

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Berdasarkan hasil penelitian David Dhio Fakhrian (2017) yang berjudul Analisis Perhitungan *Setting Relay* Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV, Gardu Induk Kentungan-Sanggrahan, penelitian ini menjelaskan tentang bagaimana kordinasi *relay* jarak dan analisis perbandingan *setting relay* jarak hasil perhitungan manual dengan data *setting* yang ada pada gardu induk kentungan – sanggrahan, dari penelitian ini disimpulkan bahwa setting proteksi *relay* jarak pada gardu induk kentungan- sanggrahan telah sesuai dengan standar *setting*.
2. Alfian Budy Hadianto, I Gede Dyana Arjana, Widyadi Setiawan (2016) dalam penelitian yang berjudul Studi Perhitungan *Relay* Jarak Pada Saluran *Double Circuit* dengan *Single Conductor* GI Kapal - GI Pemecutan Kelod dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN), menjelaskan tentang *relay* jarak sebagai penentu keandalan saluran transmisi 150 kV dan penentuan *setting relay* jarak yang baru menggantikan *setting relay* jarak yang telah dilakukan oleh PLN, dari penelitian ini disimpulkan Persentase perbedaannya yaitu, zona 1 = (R=0,0144%, XI=0,0017%, Z=0,000%), zona 2 = (R=0,3626%, XI=0,3170%, Z=0,3706%), zona 3= (R=1,1751%, XI = 1,1562%, Z=1,1538%) relatif kecil. Persentase Perbedaan tersebut membuktikan bahwa proses dan metode pencarian seting *relay* jarak pada GI Kapal-GI Pemecutan Kelod sudah berhasil.
3. Antonius Hamdadi, Fikriansyah (2014) dalam jurnal penelitian yang berjudul Analisa dan Pengaturan Ulang Relai Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Keramasan – Bukit Asam, menjelaskan tentang perhitungan ulang *setting relay* jarak yang berguna untuk

mendapatkan nilai *setting* yang lebih baik dan sesuai dengan standar yang di tetapkan, dari penelitian ini disimpulkan perbedaan hasil nilai impedansi zona 1 dan zona 2 dengan cara perhitungan manual yang dilakukan dengan data *setting* dari PT. PLN UPT Palembang Gardu Induk Keramasan tidak terlalu jauh berbeda. Sehingga nilai *setting* yang digunakan pada *relay* jarak masih dapat digunakan. Sedangkan nilai impedansi zona 3 antara hasil analisa dan perhitungan terdapat perbedaan nilai yang sangat jauh dengan data PT. PLN Gardu Induk Keramasan sehingga pemeriksaan ulang untuk nilai impedansi zona 3 sangat diperlukan.

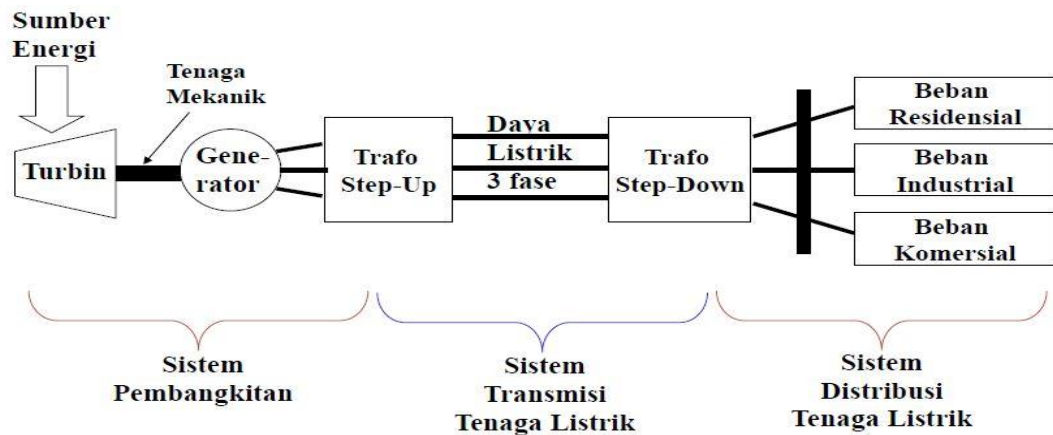
## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Pada umumnya Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban / pemakai energi listrik, yang dihubung-hubungkan dan membentuk suatu sistem (Syahputra, 2017).

Fungsi dari masing – masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pusat pembangkit merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan energi listrik, yaitu dengan mengubah energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara), hidro / air, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik.
2. Transmisi tenaga listrik merupakan komponen yang berfungsi mengirimkan daya listrik / energi listrik dari pusat pembangkit melalui penghantar bertegangan tinggi ke pusat – pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan daya listrik / energi listrik dari pusat beban ke lokasi konsumen energi listrik.
4. Beban merupakan peralatan listrik yang berada dilokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tenaga listrik.



*Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik  
(sumber: Syahputra,2017)*

Didalam sistem tenaga listrik terdapat peralatan bantu yaitu sistem pengamanan atau proteksi yang bertujuan untuk mencegah, meminimalisir dan membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi baik dari dalam sistem maupun dari luar sistem.

### 2.2.2 Saluran Transmisi

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

Berdasarkan kapasitas tegangan yang disalurkan Saluran Transmisi terdiri dari:

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

Di Indonesia umumnya saluran udara yang digunakan adalah pada kapasitas 500 kV. Hal ini bertujuan untuk menghindari jatuh tegangan yang besar dari kawat penghantar, sehingga diharapkan akan memperoleh hasil yang

efektif, efisien serta ekonomis namun, dalam pembangunan, konstruksi SUTET memerlukan menara yang tinggi dan ukuran yang lebar, lahan yang luas, sehingga membutuhkan investasi anggaran yang besar.

