

SKRIPSI

**ANALISA PENENTUAN TITIK LOKASI GANGGUAN HUBUNG
SINGKAT MENGGUNAKAN METODE IMPEDANSI (STUDI KASUS :
SALURAN TRANSMISI 150 kV PAYAKUMBUH – KOTO PANJANG)**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan strata satu (S.1)
di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Sumatera Barat*



Oleh :

FARITTO

171000220201009

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PENENTUAN TITIK LOKASI GANGGUAN HUBUNG
SINGKAT MENGGUNAKAN METODE IMPEDANSI (STUDI KASUS :
SALURAN TRANSMISI 150 kV PAYAKUMBUH – KOTO PANJANG)**

Oleh

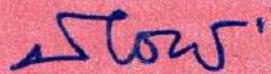
FARITTO
171000220201009

Dosen Pembimbing I,



Ir. Yulisman, M.T.
NIDK. 8808220016

Dosen Pembimbing II,



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

**Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatra Barat,**



Masril, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro,**



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat

Bukittinggi, 21 Februari 2022

Mahasiswa,

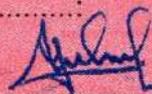


Faritto

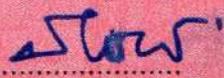
171000220201009

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal.....:

1. Ir. Yulisman, M.T.

1. 

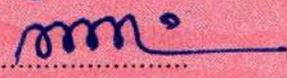
2. Herris Yamashika, S.T.,M.T.

2. 

3. Mahyessie Kamil, S.T.,M.T.

3. 

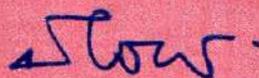
4. Ir. Budi Santosa, M.T.

4. 

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Teknik Elektro,



Herris Yamashika, S.T.,M.T.

NIDN. 1024038202

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Faritto

Tempat dan tanggal lahir : Bumbang, 17 Mei 1997

NIM : 17-10-002-20201-009

Judul Skripsi : Analisa Penentuan Titik Lokasi Gangguan Hubung Singkat Menggunakan Metode Impedansi (Studi Kasus : Saluran Transmisi 150 Kv Payakumbuh- Koto Panjang)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terjadi karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 2022

Yang membuat pernyataan,



171000220201009

ABSTRAK

Teknologi adalah salah satu faktor yang mendukung penyebab terjadinya kenaikan kebutuhan dalam energi listrik. Bidang kelistrikan memiliki sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi yang terstruktur dalam memasok energi listrik untuk sampai kepada para konsumen. Bidang kelistrikan memiliki sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi yang terstruktur dalam memasok energi listrik untuk sampai kepada para konsumen. Pada setiap bidang kelistrikan memiliki berbagai gangguan yang dapat terjadi. gangguan yang terjadi pada transmisi yaitu terjadinya gangguan hubungan singkat atau hubungan arus pendek. Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang digunakan untuk mengamankan semua bagian tertentu pada bidang listrik dan meminimalisir gangguan yang akan terjadi. PT. PLN (Persero) menggunakan proteksi utama Pada sistem transmisi seperti Rele jarak pada saluran transmisi. Rele jarak bisa menentukan titik lokasi gangguan dengan pembagian daerah keamanan zona 1, zona 2, dan zona 3 untuk mengetahui luas jangkauan yang dicapai. Impedansi listrik sering disebutkan sebagai jumlah hambatan listrik sebuah komponen elektronik terhadap aliran arus dalam rangkaian pada frekuensi tertentu.

Kata kunci : Gangguan Hubung Singkat, Relay Jarak, Metode Impedansi

Abstract

Technology is one of the factors that support the cause of the increasing demand for electrical energy. The electricity sector has a structured generation, transmission and distribution system in supplying electrical energy to reach consumers. The electricity sector has a structured generation, transmission and distribution system in supplying electrical energy to reach consumers. In every field of electricity there are various disturbances that can occur. The disturbance that occurs in the transmission is the occurrence of a short circuit or short circuit. The protection system is a security system that is used to secure all certain parts in the electrical field and minimize disturbances that will occur. PT. PLN (Persero) uses the main protection on transmission systems such as distance relays on transmission lines. The distance relay can determine the location of the disturbance by dividing the security area into zone 1, zone 2, and zone 3 to determine the extent of the reach achieved. Electrical impedance is often referred to as the amount of electrical resistance of an electronic component to the flow of current in a circuit at a certain frequency.

Keywords: Short Circuit Fault, Distance Relay, Impedance Method

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.

Maksud dari penyusunan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program Strata Satu (S1) pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sedalam dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada :

1. Kepada Allah S.W.T yang telah memberikan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua, kakak, abang dan seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah yang penulis tempuh dalam pendidikan.
3. Bapak Dr. Riki Saputra, S.Fil.I, M.A, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
4. Bapak Masril, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
5. Bapak Herris Yamashika, S.T, M.T, selaku kepala program studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, sekaligus dosen pembimbing 2 (dua).
6. Bapak Mahyessie Kamil, S.T., M.T, selaku Penasehat Akademi (PA) Teknik Elektro angkatan 2017.
7. Bapak Ir. Yulisman, M.T, selaku dosen pembimbing 1 (satu).
8. Bapak/Ibu tenaga kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera barat.
9. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini banyak terdapat kekurangan mengingat keterbatasan pengetahuan yang dimiliki dan hambatan-hambatan yang dialami penulis dalam memperoleh sumber-sumber dan bahan-bahan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan ini dimasa yang akan datang. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca terutama penulis dan semua pihak yang membutuhkan.

Bukittinggi, November 2021

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Sistematis Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pengertian Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Pengertian Transmisi Tenaga Listrik	8
2.4 Saluran Transmisi	10
2.5 Gangguan sistem tenaga listrik	11
2.6 Jenis-jenis gangguan	11
2.7 Gangguan Hubung Singkat (<i>Short Circuit Fault</i>)	12

2.8	Komponen proteksi sistem tenaga listrik	15
2.9	Pengertian relay jarak (<i>distance relay</i>)	18
2.9.1	Prinsip Kerja Relay Jarak.....	19
2.9.2	Karakteristik kerja relay jarak.....	20
2.10	Zona proteksi.....	22
2.11	Metode Impedansi.....	24
2.12	Algoritmapenentuan lokasi gangguan.....	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Lokasi Penelitian.....	28
3.2.	Data Penelitian	29
3.3.	Flowchart Algoritma	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Perhitungan.....	31
4.1.1	Klasifikasi wilayah proteksi rele jarak.....	31
4.1.2	Data Penelitian.....	33
4.2	Pembahasan Hasil Penelitian.....	34
4.2.1	Perhitungan Impedansi.....	34
4.2.2	Impedansi dilihat dari rele.....	35
4.2.3	Menentukan lokasi gangguan.....	35

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran.....	36

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	: Alur sistem tenaga listrik	7
Gambar 2	: Diagram Blok Umum Sistem Tenaga Listrik	9
Gambar 3	: Saluran transmisi arus bolak-balik.....	11
Gambar 4	: Rangkaian gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah	12
Gambar 5	: Rangkaian gangguan hubung singkat dua fasa	13
Gambar 6	: Rangkaian gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.....	14
Gambar 7	: Rangkaian gangguan hubung singkat tiga fasa.....	14
Gambar 8	: Elemen proteksi sistem tenaga listrik	15
Gambar 9	: Rangkaian trafo tegangan ke sistem tenaga listrik.....	16
Gambar 10	: Balance Bean Distance Relay	20
Gambar 11	: Diagram Karakteristik Kerja Mho	21
Gambar 12	: Diagram Karakteristik Kerja Quadrilateral.....	21
Gambar 13	: Diagram Karakteristik Raktansi.....	22
Gambar 14	: Diagram Karakteristik Impedansi	22
Gambar 15	: Diagram Relay Jarak (Distance Relay).....	22
Gambar 16	: Metode lokasi gangguan berbasis impedansi.....	25
Gambar 17	: Rekaman gangguan sisi Koto Panjang.....	30
Gambar 18	: Rekaman gangguan sisi Payakumbuh.....	31
Gambar 19	: Google MAP transmisi Payakumbuh- Koto Panjang.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel.1. Jadwal Penelitian	28
Table 2. Data gangguan sisi Koto Panjang.....	31
Table 3. Data gangguan sisi Payakumbuh	31
Table 4. Spesifikasi rele jarak.....	32
Tabel 5. Spesifikasi kabel penghantar Payakumbuh-Koto Panjang.....	33
Tabel 6. Penentuan letak gangguan dengan nilai impedansi.....	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi adalah salah satu faktor yang mendukung penyebab terjadinya kenaikan kebutuhan dalam energi listrik. Meningkatnya permintaan terhadap energi listrik sama dengan semakin majunya teknologi di era modern yang dapat mempermudah kegiatan dalam berbagai aspek bidang dalam berbagai sektor. seperti: sektor perindustrian, sektor pertanian, sektor energi, dll. Pada setiap tahunnya Listrik menjadi kebutuhan utama bagi semua kalangan sehingga menyebabkan semakin meningkatnya energi listrik yang harus dipenuhi untuk para konsumen. PT. PLN (Persero) merupakan salah satu perusahaan utama yang menyediakan listrik di Indonesia. Maka PT. PLN (Persero) lebih dituntut untuk memproduksi energi listrik dalam jumlah besar dengan mutu yang bagus, dan memiliki nilai keefektifan yang tinggi, lebih efisien serta ekonomis.

Bidang kelistrikan memiliki sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi yang terstruktur dalam memasok energi listrik untuk sampai kepada para konsumen. Pada setiap bidang kelistrikan memiliki berbagai gangguan yang dapat terjadi. Contohnya pada transmisi, gangguan yang terjadi pada transmisi yaitu terjadinya gangguan hubungan singkat atau hubungan arus pendek. Sebagaimana kita ketahui, Gangguan adalah perubahan bentuk secara tidak wajar yang terjadi yang disebabkan oleh keadaan yang tidak stabil sehingga mengakibatkan menurunnya kualitas daya listrik yang terkirim, setelah itu berkurangnya tingkat keandalan pada sistem, serta rusaknya beberapa peralatan pemasok listrik. Gangguan yang terjadi harus diatasi untuk mengurangi dan menghindari kerugian yang diakibatkan serta meningkatkan tingkat keandalan untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan baik.

Oleh karena itu, diperlukan rancangan pada sistem tenaga listrik yang aman untuk para pekerja, tersalurnya listrik dengan baik dan dapat meminimalisir kerugian yang terjadi dengan sistem proteksi. Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang digunakan untuk mengamankan semua bagian tertentu pada bidang listrik dan meminimalisir gangguan yang akan terjadi. PT. PLN (Persero) menggunakan proteksi utama Pada sistem transmisi seperti Rele jarak pada saluran transmisi. Rele jarak bisa

menentukan titik lokasi gangguan dengan pembagian daerah keamanan zona 1, zona 2, dan zona 3 untuk mengetahui luas jangkauan yang dicapai. Rele jarak tidak selalu tepat dalam menentukan titik lokasi gangguan hal tersebut dikarenakan adanya beberapa faktor tertentu sehingga dibutuhkan perhitungan secara matematis dengan menggunakan sebuah metode untuk mengevaluasi penentuan titik lokasi gangguan secara akurat.

Dengan demikian, panjang jarak jangkauan pada sistem transmisi diperlukan analisa mengenai proteksi rele jarak yang akurat untuk mempercepat proses pemulihan setelah terjadinya gangguan, karena hal tersebut penulis memilih judul *analisa penentuan titik lokasi gangguan hubung singkat menggunakan metode impedansi (studi kasus : saluran transmisi 150 kv payakumbuh – koto panjang)*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu:

- 1). Titik lokasi terjadinya gangguan tidak diketahui.
- 2). Lokasi gangguan yang ditunjukkan oleh relay jarak dengan kondisi actual di lapangan tidak sesuai.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulis dalam penelitian ini adalah :

- 1). Menentukan perbandingan nilai *setting* zona yang dipakai oleh PT.PLN (Persero) dengan perhitungan matematis berdasarkan hasil persentase *error*.
- 2). Membandingkan titik lokasi gangguan yang ditunjukkan oleh rele jarak melalui perhitungan matematis dengan menggunakan metode impedansi terhadap data titik lokasi gangguan yang didapat dari PT.PLN (Persero) GI Payakumbuh - GI Koto Panjang.

1.4 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

- 1). Menentukan lokasi gangguan pada rele jarak dengan menggunakan metode impedansi pada jaringan transmisi PT.PLN (Persero) GI Payakumbuh - GI Koto Panjang.
- 2). Membahas *setting* zona rele jarak tanpa menghitung besarnya nilai hubung singkat di jaringan transmisi PT.PLN (Persero).

1.5 Sistematis Penulisan

Sistematis penulisan pembagian bab pada tugas akhir ini sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab I membahas tentang latar belakang pemilihan judul “penentuan titik lokasi gangguan pada proteksi transmisi rele jarak”, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan-batasan masalah dalam pemilihan judul penelitian serta sistematika dalam penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab II membahas tentang teori dasar yang berhubungan dengan judul penentuan lokasi gangguan di saluran transmisi seperti teori dasar sistem transmisi, penentuan lokasi gangguan, jenis gangguan pada sistem transmisi, menjelaskan tentang proteksi rele jarak serta pembagian wilayah pada rele jarak.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab III membahas tentang metode yang akan digunakan, seperti: tempat penelitian, waktu penelitian dilaksanakan, metode yang dilakukan dalam pengumpulan data, langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisa data, dan tahapan dalam menyelesaikan penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV membahas tentang perhitungan matematis yang dilakukan dari hasil data yang diterima PT.PLN (Persero) Gardu Induk Batusangkar serta membandingkan hasil perhitungan rele jarak dengan data sekunder yang didapat sebelumnya berdasarkan besarnya nilai *error*.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah terlaksanakan disertakan dengan pemberian saran atau masukan berdasarkan hasil penelitian pad bab IV.

