28
Gambar 3.3.	Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 3.....	29
Gambar 3.4.	Zona pengamanan rele jarak.....	29
Gambar 3.5.	Saluran transmisi terdapat gangguan.....	30
Gambar 3.6.	Langkah-langkah penelitian.....	33
Gambar 4.1.	Daerah proteksi rele jarak.....	34
Gambar 4.2.	Skema single line diagram GI Depok 150Kv.....	35
Gambar 4.3.	Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV Cawang – Depok.....	39
Gambar 4.4.	Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV Cawang – Depok.....	40
Gambar 4.5.	Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV	

	Cawang – Depok.....	41
Gambar 4.6.	Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV	
	KD.Badak – Depok	44
Gambar 4.7.	Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV	
	KD.Badak – Depok	45
Gambar 4.8.	Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV	
	KD.Badak – Depok	46
Gambar 4.9.	Saluran transmisi terdapat gangguan.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Transformator.....	35
Tabel 4.2. Data Rasio CT dan PT.....	35
Tabel 4.3. Data spesifikasi rele jarak GI Cawang – GI Depok.....	36
Tabel 4.4. Data spesifikasi rele jarak GI Depok – GI KD.Badak.....	36
Tabel 4.5. Data parameter kabel penghantar GI Cawang – GI Depok.....	37
Tabel 4.6. Data parameter kabel penghantar GI Depok – GI KD.Badak.....	37
Tabel 4.7. Data impedansi urutan.....	38
Tabel 4.8. Nilai setting rele jarak.....	38
Tabel 4.9. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi 150 kV Cawang – Depok.....	42
Tabel 4.10. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi 150 kV GI KD.Badak - GI Depok.....	48
Tabel 4.11. Rekapitulasi letak gangguan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω saluran transmisi GI Cawang – Depok	54
Tabel 4.11. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV Cawang – Depok.....	55
Tabel 4.11. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV KD.Badak – Depok.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rincian Anggaran Dana.....	58
Gambar 1. Name plate Transformator Tegangan.....	59
Gambar 2. Transformator Tegangan pada GI Depok.....	59
Gambar 3. Name Plate Transformator Arus.....	60
Gambar 4. Transformator Arus pada GI Depok.....	60
Gambar 5. Transformator Daya pada GI Depok.....	61
Gambar 6. Name Plate Transformator Daya.....	61
Gambar 7. Denah Menara SUTT 150kV Depok – Cawang.....	62
Gambar 8. Hasil Pengujian Relay Cawang-Depok Jarak pada tanggal 07-11-2017.....	62
Gambar 9. Hasil Pengujian Relay Cawang-Depok Jarak pada tanggal 07-11-2017.....	63
Gambar 10. Single Line Diagram GI Depok tahun 2019.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Energi listrik merupakan salah satu energi yang dipakai oleh seluruh manusia, dimana energi ini dibutuhkan bagi peralatan listrik untuk menghidupkan lampu, menggerakkan motor, memanaskan, mendinginkan maupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain.

Sistem tenaga listrik merupakan hubungan antara pusat listrik (pembangkit) dan konsumen (beban) dimana diantara keduanya terdapat gardu induk, saluran transmisi, dan saluran distribusi sehingga energi listrik yang dihasilkan dari pusat listrik dapat dipergunakan oleh konsumen.

Sistem transmisi tenaga listrik sangatlah penting dalam proses penyaluran energi listrik. saluran transmisi udara seringkali mengalami gangguan yang mengakibatkan pemadaman. Gangguan yang terjadi baik berasal dari dalam sistem maupun luar sistem seperti gangguan hubung singkat, gangguan beban lebih, gangguan yang diakibatkan cuaca buruk. Gangguan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan serta terganggunya proses penyaluran tenaga listrik. Untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan serta kerugian akibat terjadinya gangguan tersebut, maka dibutuhkan suatu sistem proteksi yang andal dan baik. Sistem proteksi berfungsi untuk menjaga kestabilan proses penyaluran tenaga listrik dengan cara mendeteksi terjadinya gangguan atau keadaan tidak wajar pada sistem kemudian memutus bagian sistem yang terganggu sehingga bagian yang tidak terganggu dapat terus beroperasi.

Rele difungsikan sebagai pengaman utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV yaitu Rele jarak(Distance Rele). Prinsip dasar rele jarak adalah membaca impedansi berdasarkan besaran arus dan tegangan yang dirasakan untuk menentukan apakah rele harus bekerja atau tidak. Agar dapat bekerja secara baik maka diperlukan koordinasi antar rele, baik terhadap rele di terminal aliran lawannya maupun dengan rele seksi berikutnya. Koordinasi rele jarak didasarkan pada parameter saluran transmisi dengan memperhatikan parameter gangguan.

Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai proteksi rele jarak pada SUTT 150 kV sehingga diharapkan proteksi bekerja secara cepat dan selektif.

1.2. POKOK PERMASALAHAN

Dalam penelitian ini akan dibahas berapa nilai setting relay jarak GI Cawang – GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok dan nilai jarak letak gangguan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi(SUTT) 150 kV Depok - Cawang.

1.3. BATASAN MASALAH

Agar permasalahan yang ditinjau tidak terlalu luas dan sesuai dengan maksud dan tujuan penulis, maka pada skripsi ini dilakukan pembatasan masalah dalam ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Data-data yang digunakan adalah data dari PLN.
Tempat : PT. PLN (Persero) Depok.
Alamat : Jl. Raya Keadilan No.26-27, Rangkapan Jaya, Kec. Pancoran Mas, Kota Depok, Jawa Barat 16434
2. Data saluran (ZL) menggunakan data saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV dari PLN Depok Tanggal Pengujian 07-11-2017.
3. Gangguan yang terjadi di saluran udara tegangan tinggi (SUTT) pada system kelistrikan.
4. Data setting rele jarak di saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150kV dari PLN Tanggal Pengujian 07-11-2017.

1.5. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai setting rele jarak pada GI Cawang – GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok dan nilai letak gangguan pada SUTT 150 kV pada GI Cawang – GI Depok.

1.6. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari laporan penelitian ini adalah :

1. Dengan adanya penelitian ini, kita dapat mengetahui setting rele jarak pada gardu induk
2. Dengan adanya penelitian ini, kita dapat mengetahui letak gangguan pada saluran transmisi.

1.7. METODE PENULISAN

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Metode Kepustakaan

Melakukan pengumpulan data dengan cara membaca buku, literatur, dengan mempelajari artikel-artikel, jurnal-jurnal penelitian, yang berhubungan dengan perhitungan nilai setting relai jarak dan rumus gangguan yang terjadi pada SUTT 150kV.

2. Metode Observasi di Lapangan

Melakukan studi lapangan dengan mengumpulkan data dari :

Tempat : PT. PLN (Persero) Depok.

Tanggal : 8 Juli 2020

Alamat : Jl. Raya Keadilan No.26-27, Rangkapan Jaya, Kec.
Pancoran Mas, Kota Depok, Jawa Barat 16434

3. Metode Diskusi

Melakukan diskusi dengan dosen pembimbing dan pakar di lapangan.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab.:

Bab I. Pendahuluan,

Dalam bab ini merupakan pendahuluan yang materinya sebagian besar menyempurnakan usulan penelitian yang berisikan tentang latar belakang masalah , perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II. Pembahasan

Dalam bab ini menguraikan teori-teori yang mendasari pembahasan secara terperinci yang memuat tentang pengertian sistem transmisi, Komponen-komponen Saluran Transmisi, Fungsi Sistem Proteksi, Persyaratan Sistem Proteksi, Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Relay Proteksi, Gangguan Pada Sistem Transmisi, Relay Jarak (Distance Relay), Prinsip Kerja Rele Jarak, Setting Rele Jarak

Bab III. Metode penelitian,

bab ini berisikan pembahasan lebih mendalam tentang metode penelitian dalam menghitung setting rele, jarak dan letak gangguan yang terjadi pada SUTT 150 kV dan langkah-langkah penelitian.

Bab IV. Perhitungan dan analisis data

menjelaskan mengenai pengolahan data dan perhitungan data dari metode yang telah dijelaskan pada bab III, dengan tujuan mengubah data mentah menjadi data penelitian. Selain itu proses pengolahan data dan hasilnya akan dianalisis, untuk mendapatkan hasil proses beserta pembuktian dari tahapan metode yang digunakan.

Bab V. Simpulan

berisikan mengenai hasil analisa yang dicapai dari penelitian yang telah dilakukan pada bab IV.

BAB II

PEMBAHASAN

2.1. Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari suatu tempat ketempat lain seperti dari stasiun pembangkitan ke gardu induk. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan energi listrik. Pemilihan dan penggunaan sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya/ energi listrik yang akan disalurkan dari berbagai pembangkit ke pusat beban dengan jarak penyaluran yang cukup jauh. Sistem transmisi energi listrik menyalurkan daya listrik dengan tegangan tinggi dan arus yang relatif kecil yang bertujuan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan. Berdasarkan kapasitas tegangan yang disalurkan Saluran Transmisi terdiri dari:

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200kV-500kV

Di Indonesia umumnya saluran udara yang digunakan adalah pada kapasitas 500 kV. Hal ini bertujuan untuk menghindari jatuh tegangan yang besar dari kawat penghantar, sehingga diharapkan akan memperoleh hasil yang efektif, efisien serta ekonomis namun, dalam pembangunan, konstruksi SUTET memerlukan menara yang tinggi dan ukuran yang lebar, lahan yang luas, sehingga membutuhkan investasi anggaran yang besar.

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV-150 kV

Saluran udara tegangan tinggi bekerja pada tegangan 30 kV sampai dengan 150 kV, konfigurasi jaringan menggunakan jalur kawat tunggal maupun ganda, dimana 1 jalur terdiri dari 3 kawat fasa. Kelebihan SUTT yaitu konstruksinya yang lebih kecil dan lebih murah namun, losses lebih besar dan jatuh tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan SUTET.

3. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30kV-150kV

Saluran Kabel Tegangan Tinggi adalah saluran daya/energi listrik dengan menggunakan kabel dengan isolasi PVC yang ditimbun ditanah.

Pemasangan seperti ini biasanya berada didalam kota, dan tidak terpengaruh oleh cuaca buruk tetapi memiliki kekurangan yaitu biaya investasi yang mahal serta sulitnya dalam menentukan titik gangguan dan perbaikannya.

Berikut ini adalah beberapa pertimbangan transmisi menggunakan kabel bawah tanah :

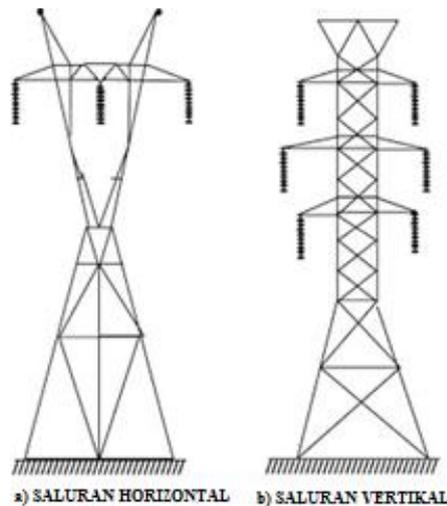
- a. Didalam kota tidak memungkinkan pembangunan dan pemasangan SUTT karena terbatasnya lahan untuk membangun menara/tower.
- b. Padat bangunan dan terdapat gedung perkantoran yang tinggi (bangunan bertingkat).
- c. Lebih estetis, tidak mengganggu pemandangan, dan faktor keamanan lingkungan.

2.1.1. Komponen-komponen Saluran Transmisi

Komponen – komponen utama dari saluran transmisi udara adalah sebagai berikut:

1. Menara atau Tiang Transmisi

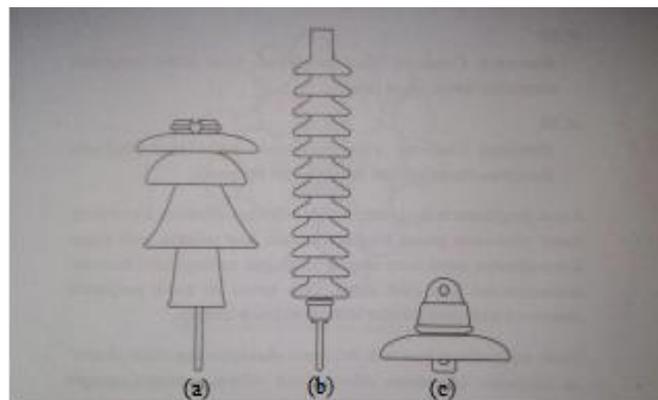
Menara transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, ataupun tiang beton, tiang beton biasanya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja (dibawah 70 KV), sedangkan untuk saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) atau ekstra tinggi (SUTET) menggunakan menara baja (tower), seperti pada gambar dibawah ini, menara baja dibagi sesuai dengan fungsinya, yaitu menara dukung, menara sudut, menara ujung, menara percabangan dan menara transposisi. Jenis- jenis menara transmisi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1. a) Saluran Horizontal, dan b) Saluran Vertikal

2. Isolator

Isolator untuk saluran transmisi dapat diklasifikasikan menurut penggunaannya dan konstruksinya yaitu isolator gantung (suspension), jenis pasak (pin-type), jenis batang panjang (long-rod) dan jenis pos saluran (line post). Gandengan isolator gantung pada umumnya digunakan untuk saluran transmisi tegangan tinggi, sedangkan untuk isolator batang panjang dipakai pada daerah dengan kondisi debu yang cukup tinggi, dan untuk dua jenis yang lain dipakai pada saluran transmisi yang relatif rendah kurang dari 22-33 kV. Jenis-jenis isolator porselin dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2. (a) pasak, (b) pos saluran, dan (c) gantung

3. Kawat Penghantar

Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT), jarak antara menara/tiang dengan yang lain terletak berjauhan sehingga diperlukan penghantar dengan kemampuan yang lebih baik dalam menyalurkan energi listrik. Jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%), atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Berikut ini adalah jenis-jenis kawat penghantar Aluminium:

- a. AAC = All-Aluminium Conductor, adalah kawat penghantar/konduktor saluran transmisi yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- b. AAAC = All-Aluminium-Alloy Conductor, adalah kawat penghantar/konduktor saluran transmisi yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. ACSR = All Conductor, Steel-Reinforced, adalah kawat penghantar/konduktor aluminium yang berinti baja sehingga mempunyai kekuatan yang tinggi.
- d. ACAR = All Conductor Alloy-Reinforced, adalah kawat penghantar/konduktor aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Dibandingkan penghantar aluminium, Kawat penghantar tembaga mempunyai kelebihan yaitu memiliki konduktivitas dan kuat tarik yang lebih lebih tinggi namun. Tembaga memiliki kelemahan yaitu untuk nilai tahanan (R) yang sama, tembaga lebih berat dan harga lebih mahal. Hal inilah yang menyebabkan penghantar aluminium banyak dipakai pada saluran transmisi daya listrik.