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

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

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

Saluran Kabel Tegangan Tinggi adalah saluran daya/energi listrik dengan menggunakan kabel dengan isolasi *PVC* yang ditimbun ditanah. Pemasangan seperti ini biasanya berada didalam kota, dan tidak terpengaruh oleh cuaca buruk tetapi memiliki kekurangan yaitu biaya investasi yang mahal serta sulitnya dalam menentukan titik gangguan dan perbaikannya.

Berikut ini adalah beberapa pertimbangan transmisi menggunakan kabel bawah tanah :

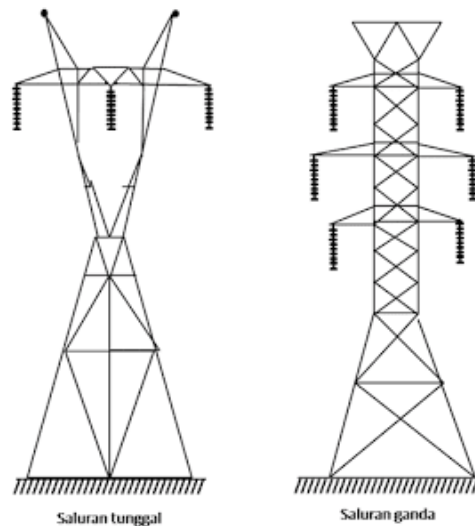
- a. Didalam kota tidak memungkinkan pembangunan dan pemasangan SUTT karena terbatasnya lahan untuk membangun menara/tower.
- b. Padat bangunan dan terdapat gedung perkantoran yang tinggi (bangunan bertingkat).
- c. Lebih estesis, tidak mengganggu pemandangan, dan faktor keamanan lingkungan.

### 2.2.2.1 Komponen-komponen Saluran Transmisi

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

#### 1. Menara atau Tiang Transmisi

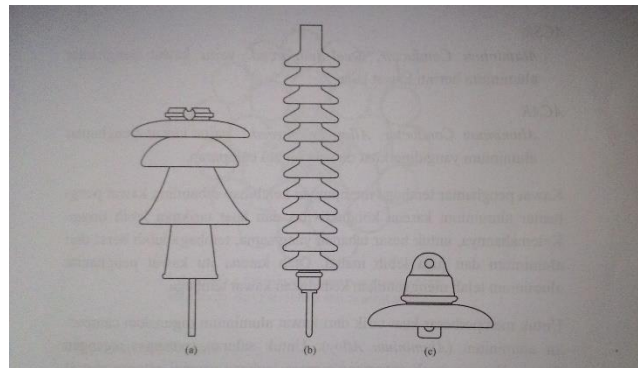
Menara transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, ataupun tiang beton, tiang beton biasanya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja (dibawah 70 KV), sedangkan untuk saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) atau ekstra tinggi (SUTET) menggunakan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



**Gambar 2.2** Menara Transmisi, Saluran Tunggal dan Saluran Ganda  
(Sumber: Transmisi Daya Listrik, 2013)

#### 2. Isolator

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



**Gambar 2.3** Jenis-jenis isolator porselin: (a) pasang, (b) pos saluran, dan (c) gantung  
(Sumber: Transmisi Daya Listrik, 2013)

### 3. Kawat Penghantar

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

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

Dibandingkan penghantar aluminium, Kawat penghantar tembaga mempunyai kelebihan yaitu memiliki konduktivitas dan kuat tarik yang lebih tinggi

namun. Tembaga memiliki kelemahan yaitu untuk nilai tahanan ( $R$ ) yang sama, tembaga lebih berat dan harga lebih mahal. Hal inilah yang menyebabkan penghantar aluminium banyak dipakai pada saluran transmisi daya listrik.

#### 4. Kawat Tanah

*Ground wires* atau kawat tanah adalah pelindung kawat fasa atau penghantar dari gangguan sambaran petir sehingga disebut juga sebagai kawat pelindung (*shield wires*). Pada umumnya kawat yang dipakai adalah kawat baja (*steel wires*) yang berukuran lebih kecil tetapi, terkadang juga memakai kawat ACSR sebagai kawat tanah.

#### 2.2.3 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut.

Kerja dari sistem proteksi membutuhkan 2 hal yang saling berkaitan yaitu :

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

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

### 2.2.3.1 Fungsi Sistem Proteksi

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

- a. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan yang diakibatkan oleh gangguan (keadaan tidak normal), yang akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat.
- b. Melokalisir (memisahkan) luas daerah yang mengalami gangguan menjadi sekecil mungkin
- c. Mengamankan manusia/pengguna terhadap bahaya yang akan ditimbulkan oleh listrik.
- d. Untuk menjaga alat ataupun komponen agar dapat bekerja sesuai dengan batas kemampuan kerjanya.

### 2.2.3.2 Persyaratan Sistem Proteksi

- a. Kepekaan (*Sensitivity*)

Sensitifitas adalah kepekaan *relay* proteksi bekerja terhadap segala macam gangguan dengan tepat yaitu gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus ( $I_{nom}$ ) gangguan dalam daerah perlindungan *relay* proteksi.

- b. Keandalan (*Reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja. Keandalan *relay* dikatakan cukup baik apabila mempunyai harga 90-99 %. Keandalan dapat dibagi 2 macam, yaitu :



1) *Dependability*

yaitu tingkat kepastian untuk mampu bekerja saat terjadi gangguan tinggi. Dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu secara pasti dan memisahkan daerah yang terkena gangguan dengan daerah yang tidak terkena gangguan.