DAFTAR PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi teori dasar yang bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Selain itu untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini, maka dalam kajian pustaka ini peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

1. Hasil penelitian yang dilakukan Andi Syofian, M.T Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industry, Institut Teknologi Padang (ITP), 2017^[1]

Penelitian yang dilakukan Andi Syofian, M.T yang berjudul “*analisa perhitungan titik gangguan pada saluran transmisi menggunakan metode tagaki aplikasi PT. CHEVRON PACIVIC Indonesia*” menyimpulkan bahwa pada saat melakukan analisa perhitungan titik gangguan pada saluran transmisi menggunakan metode Tagaki terdapat *error* rata-rata sebesar 2,5%, untuk menentukan titik lokasi gangguan pada sistem jaringan listrik baik gangguan antara *phasa* ke *ground*, *phasa* ke *phasa*, dua *phasa* ke *ground*, maupun gangguan tiga *phasa* terhadap sistem kelistrikan PT. Chevron Pacivic Indonesia (CPI) pada saluran 115 kV dari bus Bangko ke bus BK-NL 90% (11,7 km), bus North Duri ke bus 17 (4,4 km), dan bus Duri ke bus 17 (17,6 km). dimana terdapat nilai *error* tertinggi sebesar 15% dari bus North Duri ke bus 17 dengan skenario gangguan dua *phasa* ke *ground*.

Melalui *tools fault locator* dengan menggunakan metode Tagaki dan menggunakan simulasi E-TAP 12.6.0, maka dapat diperoleh titik lokasi gangguan secara cepat, tepat, dan akurat, sehingga dari hasil analisa terdapat nilai keakuratan dan ketepatan rata-rata sebesar 97,5%, dimana diantaranya terdapat nilai keakuratan titik lokasi gangguan sebesar 100% sebanyak tujuh dari dua belas skenario titik gangguan dengan tiga lokasi yang berbeda untuk menentukan titik lokasi gangguan pada sistem jaringan listrik baik gangguan antara fasa ke *ground*, fasa ke fasa, dua fasa ke *ground*, maupun gangguan tiga fasa terhadap sistem kelistrikan PT.Chevron Pacivic Indonesia (CPI) pada saluran 115 kV dari bus Bangko ke bus BK-NL 90% (11,7 km), bus North Duri ke bus 17 (4,4 km), dan bus Duri ke bus 17 (17,6 km).

2. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Anggi Budi S, Dimas Anton A dan Arif Mustofa (2013)^[2]

Penelitian lain yang dilakukan oleh Anggi Budi S, Dimas Anton A dan Arif Mustofa yang berjudul “*deteksi lokasi gangguan pada saluran transmisi menggunakan gelombang berjalan dan transformasi park*” berdasarkan dari hasil simulasi dan analisis yang diperoleh, didapatkan bahwa metode kombinasi gelombang berjalan dan transformasi park lalu diolah dengan *adaptive fuzzy inference sistem* (ANFIS) mampu untuk mendeteksi lokasi gangguan pada saluran transmisi. Dimana gangguan tersebut memiliki beberapa variasi kondisi, meliputi jarak gangguan (setiap 10% dari panjang saluran), jenis gangguan (satu fasa ke tanah, antar fasa, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah), *resistance fault* (0, 10, 50 Ω) dan *fault inception angle* (0°, 45°, 90°, 135°, 180°). Dicobanya variasi input untuk ANFIS, meliputi input tegangan, input arus, input tegangan dan arus. Dari hasil pengolahan ANFIS didapat dimana *error* input tegangan 2,83%, *error* input arus 12,38%, *error* input tegangan dan arus 0,34%. Sehingga dapat dilihat input tegangan dan arus memiliki keakurasian yang paling besar dengan *error* yang paling kecil. Sehingga didapatkan metode dengan tingkat keakurasian yang besar untuk mendeteksi lokasi gangguan pada saluran transmisi.

2.2 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari :

1. Pusat Pembangkit Listrik (Power Plant)

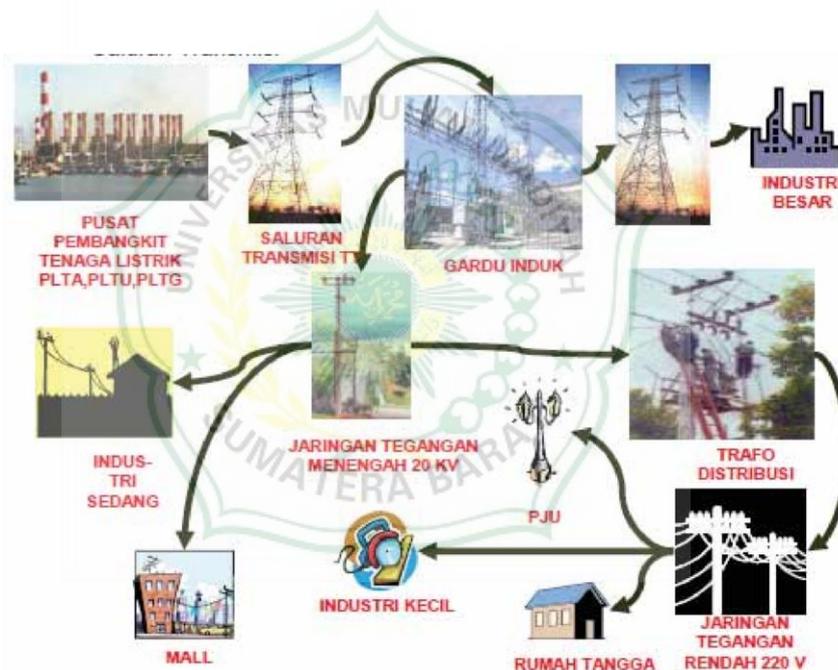
Yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (Prime Mover) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain^[3]: transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi /tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain PLTA (pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik.

3. Sistem Distribusi

Merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari : Pusat Pengatur (Distribution Control Center, DCC), saluran tegangan menengah (6kV dan 20kV, yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja/ tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen.



Gambar1 : Alur sistem tenaga listrik

Tenaga listrik dibangkitkan pada dalam pusat-pusat pembangkit listrik (*power plant*) seperti PLTA, PLTU, PLTG, dan PLTD lalu disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator *step-up* yang ada dipusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70kV, 150kV, atau 500kV. Khusus untuk tegangan 500kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke gardu induk (G1), lalu diturunkan tegangannya menggunakan transformator

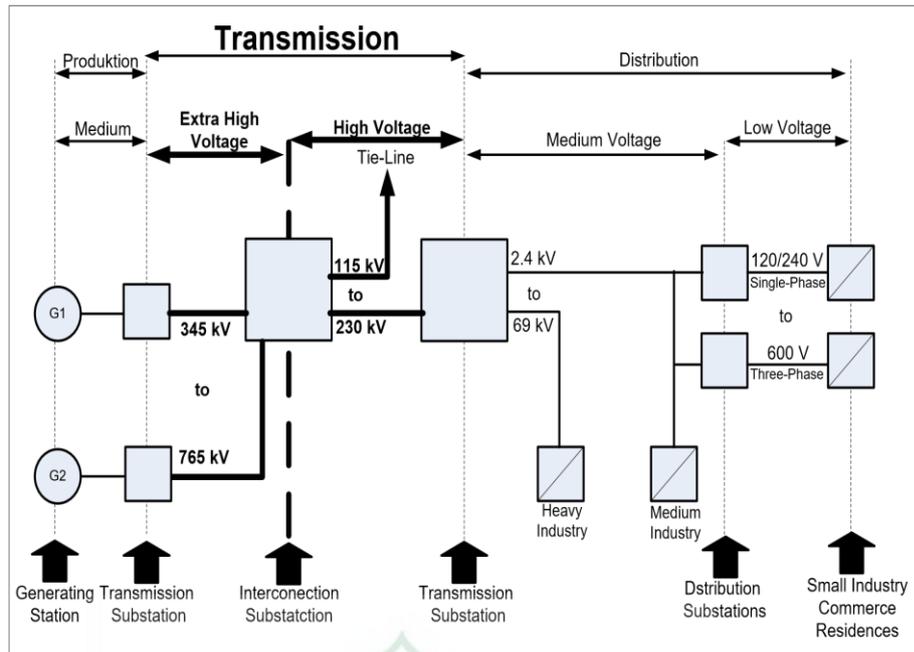
step-down menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer.

Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN.

Pelanggan dengan daya tersambung besar tidak dapat dihubungkan pada Jaringan Tegangan Rendah, melainkan dihubungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula pelanggan yang terhubung pada jaringan transmisi, tergantung dari besarnya daya tersambung. Setelah melalui jaringan Tegangan menengah, jaringan tegangan rendah dan sambungan Rumah (SR), maka tenaga listrik selanjutnya melalui alat pembatas daya dan kWh meter. Rekening listrik pelanggan tergantung pada besarnya daya tersambung serta pemakaian kWh nya. Setelah melalui kWh meter, tenaga listrik lalu memasuki instalasi rumah, yaitu instalasi milik pelanggan. Instalasi PLN umumnya hanya sampai pada kWh meter, sesudah kWh meter instalasi listrik umumnya adalah instalasi milik pelanggan. Dalam instalasi pelanggan, tenaga listrik langsung masuk ke alat-alat listrik milik pelanggan seperti lampu, kulkas, televisi, dan lain-lain.

2.3 Pengertian Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga *substation distribution* sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor. ^[4]



Gambar2: Diagram Blok Umum Sistem Tenaga Listrik
Single-Line Diagram of a generation, Transmission, and distribution system

Gambar diatas menunjukkan blok diagram dasar dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Yang terdiri dari dua stasiun pembangkit (*generating station*) G1 dan G2, beberapa *substation* yaitu hubungan antar substation (*interconnecting substation*) dan untuk bagian komersial perumahan (*commercial residential*), dan industrial loads. Transmisi berada pada bagian yang diberi arsir tebal. Fungsi dari bagian *transmission substation* menyediakan servis untuk merubah dalam menaikkan dan menurunkan tegangan pada saluran tegangan yang ditransmisikan serta meliputi regulasi tegangan. Standarisasi range tegangan internasional yaitu 345 kV hingga 765 kV untuk Saluran tegangan Ekstra Tinggi dan 115 kV hingga 230 kV untuk saluran tegangan Tinggi.

Standarisasi tegangan Transmisi listrik di Indonesia adalah 500 kV untuk Saluran ekstra Tinggi dan 150 kV untuk saluran Tegangan tinggi Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh, akan menimbulkan adanya penurunan kualitas tegangan yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada jaringan. Sehingga dibutuhkan suatu peralatan untuk memperbaiki kualitas tegangan dan diletakkan pada saluran yang mengalami drop tegangan. SVC (*Static Var Compensator*) berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi steady state dan dinamika voltase dalam batasan

yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (heavily loaded). Synchronous Condenser, sebagai generator pensuplay arus gangguan, dan transformer dengan taps yaang variabel, Ini adalah jenis khusus transformator listrik yang dapat menambah atau mengurangi powered gulungan kawat, sehingga meningkatkan atau menurunkan medan magnet dan tegangan keluaran dari transformator.

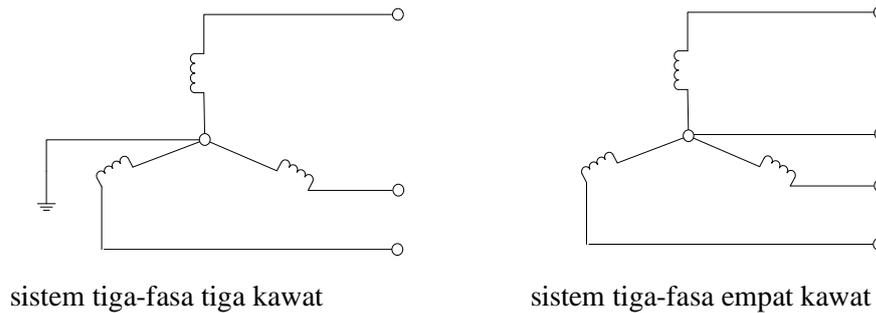
Distribution Substation, pada bagian ini merubah tegangan aliran listrik dari tegangan medium menjadi tegangan rendah dengan transformator step-down, dimana memiliki tap otomatis dan memiliki kemampuan untuk regulator tegangan rendah. Tegangan rendah meliputi rentangan dari 120/240V single phase sampai 600V, 3 phase. Bagian ini melayani perumahan, komersial dan institusi serta industri kecil. *Interconnecting substation*, pada bagian ini untuk melayani sambungan percabangan transmisi dengan power tegangan yang berbeda serta untuk menambah kestabilan pada keseluruhan jaringan.

Setiap substation selalu memiliki Circuit Breakers, Fuses, lightning arresters untuk pengaman peralatan. Antara lain dengan penambahan kontrol peralatan, pengukuran, switching, pada setiap bagian substation.

Energi listrik yang di transmisikan didisain untuk Extra-high Voltage (EHV), High Voltage (HV), Medium Voltage (MV), dan Low Voltage (LV). Klasifikasi nilai tegangan ini dibuat berdasarkan skala standarisasi tegangan yang di tunjukkan pada tabel.

2.4 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik Penyaluran tenaga listrik pada transmisi menggunakan arus bolak-balik (AC) ataupun juga dengan arus searah (DC). Penggunaan arus bolak-balik yaitu dengan sistem tiga-fasa atau dengan empat-fasa.



Gambar 3: saluran transmisi arus bolak-balik

Saluran Transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan, mengingat kelebihan sebagai berikut :

- Mudah pembangkitannya
- Mudah pengubahan tegangannya
- Dapat menghasilkan medan magnet putar
- Dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan

• **Kategori Saluran transmisi**

Berdasarkan pemasangannya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu

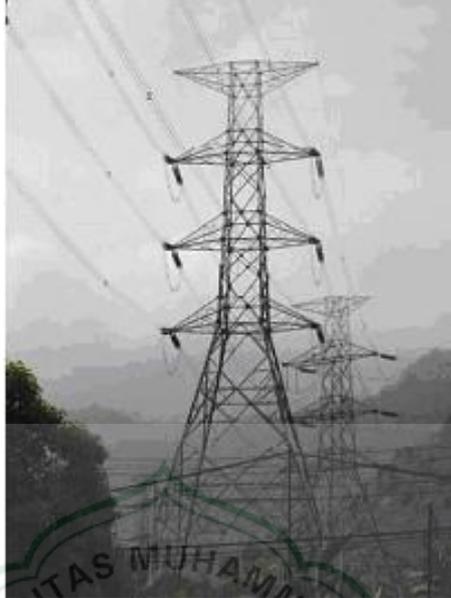
a. Saluran Udara (Overhead Lines), saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi. Keuntungan dari saluran transmisi udara antara lain :

1. Mudah dalam perbaikan
2. Mudah dalam perawatan
3. Mudah dalam mengetahui letak gangguan
4. Lebih murah

Kerugian :

1. Karena berada diruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan dari luar, seperti gangguan hubungan singkat, gangguan tegangan bila tersambar petir, dan gangguan lainnya.