4. Kawat Tanah

Ground wires atau kawat tanah adalah pelindung kawat fasa atau penghantar dari gangguan sambaran petir sehingga disebut juga sebagai kawat pelindung (shield wires). Pada umumnya kawat yang dipakai adalah kawat baja (steel

wires) yang berukuran lebih kecil tetapi, terkadang juga memakai kawat ACSR sebagai kawat tanah.

2.2 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Kerja dari sistem proteksi membutuhkan 2 hal yang saling berkaitan yaitu :

1. Sistem tenaga listrik harus mempunyai Circuit Breaker (PMT) untuk melakukan pegisolasian dari bagian yang terkena gangguan.
2. Setiap Circuit Breaker (PMT) harus dilengkapi alat pengendali yang dapat mendeteksi keadaan tidak normal, dan hanya mengaktifkan Circuit Breaker yang diperlukan untuk mengisolasi kondisi tidak normal.

Hal ini dikenal dengan nama “selective fault clearance” untuk dapat melakukan hal tersebut relay proteksi harus diberi informasi yang tepat untuk membedakan antara kondisi abnormal yang berada di zona proteksi (dimana harus terjadi tripping), atau pada saat arus beban normal (dimana tidak boleh terjadi tripping).

2.2.1. Fungsi Sistem Proteksi

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau membatasi pengaruh-pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian-bagian yang lain. Adapun tujuan lain dari sistem proteksi adalah:

- a. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan yang diakibatkan oleh gangguan (keadaan tidak normal), yang akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat.
- b. Melokalisir (memisahkan) luas daerah yang mengalami gangguan menjadi sekecil mungkin
- c. Mengamankan manusia/pengguna terhadap bahaya yang akan ditimbulkan oleh listrik.

- d. Untuk menjaga alat ataupun komponen agar dapat bekerja sesuai dengan batas kemampuan kerjanya.

2.2.2. Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. Keterandalan (Reliability)

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

2. Selektivitas (Selectivity)

Selektivitas berarti relay harus mempunyai daya beda (discrimination), sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian relay bertugas mengamankan peralatan. Relay mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian yang terganggu. Bagian yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan masih. Jika terjadi pemutusan hanya terbatas pada daerah yang terganggu.

3. Sensitivitas (Sensitivity)

Relay harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relay harus dapat bekerja pada awalnya terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberi keuntungan dimana kerusakan peralatan

yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian, relay juga harus stabil.

4. Kecepatan Kerja

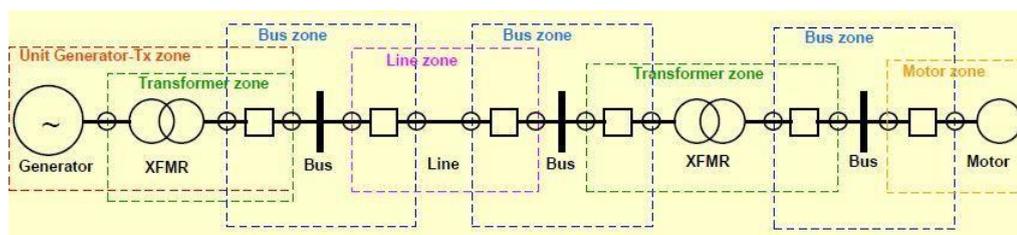
Relay pengaman harus dapat bekerja dengan cepat. Jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun demikian, relay tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 ms). Disamping itu,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

5. Ekonomis

Satu hal yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas, selektivitas dan kecepatan kerja relay hendaknya tidak menyebabkan harga relay tersebut menjadi mahal.

2.2.3. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Zona proteksi adalah daerah- daerah proteksi yang dibentuk untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada sebuah sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan. Setiap zona proteksi dipisahkan oleh alat pemutus tenaga (circuit breaker) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami keadaan tidak normal/gangguan dan zona yang aman dari gangguan/tidak terkena gangguan. Contoh daerah – daerah zona proteksi sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

- **Zona Proteksi Utama**

Zona proteksi utama adalah sistem proteksi pada peralatan utama sistem kelistrikan yang harus beroperasi untuk zona utama yang diproteksi. Waktu kerja dimulai ketika terjadi gangguan sampai dengan terbukanya peralatan pemutus tenaga (PMT) dengan waktu maksimal 100 ms (20-40 ms waktu kerja relay proteksi dan 40-60 ms waktu terbukanya pemutus tenaga). Komponen proteksi utama terdiri dari relay proteksi, trafo PT, trafo CT, power supply, dan pemutus tenaga. Kegagalan operasi pada komponen-komponen proteksi utama dapat dikategorikan menjadi:

- 1) Relay tidak dapat bekerja dengan normal.
- 2) Kegagalan pembacaan besaran yang masuk ke relay. Hal ini dapat disebabkan karena kerusakan transformator arus (CT) dan atau transformator tegangan (PT), dapat juga dikarenakan rangkaian catu ke relay dari transformator arus dan tegangan mengalami hubung singkat (short).
- 3) Sistem catu daya arus searah mengalami kegagalan. Hal ini dapat disebabkan karena baterai yang lemah, atau kerusakan baterai lainnya.
- 4) Kegagalan pada pemutus tenaga, kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan tripp tidak menerima catu, terjadi kerusakan mekanis atau kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kapasitas dari pemutus tenaga.

- **Zona Proteksi Cadangan**

Zona proteksi cadangan diharuskan ada untuk dapat mencegah kegagalan kerja peralatan pada zona proteksi utama. Proteksi cadangan umumnya diatur dengan waktu yang lebih lambat dengan tujuan agar pengaman utama bekerja terlebih dahulu. Jika peralatan proteksi zona utama mengalami kegagalan kerja, maka peralatan zona proteksi cadangan harus bekerja. Terdapat dua jenis proteksi cadangan yaitu sebagai berikut:

1) Pengaman Cadangan Setempat (local backup)

Proteksi cadangan setempat adalah sistem proteksi yang harus dapat bekerja jika pengaman utama mengalami kegagalan kerja, maka relay pada pengaman cadangan harus memberikan isyarat (signal) ke semua pemutus tenaga untuk membuka/melepas yang berkaitan dengan zona gangguan yang terjadi.

Sistem pengaman cadangan setempat pada dasarnya digunakan pada sistem tenaga listrik dengan tegangan kerja ekstra tinggi. Dalam hal ini relay proteksi cadangan diatur dengan waktu kerja dan kecepatan yang mendekati/diperlambat dengan waktu kerja pengaman utama.

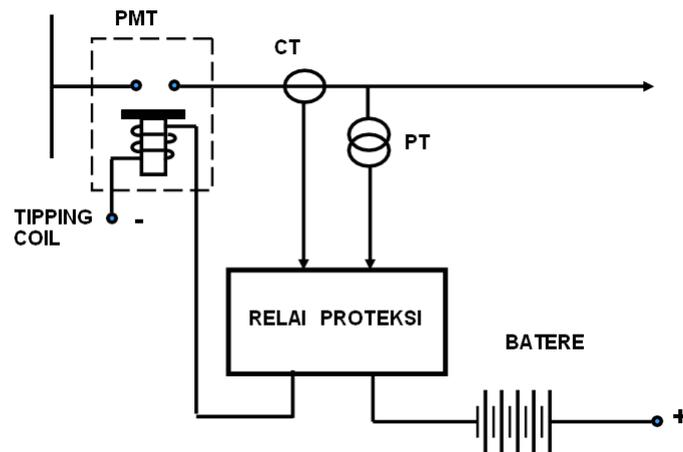
2) Pengaman Cadangan Jauh (remote backup)

Proteksi cadangan jauh adalah proteksi yang digunakan untuk mencegah terjadinya kegagalan kerja proteksi utama dan proteksi cadangan didaerah tertentu. Gangguan yang terjadi pada daerah tertentu akan diminimalisir/dipisahkan bahkan dihilangkan oleh proteksi cadangan jauh (proteksi yang berada ditempat berikutnya).

Relay proteksi cadangan jauh yang biasa dipakai adalah relay arus lebih (over current relay) dan relay jarak (distance relay). Proteksi cadangan jauh kurang maksimal untuk sistem skala yang besar karena dapat mengalami kegagalan kerja yaitu terjadi tripping atau pelepasan pemutus tenaga yang tidak dikehendaki.

2.2.4. Perlengkapan Sistem Proteksi

Dalam aplikasinya, sistem proteksi terdiri dari beberapa peralatan pendukung. Berikut ini adalah skema secara umum dari sistem proteksi beserta peralatan pendukung yang digunakan:



Gambar 2.4. Skema Perlengkapan Sistem Proteksi

Berdasarkan gambar diatas, arus dan tegangan yang sudah terbaca CT dan PT, di teruskan menuju relay proteksi untuk cara kerjanya dengan cara membaca input dari trafo instrumen berupa besaran arus ataupun tegangan kemudian membandingkan dengan nilai setting yang telah diterapkan pada relay. jika nilai besaran arus maupun besaran tegangan yang terbaca oleh relay kurang dari nilai yang diterapkan di relay (relay setting), yang terjadi adalah relay akan memberi isyarat/signal lepas (tripping) kepada pemutus tenaga (PMT)/circuit breaker (CB) sesuai dengan pengaturan waktu pada setting relay. Dan fungsi batere sebagai sumber tenaga arus searah (DC) untuk relay proteksi utama dan relay proteksi bantu sehingga dapat bekerja memberi respon/sinyal ke Circuit Breaker (CB) / Pemutus Tenaga (PMT) untuk memutuskan sistem yang terkena gangguan.

- **Transformator Instrumen**

- a. **Current Transformer / Transformator Arus**

Transformator/trafo arus (CT) adalah peralatan tenaga listrik yang berfungsi menurunkan arus yang tinggi dari sisi primer transformator menjadi arus dengan ukuran yang lebih rendah disisi sekunder transformator. Trafo arus digunakan sebagai elemen pengukuran karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini disebabkan karena arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi, sehingga pengukuran tidak dapat

dilakukan secara langsung oleh operator karena sangat berbahaya. Selain untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk parameter relay proteksi. Karakteristik trafo arus ditandai oleh Current Transformer Ratio (CTR) yang merupakan perbandingan antara arus yang dilewatkan oleh sisi primer dengan arus yang dilewatkan oleh sisi sekunder. Saat terjadi hubung singkat, trafo arus harus dapat menahan arus hubung singkat pada batas waktu tertentu, kemampuan kerja trafo arus untuk kebutuhan pengukuran adalah 0.3 sampai 1.2 kali dari arus yang akan diukur sesuai standart IEEE C57.13, sedangkan untuk keperluan proteksi trafo arus dirancang untuk mampu mengalirkan arus lebih, sebesar 10 kali arus nominalnya.

b. Potential Transformer (PT) / Transformator Tegangan

Potential Transformer/Trafo tegangan (PT) adalah peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi dari sisi primer trafo, menjadi tegangan yang lebih rendah disisi sekunder trafo yang sesuai dengan pengaturannya (rasio) dan digunakan sebagai alat pengukuran dan alat proteksi. Trafo tegangan digunakan dalam pengukuran tegangan yang tinggi pada suatu busbar atau jaringan karena tidak mungkin dilakukan langsung pada tegangan yang sangat tinggi dan berbahaya. Sama halnya dengan trafo arus trafo tegangan selain untuk pengukuran tegangan, trafo tegangan juga digunakan untuk telemeter relay proteksi. Saat terjadi gangguan trafo tegangan akan mengukur dan memberikan isyarat ke relay proteksi berupa tegangan gangguan yang bisa berupa tegangan lebih (over voltage) dan tegangan kurang (under voltage). Sehingga relay akan memberi respon selanjutnya tergantung dengan jenis relay proteksinya.

- **Circuit Breaker (CB) / Pemutus Tenaga (PMT)**

Circuit Breaker (CB)/Pemutus Tenaga merupakan perangkat listrik yang berfungsi untuk mengisolir bagian sistem yang mengalami gangguan dan bagian sistem yang aman. Circuit Breaker (CB)/Pemutus Tenaga dapat

dioperasikan dengan cara ditutup atau dibuka dengan koordinasi/perintah dari sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu, didalam PMT juga terdapat elemen tripping coil yaitu kumpulan yang bekerja secara magnetis untuk dapat menarik tuas pemutus beban, tripping coil jika dialiri arus listrik maka akan bekerja berdasarkan prinsip kemagnitan yang akan membuka atau menutup tuas kontakannya.

Berdasarkan media pemutus listrik dan pemadam bunga api yang terjadi karena gangguan hubung singkat, terdapat empat jenis Circuit Breaker (CB)/Pemutus Tenaga (PMT) yaitu sebagai berikut:

1. Air Circuit Breaker (ACB), yaitu circuit breaker yang menggunakan media berupa udara murni yang berasal dari pegas memadamkan busur api yang terjadi akibat pelepasan/pemutusan arus gangguan.
2. Vacum Circuit Breaker (VCB), yaitu circuit breaker yang menggunakan media berupa media vacum (hampa udara) untuk memadamkan busur api yang terjadi akibat pelepasan/pemutusan arus gangguan.
3. Gas Circuit Breaker (GCB), yaitu circuit breaker yang menggunakan media berupa media Gas untuk memadamkan busur api yang terjadi akibat pelepasan/pemutusan arus gangguan.
4. Oil Circuit Breaker (OCB), yaitu circuit breaker yang menggunakan media berupa media minyak untuk memadamkan busur api yang terjadi akibat pelepasan/pemutusan arus gangguan.