2) *Security*

yaitu tingkat keamanan yang tinggi sehingga daerah yang terkena gangguan tidak mengganggu sistem lain yang tidak terkena gangguan dan aman untuk dilakukan perbaikan jika diperlukan.

c. Selektivitas (*Selectivity*) dan *Diskriminatif*

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila *relay* proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sedapat mungkin adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi tidak normal, ataupun membedakan apakah kondisi tidak normal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya, dengan demikian segala respon dari *relay* proteksi akan tepat.

d. Kecepatan (*Speed*)

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dilepaskan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Keterlambatan melepaskan sistem yang terganggu dapat mengakibatkan gangguan kestabilan pada sistem atau dapat merusak peralatan dan komponen jaringan yang disebabkan oleh kejenuhan alat yang terkena gangguan (*thermal stress*).

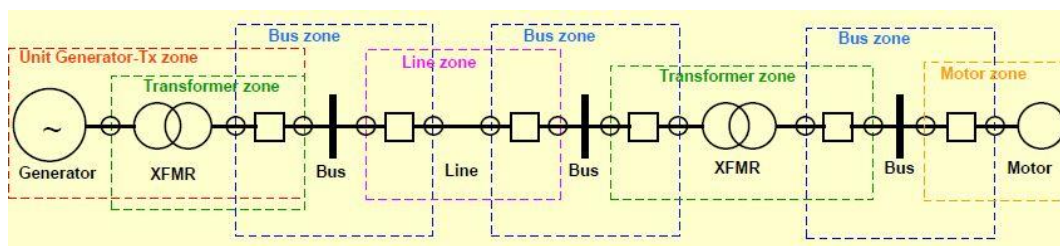
e. Ekonomis

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak terlepas tentunya dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu *relay* proteksi yang digunakan hendaknya memiliki nilai seekonomis mungkin namun tidak mengabaikan fungsi dan keandalannya. Tipe Proteksi Ada dua kategori proteksi yang

dikenal yaitu proteksi utama (*main protection*) dan proteksi pembantu (*back up protection*). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (*auxiliary protection*) pada alat proteksi tersebut. Proteksi pembantu bekerja bila *relay* utama gagal dan tidak hanya melindungi daerah berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari pada *relay* utama, dengan adanya *main protection* dan *back up protection* maka dalam perencanaan pemasangan *relay* proteksi harus diperhitungkan dengan baik.

### 2.2.3.3 Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

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



Gambar 2.4 Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

#### 1. Zona Proteksi Utama

Zona proteksi utama adalah sistem proteksi pada peralatan utama sistem kelistrikan yang harus beroperasi untuk zona utama yang diproteksi. Waktu kerja dimulai ketika terjadi gangguan sampai dengan terbukanya peralatan pemutus tenaga (*PMT*) dengan waktu maksimal 100 ms (20-40 ms waktu kerja *relay* proteksi dan 40-60 ms waktu terbukanya pemutus tenaga). Komponen

proteksi utama terdiri dari *relay* proteksi , trafo PT, trafo CT, *power supply*, dan pemutus tenaga. Kegagalan operasi pada komponen-komponen proteksi utama dapat dikategorikan menjadi:

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

## **2. Zona Proteksi Cadangan**

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

### **1) Pengaman Cadangan Setempat (*local backup*)**

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

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

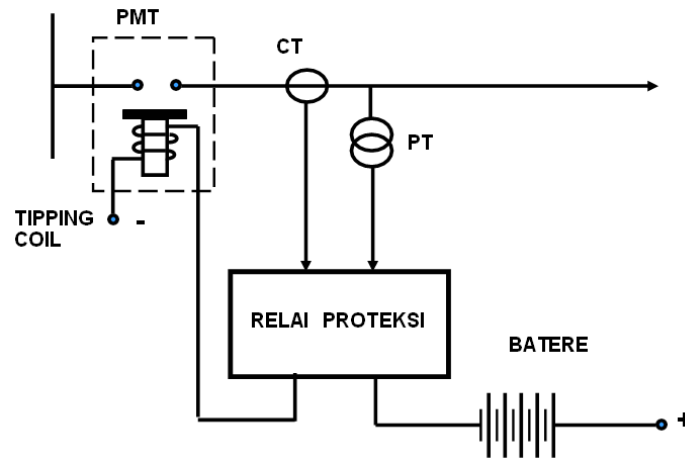
## **2) Pengaman Cadangan Jauh (*remote backup*)**

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

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

### **2.2.3.4 Perlengkapan Sistem Proteksi**

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



Gambar 2.5 Skema Perlengkapan Sistem Proteksi

### 2.2.3.5 Transformator Instrumen

#### a. Current Transformer / Transformator Arus

Transformator/trafo arus (*CT*) adalah peralatan tenaga listrik yang berfungsi menurunkan arus yang tinggi dari sisi primer transformator menjadi arus dengan ukuran yang lebih rendah disisi sekunder transformator. Trafo arus digunakan sebagai elemen pengukuran karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini disebabkan karena arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi, sehingga pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung oleh operator karena sangat berbahaya. Selain untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk parameter *relay* proteksi. Karakteristik trafo arus ditandai oleh *Current Transformer Ratio (CTR)* yang merupakan perbandingan antara arus yang dilewatkan oleh sisi primer dengan arus yang dilewatkan oleh sisi sekunder. Saat terjadi hubung singkat, trafo arus harus dapat menahan arus hubung singkat pada batas waktu tertentu, kemampuan kerja trafo arus untuk kebutuhan pengukuran adalah 0.05 sampai 1.2 kali dari arus yang akan diukur, sedangkan untuk keperluan proteksi trafo arus dirancang untuk mampu mengalirkan arus lebih, sebesar 10 kali arus nominalnya.