2. dari segi estetika/keindahan kurang, sehingga saluran transmisi bukan pilihan yang ideal untuk transmisi di dalam kota.



Gambar 4: saluran listrik udara tenaga listrik

- b. Saluran kabel bawah tanah (underground cable)**, saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran seperti ini adalah favorit untuk pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun tetap memiliki kekurangan, antara lain mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya.



Gambar 5: Saluran Listrik Bawah Tanah

c. Saluran Isolasi Gas

Saluran Isolasi Gas (Gas Insulated Line/GIL) adalah Saluran yang diisolasi dengan gas, misalnya: gas SF₆, seperti gambar Karena mahal dan resiko terhadap lingkungan sangat tinggi maka saluran ini jarang digunakan



gambar 6 :Saluran Listrik Isolasi Gas

2. Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan

Transmisi tenaga listrik sebenarnya tidak hanya penyaluran energi listrik dengan menggunakan tegangan tinggi dan melalui saluran udara (overhead line), namun transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, yang besaran tegangannya adalah Tegangan Ultra Tinggi (UHV), Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan Tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan Tegangan Rendah (LV). Sedangkan Transmisi Tegangan Tinggi adalah berfungsi menyalurkan energi listrik dari satu substation (gardu) induk ke gardu induk lainnya. Terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang (tower) melalui isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Standar tegangan tinggi yang berlaku diindonesia adalah 30kV, 70kV dan 150kV.

Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagi menjadi :

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

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan

mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

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

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau double sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (Double atau Qudrapole) dan Berkas konduktor disebut Bundle Conductor. Jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi ini ialah 100km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (drop voltaje) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.

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

Saluran transmisi ini menggunakan kabel bawah tanah, dengan alasan beberapa pertimbangan :

- a. ditengah kota besar tidak memungkinkan dipasang SUTT, karena sangat sulit mendapatkan tanah untuk tapak tower.
- b. Untuk Ruang Bebas juga sangat sulit dan pasti timbul protes dari masyarakat, karena padat bangunan dan banyak gedung-gedung tinggi.
- c. Pertimbangan keamanan dan estetika.
- d. Adanya permintaan dan pertumbuhan beban yang sangat tinggi.

3. Komponen Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Saluran transmisi tenaga listrik terdiri atas konduktor, isolator, dan infrastruktur tiang penyangga.

1. Konduktor

Kawat dengan bahan konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi selalu tanpa pelindung/isolasi kawat. Ini hanya kawat berbahan tembaga atau aluminium dengan inti baja (steel-reinforced aluminium cable/ACSR) telanjang besar yang terbentang untuk mengalirkan arus listrik.

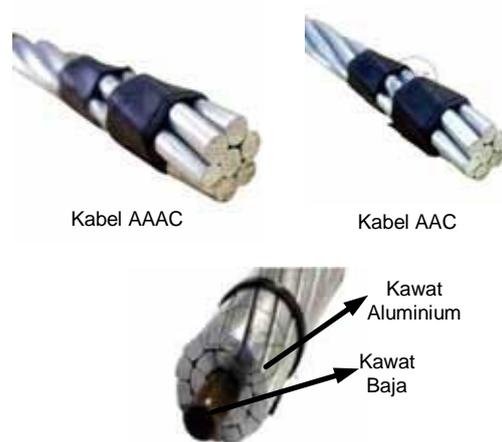
Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan antara lain :

1. Tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%)
2. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (cu 97,5%)
3. Aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Akan tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu untuk besaran tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah mulai menggantikan kedudukan kawat tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, oleh karena itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut :

1. AAC (All-Aluminium Conductor), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC (All-Aluminium-Alloy Conductor), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (Aluminium Conductor, Steel-Reinforced), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
4. ACAR (Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.



**gambar 7 : Jenis-jenis Kawat Transmisi Listrik
Kabel ACSR**

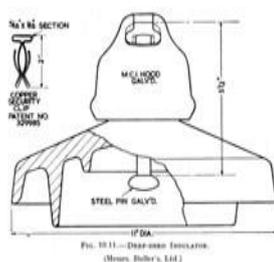
2. Isolator

Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik disini berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap ground. Isolator disini bisanya terbuat dari bahan porseline, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan disini. Bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk melindungi kebocoran arus dan memiliki ketebalan yang secukupnya (sesuai standar) untuk mencegah breakdown pada tekanan listrik tegangan tinggi sebagai pertahanan fungsi isolasi tersebut. Kondisinya harus kuat terhadap guncangan apapun dan beban konduktor.

Jenis isolator yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi :

- a. Isolator jenis pasak
- b. Isolator jenis pos-saluran
- c. Isolator jenis gantung

Suspension-Type Insulators



Pin-Type Insulator

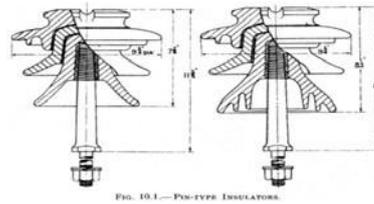


FIG. 10.1.—PIN-TYPE INSULATOR.

Insulator Tonggak Saluran



gambar 8: *Jenis-jenis Isolator pada Saluran Transmisi*

Satu piring isolator untuk isolasi sebesar 15 kV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 kV maka, jumlah piring isolatornya adalah 10 piringan.

Isolator jenis pasak dan isolator jenis pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tagangan kerja relatif rendah (kurang dari 22-33kV), sedangkan isolator jenis gantung dapat digandeng menjadi rentengan/rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan. contoh penggunaannya yaitu jika satu piring isolator untuk isolasi sebesar 15 kV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 kV, maka jumlah piring isolatornya adalah 10 pringan.

3. Konstruksi Saluran Tiang Penyangga

Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antar kawat penghantar. Dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antar menra/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET yang paling banyak digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif, karena besi-besinya rawan terhadap pencurian, dimana pencurian besi-besi baja pada menara/tower listrik mengakibatkan menara/tower listrik tersebut roboh sehingga penyaluran listrik ke konsumen pun terganggu.

Suatu menara/ tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja, antara lain :

- Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan)
- Gaya tarik akibat rentangan kawat
- Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

Jenis-jenis Menara/Tower Listrik

Menurut konstruksinya, jenis-jenis menara/tower listrik dibagi menjadi 4 macam, yaitu :

1. *Lattice tower*



gambar 9 : *Tiang Saluran Jenis Lattice*

2. Tubular Steel Pole



gambar 10 : *Tiang Saluran Tubular Steel Pole*

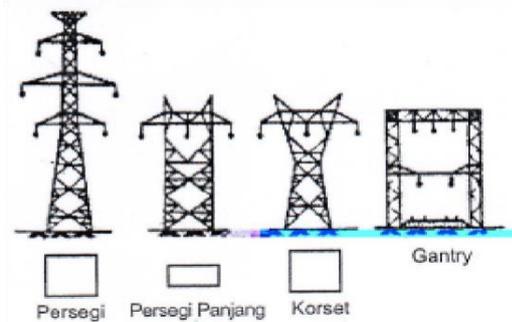
3. *Concrete pole*

4. *Wooden pole*

Menurut fungsinya, menara/tower listrik dibagi 7 macam, yaitu :

1. *Dead end tower*, yaitu tiang akhir yang berlokasi didekat gardu induk, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik.
2. *Section tower*, yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.
3. *Suspension tower*, yaitu tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung daya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan
4. *Tension tower*, yaitu tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar dari pada gaya bert, umumnya mempunyai sudut belokan.
5. *Transposition tower*, yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impedansi transmisi.

6. *Gantry tower*, yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua Saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah Saluran transmisi existing.
7. *Combined tower*, yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.



gambar 11 : *Macam-macam Bentuk Tiang Saluran Tower*

Menurut susunan/konfigurasi kawat fasa, menara/tower listrik dikelompokkan menjadi :

1. Jenis delta, digunakan pada konfigurasi horizontal / mendatar.
2. Jenis piramida, digunakan pada konfigurasi vertikal / tegak.
3. Jenis Zig-zag, yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan tower.

Komponen-komponen Menara/tower Listrik

Secara umum suatu menara/tower listrik terdiri dari :

- *Pondasi*, yaitu suatu konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub) dengan bumi.

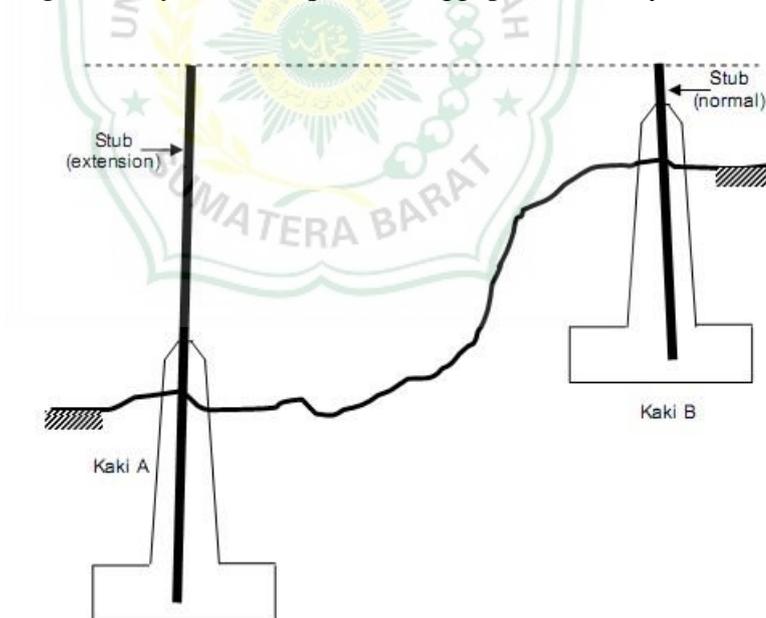


gambar 12 : *Pondasi Tower (Latice) SUTET 500 kV*



gambar 13 : Pondasi Steel 500kV Dead end

- *Stub*, bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi.
- *Leg*, kaki tower yang terhubung antara stub dengan body tower. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi leg, sedangkan body harus tetap sama tinggi permukaannya.



gambar 14 : Kabel Pentanahan Tower Transmisi

- *Common Body*, badan tower bagian bawah yang terhubung antara leg dengan badan tower bagian atas (super structure). Kebutuhan tinggi tower dapat

dilakukan dengan pengaturan tinggi common body dengan cara penambahan atau pengurangan.

- *Super structure*, badan tower bagian atas yang terhubung dengan common body dan cross arm kawat fasa maupun kawat petir. Pada tower jenis delta tidak dikenal istilah super structure namun digantikan dengan “K” frame dan bridge.
- *Cross arm*, bagian tower yang berfungsi untuk tempat menggantungkan atau mengaitkan isolator kawat fasa serta clamp kawat petir. Pada umumnya cross arm berbentuk segitiga kecuali tower jenis tension yang mempunyai sudut belokan besar berbentuk segi empat.
- “K” *frame*, bagian tower yang terhubung antara common body dengan bridge maupun cross arm. “K” frame terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri. “K” frame tidak dikenal di tower jenis pyramid.
- “K” *frame*, bagian tower yang terhubung antara common body dengan bridge maupun cross arm. “K” frame terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri. “K” frame tidak dikenal di tower jenis pyramid.
- *Bridge*, penghubung antara cross arm kiri dan cross arm tengah. Pada tengah-tengah bridge terdapat kawat penghantar fasa tengah. Bridge tidak dikenal di tower jenis pyramida.
- *Rambu tanda bahaya*, berfungsi untuk memberi peringatan bahwa instalasi SUTT/SUTET mempunyai resiko bahaya. Rambu ini bergambar petir dan tulisan “**AWAS BERBAHAYA TEGANGAN TINGGI**”. Rambu ini dipasang di kaki tower lebih kurang 5 meter diatas tanah sebanyak dua buah, dipasang disisi yang menghadap tower nomor kecil dan sisi yang menghadap nomor besar.



gambar 15 : *Rambu Tanda Bahaya Tower*

- *Rambu identifikasi tower dan penghantar/jalur*, berfungsi untuk memberitahukan identitas tower seperti: Nomor tower, Urutan fasa, Penghantar / Jalur dan Nilai tahanan pentanahan kaki tower.



gambar 16 : *Rambu Identifikasi Tower*

- *Anti Climbing Device (ACD)*, berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan untuk naik ke tower. ACD dibuat runcing, berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah Rambu tanda bahaya.



gambar 17 : *Anti Climbing Ddevice (ACD)*

- *Step bolt*, baut panjang yang dipasang dari atas ACD ke sepanjang badan tower hingga super structure dan arm kawat petir. Berfungsi untuk pijakan petugas sewaktu naik maupun turun dari tower.



gambar 18 : *Step Bolt pada Tower*

- *Halaman tower*, daerah tapak tower yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar stub tergantung pada jenis tower .

2.1 Proteksi Sistem Transmisi Listrik

Saluran transmisi listrik merupakan suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segeraantisipasi. Dalam hubungannya dengan sistem proteksi/ pengaman suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Masalah-masalah yang timbul pada saluran transmisi, diantaranya yang utama adalah:

1. Pengaruh Perubahan Frekuensi Sistem

Frekuensi dari suatu sistem daya berubah secara terus menerus dalam suatu nilai batas tertentu. Pada saat terjadi gangguan perubahan frekuensi dapat merugikan baik terhadap peralatan ataupun sistem transmisi itu sendiri. Pengaruh yang disebabkan oleh perubahan frekuensi ini terhadap saluran transmisi adalah pengaruh pada reaktansi. Dengan perubahan frekuensi dari ω_1 ke ω_1' dengan kenaikan $\Delta \omega_1$, reaktansi dari saluran akan berubah dari X ke X' dengan kenaikan ΔX .