Terdapat persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu peralatan untuk menjadi pemutus tenaga:

- a) Dapat menyalurkan arus maksimum secara terus menerus.
- b) Dapat memutus/melepas sistem tenaga listrik dalam kondisi berbeban maupun dalam kondisi hubung singkat tanpa mengakibatkan kerusakan pada sistem dan pemutus tenaga itu sendiri.
- c) Dapat memutus gangguan hubung singkat/arus gangguan dengan kecepatan yang tinggi.

- **Relay Proteksi**

Relay proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang bekerja dengan membaca input dari trafo instrumen berupa besaran arus ataupun tegangan kemudian membandingkan dengan nilai setting yang telah diterapkan pada relay, jika nilai besaran arus maupun besaran tegangan yang terbaca oleh relay kurang atau lebih dari nilai yang diterapkan di relay (relay setting), yang terjadi adalah relay akan memberi isyarat/signal lepas (tripping) kepada pemutus tenaga (PMT)/circuit breaker (CB) sesuai dengan pengaturan waktu pada setting relay untuk memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang aman, sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal. Relay proteksi dapat mengetahui adanya gangguan dari peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran- besaran yang diterimanya, seperti arus dan tegangan, serta frekuensi tergantung pada jenis relay proteksinya dengan parameter yang telah ditentukan. Relay proteksi kemudian akan mengambil keputusan dan memberikan respon ke pemutus tenaga untuk membuka atau memutus arus hubung singkat maksimum yang melaluinya. Fungsi dari relay proteksi adalah:

- 1) Sebagai elemen pengindera, pembanding dan penentu bagian sistem yang terganggu dan memberi tindakan berupa memisahkan/mengisolasi sistem yang mengalami gangguan dan sistem yang aman.
- 2) Meminimlisir kerusakan yang terjadi pada peralatan yang terganggu, sehingga kerusakan yang terjadi tidak serius.
- 3) Mengurangi pengaruh gangguan yang terjadi terhadap sistem yang mengalami gangguan dan sistem yang aman sehingga sistem dapat kembali beroperasi dengan normal.

- **Catu daya/Batere**

Merupakan komponen yang berfungsi sebagai sumber tenaga arus searah (DC) untuk relay proteksi utama dan relay proteksi bantu sehingga dapat bekerja memberi respon/sinyal ke Circuit Breaker (CB) / Pemutus Tenaga (PMT) untuk memutuskan sistem yang terkena gangguan. Relay proteksi harus

selalu dapat bekerja sehingga diperlukan catu daya sebagai sumber power bagi relay. Catu daya biasa berupa baterai.

- **Pengawatan / Wiring**

Wiring adalah elemen yang berfungsi untuk menghubungkan komponen-komponen proteksi menjadi suatu sistem proteksi tenaga listrik. Pengawatan/wiring biasanya menggunakan kabel, ataupun lempengan tembaga (bus bar).

2.3. Gangguan Pada Sistem Transmisi

Gangguan dapat didefinisikan sebagai suatu ketidaknormalan (interferes) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Hal tersebut tentunya menimbulkan kerugian di dalam operasi sistem tenaga listrik. Kerugian tersebut dapat berupa rusaknya peralatan, terputusnya suplai listrik ke tempat-tempat tertentu atau bahkan dapat berupa matinya sistem tenaga listrik secara keseluruhan (black out).

Secara umum, gangguan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gangguan sistem dan gangguan non sistem:

2.3.1. Gangguan Sistem

Gangguan sistem merupakan gangguan yang terjadi didalam sistem tenaga listrik seperti gangguan pada generator, transformator, dan saluran transmisi daya listrik. Dari segi kelistrikan, gangguan tersebut umumnya berupa hubung singkat (short circuit) yaitu ketika 2 kawat bertegangan dengan jarak sangat dekat sehingga nilai tahanan menjadi sangat kecil mendekati nol dan menyebabkan nilai arus listrik yang sangat besar mendekati tak hingga dari arus nominal. Gangguan yang menimbulkan arus hubung singkat memiliki keseimbangan fasa yang berbeda-beda sesuai dengan gangguannya sehingga dapat dibedakan menjadi gangguan asimetris dan gangguan simetris.

Pada gangguan asimetris, gangguan menyebabkan arus dan tegangan yang mengalir dalam kondisi fasa yang tidak seimbang yang terdiri dari

gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua, dan hubung singkat dua fasa ke tanah

Sementara itu, gangguan simetris memiliki arus dan tegangan yang fasanya seimbang. Hal ini bisa terjadi karena yang mengalami gangguan ketiga fasa secara bersamaan sehingga fasanya bisa tetap seimbang. Gangguan tersebut terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.

2.3.2. Gangguan Non Sistem

Gangguan non-sistem merupakan gangguan dimana pemutus bekerja walaupun secara nyata tidak terjadi gangguan di sistem. Hal tersebut lebih disebabkan karena kerusakan relay, kabel kontrol atau terdapat induksi/interferensi dari luar dapat juga dikarena oleh bencana alam seperti badai, hujan berkepanjangan, angin topan, polusi udara dan sebagainya.

Gangguan dapat berlangsung sementara atau temporer maupun permanen. Gangguan temporer terjadi hanya sementara, dimana gangguan terjadi terdeteksi oleh peralatan pengaman sistem tenaga listrik kemudian dihilangkan atau diisolasi dengan cara membuka pemutus. Tidak berselang berapa lama pemutus ditutup kembali dengan gangguan yang sudah hilang dan sistem kembali beroperasi secara normal.

Pembukaan pemutus tidak bisa langsung menghilangkan gangguan pada gangguan yang bersifat permanen. Diperlukan tindakan lebih lanjut seperti perbaikan atau penggantian bagian yang mengalami gangguan permanen. Jadi secara sederhana gangguan permanen memiliki dampak yang lebih luas/besar daripada gangguan yang bersifat sementara.

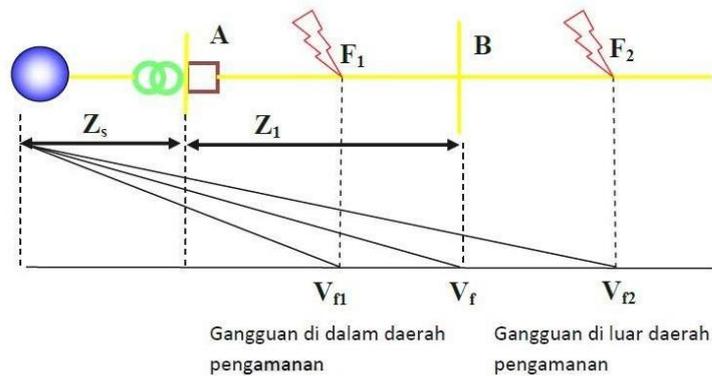
2.4. Relay Jarak (Distance Relay)

Pada umumnya proteksi yang banyak diterapkan pada saluran transmisi adalah menggunakan relay jarak (distance relay), penggunaan relay jarak sebagai pengaman saluran transmisi lebih baik dan tidak mudah terpengaruh dengan perubahan sumber daya dan konfigurasi jaringan.

Disebut relay jarak, karena impedansi pada saluran transmisi besarnya akan sebanding dengan panjang saluran, Relay jarak bekerja dengan perbandingan tegangan dan arus gangguan untuk mendapatkan nilai impedansi saluran yang harus diamankan sebagai inputan dari trafo instrumentasi yang kemudian dibandingkan dengan setting relay jarak yang diterapkan apabila nilai impedansi yang terukur diluar batas pengaturannya, maka relay akan bekerja, dan akan memberi perintah lepas (tripping) kepada pemutus tenaga (PMT)/circuit breaker (CB) sesuai dengan waktu yang diterapkan pada setting relay untuk memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang aman namun, pada relay jarak tidak hanya tergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi jarak gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. Relay jarak bekerja dengan membagi zona proteksi menjadi tiga bagian yaitu pengamanan zona 1, pengamanan zona 2, dan pengamanan zona 3, relay jarak dilengkapi dengan peralatan teleproteksi (TP)/pengirim sinyal agar relay jarak dapat selalu bekerja dengan cepat, selektif dan tepat sesuai zona proteksinya.

2.4.1. Prinsip Kerja Rele Jarak

Relay jarak atau distance relay bekerja dengan mengukur tegangan pada lokasi relay terpasang (apparent impedance) dan arus gangguan yang terlihat dari relay (batas jangkauan/reach setting), dengan membagi besaran tegangan dan arus gangguan, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Dari perhitungan impedansi dapat diketahui pengaruh nilai impedansi terhadap lokasi gangguan yang terjadi, ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang jauh maka nilai impedansinya akan besar hal ini disebabkan karena nilai arus gangguan yang terjadi kecil, sedangkan ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang dekat maka nilai impedansinya akan kecil karena nilai arus gangguan yang terjadi sangat besar. Hal inilah yang menjadi dasar relay dapat menentukan estimasi jarak gangguan yang terjadi karena besarnya nilai impedansi akan sebanding dengan panjang saluran transmisi. Contoh prinsip kerja relay jarak terhadap adanya gangguan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



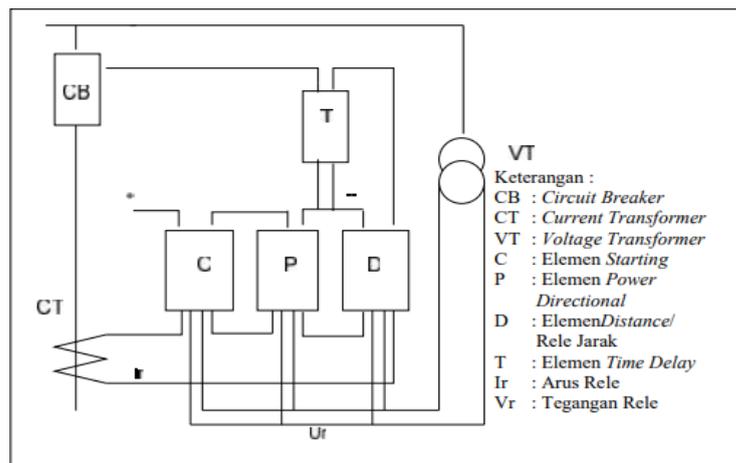
Gambar 2.5. Prinsip Kerja Relay Jarak Terhadap Adanya Gangguan

Distance relay akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan setting impedansi pada rele jarak, dengan ketentuan :

- Jika harga impedansi gangguan lebih kecil daripada setting impedansi rele jarak, maka rele jarak akan bekerja.
- Jika harga impedansi gangguan lebih besar atau sama dengan setting impedansi rele jarak, maka rele jarak tidak akan bekerja.

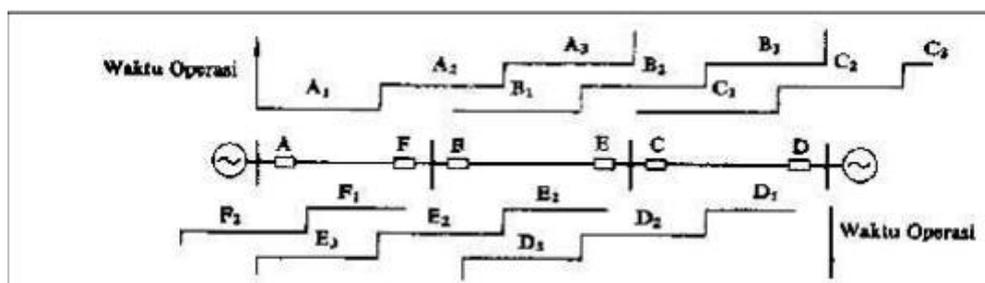
Pada dasarnya rele jarak yang berfungsi untuk mengamankan saluran transmisi memiliki 4 komponen dasar yaitu:

- Elemen starting yang ditandai dengan huruf C, yaitu suatu komponen didalam rele jarak yang berfungsi sebagai pembatas gangguan sehingga apabila terjadi gangguan diluar dari zonanya maka rele tidak boleh kerja.
- Elemen power directional yang ditandai dengan P, merupakan rangkaian yang mengijinkan suatu pengaman bekerja bila ada gangguan dengan arah dari bus ke saluran transmisi yang diamankan.
- Elemen distance yang ditandai dengan huruf D, merupakan rangkaian yang bertanggung jawab terhadap perbandingan tegangan dan arus (V_r/I_r) sehingga diperoleh harga impedansi yang kemudian secara benar mengukur jarak dari pengaman ke titik gangguan yang terjadi.
- Elemen time delay dengan tanda 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 ini :



Gambar 2.6. Diagram segaris rele jarak

Berdasarkan gambar diatas, arus dan tegangan yang terbaca pada CT dan VT akan dibandingkan pada elemen power directional (P) dan elemen distance (D) (V_r/I_r) untuk memperoleh arah gangguan dan harga impedansi yang kemudian secara benar mengukur lokasi dan jarak dari pengaman ke titik gangguan yang terjadi. Pengamanan saluran rele jarak seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.7. Pengamanan Saluran dengan Rele Jarak

Pada gambar 2.7 menunjukkan wilayah cakupan rele jarak dengan sistem penjatuhan daerah secara bertingkat (zone tripping). Tingkat pertama A1 – 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.