### **b. *Potential Transformer (PT)* / Transformator Tegangan**

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

#### **2.2.3.6 *Circuit Breaker (CB)* / Pemutus Tenaga (PMT)**

*Circuit Breaker (CB)*/Pemutus Tenaga merupakan perangkat listrik yang berfungsi untuk mengisolir bagian sistem yang mengalami gangguan dan bagian sistem yang aman. *Circuit Breaker (CB)*/Pemutus Tenaga dapat dioperasikan dengan cara ditutup atau dibuka dengan koordinasi/perintah dari sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu, didalam PMT juga terdapat elemen *tripping coil* yaitu kumpulan yang bekerja secara magnetis untuk dapat menarik tuas pemutus beban, *tripping coil* jika dialiri arus listrik maka akan bekerja berdasarkan prinsip kemagnitan yang akan membuka atau menutup tuas kontakannya.

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

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

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

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

#### **2.2.3.7 Relay Proteksi**

*Relay* proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang bekerja dengan membaca input dari trafo instrumen berupa besaran arus ataupun tegangan kemudian membandingkan dengan nilai *setting* yang telah diterapkan pada *relay*, jika nilai besaran arus maupun besaran tegangan yang terbaca oleh *relay* kurang atau lebih dari nilai yang diterapkan di *relay* (*relay setting*), yang terjadi adalah *relay* akan memberi isyarat/signal lepas (*tripping*) kepada pemutus tenaga (PMT)/*circuit breaker* (CB) sesuai dengan pengaturan waktu pada *setting relay* untuk memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang aman, sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal. *Relay*

proteksi dapat mengetahui adanya gangguan dari peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran- besaran yang diterimanya, seperti arus dan tegangan, serta frekuensi tergantung pada jenis *relay* proteksinya dengan parameter yang telah ditentukan. *Relay* proteksi kemudian akan mengambil keputusan dan memberikan respon ke pemutus tenaga untuk membuka atau memutus arus hubung singkat maksimum yang melaluinya. Fungsi dari *relay* proteksi adalah:

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

#### **2.2.3.8    Catu daya/Batere**

Merupakan komponen yang berfungsi sebagai sumber tenaga arus searah (*DC*) untuk *relay* proteksi utama dan *relay* proteksi bantu sehingga dapat bekerja memberi respon/sinyal ke *Circuit Breaker (CB)* / Pemutus Tenaga (*PMT*) untuk memutuskan sistem yang terkena gangguan. *Relay* proteksi harus selalu dapat bekerja sehingga diperlukan catu daya sebagai sumber power bagi *relay*. Catu daya biasa berupa baterai.

#### **2.2.3.9    Pengawatan / Wiring**

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



## 2.2.4 Gangguan Pada Sistem Transmisi

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

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

### 2.2.4.1 Gangguan Sistem

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

Pada gangguan asimetris, gangguan menyebabkan arus dan tegangan yang mengalir dalam kondisi fasa yang tidak seimbang yang terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa ke tanah, dan hubung singkat dua fasa ke tanah

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

#### 2.2.4.2 Gangguan Non Sistem

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

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

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

#### 2.2.5 Relay Jarak (*Distance Relay*)

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

Disebut *relay* jarak, karena impedansi pada saluran transmisi besarnya akan sebanding dengan panjang saluran, *Relay* jarak bekerja dengan perbandingan tegangan dan arus gangguan untuk mendapatkan nilai impedansi saluran yang harus diamankan sebagai inputan dari trafo instrumentasi yang kemudian dibandingkan dengan *setting relay* jarak yang diterapkan apabila nilai impedansi yang terukur diluar batas pengaturannya, maka *relay* akan bekerja, dan akan memberi perintah lepas (*tripping*) kepada pemutus tenaga (PMT)/*circuit breaker* (CB) sesuai dengan waktu yang diterapkan pada *setting relay* untuk memisahkan sistem yang terganggu

dengan sistem yang aman namun, pada *relay* jarak tidak hanya tergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi jarak gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. *Relay* jarak bekerja dengan membagi zona proteksi menjadi tiga bagian yaitu pengamanan zona 1, pengamanan zona 2, dan pengamanan zona 3, *relay* jarak dilengkapi dengan peralatan *teleproteksi (TP)*/pengirim sinyal agar *relay* jarak dapat selalu bekerja dengan cepat, selektif dan tepat sesuai zona proteksinya.

### 2.2.5.1 Prinsip Kerja *Relay* Jarak

*Relay* jarak atau *distance relay* bekerja dengan mengukur tegangan pada lokasi *relay* terpasang (*apparent impedance*) dan arus gangguan yang terlihat dari *relay* (batas jangkauan/*reach setting*), dengan membagi besaran tegangan dan arus gangguan, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan. Perhitungan impedansi dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

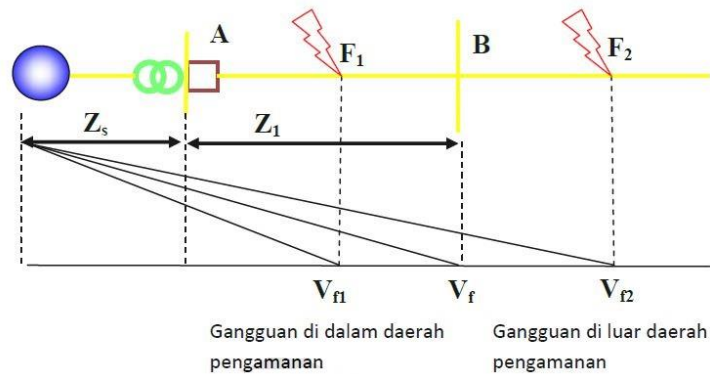
Dimana:

Z = Impedansi (ohm/ $\Omega$ )

V = Tegangan (Voltage/ V)

I = Arus Gangguan (Ampere/ A)

Dari perhitungan impedansi dapat diketahui pengaruh nilai impedansi terhadap lokasi gangguan yang terjadi, ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang jauh maka nilai impedansinya akan besar hal ini disebabkan karena nilai arus gangguan yang terjadi kecil, sedangkan ketika lokasi gangguan berada dalam jarak yang dekat maka nilai impedansinya akan kecil karena nilai arus gangguan yang terjadi sangat besar. Hal inilah yang menjadi dasar *relay* dapat menentukan estimasi jarak gangguan yang terjadi karena besarnya nilai impedansi akan sebanding dengan panjang saluran transmisi.