Perubahan reaktansi ini akan berpengaruh terhadap pengukuran impedansi sehingga impedansi yang terukur karena adanya perubahan pada nilai komponen reaktansinya akan berbeda dengan nilai sebenarnya.

2. Pengaruh Dari Ayunan Daya Pada Sistem

Ayunan daya terjadi pada sistem paralel pembangkitan (generator) akibat hilangnya sinkronisasi salah satu generator sehingga sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih dan ini terjadi bergantian atau berayun. Adanya ayunan daya ini dapat menyebabkan kestabilan sistem terganggu. Ayunan daya ini harus segera diatasi dengan melepaskan generator yang terganggu. Pada saluran transmisi adanya ayunan daya ini tidak boleh membuat kontinuitas pelayanan terganggu, tetapi perubahan arus yang terjadi pada saat ayunan daya bisa masuk dalam jangkauan sistem proteksi sehingga memutuskan aliran arus pada saluran transmisi.

3. Pengaruh gangguan pada sistem transmisi

Saluran transmisi mempunyai resiko paling besar bila mengalami gangguan, karena ini akan berarti terputusnya kontinuitas penyaluran beban. Terputusnya penyaluran listrik dari pusat pembangkit ke beban tentu sangat merugikan bagi pelanggan terutama industri, karena berarti terganggunya kegiatan operasi di industri tersebut. Akan tetapi adakalanya gangguan tersebut tidak dapat dihindari. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengurangi akibat adanya gangguan tersebut atau memisahkan bagian yang terganggu dari sistem.

Gangguan pada saluran transmisi merupakan 50% dari seluruh gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan tersebut gangguan yang terbesar adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yaitu sekitar 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara.

Sistem proteksi sistem tenaga listrik adalah pengisolasian kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik untuk meminimalisir pemadaman dan kerusakan yang lebih lanjut. Dalam merancang sistem proteksi, dikenal beberapa falsafah proteksi, yaitu :

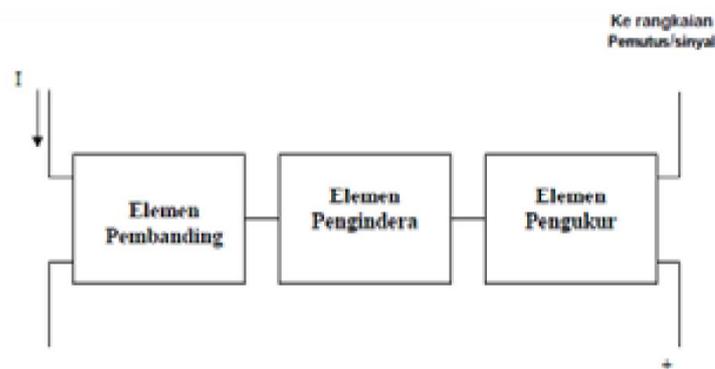
1. Ekonomi, peralatan proteksi mempunyai nilai ekonomi

2. Selektif, dapat mendeteksi dan mengisolasi gangguan
3. ketergantungan, proteksi hanya bekerja jika terjadi gangguan.
4. Sensitif, mampu mengenali gangguan, sesuai setting yang ditentukan, walaupun gangguannya kecil.
5. mampu bekerja dalam waktu yang sesingkat mungkin
6. Stabil, proteksi tidak mempengaruhi kondisi yang normal.
7. keamanan, memastikan proteksi tidak bekerja jika terjadi gangguan

Proteksi pada sistem transmisi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

1. Relay, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus tegangan (PMT)
2. Trafo arus dan/atau trafo tegangan sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke relay (besaran Listrik Sekunder).
 - a. pemutus tenaga untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
 - b. Baterai beserta alat pengisi (Baterai Charger) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya relay, peralatan Bantu tripping.
 - c. pengawatan (wiring) yang terdiri dari sirkuit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkuit tripping dan peralatan Bantu.

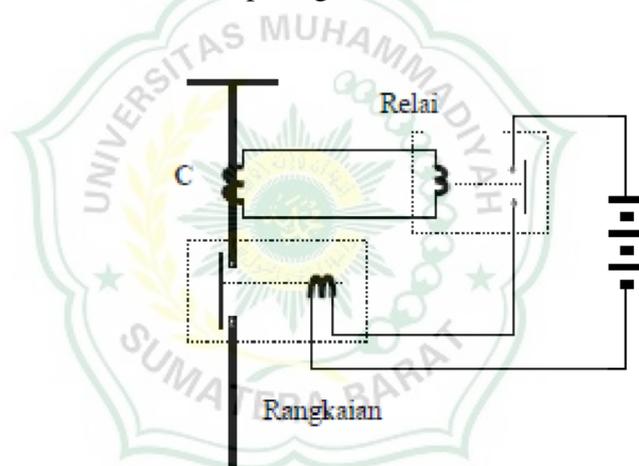
Secara garis besar bagian dari relay proteksi terdiri dari 3 bagian utama seperti pada blok diagram dibawah :



gambar 19: Blok Diagram Relay Proteksi

Masing-masing elemen/bagian mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Elemen peengindra, elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relay yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirim ke elemen pembanding.
2. Elemen Pembanding, elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relay.
3. Elemen pengukur, elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal. Pada sistem proteksi menggunakan relay proteksi sekunder seperti gambar :



gambar 20 : Rangkaian Proteksi Relay

Transformator arus (CT) berfungsi sebagai alat pengindra yang merasakan apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapat gangguan. Sebagai alat pembanding sekaligus alat pengukur adalah relay, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari alat pengindra dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dari kerja relay. Apabila besaran tersebut tidak setimbang atau melebihi besar arus penyetelannya, maka kumparan relay akan bekerja menarik kontak dengan cepat atau dengan waktu tunda dan memberikan perintah pada kumparan penjatuh atau trip-coil untuk bekerja melepas PMT.

Perlengkapan Gardu Transmisi

1. **Busbar atau Rel**, Merupakan titik pertemuan/hubungan antara trafo-trafo tenaga, Saluran Udara TT, Saluran Kabel TT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik.
2. **Ligthning Arrester**, biasa disebut dengan Arrester dan berfungsi sebagai pengaman instalasi (peralatan listrik pada instalasi Gardu Induk) dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (ligthning Surge).
3. Transformator instrument atau Transformator ukur, Untuk proses pengukuran. Antara lain :
 - **Transformator Tegangan**, adalah trafo satu fasa yang menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang dapat diukur dengan Voltmeter yang berguna untuk indikator, relai dan alat sinkronisasi.
 - **Transformator arus**, digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan amper lebih yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Disamping itu trafo arus berfungsi juga untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi.
 - **Transformator Bantu (Auxilliary Transformator)**, trafo yang digunakan untuk membantu beroperasinya secara keseluruhan gardu induk tersebut.
4. **Sakelar Pemisah (PMS) atau Disconnecting Switch (DS)**, Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan.
5. **Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB)**, Berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian pada saat berbeban (pada kondisi arus beban normal atau pada saat terjadi arus gangguan).
6. **Sakelar Pentanahan**, Sakelar ini untuk menghubungkan kawat konduktor dengan tanah / bumi yang berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi pada konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasian suatu sistem.
7. **Kompensator**, alat pengubah fasa yang dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran transmisi atau transformator. SVC (*Static Var Compensator*) berfungsi sebagai pemelihara kestabilan
8. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi, (*Supervisory Control And Data Acquisition*) berfungsi sebagai sarana komunikasi suara dan komunikasi data

serta tele proteksi dengan memanfaatkan penghantarnya.

9. **Rele Proteksi**, alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan

10. **Kawat Tanah (Grounding)**, Kawat Tanah atau Earth Wire (kawat petir/kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang diatas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, karena dianggap petir menyambar dari atas kawat. Namun jika petir menyambar dari samping maka akan mengakibatkan kawat fasa tersambar dan menyebabkan gangguan. Kawat pada tower tension dipegang oleh tension clamp, sedangkan pada tower suspension dipegang oleh suspension clamp. Pada tension clamp dipasang kawat jumper yang menghubungkan pada tower agar arus petir dapat terbuang ketanah lewat tower. Untuk keperluan perbaikan mutu pentanahan maka dari kawat jumper ini ditambahkan kawat lagi menuju ke tanah yang kemudian dihubungkan dengan kawat pentanahan.

Bahan Earth Wire terbuat dari steel yang sudah di galvanis, maupun sudah dilapisi dengan alumunium. Jumlah kawat tanah paling tidak ada satu buah diatas kawat fasa, namun umumnya disetiap tower dipasang dua buah. Pemasangan yang hanya satu buah untuk dua penghantar akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga kawat fasa mudah tersambar petir. Jarak antara groun wire dengan fasa di tower adalah sebesar jarak antar kawat fasa.

Komponen Pengaman

- Komponen pengaman (pelindung) pada transmisi tenaga listrik memiliki fungsi sangat penting
- Komponen pengaman pada saluran udara transmisi tegangan tinggi, antara lain :
- Kawat tanah, grounding dan perlengkapannya, dipasang di sepanjang jalur SUTT. Berfungsi untuk menyetanahkan arus listrik saat terjadinya gangguan (sambaran) petir secara langsung.
- Pentanahan tiang, Untuk menyalurkan arus listrik dari kawat tanah (ground wire) akibat terjadinya sambaran petir. Terdiri dari kawat tembaga atau kawat

baja yang di klem pada pipa pentanahan dan ditanam di dekat pondasi tower (tiang) SUTT.

- Jaringan pengaman, berfungsi untuk pengaman SUTT dari gangguan yang dapat membahayakan SUTT tersebut dari lalu lintas yang berada di bawahnya yang tingginya melebihi tinggi yang diizinkan
- Bola pengaman, dipasang sebagai tanda pada SUTT, untuk pengaman lalu lintas udara

2.5 Gangguan sistem tenaga listrik

Pada dasarnya suatu sistem tenaga listrik harus dapat beroperasi secara terus menerus secara normal, tanpa terjadi gangguan. Akan tetapi gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari. Gangguan dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut :

- Gangguan karena kesalahan manusia (kelalaian)
- Gangguan dari dalam sistem, misalnya karena faktor ketuaan, arus lebih, tegangan lebih sehingga merusak isolasi peralatan.
- Gangguan dari luar, biasanya karena faktor alam. Contohnya cuaca, gempa, petir, banjir, binatang, pohon dan lain-lain.

2.6 Jenis-jenis gangguan

Jenis gangguan bila ditinjau dari sifat dan penyebabnya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Beban lebih, ini disebabkan karena memang keadaan pembangkit yang kurang dari kebutuhan bebannya.
- Hubung singkat, jika kualitas isolasi tidak memenuhi syarat, yang mungkin disebabkan faktor umur, mekanis, dan daya isolasi bahan isolator tersebut.
- Tegangan lebih, yang membahayakan isolasi peralatan di gardu.
- Gangguan stabilitas, karena hubung singkat yang terlalu lama.

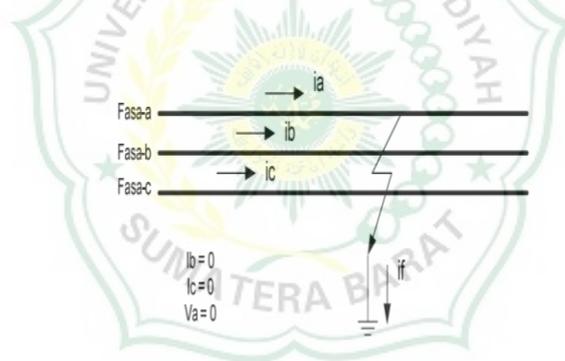
2.7 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*)

Dalam proteksi sistem tenaga listrik, sangat penting untuk mengetahui distribusi arus dan tenaga di berbagai tempat sebagai akibat timbulnya gangguan. Karakteristik kerja rele proteksi dipengaruhi oleh besaran energy yang dimonitor oleh rele seperti arus

atau tegangan[4]. Dengan mengetahui distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat maka seorang insinyur proteksi dapat menentukan setelan (*setting*) untuk rele proteksi dan raiting dari pemutus tenaga / *circuit breaker* (CB) yang akan digunakan. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasi menjadi empat jenis yaitu :

2.7.1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

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



Gambar 21: Rangkaian gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan

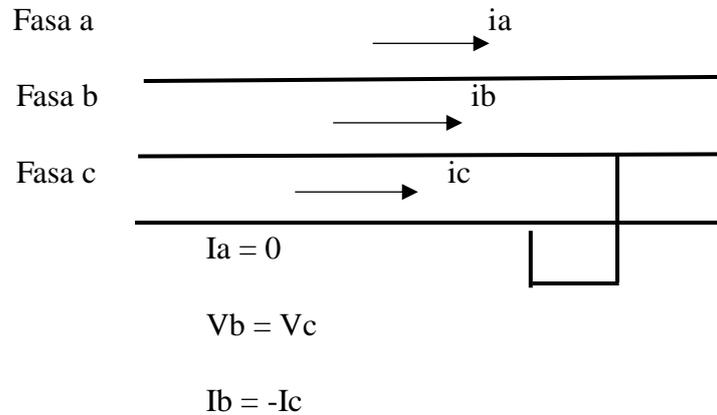
V_f = tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 = impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 = impedansi urutan positif di lihat dari titik gangguan

Z_2 = impedansi urutan negatif dilihatn dari titik gangguan.

2.7.2. Gangguan hubung singkat dua fasa



Gambar 22: Rangkaian gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan

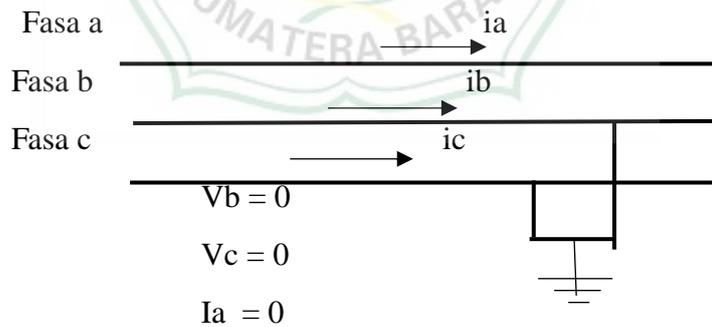
V_f = tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_1 = impedansi urutan positif di lihat dari titik gangguan

Z_2 = impedansi urutan negatif dilihatn dari titik gangguan.

Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

2.7.3. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah



Gambar 23 :Rangkaian gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan

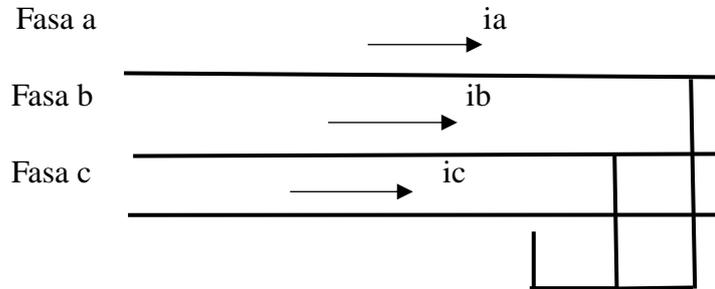
V_f = tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 = impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 = impedansi urutan positif di lihat dari titik gangguan

Z_2 = impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

2.7.4. Gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 24: Rangkaian gangguan hubung singkat tiga fasa

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

$$I_A = I_{A1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dan

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan

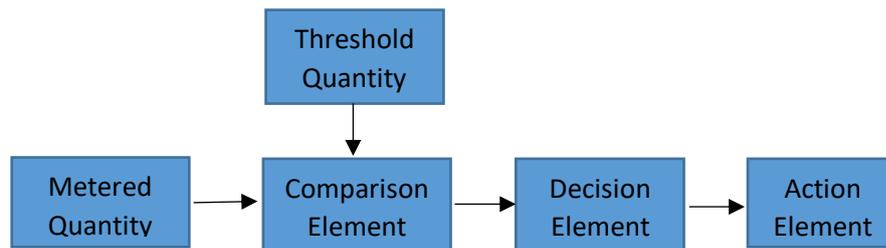
V_f = tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_1 = impedansi urutan positif di lihat dari titik gangguan

I_A = arus pada fasa A

2.8 Komponen proteksi sistem tenaga listrik

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



Gambar 25 :elemen proteksi sistem tenaga listrik

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

$$T_c = T_p + T_d + T_a \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan

$T_c = clearing\ time$

$T_p = comparasion\ time$

$T_d = decision\ time$

$T_a = action\ time, including\ circuit\ breaker\ operating\ time$

Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja (prinsip selektivitas).

2.8.1. Potensial transformer

Dalam sistem tenaga listrik dikenal berbagai macam tipe dan kontruksi dari trafo sesuai dengan aplikasinya. Untuk aplikasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik khususnya rele, trafo digunakan untuk mengukur besaran kuantitas sistem (arus atau tegangan) dan mentransformasikan ke level lebih rendah sebagai input pengukuran untuk rele. Trafo ini dikenal dengan sebutan *instrument transformer* yang terdiri dari trafo tegangan (*voltage or potential transformer*) dan trafo arus (*current transformer*).

Trafo tegangan yang digunakan untuk peralatan proteksi (dalam hal ini sebagai inputan untuk rele) mempunyai prinsip yang sama dengan trafo daya (*power transformer*), yang banyak digunakan pada sistem tenaga listrik. Perbedaan utamanya

adalah *potential transformer* memiliki rating daya yang sangat kecil, dengan tegangan tinggi disisi primer dan tegangan rendah disisi sekunder yaitu berkisar antara 100-200 volt rms. Trafo tersebut digunakan untuk memberikan *sample* atau input pengukuran tegangan sistem ke peralatan proteksi. Karena berfungsi sebagai *sampling*, trafo tegangan yang digunakan harus memiliki tingkat keakuratan yang cukup tinggi agar tidak terlalu jauh menyimpang dari tegangan sistem yang sebenarnya. Fungsi utama *potential transformer* adalah :

- Memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran atau proteksi.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.

2.8.2. *Current transformer*

Untuk memperoleh besaran arus yang proposional dengan arus sistem yang dapat digunakan dalam peralatan kontrol, rele proteksi dan peralatan instrumen yang lain, umumnya digunakan trafo arus atau *current transformer*.

current transformer merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mengambil *sample* atau masukan arus sistem dan mentransformasikannya ke level yang lebih rendah untuk peralatan-peralatan proteksi, pengukuran maupun peralatan kontrol.

Trafo arus mempunyai beberapa fungsi yaitu :

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

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

2.8.3. Rele proteksi (protection relay)

Rele adalah suatu alat yang apabila diberi energy oleh besaran-besaran sistem yang tepat dapat memberi indikasi suatu kondisi abnormal[5]. Apabila kontak-kontak

rele menutup, maka rangkain-rangkaian trip pemutus tenaga yang terkait mendapat energy dan kontak-kontak *breaker* membuka, mengisolir bagian yang terganggu dari sistem. Rele proteksi dapat diklasifikasi berdasarkan fungsi atau kegunaannya. Berikut ini adalah klasifikasi rele berdasarkan fungsi atau kegunaannya:

1. *Overcurrent relay*

Rele yang bekerja apabila arus yang terdeteksi oleh rele melebihi setelan nilai ambang-batas arusnya.

2. *Differential relay*

Rele yang dirancang untuk mendeteksi perbedaan antara arus yang masuk dalam daerah atau zona yang di proteksinya dengan arus yang keluar. Rele ini akan bekerja apabila arus masuk tidak sama dengan arus yang keluar.

3. *Directional relay*

Rele yang dirancang untuk mengidentifikasi perbedaan fasa antara arus yang satu dengan yang lain atau perbedaan fasa antar tegangan. Rele ini dapat membedakan apakah gangguan yang terjadi berada dibelakang (*reverse fault*) atau depan (*forward fault*).

4. *Distance relay*

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

5. *Ground fault relay*

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

2.9 Pengertian relay jarak (*distance relay*)

Relay jarak (*distance relay*) merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. Relay jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas settingnya, maka relay akan bekerja. Disebut relay jarak, karna impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh Karena itu, relay jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak

gangguan yang terjadi terhadap relay proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z , R atau X saja, tergantung jenis relay yang dipakai. Prinsip kerja relay jarak berdasarkan pada impedansi saluran transmisi, yang besarnya sebanding dengan panjang dari saluran transmisi tersebut.

2.9.1. Prinsip Kerja Relay Jarak

Prinsip kerja relay jarak adalah berdasarkan rasio perbandingan tegangan dan arus gangguan yang terukur pada lokasi relay terpasang (*apparent impedance*), untuk menentukan apakah gangguan yang terjadi berada di dalam atau di luar zona yang di proteksinya[6]. Relay jarak hanya bekerja untuk gangguan yang terjadi antara lokasi relay dan batas jangkauan (*reach setting*) yang telah ditentukan. Relay jarak juga dapat bekerja untuk mendeteksi gnagguan antar fasa (*phase fault*) maupun gangguan ke tanah (*ground fault*). Prinsip pengukuran jaraknya dengann membandingkan arus gangguan yang dirasakan oleh relay terhadap tegangan di titik atau lokasi dimana relai terpasang. Dengan membandingkan kedua besaran itu, impedansi saluran transmisi dari lokasi relay sampai titik atau lokasi gangguan dapat di ukur. Perhitungan impedansi dapat dihitung dengan rumus berikut :

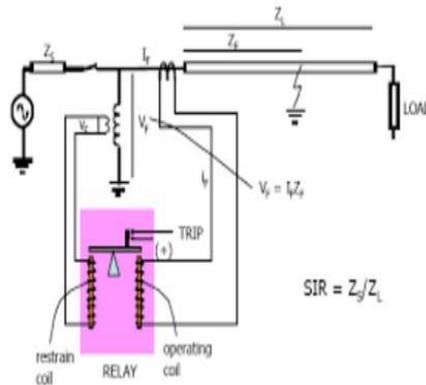
$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan : Z_f = impedansi (ohm)

V_f = tegangan (Volt)

I_f = arus gangguan (ampere)

Relay jarak pada umumnya telah dilengkapi elemen *directional* untuk menentukan arah atau letak gangguan sehingga membuat relay menjadi lebih selektif. Gambar dibawah ini menjelaskan secara sederhana prinsip kerja relay jarak elektromekanis yang didisain agar torsi operasi (*operating torque*) sebanding dengan arus tang terukur dan torsi penyeimbang (*restraint torque*) sebanding dengan tegangan yang terukur. Ketika terjadi gangguan akan timbul arus yang besar relative terhadap tegangannya sehingga rasio V/I (impedansi) menjadi lebih kecil dan torsi operasi yang dihasilkan akan lebih besar dari pada torsi penyeimbang. Kondisi akan menyebabkan kontak relay tertutup (trip).



Gambar 26 :Balance Bean Distance Relay

1. lokasi gangguan jauh (di luar daerah jangkauan setting relay) : $I <, V > \text{restrain} > \text{operating} = \text{restrain}$ (relay tidak bekerja).
2. lokasi gangguan dekat (di dalam daerah jangkauan setting relay) : $I >, V < \text{restrain} < \text{operating} = \text{operate}$ (relay bekerja)

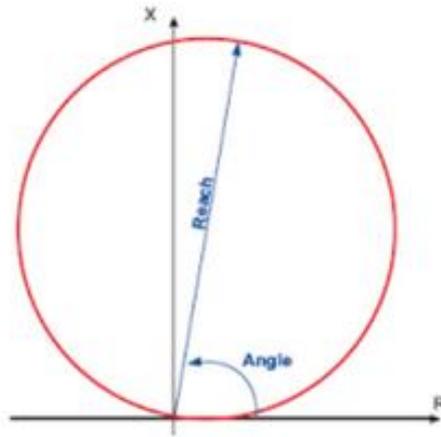
2.9.2. Karakteristik kerja relay jarak

Relay jarak dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik impedansi (R-X) di dalam koordinat polar, jumlah input atau masukan relay, dan metode yang digunakan untuk membandingkan input tersebut. Umumnya metode yang digunakan adalah dengan membandingkan dua input (dapat berupa besaran atau sudut fasa) untuk menentukan apakah gangguan yang terjadi berada di dalam atau di luar daerah kerja relay.

a) Karakteristik Mho

Karakteristik mho ketika digambar dalam diagram impedansi R-X merupakan lingkaran dimana diameter lingkaran tersebut memotong titik pusat dari sistem koordinat dan besarnya diameter tersebut menggambarkan setelan jangkauan dan sudut fasa dari karakteristik mho. Setelan jangkauan dan sudut fasa karakteristik mho dapat diatur sama dengan impedansi saluran transmisi yang di proteksinya.

Relay jarak dengan karakteristik mho akan bekerja apabila impedansi yang terukur berada dalam lingkaran.

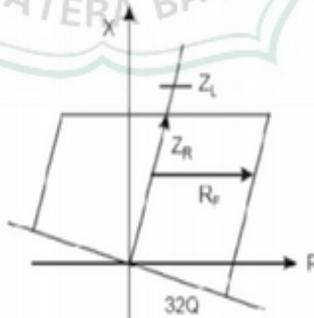


Gambar 27 : Diagram Karakteristik Kerja Mho

b) Karakteristik Quadrilateral

Karakteristik kerja Quadrilateral dapat dibentuk dengan menentukan setelan forward reach dan resistive reach yang masing-masing dapat di setel independen. Gambar di bawah menunjukkan 4 setelan batasan atau jangkauan karakteristik kerja quadrilateral.

Empat setelan batas relay yaitu batas paling atas menunjukkan setelan jangkauan reaktansi, kemudian batas kiri dan kanan yaitu setelan jangkauan resistansi positif dan resistansi negative serta batas bawah menunjukkan elemen directional.



Gambar 28: Diagram Karakteristik Kerja Quadrilateral

Keterangan : Z_L = impedansi saluran transmisi

Z_R = setelan jangkauan reaktansi relay jarak

R_F = setelan jangkauan resistansi relay jarak

$32Q$ = elemen arah (directional)

Relay dengan karakteristik quadrilateral akan bekerja apabila impedansi yang terukur oleh relay berada di dalam bidang yang dibatasi oleh empat garis yang telah disebutkan diatas. Quadrilateral mempunyai jangkauan resistansi yang lebih luas dari pada karakteristik Mho. Karakteristik quadrilateral mempunyai kelebihan dalam hal pengukuran impedansi untuk gangguan ke tanah atau ground fault. Gangguan ke tanah, mempunyai resistansi yang cukup tinggi diakibatkan oleh busur api (resistive arc) dan impedansi ke tanah itu sendiri sehingga menyebabkan resistansi gangguan ke tanah mempunyai nilai yang cukup signifikan.

c) Karakteristik reaktansi

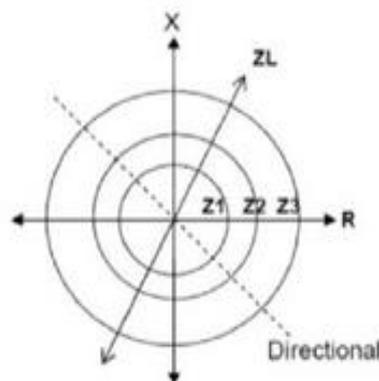
Karakteristik reaktansi mempunyai sifat non directional. Untuk aplikasi di SUTT (saluran udara tegangan tinggi) perlu ditambah relay directional. Relay ini hanya mengukur komponen reaktif dari impedansi jaringan.



Gambar 29 :Diagram Karakteristik Reaktansi

d) Karakteristik impedansi

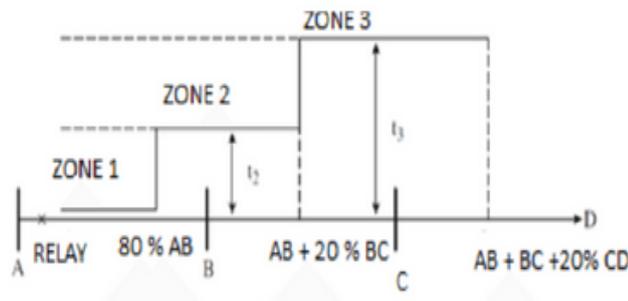
Relay jarak jenis impedansi merupakan lingkaran dengan titik pusatnya ditengah-tengah. Sehingga mempunyai sifat tidak berarah (non directional).