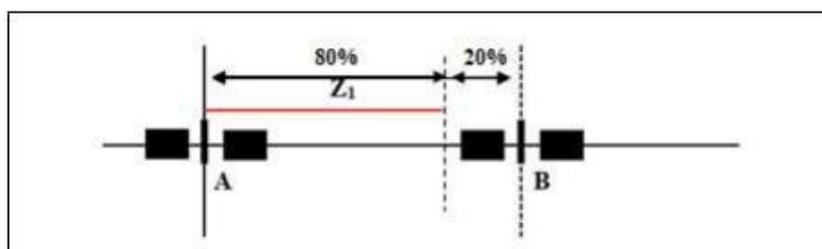
2.4.2. Setting Rele Jarak

Pengaturan relay jarak dapat dilakukan berdasarkan pada daerah yang akan diproteksi oleh relay jarak. Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada saluran transmisi yang mengalami gangguan maka pada relay jarak dibentuk zona proteksi. Zona proteksi relay jarak menggambarkan panjang saluran transmisi yang diproteksi, zona proteksi relay jarak terbagi menjadi tiga zona yaitu sebagai berikut:

1. Setting zonal

Setting zona 1 tidak mencakup 100% saluran yang diproteksi. Saluran yang dicakup zona 1 tergantung pada akurasi rele dan ketidakpastian lainnya, akibat adanya gangguan. Zona 1 biasanya diseting 80% dari panjang saluran transmisi. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam setting zonal adalah :

- a. Unit zonal tidak boleh bekerja bila ada gangguan di terminal ujung saluran. Zona 1 bekerja seketika bila ada gangguan yang terdeteksi. Akurasi rele kurang dapat membedakan apakah gangguan tersebut ada di dekat rel depan saluran yang diproteksi, atau dekat rel pada saluran tetangganya. Akibatnya bisa terjadi pemutusan daya yang luas, karena kedua rele pada rel-rel tetangganya akan segera bekerja.
- b. Jangkauan zona 1 tidak boleh kurang dari 50% panjang saluran, karena pengaruh tahanan gangguan. Sebab akan ada daerah pada saluran tersebut yang tidak mempunyai proteksi seketika. Untuk tingkat amannya, maka zona 1 diseting sedikitnya 60 % saluran yang diproteksi, karena adanya tahanan gangguan terbesar yang diramalkan. Contoh skema proteksi zona 1 pada rele jarak sebagai berikut :

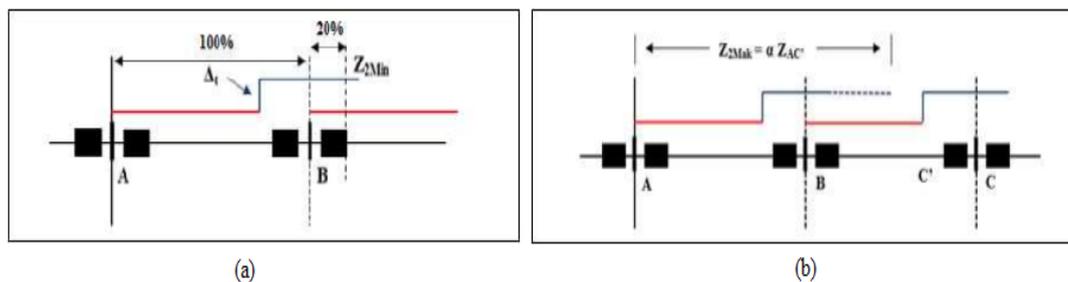


Gambar 2.8. Skema proteksi zona 1 pada Rele jarak

2. Setting zona 2

Zona 2 biasanya diseting mencakup sampai beberapa bagian saluran depan kedua. Impedansi penyetelan adalah 100% saluran depan ditambah 20% saluran depan kedua. Waktu penyetelan zona 2 harus memperhatikan waktu ketidakpastian operasi unit zona 1, agar benar-benar yakin bahwa unit zona 1 memang tidak mendeteksi gangguan tersebut. Prinsip penentuan penyetelan rele pada unit zona 2 adalah :

- a. Jangkauan zona 2 harus mencakup minimum gangguan di rel depan, karena adanya variasi nilai tahanan gangguan. Zona 2 rele diseting 20% lebih besar dari impedansi gangguan, dengan memberi 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. Jangkauan zona 2 sebenarnya dapat mencakup gangguan pada transformator tersebut, asalkan waktu kerja zona 2 lebih lama dari waktu kerja rele-rele 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 lokal menyebabkan pemutusan aliran daya yang luas. Zona 2 hampir selalu diseting tidak boleh mencakup gangguan pada transformator di rel depan. Contoh skema jangkauan impedansi proteksi zona 2 pada rele jarak sebagai berikut :



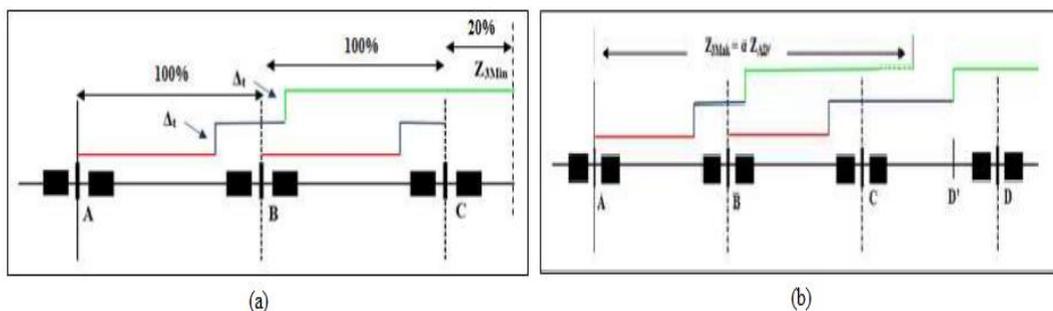
Gambar 2.9. Skema jangkauan proteksi: a) zona 2_{min} dan b) zona 2_{maks} pada Rele jarak

3. Setting Zona 3

Setting jangkauan zona 3 merupakan cadangan unit zona 2 sehingga jangkauannya pasti lebih jauh dari jangkauan zona 2.

a. Tidak ada batasan yang mutlak untuk penyetelan daerah ini, karena zona 3 berada antara jangkauan zona 2 dan jangkauan unit starting. Zona 2 diseting untuk mencakup gangguan pada rel-rel depan kondisi apapun, sedang unit starting dibatasi oleh aliran daya dan ayunan daya. Jangkauan zona 3 biasanya diseting 220% melewati saluran di depan dan saluran di depan kedua.

b. Transformator berada di rel depan, maka zona 3 diseting lebih kecil dari impedansi saluran di depan ditambah reaktansi transformator. Waktu penyetelan proteksi cadangan terlama transformator perlu diperhatikan apabila setting zona 3 tidak memungkinkan. Bila lebih kecil dari waktu penyetelan zona 3 maka penyetelan zona 3 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 rele-rele transformator. Contoh skema jangkauan proteksi zona 3 pada rele jarak sebagai berikut :



Gambar 2.10. Skema jangkauan proteksi: a) zona 3_{min} dan b) zona 3_{maks} pada Rele jarak

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur sesuai dengan objek yang akan dilakukan penelitian, selanjutnya diperlukan data nyata dalam lapangan. Penelitian yang dilakukan penulis berkaitan untuk menganalisa terhadap sistem proteksi rele jarak pada saluran transmisi. Rele jarak sendiri menjadi salah satu sistem proteksi yang dapat melindungi sistem dari gangguan yang terjadi. Data yang didapatkan dilakukan perhitungan matematis sesuai dengan langkah pengerjaan literatur. Hasil perhitungan kemudian dianalisis untuk menghasilkan sebuah simpulan.

Berikut data yang dibutuhkan :

- a. Rasio trafo arus (CT) dan rasio trafo tegangan (PT)
- b. Data kabel penghantar dan jarak antar gardu
- c. Data setting rele jarak saluran transmisi Depok-Cawang dan Depok-KD.Badak

3.2. Penyetelan Zona Perlindungan Rele Jarak

- Perhitungan Rasio CT dan PT di peroleh dengan persamaan:

$$n = \frac{CT}{PT} \quad (3.1)$$

Dimana,

CT = Ratio trafo arus

PT = Ratio trafo tegangan

- Penyetelan Zona 1

Zona 1 mengamankan sejauh mungkin daerah saluran transmisi didepannya yang dilindungi, rele diatur 80% dari panjang saluran dengan mempertimbangkan kesalahan data saluran sebesar 20%, sehingga didapatkan persamaan matematis untuk zona 1 sebagai berikut :

$$Z_{1P} = 0.8 \times ZL_1 \quad (3.2)$$

Jangkauan impedansi Zona 1 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{1S} = n_1 \times Z_{1P} \quad (3.3)$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)

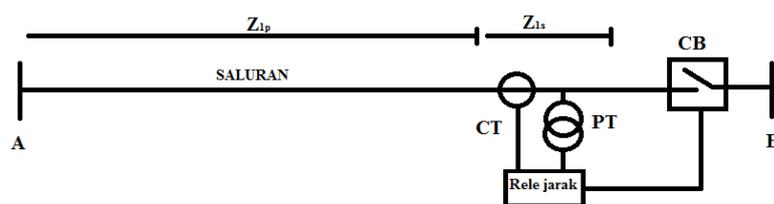
Z_{1P} = impedansi Zona 1 sisi primer (Ω)

Z_{1S} = impedansi Zona 1 sisi sekunder (Ω)

n_1 = Rasio CT dan PT

Waktu aktif rele zona 1 adalah, $t = 0$ detik.

Berikut contoh single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 1 pada gambar dibawah ini :



Gambar. 3.1. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 1 .

- Penyetelan Zona 2

Zona 2 mengamankan sisa daerah yang tidak dilindungi oleh zona 1 sampai saluran selanjutnya. Persamaan untuk zona 2 berlaku rumus sebagai berikut :

$$Z_{2min} = 1.2 \times Z_{L1} \quad (3.4)$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times Z_{L2})) \quad (3.5)$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)

Z_{L2} = impedansi saluran transmisi kedua (Ω)

Waktu aktif rele zona 2 adalah, $t = 0.4$ samapi 0.8 detik.

Jangkauan impedansi Zona 2 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{2p} = Z_{2min} \quad (3.6)$$

$$Z_{2s} = Z_{2p} \times n_1 \quad (3.7)$$

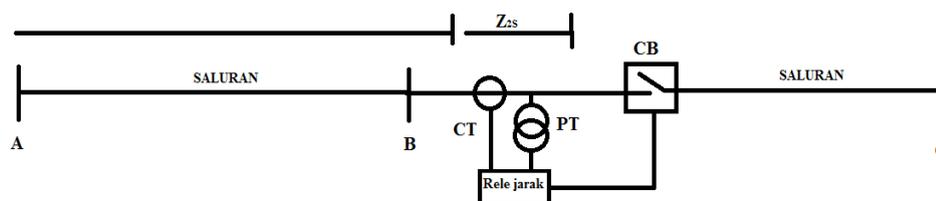
Dimana :

Z_{2p} = impedansi Zona 2 sisi primer (Ω)

Z_{2s} = impedansi Zona 2 sisi sekunder (Ω)

n_1 = Rasio CT dan PT

Berikut contoh single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2 sebagai berikut :



Gambar. 3.2. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2.

- Penyetelan Zona 3

Zona 3 mengamankan sisa daerah yang tidak dilindungi oleh zona 2 dan minimal sampai akhir seksi berikutnya, sehingga didapatkan persamaan untuk zona 3 sebagai berikut ;

$$Z_{3min} = 1.2 (Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (3.8)$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times (Z_{L1} + 1.2.Z_{L2}) \quad (3.9)$$

Dengan :

Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ohm)

Z_{L2} = impedansi saluran transmisi kedua (Ohm)

Waktu aktid rele zona 3 adalah, $t = 1.2$ sampai 1.6 detik.

Pemilihan 1,6 detik agar melebihi waktu pole discrepancy 1,5 detik dan DEF backup. Zona 3 memiliki seting waktu 1,6 detik. Jangkauan impedansi Zona 3 pada sisi sekunder diperoleh dengan persamaan :

$$Z_{3p} = Z_{3min} \quad (3.10)$$

$$Z_{3s} = Z_{3p} \times n_1 \quad (3.11)$$

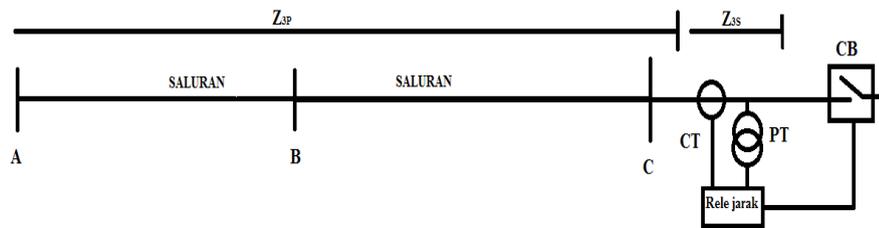
Dimana :

Z_{3p} = impedansi Zona 3 sisi primer (Ω)

Z_{3s} = impedansi Zona 3 sisi sekunder (Ω)

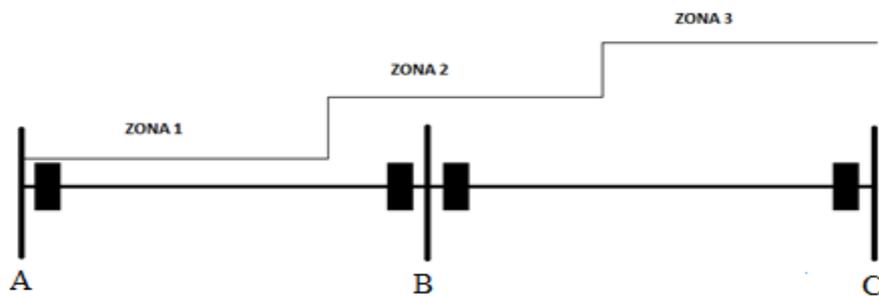
n_1 = Rasio CT dan PT

Berikut Contoh Skema single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 2 pada gambar di bawah ini:



Gambar. 3.3. Single line diagram jangkauan impedansi pada sisi primer dan sekunder pada Zona 3.