**Gambar 2.6** Prinsip Kerja Relay Jarak Terhadap Adanya Gangguan

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

- Jika harga impedansi gangguan lebih kecil daripada *setting* impedansi *distance relay*, maka *distance relay* akan bekerja.
- Jika harga impedansi gangguan lebih besar atau sama dengan *setting* impedansi *distance relay*, maka *distance relay* tidak akan bekerja.

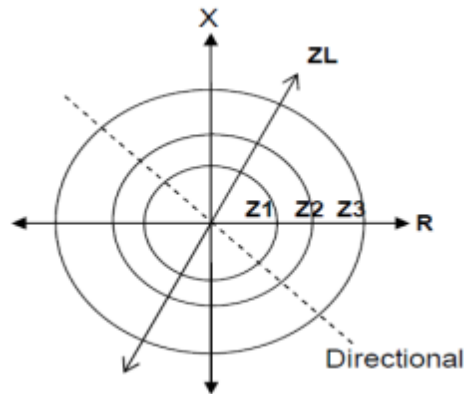
### 2.2.5.2 Karakteristik Relay Jarak

Karakteristik *Relay* jarak dapat diklarifikasikan menjadi 4 bagian yang semuanya adalah implementasi dari prinsip dasar *relay* jarak, karakteristik *relay* jarak dapat digambarkan dengan koordinat polar (*R-X diagram*). Pada dasarnya cara yang digunakan adalah membandingkan dua masukan (besaran arus dan tegangan). Karakter *relay* jarak adalah sebagai berikut:

#### a. Karakteristik Impedansi

Karakteristik *relay* ini dapat digambarkan berupa lingkaran dengan titik pusatnya di tengah. Jenis *relay* ini memiliki kelemahan yaitu tidak berarah, karena arus dan tegangan yang dibandingkan dibangkitkan secara mekanis tanpa melihat sudut fasanya. *Relay* akan bekerja jika semua impedansi terukur dibawah radius lingkaran/*setting relay* yang diterapkan, baik untuk gangguan

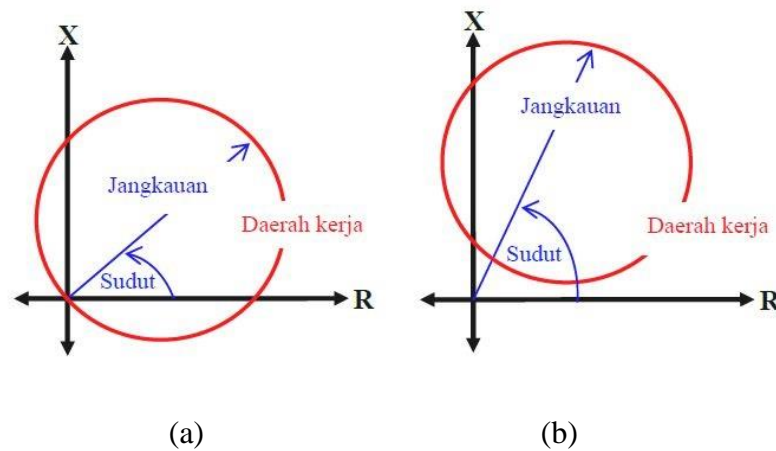
yang terjadi di depan atau dibelakang *relay* jarak. Maka dari itu, dalam penerapannya perlu ditambahkan elemen pengarah (*directional*).



**Gambar 2.7** Karakteristik Relay Impedansi

#### b. Karakteristik Mho

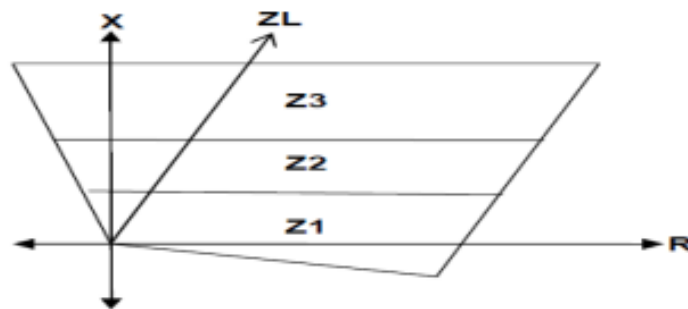
Jika digambarkan dalam diagram R-X karakteristik jenis Mho merupakan lingkaran dengan sistem koordinat dimana diameter lingkaran memotong titik pusat dari sistem koordinat tersebut dan besarnya diameter lingkaran menggambarkan pengaturan jangkauan dan memiliki sudut fasa dari karakteristik mho. Jangkauan dan nilai sudut fasa dapat diatur sesuai dengan impedansi saluran transmisi yang diproteksi, karakteristik kerja *relay* jenis mho dapat digeser dengan memasukkan faktor impedansi kumparan tegangan trafo dan faktor arus pada trafo, karakteristik mho akan bekerja jika impedansi yang terukur berada didalam daerah kerja/didalam lingkaran.