Gambar 30 :Diagram Karakteristik Impedansi

2.10 Zona proteksi

Relay jarak (distance rele) membagi daerah operasi menjadi beberapa daerah (zone), dimana disetiap area atau zona memiliki reaksi relay jarak yang berbeda-beda. Berikut ini penjelasan area cakupan (zone) pada relay jarak.



Gambar 31 :Diagram Relay Jarak (Distance Relay)

2.10.1. Zona 1

Zona 1 relay jarak perlindungan zona 1 relay jarak pada saluran udara tegangan tinggi dianggap sebagai pengamanan utama yang memiliki sifat directional (mengenal arah) dan dengan mempertimbangkan kesalahan pengukuran pada trafo arus, trafo tegangan dan saat penyetelan relay yang mempunyai nilai persentase sebesar 20% apabila hal tersebut terjadi, maka cakupan area perlindungan zona 1 mampu melindungi 80% dari panjang saluran gardu induk yang di proteksinya. Relay jarak pada zona 1 tidak memiliki perlambatan waktu yang artinya pada seksi pertama perlambatan waktu ($t_1 = 0$), sehingga membuat reaksinya saat melihat atau mendeteksi adanya gangguan begitu cepat, sehingga dapat dituliskan persamaan dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_1 = 0,8 \times ZL_1 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan ketentuan : ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm) waktu kerja relay zona 1 adalah tanpa time delay, $t = 0$ detik.

2.10.2. Zona 2

Zona 2 relay jarak area perlindungan zona 2 relay jarak mencakup 15-20% daerah yang tidak di proteksi oleh zona 1 ditambah 50% untuk penghantar saluran berikutnya. Sama halnya proteksi zona 1, area proteksi zona 2 juga mempunyai sifat mengenal atrah

dan di setting dengan perlambatan waktu saat pengoperasiannya, sehingga persamaan sistematikanya dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_2 = 0,8 \times (ZL_1 + (0,8 \times ZL_2)) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan ketentuan : ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

ZL_2 = impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan

(ohm) waktu kerja relay zona 2 adalah $t = 0.4$ detik.

2.10.3. Zona 3

Berbeda dengan zona 1 dan zona 2, pada seksi yang ketiga ini atau zona 3 relay jarak bersifat tidak mengenal arah maka penentuan perlindungan zona 3 di ukur dari sisa penghantar yang tidak terlindungi oleh zona 2 sepanjang 50% dan masih mampu melindungi 25% sampai ke seksi saluran selanjutnya dengan waktu pengoperasiannya lebih lambat (t_3) maka persamaan penulisan sistematika pada zona 3 dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut :

$$Z_3 = 1,6 \times (ZL_1 + ZL_2) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan ketentuan : ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm).

ZL_2 = impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan

2.11 Metode Impedansi

Metode Impedansi merupakan ukuran hambatan listrik pada sumber arus bolak-balik (AC atau *Alternating current*). Impedansi listrik sering disebutkan sebagai jumlah hambatan listrik sebuah komponen elektronik terhadap aliran arus dalam rangkaian pada frekuensi tertentu.

2.11.1. Perbedaan impedansi dan resistansi

Impedansi dan resistansi memiliki kemiripan, yaitu sama-sama menghambat arus listrik. Tetapi, impedansi dan resistansi berbeda, seperti impedansi adalah ukuran hambatan listrik pada arus AC, sedangkan resistansi adalah kemampuan benda untuk menghambat aliran listrik.

Impedansi cenderung lebih kompleks jika dibandingkan dengan resistansi, disebabkan adanya efek induktansi dan kapasitansi yang variatif dengan frekuensi arus yang melewati rangkaian.

Sedangkan resistansi, jumlah hambatan listrik pada impedansi dinamis, yaitu bisa berubah seiring dengan perubahan frekuensi sinyal, namun keduanya menggunakan satuan yang sama yaitu ohm.

2.11.2. Jenis-jenis impedansi

- impedansi kapasitif, yaitu ketika reaktansi kapasitif lebih besar dibandingkan reaktansi induktif.
- impedansi induktif, yaitu ketika reaktansi induktif lebih besar dibandingkan reaktansi kapasitif.
- Impedansi resistif, saat tidak ada reaktansi pada arus searah (DC).
- impedansi ekuivalen rangkaian ekuivalen yang merepresentasikan setiap sirkuit dengan elemen yang berbeda, sehingga impedansinya sama.
- Impedansi akustik, hambatan yang terjadi di rambatan gelombang suara yang melewati media tertentu.

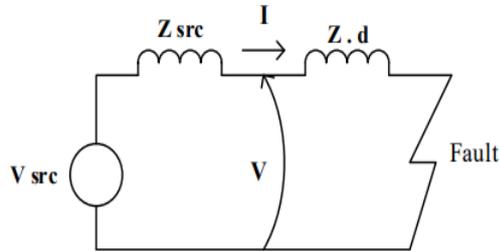
2.11.3. Karakteristik Impedansi

- Berlaku untuk arus DC dan AC, bedanya tidak membutuhkan frekuensi pada arus DC.
- Impedansi termasuk diatur dalam hukum kirchoff, kurangnya tegangan dan arus akan kompleks.
- Impedansi juga bisa di artikan sebagai nilai pembagian antara fasor tegangan dan arus.
- Bisa untuk menyatakan jumlah bagian nyata dan bagian imajiner dalam bentuk binomial.
- Impedansi sangat mungkin digunakan dalam bidang yang kompleks, yang dikenal dengan diagram fresnel.

2.12 Algoritma penentuan lokasi gangguan

Metode impedansi dalam perkiraan lokasi gangguan secara umum menggunakan pengukuran dari tegangan dan arus pada pantauan Gardu Induk.

Berdasarkan hukum ohm, tegangan dan arus dari node dapat digunakan untuk menentukan gangguan hubung singkat.^[7]



Gambar 32 :Metode lokasi gangguan berbasis impedansi

Dari gambar di atas dapat di ambil persamaan sederhana untuk mencari lokasi gangguan seperti berikut.

$$d = \frac{v}{z \times i} \dots\dots\dots (2.10)$$

diketahui: v = tegangan saat terjadi gangguan (volt)

I = arus saat terjadi gangguan (Ampere)

Z = impedansi saat terjadi gangguan

d = jarak gangguan (meter)

berikut ini penjabaran dari persamaan diatas untuk mengetahui nilai dalam satuan meter.

$$d \text{ (m)} = \frac{v \text{ (volt)}}{z \text{ (\Omega/m)} \times i \text{ (A)}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$d \text{ (m)} = \frac{v \text{ (volt)}}{I \text{ (A)}} = z \text{ (\Omega/m)} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan satuan Ω (ohm) dalam $Z(\Omega m)$, **Z atau impedansi saling dihilangkan** maka didapatkan satuan yang sama dengan d atau jarak yaitu meter. Namun, nilai impedansi yang didapatkan harus diproses lebih jelas dalam penentuan lokasi gangguan untuk berbagai jenis gangguan, sehingga didapatkan hasil yang akurat. Impedansi jaringan merupakan hasil dari perkalian jarak gangguan dengan impedansi kawat satuan ohm/km, dimana jarak gangguan dapat ditentukan sebagai berikut.

$$Z_f = Z_p + (Z_n \times J_n) + R_f \dots\dots\dots (2.13)$$

Diketahui Z_f = impedansi saat terjadi gangguan

Z_p = impedansi pada gardu

$Z_n (\Omega/m)$ = impedansi saluran pada bus ke-n

J_n = jarak gangguan pada bus ke-n

Untuk mencari jarak gangguan pada bus ke-n, maka didapatkan persamaan berikut ini.

$$J_n = \frac{Z_f - Z_p - R_f}{Z_n} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan nilai R_f diabaikan maka, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$J_n = \frac{\left(\frac{V}{I_{fn}}\right)\left(\frac{V}{I_{asc}}\right)}{Z_n} \dots\dots\dots (2.15)$$

Diketahui J_n = adalah jarak dalam 1/1000 meter

V = tegangan satu fasa

I_{fn} = arus saat terjadi gangguan pada bus ke-n

I_{asc} = nilai arus gangguan pada gardu induk,

Z_n = impedansi total

Z_n untuk masing-masing tipe gangguan memiliki persamaan yang berbeda. Z_n untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah dapat di peroleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Z_n = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negative

Z_0 = impedansi urutan nol

Untuk tipe gangguan antar fasa nilai Z_n di peroleh sebagai berikut.

$$Z_n = \frac{Z_1 \times 2}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.17)$$

untuk tipe gangguan tiga fasa nilai Z_n dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan.

$$Z_n = Z_1 \dots\dots\dots (2.18)$$

Untuk perhitungan *error* atau besarnya nilai kesalahan dari hasil yang didapat dalam percobaan, dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$er = \frac{|J_{est} - J_{act}|}{J} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

diketahui er = nilai *error* (%)

J_{est} / J_n = jarak estimasi (meter) didapat dari proses perhitungan

J_{act} = jarak sebenarnya

I = panjang atau jarak keseluruhan



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

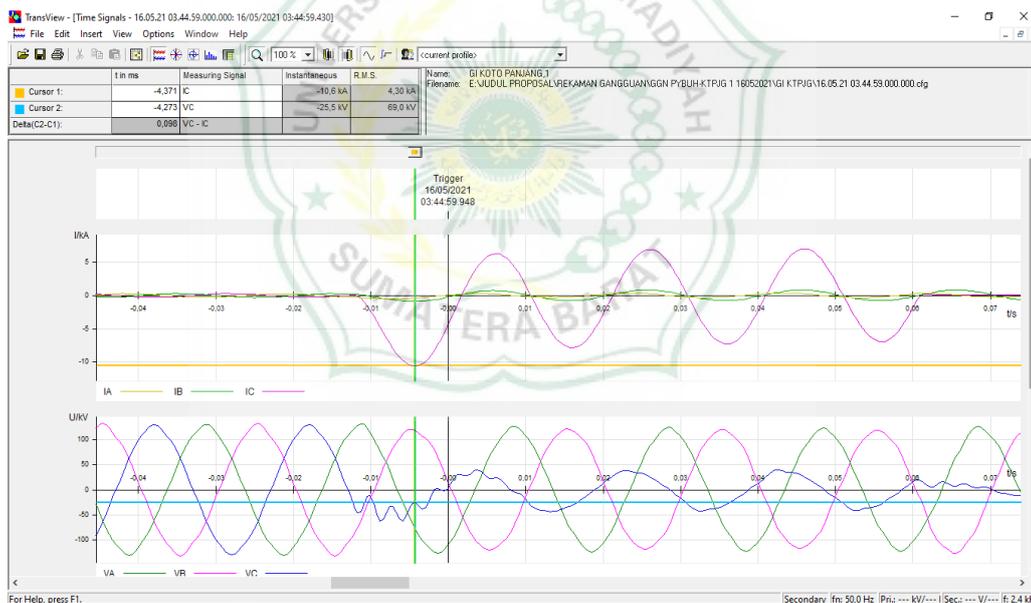
3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Payakumbuh. Gardu Induk Payakumbuh beralamat di Jalan Ir. Sutami, Payakumbuh Timur, kelurahan sicincin mudiak, Kota Payakumbuh.

3.2. Data Penelitian

Data penelitian yang dilakukan sebelumnya diambil pada data *comtrade*, data *comtrade* merupakan data yang diambil berdasarkan rekaman gangguan yang terbaca pada relay jarak. Berikut hasil pembacaan relay jarak :

Pembacaan rekaman gangguan pada sisi Koto Panjang:



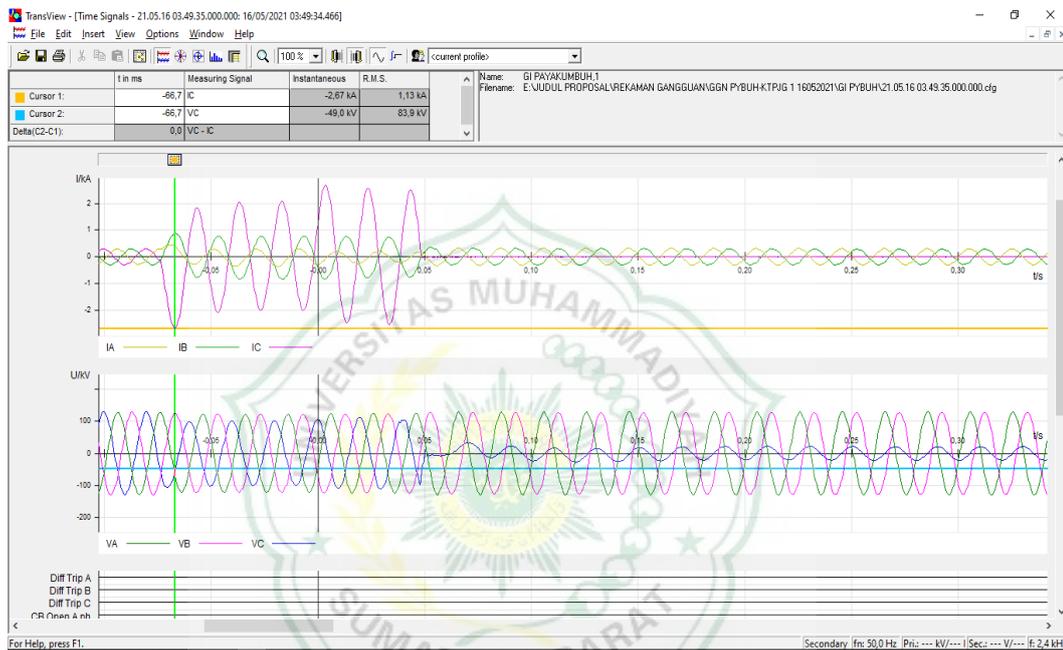
Gambar 4.1 rekaman gangguan sisi Koto Panjang

Pada kasus ini telah terjadi gangguan pada Penghantar Payakumbuh-Koto Panjang pada tanggal 16 Mei 2021 jam 03.44 WIB telah terjadi gangguan satu phase ke tanah yaitu pada phase C dengan nilai arus gangguan 10.6 kA dan tegangan 25.6 kV, untuk nilai R.M.S masing-masing 4.37 kA dan 69 kV dan nilai phasornya yaitu $2,74 \text{ kA} \angle 27,5^\circ$ dan $63 \text{ kV} \angle 51,6^\circ$.