Contoh zona pengamanan dari rele jarak pada gambar dibawah ini



Gambar 3.4. Zona pengamanan rele jarak

- **Menentukan Waktu Delay**

Rele jarak akan mendeteksi gangguan sesuai dengan jarak gangguan yang terjadi.

a) Delay Zona 1

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 1 maka rele akan bekerja instant (seketika) :

$$T_1 = 0 \text{ s}$$

b) Delay Zona 2

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 2 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

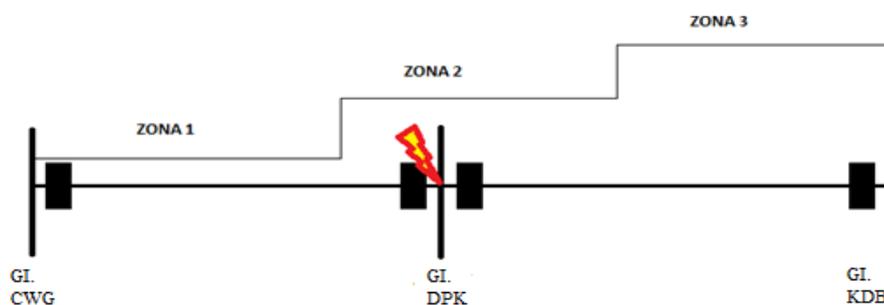
$$T_2 = \begin{cases} 0,4 \text{ s} & \text{jika } Z_{2_{min}} > Z_{2_{maks}} \\ 0,8 \text{ s} & \text{jika } Z_{2_{maks}} > Z_{2_{min}} \end{cases}$$

c) Delay Zona 3

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 3 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

$$T_3 = \begin{cases} 1,2 \text{ s} & \text{jika } Z_{3_{maks}} > Z_{2_{min}} \\ 1,6 \text{ s} & \text{jika } Z_{3_{min}} > Z_{3_{maks}} \end{cases}$$

3.3. Pengujian sistem transmisi saat terjadi gangguan



Gambar 3.5. Saluran transmisi terdapat gangguan

Jika terjadi gangguan pada saluran transmisi pada saat itu rele bekerja dengan membaca dan mengatasi gangguan. Dengan menggunakan persamaan, nilai gangguan yang terjadi dapat diketahui:

a. Pengujian gangguan 1 fasa ke tanah

$$I_f = 3 \times \frac{V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (3.12)$$

b. Pengujian gangguan 2 fasa

$$I_f = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (3.13)$$

c. Pengujian gangguan 3 fasa

$$I_f = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (3.14)$$

d. Pengujian tegangan gangguan

$$V_f = I_f \times Z_1 \quad (3.15)$$

e. Perhitungan Tegangan line to line

- Perhitungan nilai daya

$$P = S \times \cos \theta \quad (3.16)$$

- Perhitungan nilai arus saluran

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_R \times \cos \theta} \quad (3.17)$$

- Perhitungan tegangan saluran

$$V_s = V_R + I_s \cdot Z_{\text{saluran}} \quad (3.18)$$

- Perhitungan tegangan line to line

$$V_{LL} = V_s \times \sqrt{3} \quad (3.19)$$

Keterangan persamaan diatas :

I_f = arus gangguan yang terjadi (A)

Z_1 = positive sequence impedance (Ω)

Z_2 = negative sequence impedance (Ω)

Z_0 = zero sequence impedance (Ω)

Z_f = impedansi gangguan (Ω)

V_f = tegangan gangguan (V)

V_{LL} = Tegangan line to line (V)

V_{LN} = Tegangan line to netral (V)

V_R = Tegangan terima (V)

V_S = Tegangan saluran (V)

I_S = Arus saluran (A)

3.4. Menentukan Letak Gangguan

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi dapat terdeteksi oleh rele jarak dengan membaca impedansi gangguannya. Cara ini dapat diketahui seberapa jauh letak gangguan yang terjadi. Persamaan untuk menentukan letak gangguan rele jarak :

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{Z_g \times \frac{PT}{CT} \times L_S}{L_1} \quad (3.20)$$

Keterangan persamaan diatas :

Z_g = impedansi gangguan (Ω)

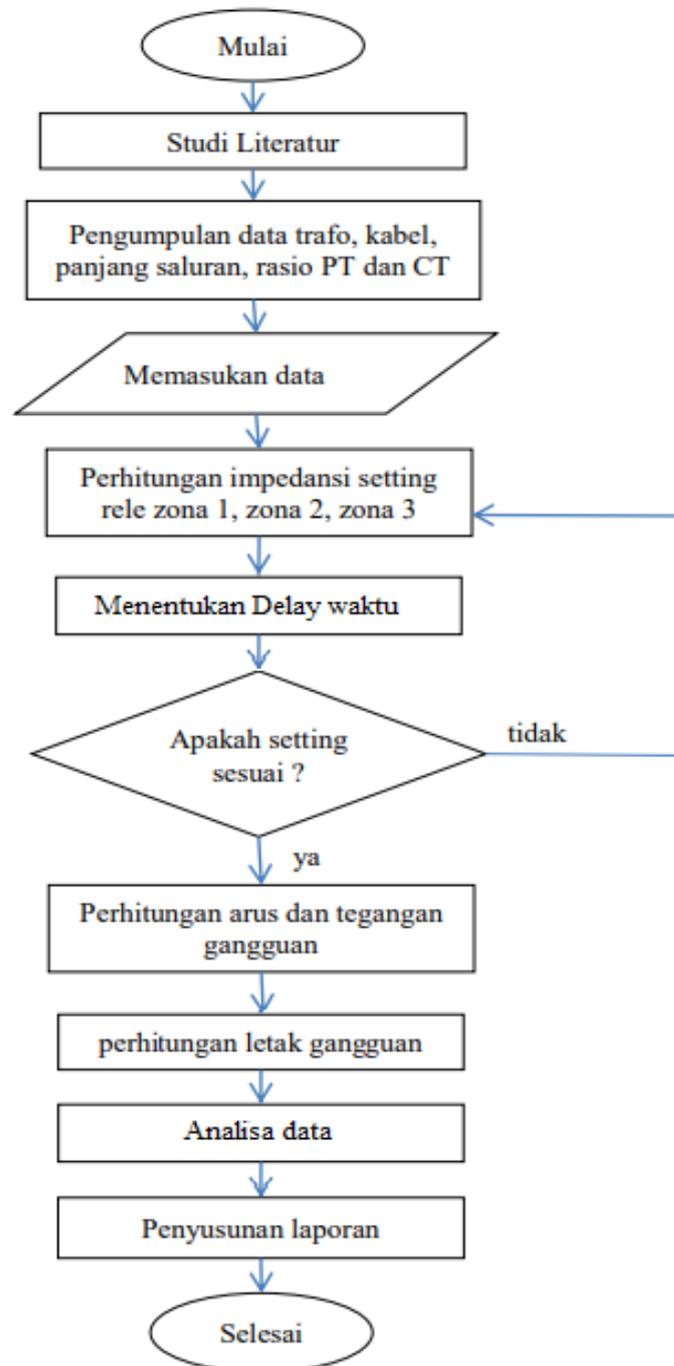
Z_{L1} = impedansi saluran transmisi pertama (Ω)

L_S = Panjang saluran (km)

PT = Transformator tegangan (V)

CT = Transformator arus (A)

3.5. Langkah - Langkah Penelitian



Gambar 3.6. Langkah - langkah penelitian

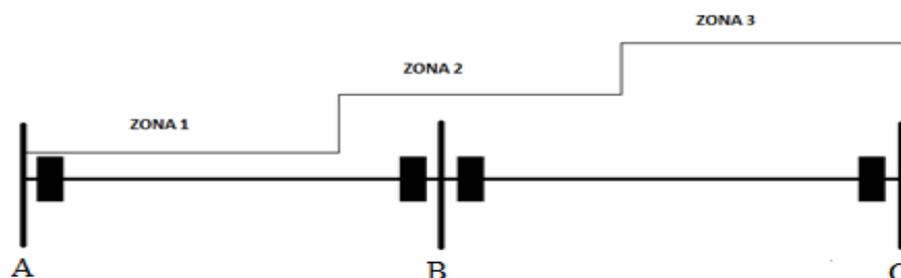
BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1. System Kelistrikan

Relai jarak digunakan sebagai pengaman utama (main Protection) pada SUTT / SUTET dan sebagai backup untuk seksi didepan. Relai jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z). Transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu Zone-1, Zone-2, Zone-3 seperti terlihat pada gambar 4.1, serta dilengkapi juga dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif di dalam pengamanannya.

Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan. Dari perhitungan impedansi dapat diketahui pengaruh nilai impedansi terhadap lokasi gangguan yang terjadi, ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang jauh maka nilai impedansinya akan besar hal ini disebabkan karena nilai arus gangguan yang terjadi kecil, sedangkan ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang dekat maka nilai impedansinya akan kecil karena nilai arus gangguan yang terjadi sangat besar. Hal inilah yang menjadi dasar relay dapat menentukan estimasi jarak gangguan yang terjadi karena besarnya nilai impedansi akan sebanding dengan panjang saluran transmisi.

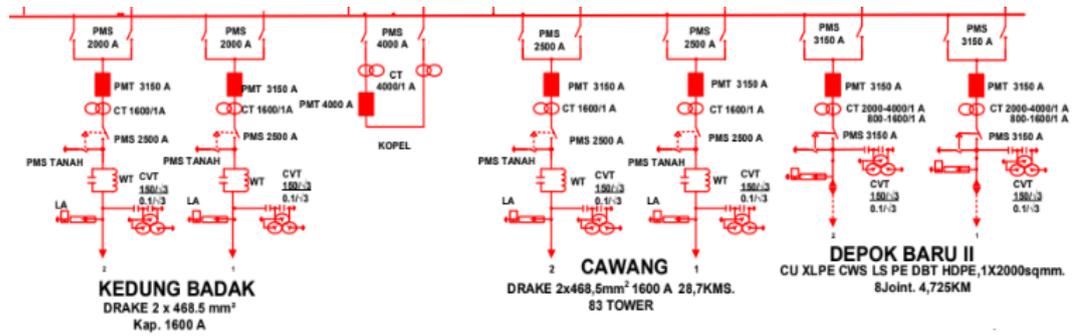


Gambar 4.1. Daerah proteksi rele jarak

4.2. Data Penelitian

Berikut data-data yang diperoleh dari Gardu Induk Depok dan studi literatur, yang terdiri dari :

a. Skema single line diagram GI Depok 150kV edisi Agustus 2019



Gambar 4.2. Skema single line diagram GI Depok 150kV

b. Data Transformator ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Data Transformator

Nama	Uraian	Satuan
Merk	Pouwels Trafo	
Serial Number	30111200	-
Standart	IEC 60076	-
Phases	3	-
Rated Power	36/60	MVA
Frekuensi	50	Hertz

c. Data rasio trafo arus (CT) dan rasio trafo tegangan (PT) ditunjukkan pada Tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2. Data Rasio CT dan PT

Nama	Uraian
CT (Trafo Arus)	1600 : 1
PT (Trafo Tegangan)	150000 : 100

- d. Data spesifikasi rele jarak yang terpasang pada GI Cawang - GI Depok dan GI KD.Badak – Depok ditunjukkan pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4.3. Data spesifikasi rele jarak pada GI Cawang – GI Depok

Nama	Uraian	Satuan
Merk	ALSTOM	-
Tipe	MICOM P443	-
No.Seri	33899919/11/16	
Arus nominal	1	Ampere
Tengangan nominal	100	Volt
Tegangan DC	110	Volt
Frekuensi	50/60	Hertz

Tabel 4.4. Data spesifikasi rele jarak pada GI KD.Badak – GI Depok

Nama	Uraian	Satuan
Merk	ABB	-
Tipe	REL 670	-
No.Seri	T1107114	
Arus nominal	1	Ampere
Tengangan nominal	100	Volt
Tegangan DC	110	Volt
Frekuensi	50/60	Hertz

- e. Data kabel penghantar dan jarak antar gardu induk Cawang-Depok dan Depok-KD.Badak ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.5. Data parameter kabel penghantar GI Cawang – GI Depok

Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	ACSR	-
Jenis Konduktor	DRAKE	-
Panjang Saluran	28,7	km
Diameter Konduktor	28,14	mm
Total Area	468,5	mm ²
Kapasitas arus	1600	A
Impedansi	1,439 + j10,239	Ω/km

Tabel 4.6. Data parameter kabel penghantar GI Depok – GI KD.Badak

Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	ACSR	-
Jenis Konduktor	DRAKE	-
Panjang Saluran	18,3	km
Diameter Konduktor	28,14	mm
Total Area	468,5	mm ²
Kapasitas arus	1600	A
Impedansi	8,257 + j6,222	Ω/km

- f. Data impedansi urutan rele jarak saluran transmisi Cawang – Depok ditunjukkan pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7. Data impedansi urutan

Urutan impedansi	
Urutan impedansi positif	$0.0338 + j0.1097 \Omega$
Urutan impedansi negatif	$0.0338 + j0.1097 \Omega$
Urutan impedansi nol	$4.836 + j21.367 \Omega$

- e. Data nilai setting rele jarak saluran transmisi Cawang – Depok dan Depok - KD.Badak ditunjukkan pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8. Nilai setting rele jarak

No	Bay Transmisi	Setting Zona 1 (Ω), 0 Sec	Setting Zona 2 (Ω), 0,4 Sec	Setting Zona 3 (Ω), 1,6 Sec	SN Relai
1	L1CWG-DPK	6.958	10.436	12.473	33899919/11/16
2	L2CWG-DPK	6.958	10.436	12.473	33899919/11/16
3	L1DPK-KDB	5.17	9.31	15.99	T1107114
4	L2DPK-KDB	5.17	9.31	15.99	T1107114

4.3. Perhitungan Setting Rele Jarak Pada GI Cawang – GI Depok

Evaluasi kinerja rele jarak meliputi setting kerja dan waktu kerja. Dengan demikian, dalam menentukan setting rele jarak ini diperlukan suatu analisa sistem tenaga listrik. Untuk itu diperlukan data-data yang berhubungan dengan penentuan setting rele jarak dengan data-data yang ada dibawah ini :

1. Perhitungan Rasio CT dan PT

Data transformator arus dan transformator tegangan pada transmisi Cawang - Depok.