Gambar 2.8 Karakteristik Mho

### c. Karakteristik Quadrilateral

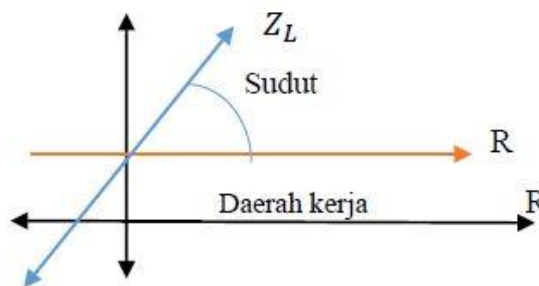
Karakteristik quadrilateral *relay* jarak dibentuk dengan terlebih dahulu menentukan daerah resistansi jangkauan dan daerah jangkauan balik yang keduanya dapat diatur secara terpisah. Pada gambar 2.9 menunjukkan 4 daerah jangkauan karakteristik kerja quadrilateral. Empat pengaturan daerah batas *relay* jenis ini adalah batas paling atas menunjukkan pengaturan daerah reaktansi, kemudian batas kiri dan kanan yaitu pengaturan jangkauan resistansi positif dan negatif serta batas bawah menunjukkan elemen pengarah (*directional*). *Relay* jarak dengan karakteristik quadrilateral akan bekerja jika nilai impedansi terukur berada didalam daerah yang dibatasi oleh empat garis tersebut. *Relay* jarak dengan karakteristik quadrilateral memiliki jangkauan resistansi yang lebih luas dan dapat menjangkau impedansi gangguan tanah (*ground fault*) yang diakibatkan oleh busur api (*arch*) dan impedansi gangguan tanah itu sendiri.



*Gambar 2.9 Karakteristik Quadrilateral*

#### d. Karakteristik Reaktansi

Karakteristik reaktansi *relay* jarak akan bekerja hanya berdasarkan pengukuran komponen reaktansi dari saluran transmisi yang diproteksi. Nilai impedansi yang terlihat oleh *relay* tidak memperhatikan adanya resistansi busur api (*arch*), *relay* akan bekerja jika pengukuran reaktif lebih kecil dibandingkan dengan nilai *setting* yang diterapkan pada *relay* (*reach setting*).



*Gambar 2.10 Karakteristik Reaktansi*

### 2.2.6 Pengaturan *Relay* Jarak

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

1. Zona 1 proteksi *relay* jarak akan memberi pengamanan saluran yang diproteksi (*protected line*) sebesar 80% impedansi dari panjang saluran transmisi yang diproteksi.
2. Zona 2 proteksi *relay* jarak akan memberi pengamanan saluran yang diproteksi (*protected line*) dan saluran berikutnya (*adjacent line*). sebesar 120% impedansi dari panjang saluran transmisi yang diproteksi.
3. Zona 3 Jangkauan *relay* zona 3 diatur untuk melampaui bus 3 dan 4, untuk memberikan *back up* dan memberikan pengamanan jangkauan saluran berikutnya (*adjacent line*). Pengaturannya adalah 100% dari jalur 1 dan 2 ditambah dengan 120% dari bus 2-3 atau 2-4.

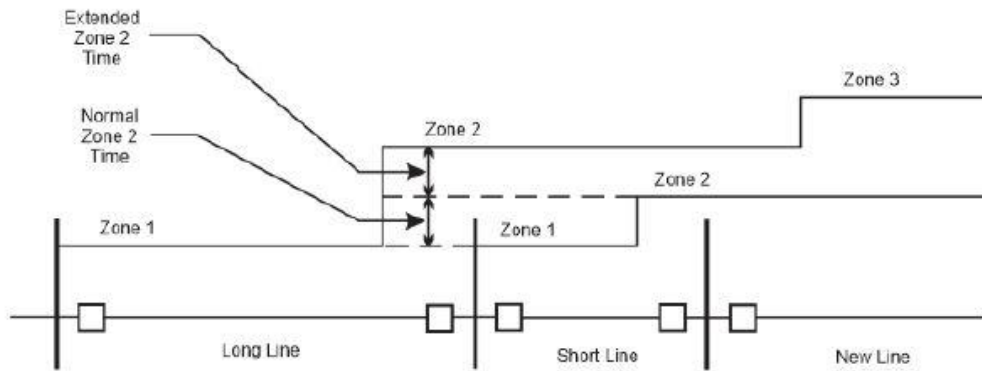
Ada 2 hal yang yang harus dikoordinasikan pada *relay* jarak, yaitu :

1. Ujung *relay* jarak satu dengan ujung *relay* jarak lainnya harus dikoordinasikan dalam satu saluran transmisi yang diamankan, sehingga jika *relay* bekerja maka *relay* pada ujung yang lain juga akan bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, apabila waktu *relay* bekerja seketika maka *relay* pada ujung lainnya akan bekerja seketika pula.
2. Relay pada suatu zona pengamanan dengan *relay* seksi berikutnya juga harus dikoordiansi, agar tidak terjadi tumpang tindih pengamanan (*overlapping*), apabila terjadi tumpang tindih maka akan diberi perlambatan waktu untuk *relay* yang tidak bekerja pada zona proteksinya.

#### **2.2.6.1 Perhitungan *Setting Relay* Jarak Sesuai Zona**

Pola dasar koordinasi *relay* merupakan dasar perhitungan pengaturan *relay* yang digunakan untuk semua koordinasi *relay*. Pada metode ini daerah kerja *relay* jarak dibagi menjadi 3 zona pengamanan.