Table 2. Data gangguan sisi Koto Panjang

	Instanteneus	R.M.S	Phasor
Ic	10,6 KA	4,37 KA	2,74 kA \angle 27,5°
Vc	25,6 KV	69 KV	63 kV \angle 51,6°

Pembacaan rekaman gangguan pada sisi Payakumbuh :



Gambar 4.2 Rekaman gangguan sisi Payakumbuh.

Untuk sisi payakumbuh disini memiliki perbedaan antara arus dan tegangannya tidak drop secara bersamaan karena gangguannya terjadi pada sisi Koto Panjang maka, pada sisi Payakumbuh hanya terjadi Auto Reclose. Sehingga antara arus dan tegangan menyebabkan perbedaan waktu drop selama 0.2 second.

Untuk arus gangguan sisi Payakumbuh yaitu 2.67 KA dan tegangan gangguan sebesar 48.7 kV, R.M.S masing-masing 1.13 kA dan 83.9 kV dan untuk nilai phasornya yaitu $0,83\angle 76,5^\circ$ dan $83,6\angle 94,9^\circ$

Table 3. Data gangguan sisi Payakumbuh

	Instanteneus	R.M.S	Phasor
Ic	2,67 kA	1,13 kA	0,83∠76,5°
Vc	48,7 Kv	83,9 kV	83,6∠94,9°

Klasifikasi wilayah proteksi rele jarak

a. Klasifikasi Area 1

Pada klasifikasi 1 rele jarak diproyeksikan melindungi saluran transmisi sebesar 80% yang dianggap sebagai pengaman utama dengan proteksi sejauh mungkin dengan persentase kesalahan pengukuran sebesar 20% pada trafo arus, trafo tegangan serta saat penelaah rele. Pada klasifikasi zona 1 rele jarak akan mendeteksi gangguan dengan cepat, sehingga tidak memiliki perlambatan waktu yang didapatkan pada persamaan matematis sebagai berikut:

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{L1}$$

Dimana :

Z_{L1} merupakan impedansi saluran transmisi Payakumbuh-Koto Panjang (ohm)

Time delay rele area 1 sebesar $t = 0 \text{ second}$

b. Klasifikasi Area 2

Klasifikasi area 2 pada rele jarak diproyeksikan untuk melindungi saluran transmisi sebesar 20% sisa zona 1 dan sekitar 50% untuk saluran berikutnya dengan perlambatan waktu 0.4 second , rumus yang diperoleh :

$$Z_2 = 0.8 \times (Z_{L1} + (0.8 \times Z_{L2}))$$

Dengan *time delay* area 2 adalah $t = 0.4 \text{ second}$

c. Klasifikasi Area 3

Pada rele jarak untuk klasifikasi area 3 diproyeksikan melindungi sisa saluran transmisi yang tidak terlindungi pada zona 2 sampai saluran berikutnya dengan perlambatan waktu 1.2 detik, maka rumus yang diperoleh:

$$Z_3 = 1.2 \times (Z_{L1} + Z_{L2})$$

Berikut ini spesifikasi rele jarak saluran transmisi Payakumbuh-Koto Panjang:

Table 4. Spesifikasi rele jarak

Nama	Uraian	satuan
NR Electric	8541DF	-
Tipe	PCS-902-I-EN-1A	-
Arus nominal	1/5	Ampere
Tegangan nominal	100-120	Volt
Tegangan DC	110	Volt
Frekuensi	50	Hertz

Pada Penelitian ini mendapatkan hasil berupa nilai impedansi *setting* rele jarak untuk area 1, area 2 dan area 3 pada saluran transmisi Gardu Induk 150 kV Payakumbuh-Koto Panjang. Tidak hanya itu saja, pada penelitian ini juga didapatkan hasil perhitungan gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan 2 fasa. Rele jarak yang digunakan mempunyai sifat karakteristik Mho.

3.2.1. Jenis penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian kuantitatif yang berbentuk pengolahan data. Penelitian ini akan bertumpu pada sumber data yang diambil melalui rekaman gangguan pada relay jarak (distance rele).

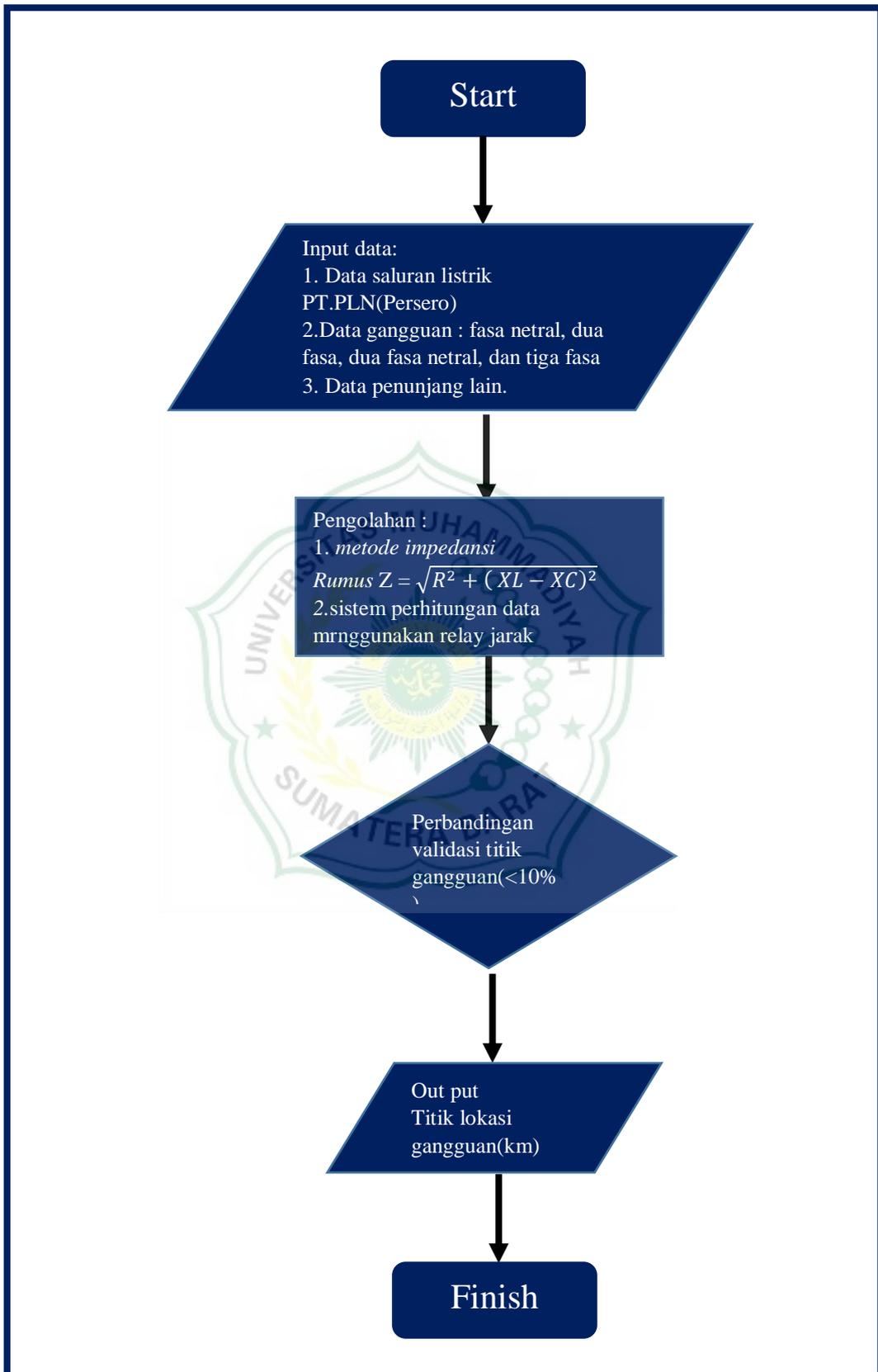
3.2.2. Sumber data

Penelitian ini diawali dengan studi literature. Pada tahapan ini, peneliti akan mengumpulkan data yang terkait dengan penelitian terdahulu, buku teks, dan dokumen atau sumber tertulis lainnya.

3.2.3. Metode analisa

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian disusun untuk memberikan arahan dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

3.3 Flowchart Algoritma



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan

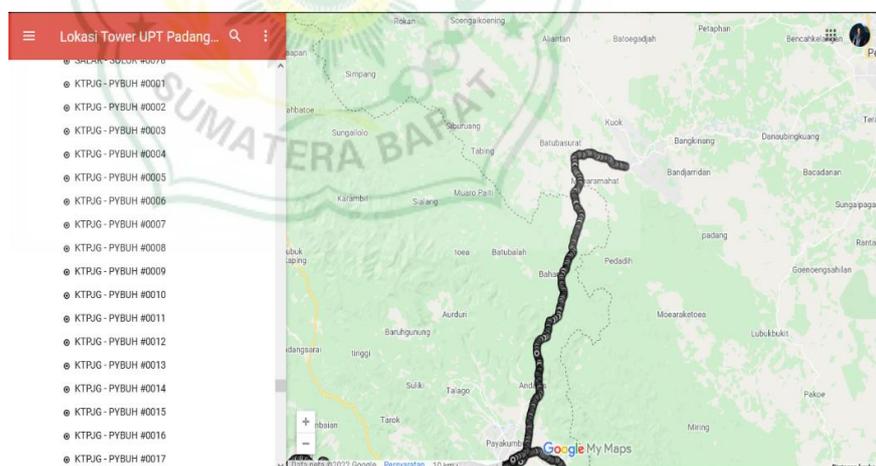
Data yang penulis peroleh sebelum melakukan penelitian dari Gardu Induk Payakumbuh sebagai berikut:

1. Gambar map dari saluran transmisi Payakumbuh-Koto Panjang.
2. Data kabel penghantar, parameter trafo dan sumber tenaga.
3. Rasio trafo tegangan (PT/ *potential transformer*) dan rasio trafo arus (CT/ *current transformer*).
4. Data nilai *setting* rele jarak transmisi Payakumbuh-Koto Panjang.

4.1.1. Data Penelitian

Adapun data-data yang diperoleh dari Gardu Induk 150 kV Payakumbuh dan studi literatur, terdiri dari :

1. Gambar MAP saluran transmisi Gardu Induk 150 kV Payakumbuh-Koto Panjang.



Gambar 4.1 Google MAP transmisi Payakumbuh- Koto Panjang

2. Data rasio trafo arus (CT) dan rasio trafo tegangan (PT)

$$\text{Trafo aru (CT)} = 800/5$$

$$\text{Trafo tegangan (PT)} = 150.000/110$$

3. Data kabel penghantar.

Tabel 5. Spesifikasi kabel penghantar Payakumbuh-Koto Panjang

Item	Uraian	Satuan
Tipe konduktor	ACSR	-
Jenis konduktor	ACSR 240	
Panjang penghantar	84.85	Km
Diameter	21.7	Mm
Luas penampang	281.5	Mm ²
Impedansi	0.0695 + j0.3072	Ω/KM
Kapasitas arus	457	A

4. Data *setting* rele jarak Gardu Induk Payakumbuh-Koto Panjang.

Impedansi urutan positif	0.1379 + j0.4264
Impedansi urutan negative	0.1379 + j0.4264
Impedansi urutan nol	0.551 + j1.8506

4.2. Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1. Perhitungan Impedansi

Dibawah ini nilai impedansi sepanjang sistem transmisi Gardu Induk 150 kV Payakumbuh-Koto Panjang dihitung melalui persamaan sebagai berikut :

$$Z_L = \text{panjang saluran} \times Z_{\text{saluran per km}}$$

Nilai impedansi sistem transmisi Gardu Induk 150 kV payakumbuh-Koto panjang:

$$\begin{aligned} Z_L &= 84.85 \times (0.0695 + j0.3072) \\ &= 5.8970 + j26.0659 \Omega \end{aligned}$$

Dibawah ini nilai impedansi untuk area satu berdasarkan persamaan diatas:

a Nilai impedansi area 1

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0.8 \times (5.8970 + j26.0659) \\ &= 4.7176 + j20.8527 \Omega \end{aligned}$$

Dengan jangkauan perlindungan yaitu : $0.8 \times 84.85 = 67.88$ Km

Area 1 memiliki *time delay* $T_1 = 0$ detik disebabkan karena pengaman utama sistem transmisi sehingga bekerja secara instan.

b Nilai impedansi area 2

$$Z_2 = 0.8 \times ((5.8970 + j26.0659) + (0.8 \times (5.8970 + j26.0659)))$$

$$= 9.4352 + j41.7054 \Omega$$

Dengan jangkauan perlindungan : $0.8 \times (84.85 - (0.8 \times 84.85)) = 13.57$ km

Area 2 memiliki waktu tunda $T_2 = 0.4$ second disebabkan oleh area 2 dapat bekerja sebagai *backup* dari area 1 yang memiliki waktu kerja yang lama.

c Nilai impedansi area 3

$$Z_3 = 1.2 (4.7176 + j20.8527) + (9.4352 + j41.7054)$$

$$= 15.0963 + j66.728 \Omega$$

Dengan jangkauan perlindungan : $1.2 \times (67.88 + 13.576) = 84.17$ Km.

Pada area 3 memiliki *time delay* $T_3 = 1.2$ second, dimana memiliki waktu tunda kerja paling lama dari area 1 dan 2.