Diketahui :

Rasio CT = 1600 : 1

Rasio PT = 150000 : 100

Dengan menggunakan Persamaan (3.1), rasio CT dan PT diperoleh :

$$n_1 = \frac{1600/1}{150000/100}$$

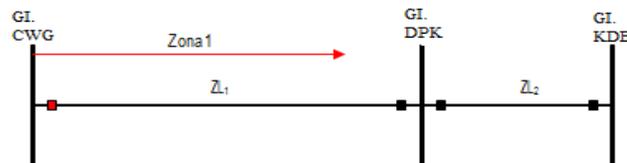
$$n_1 = 1,06$$

Jadi, hasil perhitungan ratio CT dan PT adalah 1,06

2. Jangkauan Impedansi

- Zona 1

Jangkauan impedansi Zona 1 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.3. Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV
Cawang – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + j10.239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 1 menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3) diperoleh :

$$Z_{1p} = 0.8 \times (1.439 + j10.239)$$

$$Z_{1p} = 1.151 + j8.191 = 8,272 \angle 81,99^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

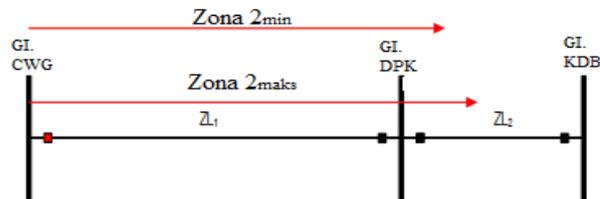
$$Z_{1s} = 1,06 \times (1.151 + j8.191)$$

$$Z_{1s} = 1.220 + j8.682 = 8,768 \angle 81,99^\circ \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 1 pada sisi primer adalah $8,272 \angle 81,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $8,768 \angle 81,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

- Zona 2

Jangkauan impedansi Zona 2 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.4. Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV
Cawang - Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + j10.239$$

$$Z_{L2} = 8,257 + j6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 2 menggunakan persamaan (3.4) dan (3.5) diperoleh:

$$Z_{2min} = 1.2 \times (1.439 + j10.239)$$

$$Z_{2min} = 1.726 + j12.287 = 12,407 \angle 81,99^{\circ} \Omega$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (0.8 \times (8,257 + j6,222)))$$

$$Z_{2maks} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (6,605 + j4,977))$$

$$Z_{2maks} = (1.151 + j8.191) + (6,605 + j4,977)$$

$$Z_{2maks} = 7,756 + j13,168 = 15,282 \angle 59,5^{\circ} \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada jarak minimum adalah $12,407 \angle 81,99^{\circ} \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah $15,282 \angle 59,5^{\circ} \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok

Nilai Impedansi Zona 2 primer dan sekunder menggunakan persamaan (3.6) dan (3.7) diperoleh :

$$Z_{2P} = 1.726 + J12.287 = 12,407 \angle 81,99^0 \Omega \text{ (Primer)}$$

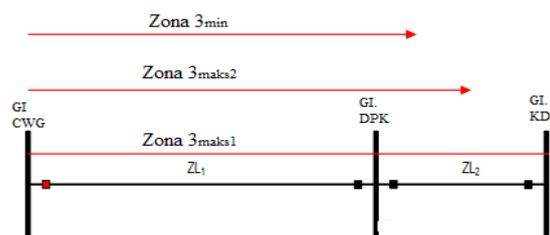
$$Z_{2S} = 1,06 \times (1.726 + J12.287)$$

$$Z_{2S} = 1.830 + J13.024 = 13,152 \angle 81,99^0 \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada sisi primer adalah $12,408 \angle 81,99^0 \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $13,152 \angle 81,99^0 \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

- Zona 3

Jangkauan impedansi Zona 3 pada saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5. Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV
Cawang – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 1.439 + J10.239$$

$$Z_{L2} = 8,257 + J6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 3 menggunakan persamaan (3.8) dan (3.9), diperoleh :

$$Z_{3min} = 1.2 ((1.439 + J10.239) + (8,257 + J6,222))$$

$$Z_{3min} = (1.726 + J12.287) + (9,908 + J7,466)$$

$$Z_{3min} = 11,634 + J19,753 = 22,924 \angle 59,5^0 \Omega$$

$$Z_{3\text{maks}} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + 1,2 \cdot (8,257 + j6,222))$$

$$Z_{3\text{maks}} = 0.8 \times ((1.439 + j10.239) + (9,908 + j7,466))$$

$$Z_{3\text{maks}} = (1.151 + j8.191) + (7.926 + j5,972)$$

$$Z_{3\text{maks}} = 9,077 + j14,163 = 16,822 \angle 57,34^\circ \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada jarak minimum adalah 22,924 $\angle 59,5^\circ \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah 16,822 $\angle 57,34^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

Nilai Impedansi Zona 3 primer dan sekunder menggunakan persamaan (3.10) dan (3.11) diperoleh :

$$Z_{3p} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{3s} = 1,06 \times (11,634 + j19,753)$$

$$Z_{3s} = 12,332 + j20,938 = 24,299 \angle 59,5^\circ \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada sisi primer adalah 22,924 $\angle 59,5^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah 24,299 $\angle 59,5^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV Cawang – Depok.

Berdasarkan perhitungan diatas, rekapitulasi jangkauan impedansi (dalam nilai absolut) saluran transmisi 150 kV Cawang - Depok dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini :

Tabel 4.9. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi 150 kV Cawang – Depok

Jangkauan Impedansi	Primer				Sekunder			
	Z (Ohm)	Sudut (Derajat)	R	X	Z (Ohm)	Sudut (Derajat)	R	X
			(Ohm)	(Ohm)			(Ohm)	(Ohm)
Zona 1	8,272	81,99	1.151	8.191	8,768	81,99	1.22	8.682
Zona 2	12,408	81,99	1.726	12.287	13,152	81,99	1.830	13.024
Zona 3	22,924	59,5	11,634	19,753	24,299	59,5	12,332	20,938

3. Menentukan Waktu Delay

Rele jarak akan mendeteksi gangguan sesuai dengan jarak gangguan yang terjadi.

a) Delay Zona 1

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 1 maka rele akan bekerja instant (seketika) :

$$T_1 = 0 \text{ s}$$

b) Delay Zona 2

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 2 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

$$T_2 = \begin{cases} 0,4 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 2_{min} > Zona\ 2_{maks} \\ 0,8 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 2_{maks} > Zona\ 2_{min} \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan, setting jangkauan impedansi pada $Zona\ 2_{min} = 12,407 \angle 81,99^0 \ \Omega$ dan $Zona\ 2_{maks} = 15,282 \angle 59,5^0 \ \Omega$, dimana $Zona\ 2_{maks} > Zona\ 2_{min}$, sehingga delay waktu berdasarkan ketentuan diatas maka dipilih : $T_2 = 0,8 \text{ s}$

c) Delay Zona 3

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 3 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

$$T_3 = \begin{cases} 1,2 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 3_{maks} > Zona\ 2_{min} \\ 1,6 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 3_{min} > Zona\ 3_{maks} \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan, setting jangkauan impedansi pada $Zona\ 3_{min} = 22,924 \angle 59,5^0 \ \Omega$ dan $Zona\ 3_{maks} = 16,822 \angle 57,34^0 \ \Omega$, dimana $Zona\ 3_{min} > Zona\ 3_{maks}$ sehingga delay waktu berdasarkan ketentuan diatas maka dipilih : $T_3 = 1,6 \text{ s}$

4.4. Perhitungan Setting Rele Jarak Pada GI KD.Badak – GI Depok

Evaluasi kinerja rele jarak meliputi setting kerja dan waktu kerja. Dengan demikian, dalam menentukan setting rele jarak ini diperlukan suatu analisa sistem tenaga listrik. Untuk itu diperlukan data-data yang berhubungan dengan penentuan setting rele jarak dengan data-data yang ada dibawah ini :

1. Perhitungan Rasio CT dan PT

Data transformator arus dan transformator tegangan pada transmisi KD.Badak - Depok.

Diketahui :

$$\text{Rasio CT} = 1600 : 1$$

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

Dengan menggunakan Persamaan (3.1), rasio CT dan PT diperoleh :

$$n_1 = \frac{1600/1}{150000/100}$$

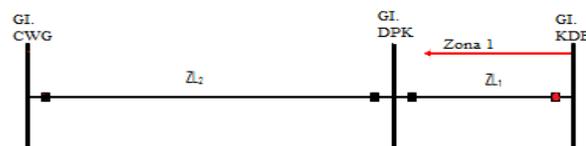
$$n_1 = 1,06$$

Jadi, hasil perhitungan ratio CT dan PT adalah 1,06

2. Jangkauan Impedansi

- Zona 1

Jangkauan impedansi Zona 1 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.6. Jangkauan Impedansi Zona 1 Transmisi 150 kV
KD.Badak – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 1 menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3) diperoleh :

$$Z_{1p} = 0.8 \times (8,257 + j6,222)$$

$$Z_{1p} = 6,605 + j4,977 = 8,270 \angle 36,99^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

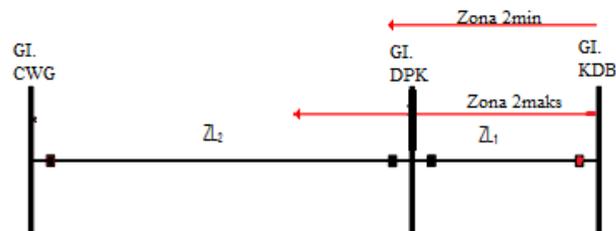
$$Z_{1s} = 1,06 \times (6,605 + j4,977)$$

$$Z_{1s} = 7,001 + j5,275 = 8,765 \angle 36,99^\circ \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 1 pada sisi primer adalah $8,270 \angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $8,765 \angle 36,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD-Badak – Depok.

- Zona 2

Jangkauan impedansi Zona 2 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.4. Jangkauan Impedansi Zona 2 Transmisi 150 kV
KD.Badak - Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$Z_{L2} = 1.439 + j10.239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 2 menggunakan persamaan (3.4) dan (3.5) diperoleh:

$$Z_{2min} = 1.2 \times (8,257 + j6,222)$$

$$Z_{2min} = 9,908 + j7,466 = 12,406 \angle 36,99^\circ \Omega$$

$$Z_{2\text{maks}} = 0.8 \times ((8,257 + j6,222) + (0.8 \times (1.439 + j10.239)))$$

$$Z_{2\text{maks}} = 0.8 \times ((8,257 + j6,222) + (1.151 + j8.191))$$

$$Z_{2\text{maks}} = (6,605 + j4,977) + (1.151 + j8.191)$$

$$Z_{2\text{maks}} = 7,756 + j13,168 = 15,282 \angle 59,5^\circ \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada jarak minimum adalah $12,406 \angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah $15,282 \angle 59,5^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak – Depok

Nilai Impedansi Zona 2 primer dan sekunder menggunakan persamaan (3.6) dan (3.7) diperoleh :

$$Z_{2P} = 9,908 + j7,466 = 12,406 \angle 36,99^\circ \Omega \text{ (Primer)}$$

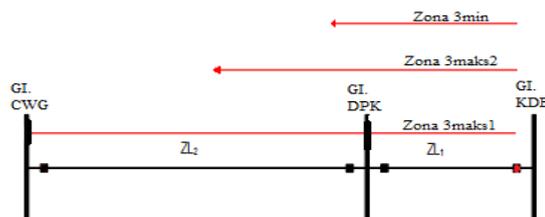
$$Z_{2S} = 1,06 \times (9,908 + j7,466)$$

$$Z_{2S} = 10,502 + j7,913 = 13,149 \angle 36,99^\circ \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 2 pada sisi primer adalah $12,406 \angle 36,99^\circ \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $13,149 \angle 36,99^\circ \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak – Depok.

- Zona 3

Jangkauan impedansi Zona 3 pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5. Jangkauan Impedansi Zona 3 Transmisi 150 kV
KD.Badak – Depok

Diketahui :

$$Z_{L1} = 8,257 + j6,222$$

$$Z_{L2} = 1.439 + j10.239$$

$$n_1 = 1,06$$

Penyelesaian untuk Zona 3 menggunakan persamaan (3.8) dan (3.9), diperoleh :

$$Z_{3min} = 1.2 ((8,257 + j6,222) + (1.439 + j10.239))$$

$$Z_{3min} = (9,908 + j7,466) + (1.726 + j12.287)$$

$$Z_{3min} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^{\circ} \Omega$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times ((8,257 + j6,222) + 1,2 \times (1.439 + j10.239))$$

$$Z_{3maks} = 0.8 \times ((8,257 + j6,222) + (1.726 + j12.287))$$

$$Z_{3maks} = (6,605 + j4,977) + (1,380 + j9,829)$$

$$Z_{3maks} = 7,985 + j14,806 = 16,821 \angle 61,66^{\circ} \Omega$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada jarak minimum adalah $22,924 \angle 59,5^{\circ} \Omega$ dan pada jarak maksimum adalah $16,821 \angle 61,66^{\circ} \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak – Depok.

Nilai Impedansi Zona 3 primer dan sekunder menggunakan persamaan (3.10) dan (3.11) diperoleh :

$$Z_{3p} = 11,634 + j19,753 = 22,924 \angle 59,5^{\circ} \Omega \text{ (Primer)}$$

$$Z_{3s} = 1,06 \times (11,634 + j19,753)$$

$$Z_{3s} = 12,332 + j20,938 = 24,299 \angle 59,5^{\circ} \Omega \text{ (Sekunder)}$$

Nilai jangkauan impedansi zona 3 pada sisi primer adalah $22,924 \angle 59,5^{\circ} \Omega$ dan pada sisi sekunder adalah $24,299 \angle 59,5^{\circ} \Omega$ pada saluran transmisi 150 kV KD.Badak – Depok.