Gambar 2.11 Zona Proteksi Relay Jarak

**1. Pengaman Zona 1**

Daerah ini harus dapat menjangkau sejauh mungkin dari saluran yang diamankan tetapi tidak boleh melampaui agar tidak terjadi tumpang tindih dengan pengaman seksi berikutnya. Berdasarkan perkiraan kesalahan-kesalahan dari trafo arus, trafo tegangan atau kesalahan *relay* sendiri maka zona 1 ini diatur untuk mengamankan 80-85% dari panjang saluran yang diamankan, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_1 = \alpha \times Z_{L1} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Z_{Sekunder Relay} = \frac{n_{CT}}{n_{PT}} \times Z_{zona} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

$Z_1$  = impedansi zona 1

$\alpha$  = 0,8

$Z_{L1}$  = impedansi panjang saluran L1

n CT = rasio transformator arus

n PT = rasio transformator tegangan

Dengan waktu kerja *relay* seketika ( $t_1=0$ )

Pada zona 1 merupakan pengamanan utama sehingga sehingga *relay* harus bekerja cepat, teliti, dan seketika serta dapat menentukan letak gangguan dengan tepat. Waktu kerja *relay* pada zona 1 adalah seketika tanpa perlambatan waktu.

## 2. Pengaman Zona 2

Tujuan pengamanan zona 2 adalah sebagai berikut:

- a. Mengamankan sisa saluran yang tidak tercakup oleh pengamanan zona 1 dan sebagian saluran berikutnya sehingga, zona 2 harus dapat mencapai *relay* diujung saluran yang diamankan walaupun misalnya terjadi kesalahan yang menyebabkan jangkauan *relay* kurang. Batasan ini menentukan pengaturan minimum *relay* untuk zona 2 yaitu :

$$Z_{2\ min} = \beta \times Z_{L1} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

$$\beta = 1,15 - 1,2$$

- b. merupakan pengamanan cadangan (*backup protection*) untuk zona 1 sesi berikutnya tetapi tidak tumpang tindih dengan zona 2 sesi berikutnya sehingga pengaturan maksimum untuk zona 2 adalah sebagai berikut:

$$Z_{2\ max} = \alpha(Z_{L1} + \alpha \times Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Z_{2\ TRF} = \alpha(Z_{L1} + 0.5 \times Z_{TRF}) \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana:

$$Z_{2\ max} = \text{impedansi zona 2 maksimal}$$

$$Z_{L2} = \text{impedansi panjang saluran L2}$$

$$\alpha = 80\% = 0,8$$

dengan waktu kerja *relay* ( $t_2 = 0,4-0,8$  detik)

karena penyetelan zona 2 tumpang tindih dengan zona 1 sesi berikutnya maka waktu kerja *relay* di perlambat dengan waktu tertentu.

### 3. Pengamanan Zona 3

Pengamanan zona 3 merupakan pengamanan cadangan untuk seluruh seksi berikutnya sehingga jangkauan zona 3 harus dapat mencapai ujung saluran sesi berikutnya tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan zona 3 sesi berikutnya, disamping itu jangkauan zona 3 diusahakan tidak mencapai *relay* yang terletak setelah trafo daya pada rel diujung saluran yang diamankan, sehingga pengaturan zona 3 adalah sebagai berikut:

$$Z_{3 \min} = \beta \times (Z_{L1} \times Z_{L2}) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Z_{3 \max} = \alpha \times [Z_{L1} + \alpha(Z_{L2} + (\alpha \times Z_{L3}))] \dots \dots \dots (2.7)$$

$$Z_{3 TRF} = \alpha \times (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{TRF}) \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana:

$$\beta = 1,15 - 1,2$$

$$\alpha = 0,8$$

$$Z_{L3} = \text{impedansi panjang saluran L3}$$

$$Z_{3 \min} = \text{impedansi zona 3 minimal}$$

$$Z_{3 \max} = \text{impedansi zona 3 maksimal}$$

Dengan waktu kerja *relay* ( $t_3 = 1,2 - 1,6$  detik)

#### 2.2.7 Perhitungan Resistansi Bahan Konduktor

Resistansi merupakan kemampuan suatu konduktor untuk dapat menahan arus listrik. Setiap konduktor memiliki hambatan jenis tersendiri tergantung bahan/logam yang digunakan konduktor tersebut, penghantar yang mempunyai penampang lintang yang lebih lebar akan memiliki hambatan yang kecil, karena mengandung lebih banyak elektron, sedangkan konduktor yang mempunyai lintang penampang yang lebih kecil, memiliki hambatan yang besar, karena semakin banyak atom-atom yang akan menghambat gerak elektron bebas, sehingga arus listrik yang dialirkan akan terus berkurang. Kenaikan temperatur suhu akan mempengaruhi nilai Resistansi (*resistivitas*) suatu bahan, hal ini dikarenakan

elektron akan terus bergerak lebih aktif dan akan terjadi tumbukan sehingga arus listrik menjadi terhambat. Resistansi dari suatu konduktor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

$\rho$  = resistivitas ( $\Omega/m$ )

$l$  = panjang penghantar (m)

$A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

Untuk memperoleh resistansi arus searah hasil perhitungan harus dikalikan dengan ketentuan dibawah ini:

- a) dikalikan dengan 1,0 untuk penghantar padat (*solid wire*)
- b) dikalikan dengan 1,01 untuk penghantar pilin yang terdiri dari 2 lapis
- c) dikalikan dengan 1,02 untuk penghantar pilin lebih dari 2 lapis

Berikut ini adalah tabel resistivitas bahan penghantar dan tabel koefisien temperatur dari material konduktor standar:

**Tabel 2.1** koefisien temperatur dari matrial konduktor standar

Matrial	$T_0^\circ C$	Koefisien temperatur resistansi $\times 10^{-3}$						
		$\alpha_0$	$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
Cu 100%	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu 97,5%	241,0	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61%	228,1	4,38	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

**Tabel 2.2 Resistivitas Bahan Penghantar Standar**

Matrial	Resistivitas (mikro-Ohm-meter)						
	$\alpha_0$	$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
Cu 100%	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
Cu 97,5%	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
Al 61%	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74

Karena pada saluran transmisi umumnya menggunakan kawat-kawat penghantar dari kawat pilin (*stranded conductor*), untuk menghitung pengaruh dari kawat pilin, panjang kawat perlu dikalikan dengan 1,02 (2%) untuk faktor koreksi.