4.2.2. Impedansi Yang Dilihat Pada Rele

Nilai impedansi yang dilihat pada rele adalah dalam skala kecil karena berdasarkan rasio PT dan CT. persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z_{rele} = n \times Z_{area}$$

Rasio trafo arus (CT) : 800/5

Rasio trafo tegangan (PT) : 150.000/110

$$n = \frac{PT}{CT} = \frac{110/150.000}{5/800} = 0.117$$

Area 1

$$Z_{1sekunder} = 0.117 \times (4.7176 + j20.8527)$$

$$= 0.5519 + j2.4397 \Omega$$

Area 2

$$Z_{2\text{ sekunder}} = 0.117 \times (9.4352 + j41.7054)$$

$$= 1.1039 + j4.879 \Omega$$

Area 3

$$\begin{aligned} Z_{3 \text{ sekunder}} &= 0.117 \times (15.0963 + j66.728) \\ &= 2.7662 + j 7.8071 \Omega \end{aligned}$$

4.2.3. Arus dan Tegangan Gangguan

Misalkan nilai impedansi yang di tunjukkan sebesar 10 Ω , maka untuk menghitung nilai gangguan yang terjadi sebagai berikut :

1. Gangguan satu fasa ke tanah

a. Arus gangguan

$$\begin{aligned} \text{Rumus : } I &= 3 \times \frac{kV \times \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3z_f} \\ I &= 3 \times \frac{15000/\sqrt{3}}{(0.1379 + j0.4264) + (0.1379 + j0.4264) + (0.551 + j 1806) + (3 \times 10)} \\ I &= 3 \times \frac{8660.25}{30.826 + j1.8068} \\ I &= 839.93 - j49.230 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (839.93 - j49.230) \times (0.1379 + j0.4264) \\ &= 136.81 + j351.35 \text{ V} \end{aligned}$$

2. Gangguan dua fasa

a. Arus gangguan

$$\begin{aligned} \text{Rumus : } I &= \frac{kV \times \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + z_f} \\ I &= \frac{15000 \times \sqrt{3}}{(0.1379 + j0.4264) + (0.1379 + j0.4264) + (10)} \\ I &= \frac{8660.25}{10.275 + j0.8528} \\ I &= 837.080 - j69.475 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (837.080 - j69.475) \times (0.1379 + j0.4264) \\ V &= 145.057 + j 347.35 \text{ V} \end{aligned}$$

3. Gangguan tiga fasa

a. Arus gangguan

Rumus : $I = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z1}$

$$I = \frac{15000/\sqrt{3}}{0.1379+j0.4264}$$

$$I = \frac{8660.25}{0.1379+j0.4264}$$

$$I = 5946.46 - j18387.03 \text{ A}$$

b. Tegangan gangguan

$$V = (5946.46 - j18387.03) \times (0.1379 + j0.4264)$$

$$V = 1624.64 + j2275.34 \text{ V}$$

Data pencarian di atas merupakan arus dan tegangan yang terganggu dengan nilai impedansi gangguan yaitu 10Ω . Nilai impedansi gangguan yang berbeda memerlukan perhitungan yang berbeda.

4.2.4. Menentukan lokasi gangguan

Untuk menentukan titik lokasi gangguan kita bisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

menentukan jarak gangguan dengan nilai impedansi :

1. 10Ω

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{10 \times \frac{1200/5}{800/5} \times 84.85}{5.8970+j26.0659} = \frac{1272.75}{5.8970+j26.0659} = 10.5 \text{ km}$$

2. 20Ω

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{20 \times \frac{1200/5}{800/5} \times 84.85}{5.8970+j26.0659} = \frac{2545.5}{5.8970+j26.0659} = 21.01 \text{ km}$$

3. 33.65Ω

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{33.65 \times \frac{1200/5}{800/5} \times 84.85}{5.8970+j26.0659} = \frac{4282.8}{5.8970+j26.0659} = 35.3 \text{ km}$$

Berdasarkan hasil yang perhitungan menggunakan metode impedansi, maka diperkirakan jarak 35,3 Km atau sekitar 7 tower dari Gardu Induk Koto Panjang.

Tabel 6. Penentuan letak gangguan dengan nilai impedansi

Nilai Impedansi Gangguan	Jarak Gangguan
10	10.5 km
15	15.76 km
20	21.01 km
25	26.27 km
30	31.52 km
33.65	35.3 km



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan.

Kesimpulan yang dapat di ambil dari hasil penelitian pada penentuan titik lokasi gangguan hubung singkat menggunakan metode impedansi (studi kasus : saluran tranmisi 150 kV Payakumbuh-Koto Panjang) sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat merupakan suatu kegagalan sistem yang diakibatkan oleh kesalahan baik yang terjadi pada sistem itu sendiri maupun faktor alam dan juga bisa terjadi karena kesalahan manusia.
2. Data gangguan hubung singkat di ambil melalui rekaman gangguan berupa data comtrade yang di ambil pada rele jarak.
3. Hasil penelitian memperlihatkan hasil nilai impedansi dari area 1, area 2 dan area 3 masing – masing yaitu : 67.88 km, 13.57 km dan 84.17 km
4. Penentuan lokasi titik gangguan dengan nilai impedansi :
 $10 \Omega = 10.5 \text{ km}$, $20 \Omega = 21.01 \text{ km}$ dan $33.65 \Omega = 35.3 \text{ km}$.

5.2 Saran.

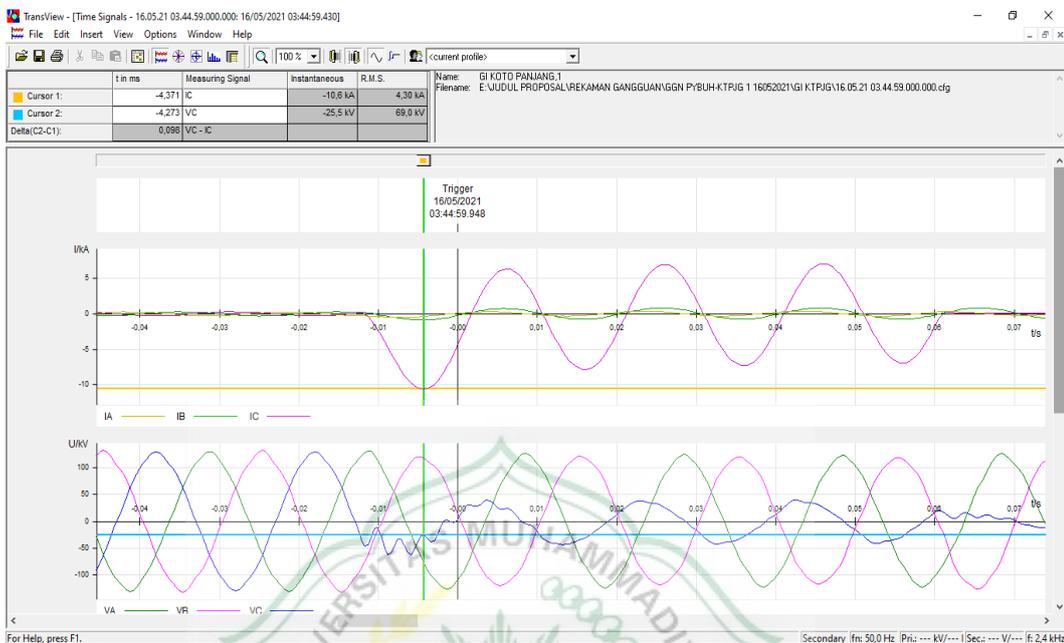
1. Untuk menjaga sistem agar selalu pada kondisi aman dan baik, maka perlu dilakukan perawatan pada sistem agar dapat bekerja dengan optimal.
2. Selalu melakukan perawatan jaringan secara berkala supaya sistem bekerja secara baik tanpa ada kendala yang berarti.
3. Sosialisasi terhadap sumber daya manusia mengenai keandalan sistem perlu lebih di tingkatkan agar lebih cekatan dalam mengisolasi *emergency* yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

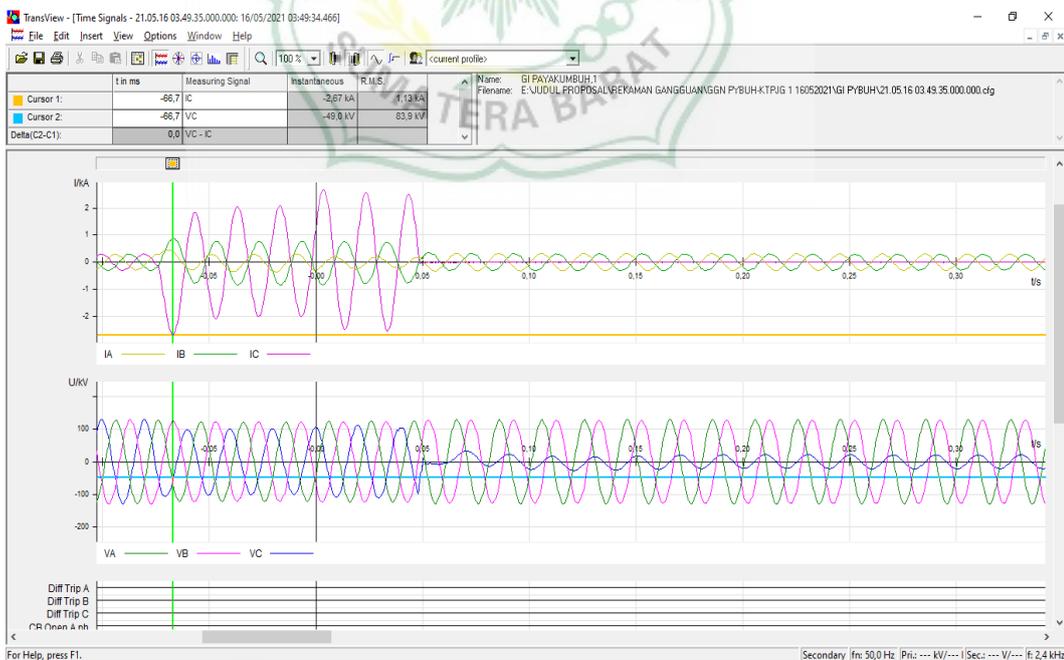
- [1] Syofian A." Analisa Perhitungan Titik Gangguan pada Saluran Transmisi Menggunakan Metode Takagi Aplikasi PT.CHEVRON PACIFIC Indonesia,"2017
- [2] T. Park, A. B. S, D. Anton, dan A. Arif, "Deteksi Lokasi Gangguan pada Saluran Transmisi menggunakan Gelombang Berjalan," 2013.
- [3] G. A. P. Yoga, H. Gusmedi, O. Zebua, dan L. Hakim, "Analisa Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Wilayah Lampung Berdasarkan Ketersediaan Daya Pada Tahun 2016," *Konf. Ilm. Nas.*, hal. 1–7, 2017.
- [4] R. SYAHPUTRA, "Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik," *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 17, no. 2, hal. 106–115, 2014.
- [5] M. Sanusi, "Analisa proteksi rele jarak pada saluran udarategangan tinggi 150 kv gardu induk rembang baru ke gardu induk pati universitas muhammadiyah surakarta," *E-Jurnal Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2017.
- [6] I. F. Huda dan S. T. A. Supardi, "Analisis Penggunaan Rele sebagai Proteksi Jarak Pada Sistem Transmisi Dari Gardu Induk 150 KV Gondangrejo-Jajar," 2018.
- [7] T. A. Al qoyyimi, O. Penangsang, dan N. K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21297.

LAMPIRAN

1. Rekaman Gangguan Sisi Koto Panjang



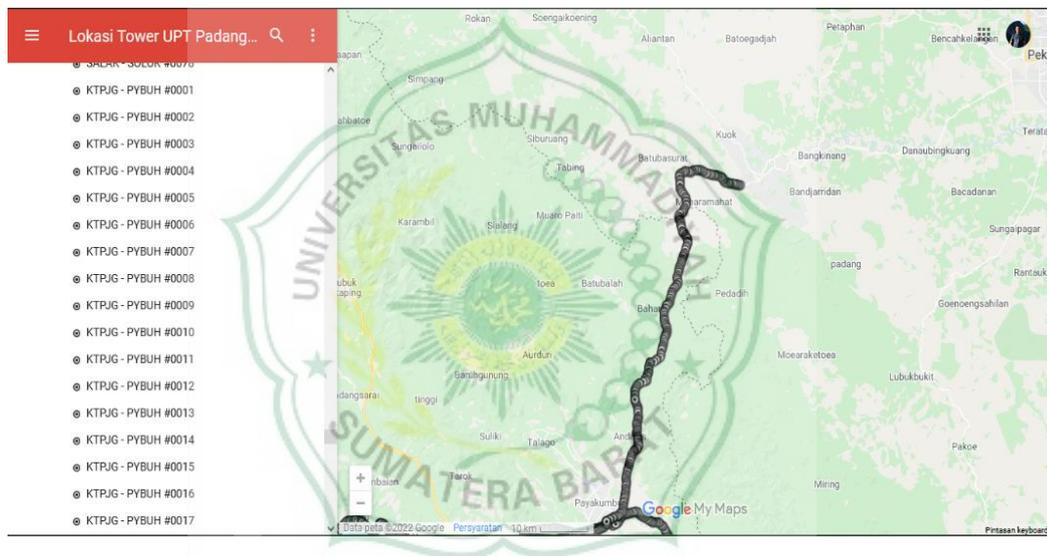
2. Rekaman Gangguan Sisi Payakumbuh.



3. Spesifikasi Rele Jarak

Nama	Uraian	satuan
NR Electric	8541DF	-
Tipe	PCS-902-I-EN-1A	-
Arus nominal	1/5	Ampere
Tegangan nominal	100-120	Volt
Tegangan DC	110	Volt
Frekuensi	50	Hertz

4. Google MAP Transmisi Payakumbuh- Koto Panjang



5. Spesifikasi Kabel Penghantar Payakumbuh-Koto Panjang

Item	Uraian	Satuan
Tipe konduktor	ACSR	-
Jenis konduktor	ACSR 240	
Panjang penghantar	84.85	Km
Diameter	21.7	Mm
Luas penampang	281.5	Mm ²
Impedansi	0.0695 + j0.3072	Ω/KM
Kapasitas arus	457	A

6. Data *setting* rele jarak Gardu Induk Payakumbuh-Koto Panjang

Impedansi urutan positif	$0.1379 + j0.4264$
Impedansi urutan negative	$0.1379 + j0.4264$
Impedansi urutan nol	$0.551 + j1.8506$

7. Penentuan Letak Gangguan Dengan Nilai Impedansi

Nilai Impedansi Gangguan	Jarak Gangguan
10	10.5 km
15	15.76 km
20	21.01 km
25	26.27 km
30	31.52 km
33.65	35.3 km