Berdasarkan perhitungan diatas, rekapitulasi jangkauan impedansi (dalam nilai absolut) saluran transmisi 150 kV KD.Badak - Depok dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah ini :

Tabel 4.10. Rekapitulasi Jangkauan Impedansi Saluran Transmisi
150 kV KD.Badak - Depok

Jangkauan Impedansi	Primer				Sekunder			
	Z (Ohm)	Sudut (Derajat)	R	X	Z (Ohm)	Sudut (Derajat)	R	X
			(Ohm)	(Ohm)			(Ohm)	(Ohm)
Zona 1	8,270	36,99	6,605	4,977	8,765	36,99	7,001	5,275
Zona 2	12,406	36,99	9,908	7,466	13,149	36,99	10,502	7,913
Zona 3	22,924	59,5	11,634	19,753	24,299	59,5	12,332	20,938

3. Menentukan Waktu Delay

Rele jarak akan mendeteksi gangguan sesuai dengan jarak gangguan yang terjadi.

a) Delay Zona 1

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 1 maka rele akan bekerja instant (seketika) :

$$T_1 = 0 \text{ s}$$

b) Delay Zona 2

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 2 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

$$T_2 = \begin{cases} 0,4 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 2_{min} > Zona\ 2_{maks} \\ 0,8 \text{ s} & \text{jika } Zona\ 2_{maks} > Zona\ 2_{min} \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan, setting jangkauan impedansi pada $Zona\ 2_{min} = 12,406 \angle 36,99^\circ \ \Omega$ dan $Zona\ 2_{maks} = 15,282 \angle 59,5^\circ \ \Omega$, dimana $Zona\ 2_{maks} > Zona\ 2_{min}$, sehingga delay waktu berdasarkan ketentuan diatas maka dipilih : $T_2 = 0,8 \text{ s}$

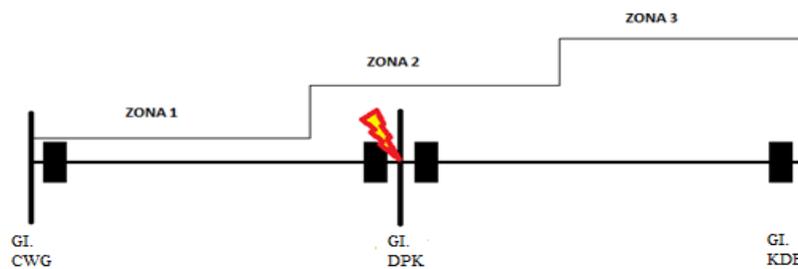
c) Delay Zona 3

Jika gangguan terjadi di daerah Zona 3 maka rele akan bekerja dengan ketentuan sebagai berikut :

$$T_3 = \begin{cases} 1,2 \text{ s jika } Zona\ 3_{maks} > Zona\ 2_{min} \\ 1,6 \text{ s jika } Zona\ 3_{min} > Zona\ 3_{maks} \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan, setting jangkauan impedansi pada $Zona\ 3_{min} = 22,924 \angle 59,5^0 \ \Omega$ dan $Zona\ 3_{maks} = 16,821 \angle 61,66^0 \ \Omega$, dimana $Zona\ 3_{min} > Zona\ 3_{maks}$ sehingga delay waktu berdasarkan ketentuan diatas maka dipilih : $T_3 = 1,6 \text{ s}$

4.3. Nilai Pengujian Sistem Transmisi Saat Terjadi Gangguan



Gambar 4.6. Saluran transmisi terdapat gangguan

Gambaran nilai gangguan dimisalkan sebesar $15 \ \Omega$ pada sistem transmisi, di ilustrasikan pada gambar 4.5. Untuk menentukan besarnya gangguan yang terjadi maka digunakan rumus (3.12),(3.13),(3.14),dan (3.15) sehingga dapat diketahui besaran gangguannya:

- Pengujian gangguan satu fasa ketanah dengan mencari nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (3.12) dan (3.15) diperoleh :

- a. arus gangguan satu fasa ketanah menggunakan persamaan (3.12) diperoleh :

$$I_f = 3 \times \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,338 + j0,1097 + 0,0338 + j0,1097 + 4,836 + j21,367 + (3 \times 15)}}$$

$$I_f = 4385,6 - j1897,04 = 4778,31 \angle - 23,39^0 \text{ A}$$

b. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (3.15) diperoleh :

$$V_f = (4385.6 - j1897.04) \times (0.0338 + j0.1097)$$

$$V_f = 356,338 + j416,98 = 548,49 \angle 49,48^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan satu fasa ke tanah dengan nilai arus gangguan yaitu 4778,31 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 548,49 V pada saluran Cawang – Depok.

- Pengujian gangguan dua fasa dengan mencari tegangan line to line, nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (3.19) (3.13) dan (3.15) diperoleh :

a. Perhitungan tegangan line to line mempergunakan rumus (3.16),(3.17),(3.18),dan (3.19) diperoleh :

Trafo 60 MVA, 150 kV, menghitung nilai daya dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh :

$$P = S \times \cos \theta$$

$$P = 60 \times 10^6 \times 0,85$$

$$= 51 \text{ MW}$$

Maka, arus yang mengalir pada saluran transmisi menggunakan persamaan (3.17) diperoleh :

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_R \times \cos \theta}$$

$$I_s = \frac{51 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3 \times \cos 0,85}$$

$$= 196,32 \text{ A}$$

Sehingga nilai tegangan pada saluran menggunakan persamaan (3.18) diperoleh :

$$V_S = \frac{150 \times 10^3}{\sqrt{3}} + 196,32 (1.43905 + j10.239372)$$

$$= 86,8 \text{ kV}$$

Untuk nilai tegangan line to line menggunakan persamaan (3.19) diperoleh :

$$V_{LL} = 86,8 \times \sqrt{3} = 150,34 \text{ kV}$$

- b. Arus gangguan dua fasa menggunakan persamaan (3.13) diperoleh

$$I_f = \frac{150340}{(0.0338 + j0.1097) + (0.0338 + j0.1097) + (3 \times 15)}$$

$$I_f = 3335,79 - j16,239 = 3335,82 \angle -0,27^\circ \text{ A}$$

- c. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (3.15) diperoleh :

$$V_f = (3335,79 - j16,239) \times (0.0338 + j0.1097)$$

$$V_f = 114,53 + j365,38 = 382,9 \angle 72,59^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan 2 fasa dengan nilai arus gangguan yaitu 3335,82 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 382,9 V pada saluran Cawang – Depok.

- Pengujian gangguan tiga fasa dengan mencari nilai arus gangguan dan tegangan gangguan dengan menggunakan persamaan (3.14) dan (3.15) diperoleh :

- a. Arus gangguan tiga fasa menggunakan persamaan (3.14) diperoleh

$$I_f = \frac{\frac{150000}{\sqrt{3}}}{0,338 + j0,1097}$$

$$I_f = 222149,97 - j721001,55 = 754449,31 \angle -72,87^\circ \text{ A}$$

b. Tegangan gangguan menggunakan persamaan (3.15) diperoleh :

$$V_f = (222149,97 - j721001,55) \times (0.0338 + j0.1097)$$

$$V_f = 86602,53 - j0,000681 = 86602 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Jadi, hasil pengujian gangguan 3 fasa dengan nilai arus gangguan yaitu 754449,31 A dan nilai tegangan gangguan yaitu 86602 V pada saluran Cawang – Depok.

Hasil perhitungan gangguan diatas dengan memisalkan nilai gangguan sebesar 15 Ω . Perubahan nilai gangguan berpengaruh pada nilai arus gangguan dan nilai tegangan gangguan yang akan mengalami perubahan juga.

4.4 Menentukan Letak Gangguan

Penentuan jarak gangguan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω pada saluran transmisi GI Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (3.16). Contoh perhitungan letak gangguan :

a. Nilai jarak gangguan dari impedansi 0,1 Ω pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,1 \times \frac{150000}{\frac{100}{1600}} \times 28,700}{1.43905 + j10.239372}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,036 - j0,257 = 0,25 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 0,1 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 0.25 km.

- b. Nilai jarak gangguan dari impedansi $0,25\Omega$ pada saluran Cawang–Depok dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,25 \times \frac{150000}{\frac{100}{1600}} \times 28,700}{1.439 + j10.239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,090 - j0,644 = 0,65 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi $0,25 \Omega$ pada saluran Cawang – Depok adalah $0,65 \text{ km}$.

- c. Nilai jarak gangguan dari impedansi $0,5\Omega$ pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,5 \times \frac{150000}{\frac{100}{1600}} \times 28,700}{1.439 + j10.239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,181 - j1,288 = 1,3 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi $0,5 \Omega$ pada saluran Cawang – Depok adalah $1,3 \text{ km}$.

- d. Nilai jarak gangguan dari impedansi $0,75\Omega$ pada saluran Cawang–Depok dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{0,75 \times \frac{150000}{\frac{100}{1600}} \times 28,700}{1.439 + j10.239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,271 - j1,932 = 1,95 \text{ km}$$

Jadi, nilai jarak gangguan dari impedansi $0,75 \Omega$ pada saluran Cawang – Depok adalah $1,95 \text{ km}$.

- e. Nilai jarak gangguan dari impedansi 1 Ω pada saluran Cawang – Depok dengan menggunakan persamaan (3.16) diperoleh:

$$\text{jarak gangguan} = \frac{1 \times \frac{150000}{\frac{100}{1600}} \times 28,700}{1.439 + j10.239}$$

$$\text{jarak gangguan} = 0,362 - j2,576 = 2,6 \text{ km}$$

Jadi, hasil nilai jarak gangguan dari impedansi 1 Ω pada saluran Cawang – Depok adalah 2,6 km.

Tabel 4.11. Rekapitulasi letak gangguan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω saluran transmisi GI Cawang - Depok

Nilai Impedansi Gangguan	TRIP	Letak Gangguan	Time Delay
0,1 Ω	Zone 1	0,25 km	0 s
0,25 Ω	Zone 1	0,65 km	0 s
0,5 Ω	Zone 1	1,3 km	0 s
0,75 Ω	Zone 1	1,95 km	0 s
1 Ω	Zone 1	2,6 km	0 s

Berdasarkan Tabel 4.11, nilai letak gangguan berdasarkan impedansi gangguan 0,1 Ω sejauh 0,25 km dan impedansi gangguan 1 Ω sejauh 2,6. Sehingga perubahan nilai impedansi gangguan berpengaruh pada letak gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. Semakin besar nilai impedansi gangguan maka semakin jauh letak gangguan yang terjadi.

4.5 Analisis Hasil

1. Perbandingan Hasil Perhitungan Terhadap Setting Eksisting

Perbandingan nilai setting hasil perhitungan dan jangkauan impedansi menggunakan nilai reaktansi dan waktu delay rele jarak eksisting pada transmisi 150 kV Cawang - Depok dan KD.Badak – Depok ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.11. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV
Cawang - Depok

Jangkauan Impedansi	Eksisting		Perhitungan		Effisiensi (%)
	Impedansi(Ω)	Waktu (S)	Impedansi(Ω)	Waktu (S)	
Zona 1	6,958 Ω	0	8,768 Ω	0	20,6 %
Zona 2	10,436 Ω	0,8	13,152 Ω	0,8	20,6 %
Zona 3	12,473 Ω	1,6	24,299 Ω	1,6	48,6 %

Tabel 4.12. Perbandingan Nilai Setting Rele Jarak Pada Transmisi 150 kV
Depok – KD.Badak

Jangkauan Impedansi	Eksisting		Perhitungan		Effisiensi (%)
	Impedansi(Ω)	Waktu (S)	Impedansi(Ω)	Waktu (S)	
Zona 1	5,17 Ω	0	8,765 Ω	0	41 %
Zona 2	9,31 Ω	0,4	13,149 Ω	0,8	29,2 %
Zona 3	15,99 Ω	1,6	24,299 Ω	1,6	34,2 %

Berdasarkan Tabel 4.10 dan 4.11, nilai perhitungan jangkauan impedansi saluran transmisi GI Cawang – GI Depok pada Zona 1 sebesar 8,768 Ω , Zona 2 sebesar 13,152 Ω , Zona 3 sebesar 24,299 Ω dan nilai perhitungan jangkauan impedansi saluran transmisi GI KD.Badak – GI Depok pada Zona 1 sebesar 8,765 Ω , Zona 2 sebesar 13,149 Ω , Zona 3 sebesar 24,299 Ω Sehingga nilai setting jangkauan impedansi rele jarak pada kondisi eksisting untuk daerah pengamanan Cawang - Depok pada Zona 1 memiliki perbedaan 20,6%, Zona 2 memiliki perbedaan 20,6%, Zona 3 memiliki perbedaan 48,6% dan untuk daerah pengamanan KD.Badak - Depok Zona 1 memiliki perbedaan 41%, Zona 2 perbedaan 29,2%, Zona 3 perbedaan 34,2% dari hasil perhitungan artinya pada kondisi eksisting rele jarak untuk GI Cawang – GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok masih dapat bekerja dengan baik.tetapi memiliki perbedaan waktu delay pada saluran transmisi GI KD.Badak – GI Depok terjadi pada Zona 2.

BAB V

SIMPULAN

Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data maka dapat di ambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai setting impedansi relai jarak untuk saluran transmisi GI Cawang-Depok Pada Zona 1 = 8,768 Ω , Zona 2 = 13,152 Ω , Zona 3 = 24,299 Ω . dan Nilai setting impedansi relai jarak untuk saluran transmisi GI KD.Badak - Depok Pada Zona 1 = 8,765 Ω , Zona 2 = 13,149 Ω , zona 3 = 24,299 Ω .
2. Dari hasil analisa setting rele jarak pada kondisi eksisting masih dapat bekerja dengan baik pada saluran transmisi GI Cawang- GI Depok dan GI KD.Badak – GI Depok.
3. Hasil analisa penentuan jarak gangguan untuk perhitungan dengan nilai impedansi 0,1 Ω sampai 1 Ω pada saluran transmisi GI Cawang - Depok. Bila nilai impedansi gangguan 0,1 Ω = 0,25 km, 0,25 Ω = 0,65 km, 0,5 = 1,3 km, 0,75 = 1,95 km, dan 1 Ω = 2,6 km.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lotfifard, Saeed, dkk. (2010). Detection of Symmetrical Faults by Distance Relays During Power Swings. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, 2010.
- [2] NAFIS CHOIRUL UMAM (2019), ANALISIS RELE JARAK SEBAGAI PROTEKSI PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV DI GARDU INDUK SRAGEN – GARDU INDUK MASARAN, Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- [3] IEEE Std C37.113-1999 : IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines. 1999 ; IEEE-SA Standards Board
- [4] PT.PLN (Persero).2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. PDM/PGI /01.
- [5] PT.PLN (Persero).2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator arus. PDM/PGI /02.
- [6] Angga Priyono Kusuma. (2016). EVALUASI SETTING RELE JARAK TRANSMISI 150 KV SENGGIRING – SINGKAWANG. Teknik Elektro. Universitas Tanjungpura.
- [7] RHAMANDITA SUDRAJAT, SITI SAODAH, WALUYO.(2014).Analisis Penalaan Rele Jarak sebagai Proteksi Utama pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Bandung Selatan – Cigereleng. Teknik Elektro | Itenas | Vol.2 | No.1.Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional,Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.
- [8] Hutaeruk, T.S. Prof.Ir. (1985). Transmisi Daya Listrik. Bandung : Erlangga.
- [9] Amira, Asnal Effendi. STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA SUTT 150 KV UNTUK SETTING RELAY OCR (APLIKASI GI PIP – PAUH LIMO). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Padang.
- [10] Anonim, Tinjauan Mutakhir Penelitian Setting Rele Jarak, https://sinta.unud.ac.id/uploads/dokumen_dir/.pdf. Diakses 9 Agustus 2020