Temperatur juga akan membuat perubahan nilai resistansi penghantar, dalam batas temperatur 10°C hingga 100°C, untuk penghantar tembaga dan aluminium berlaku:

$$R_{t_2} = R_{t_1}[1 + \alpha_{t_1}(t_2 - t_1)] \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

$R_{t_2}$  = resistansi pada kenaikan temperatur  $t_2$

$R_{t_1}$  = resistansi pada kenaikan temperatur  $t_1$

$\alpha$  = koefisien temperatur dari resistansi penghantar pada saat temperatur  $t_1$ °C

dari persamaan (2.9) dapat di buat persamaan :

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = [1 + \alpha_{t_1}(t_2 - t_1)]$$

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{(T_0 + t_2)}{(T_0 + t_1)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

$$\alpha_{t_1} = \frac{1}{T_0 + t_1} \text{ atau } T_0 = \left( \frac{1}{\alpha_{t_1}} \right) - t_1 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat  $-T_0$  adalah temperatur dimana nilai resistivitas penghantar sama dengan nol (0), apabila persamaan linier yang sama berlaku untuk temperatur tersebut, dan bila benar maka  $-T_0$  adalah sama dengan temperatur absolut-  $273^\circ \text{C}$ .

Untuk tembaga (Cu) yang memiliki konduktivitas 100%, koefisien temperatur dari resistivitas pada  $20^\circ \text{C}$  adalah:

$$\alpha_{t_1} = 0,00393 \text{ atau } T_0 = (1/0,00393) - 20 = 234,5^\circ \text{C}$$

untuk tembaga (Cu) yang memiliki konduktivitas 97,5%

$$\alpha_{t_1} = 0,00383 \text{ atau } T_0 = (1/0,00383) - 20 = 241,0^\circ \text{C}$$

untuk Alumunium (Al) yang memiliki konduktivitas 61%

$$\alpha_{t_1} = 0,00403 \text{ atau } T_0 = (1/0,00403) - 20 = 228,1^\circ \text{C}$$

### 2.2.8 Perhitungan reaktansi induktif

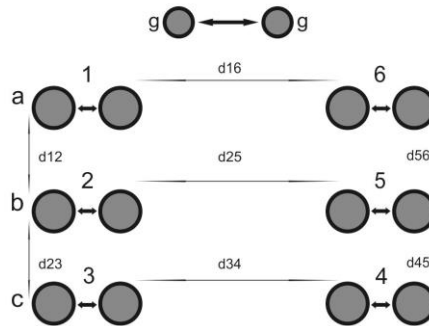
Untuk perhitungan reaktansi induktif suatu konduktor pada saluran transmisi digunakan rumus sebagai dibawah ini terdapat dua metode yang dapat digunakan yaitu *GMR* (*geometric mean radius*) dan *GMD* (*geometric mean distance*)

Pada saluran fasa tunggal dengan jalur kabel berjumlah 2 maka berlaku:

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D}{r'} \text{ H/m}$$

$$X = 2 \times \pi \times F \times L \Omega/\text{mile} \dots\dots\dots (2.13)$$

Pada saluran ganda dengan fasa tiga yang memiliki 2 bundle penghantar maka berlaku rumus sebagai berikut:



**Gambar 2.12** Jarak antar penghantar dengan 2 bundle konduktor

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D_{eq}}{D_{SL}} \text{ H/m Atau dengan,}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{GMD}{GMR} \text{ H/m}$$

$$X = 2 \times \pi \times F \times L\Omega/\text{km} \dots\dots\dots (2.14)$$

$D_{eq}$  untuk metode GMD mensyaratkan pemakaian  $D_{ab}^p, D_{bc}^p, D_{ca}^p$ , dimana *subskrip* menunjukkan kuantitas- kuantitas ini sendiri, adalah nilai-nilai GMD yang mana  $D_{ab}^p$  adalah antar kawat penghantar fasa a dan fasa b, sehingga:

$$D_{ab}^p = D_{bc}^p = \sqrt[4]{(ab \times ab')^2}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{(ac \times ca')^2}, \text{ sehingga}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}^p D_{bc}^p D_{ca}^p} \text{ , atau}$$

$$D_{eq} = \sqrt[12]{d_{12}d_{13}d_{15}d_{16}d_{23}d_{24}d_{26}d_{34}d_{35}d_{45}d_{46}d_{56}}$$

untuk GMR adalah perkalian faktor GMR dengan radius dari luas Kawat penghantar, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Radius = \sqrt[2]{\frac{L}{\pi}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$GMR = k \cdot r$$

$k$  = faktor GMR

$r$  = radius konduktor

**Tabel 2.3** Faktor GMR

Lapisan Kawat	Jumlah Pilin (Strands)	Faktor GMR ( $k$ )
	1 (Solid)	0,7788
1	7	0,7256
2	19	0,7577
3	37	0,7678
<b>4</b>	<b>61</b>	<b>0,772</b>
5	91	0,774
6	127	0,776
7	169	0,776

### 2.2.9 Perhitungan Impedansi Saluran

Untuk perhitungan impedansi saluran, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{saluran} = R + jX \text{ atau}$$

$$Z_L = Panjang \text{ saluran} \times Z_{saluran} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

$Z_L$  = impedansi saluran