LAMPIRAN

Lampiran 1 Rincian Anggaran Dana

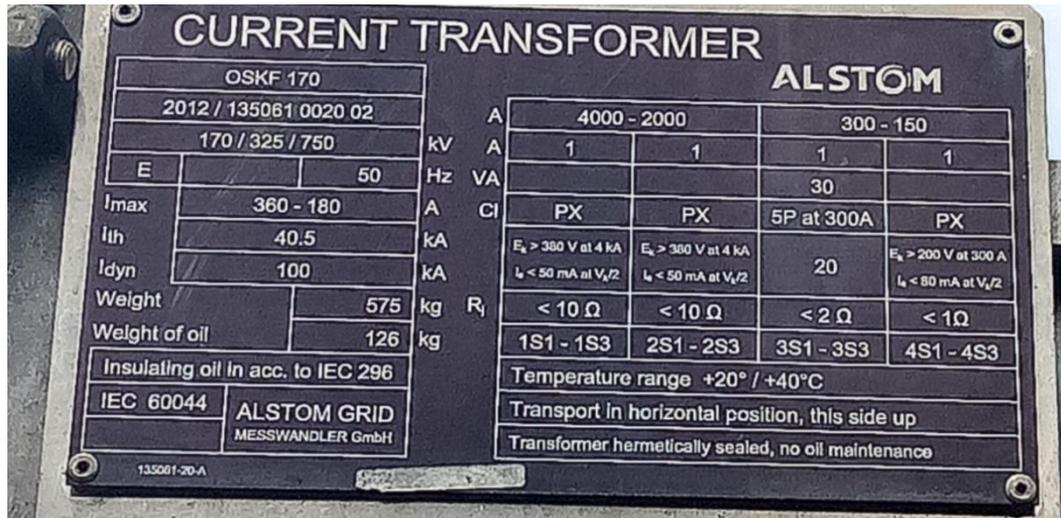
1. Penelitian	Volume	Harga Satuan (Rp)	Nilai (Rp)
Akses internet	5	Rp. 110.000,00	Rp. 550.000,00
Akomodasi	8	Rp. 20.000,00	Rp. 160.000,00
SUBTOTAL (Rp)			Rp. 710.000,00
2. Percetakan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Nilai (Rp)
Print	4	Rp. 65.000,00	Rp. 260.000,00
Pembatas	60	Rp. 2.000,00	Rp. 120.000,00
Hard Cover	4	Rp. 30.000,00	Rp. 120.000,00
SUBTOTAL (Rp)			Rp. 500.000,00
TOTAL KESELURUHAN (Rp)			Rp.1.210.000,00



Gambar 1. Name plate Transformator Tegangan



Gambar 2. Transformator Tegangan pada GI Depok



Gambar 3. Name Plate Transformator Arus



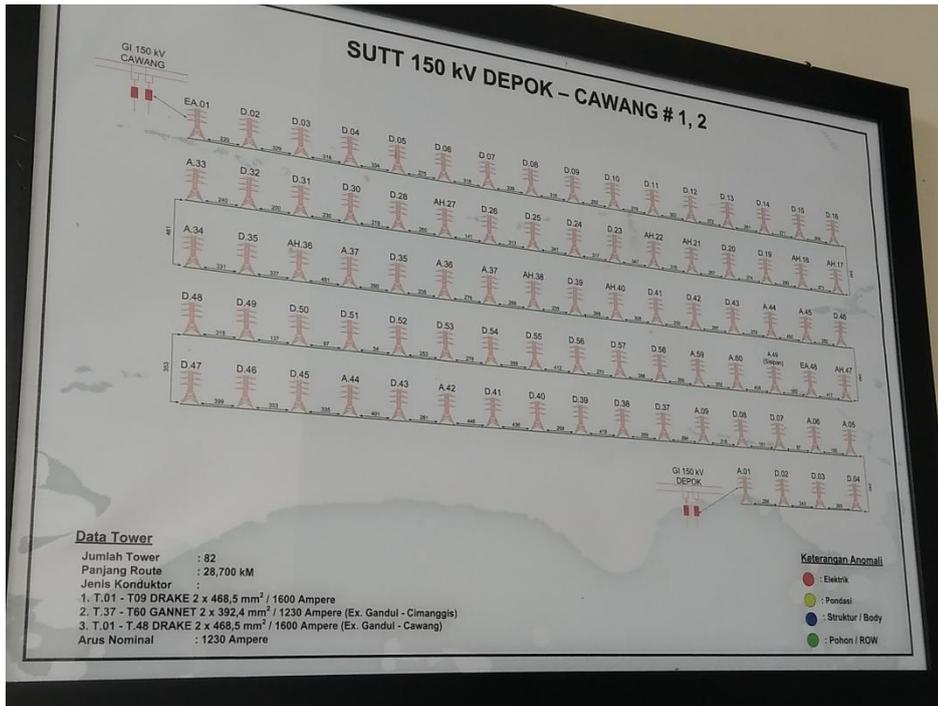
Gambar 4. Transformator Arus pada GI Depok



Gambar 5. Transformator pada GI Depok



Gambar 6. Name Plate Transformator



Gambar 7. Denah Menara SUTT 150kV Depok – Cawang

PT PLN (PERSERO) TJBB
APP CAWANG
BASECAMP GANDUL

HASIL PENGUJIAN DISTANCE RELAY

Merk : ALSTOM
Type : MICOM P443
No. Seri : 3529915 / 11 / 16
Alat Uji : DRTS

Tanggal Uji : 07-11-2017
Lokasi GI : DEPOK 150KV
Bay : CAWANG LAMA 1
Rasio CT : 1600 / 1 A
Rasio VT : 150 / 0.1 KV

1. JANGKAUAN IMPEDANSI
Sudut Fasa : 82°
Sudut Netral : 82°

Simulasi Gangguan	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Zone 3 Rev		
	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)
R - N	6.940	6.958	0.256	10.456	10.320	-1.252	12.478	12.350	-1.040			
S - N	6.930	6.930	0.000	10.330	10.360	0.270	12.448	12.460	0.112			
T - N	6.950	6.950	0.000	10.360	10.420	0.560	12.460	12.460	0.000			
R - S	6.950	6.950	0.000	10.420	10.440	0.180	12.460	12.460	0.000			
S - T	6.960	6.960	0.000	10.440	10.440	0.000	12.460	12.460	0.000			
T - R	6.960	6.960	0.000	10.440	10.440	0.000	12.460	12.460	0.000			
R - T	6.970	6.970	0.000	10.440	10.440	0.000	12.460	12.460	0.000			

2. WAKTU KERJA

Simulasi Gangguan	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Zone 3 Rev		
	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)
R - N	0.0531	0.0500	-5.84	0.800	0.8545	6.81	1.600	1.652	3.25			
S - N	0.0594	0.0594	0.00	0.8619	0.8619	0.00	1.600	1.6628	4.53			
T - N	0.0537	0.0537	0.00	0.8447	0.8447	0.00	1.600	1.6566	4.17			
R - S	0.0579	0.0579	0.00	0.8627	0.8627	0.00	1.600	1.6889	6.18			
S - T	0.0603	0.0603	0.00	0.8562	0.8562	0.00	1.600	1.6637	4.52			
T - R	0.0555	0.0555	0.00	0.8464	0.8464	0.00	1.600	1.6504	3.75			
R - T	0.0524	0.0524	0.00	0.8364	0.8364	0.00	1.600	1.6546	4.03			

FAULT Z2 RECEIVE

FAULT	ZL (Ω)	Waktu (dtk)
A - N	10.440	0.0590
B - N	10.330	0.0525
C - N	10.360	0.0526

Error = (Setting - Aktual) / Setting x 100%

MENGETAHUI,
SPV PROTEM
GUNTER

PELAKSANA :

- SIDIK
- KAMAL

Gambar 8. Hasil Pengujian Relay Jarak Depok – Cawang

pada tanggal 07-11-2017

PT PLN (PERSERO) TJBB
 APP CAWANG
 BASECAMP GANDUL

HASIL PENGUJIAN DISTANCE RELAY

Merk : ABB
 Type : RET 670
 No. Seri : T1107114
 Alat Uji : DRTS

Tanggal Uji : 10-05-2017
 Lokasi GI : DEPOK-10KV
 Bay : KOBADAK 2
 Rasio CT : 1600/1A
 Rasio VT : 150/0.1KV

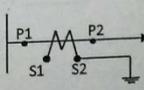
1. JANGKAUAN IMPEDANSI
 Sudut Fasa : 37°
 Sudut Netral : 37°

Simulasi Gangguan	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Zone 3 Rev		
	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)	Setting (Ω)	Aktual (Ω)	Error (%)
R-N	5.17	6.08		9.31	9.25		15.99	15.80				
S-N		5.09			9.27			15.84				
T-N		5.09			9.27			15.81				
R-S		5.15			9.20			15.90				
S-T		5.15			9.20			15.95				
T-R		5.17			9.31			15.95				
RST		5.17			9.20			15.98				

2. WAKTU KERJA

Simulasi Gangguan	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Zone 3 Rev		
	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)	Setting (dtk)	Aktual (dtk)	Error (%)
R-S	0.00	0.031		0.400	0.418		1.600	1.621				
S-T		0.0214			0.407			1.607				
T-R		0.0308			0.427			1.611				
R-N		0.0487			0.428			1.624				
S-N		0.0219			0.427			1.627				
T-N		0.0138			0.401			1.644				
RST		0.0207			0.4176			1.621				

FAULT	RESISTIF	
	ZL (Ω)	Waktu (dtk)
A-N		
B-N		
C-N		



Line Side

Bus Side

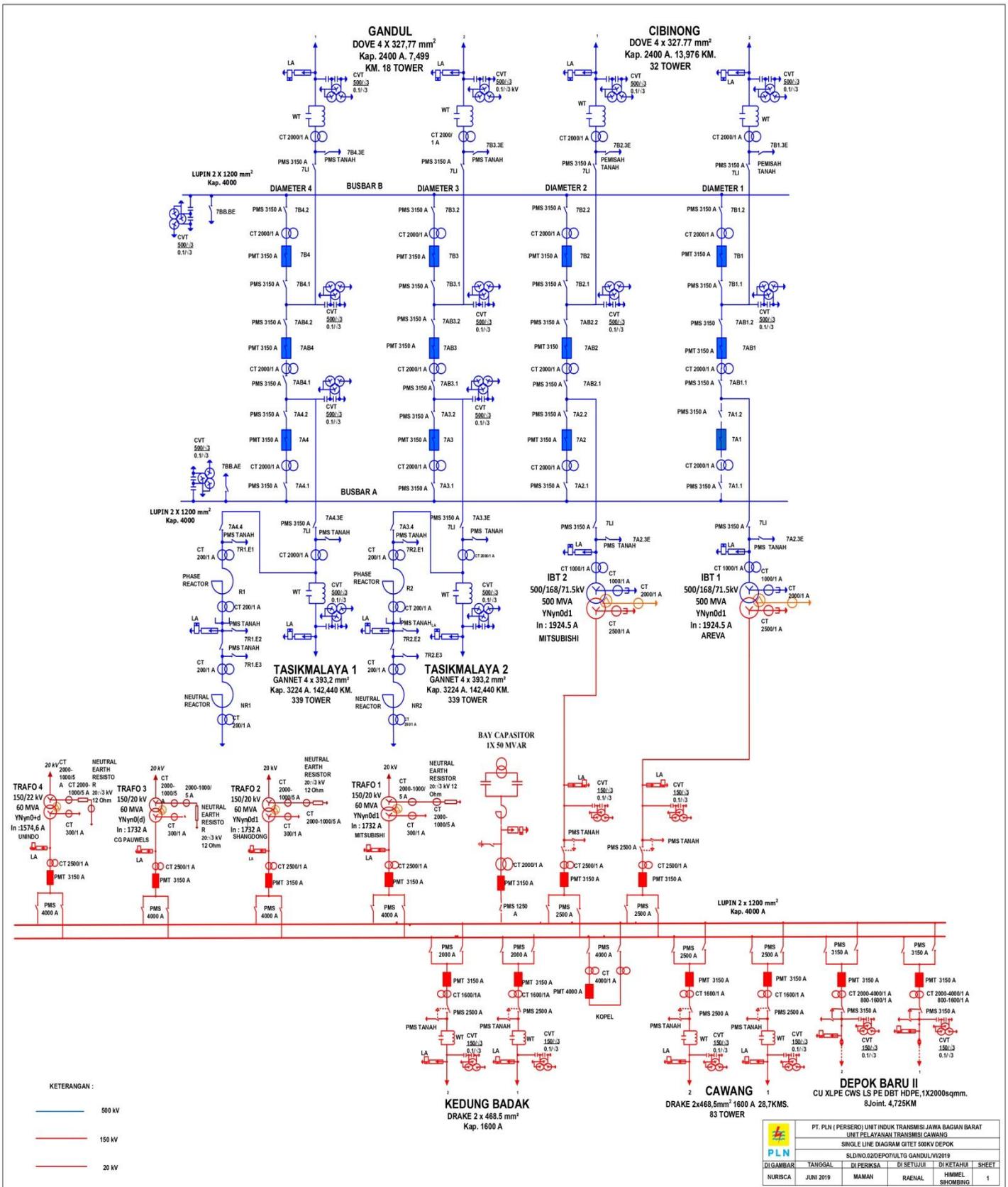
Error = (Setting - Aktual) / Setting x 100%

MENGETAHUI,
 SFV PROTEM
 GUNTER

PELAKSANA :
 1. Siatu
 2. IKHSAN

Gambar 9. Hasil Pengujian Relay Jarak KD.Badak-Depok

Pada Tanggal 10-05-2017



Gambar 10. Single Line Diagram GI Depok tahun 2019