

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai sistem proteksi dengan menggunakan relai jarak telah banyak dilakukan sebelumnya, antara lain yaitu pada penelitian yang berjudul Analisa dan Pengaturan Ulang Relai Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Keramasan – Bukit Asam (Hamdadi, Fikriansyah) . Dalam jurnal ini dapat diketahui bahwa salah satu proteksi utama yang digunakan pada saluran transmisi SUTT 150 kV adalah relai jarak. Untuk mendeteksi adanya gangguan di SUTT 150 kV diperlukan analisa perhitungan untuk mengatur *settingan* relai jarak. Analisa perhitungan yang sesuai standar diperlukan untuk mendapatkan *setting* relai yang baik dan benar. Sehingga relai jarak yang terpasang dapat terjamin keandalannya. Hasil perhitungan *setting* relai jarak yang didapat kemudian dibandingkan dengan nilai *setting* yang telah terpasang sebelumnya agar dapat digunakan sebagai acuan bagi petugas untuk melakukan *resetting* pada relai.

Jurnal yang berjudul Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang – Tuban Akibat Penambahan Penghantar PLTU Tanjung Awar – Awar (Haskarya, Pujiantara, Musthofa). Jurnal ini menjelaskan bahwa untuk dapat meningkatkan kapasitas penyediaan energi listrik yang setara dengan kebutuhan penduduk dibutuhkan penambahan suatu pembangkit. Dalam jurnal ini PLTU Awar – Awar merupakan pembangkit baru di PLN APP Madiun. Dengan adanya PLTU tersebut maka konfigurasi jaringan transmisi sedikit berubah, sehingga diperlukan *resetting* koordinasi pengaman yang sesuai dengan konfigurasi jaringan yang baru. Hasil *resetting* dan analisa yang didapat digunakan sebagai acuan bagi petugas untuk melakukan peninjauan kembali pada sistem proteksi yang terpasang.

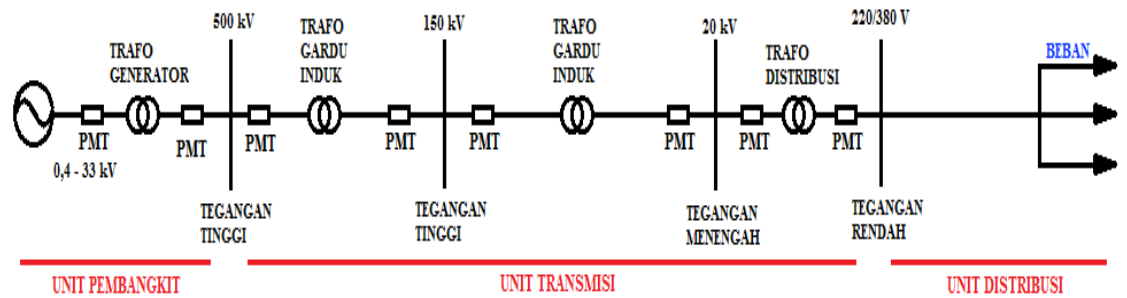
Dalam buku Praktik – praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik (Pandjaitan). Untuk memperoleh sistem proteksi yang paling tepat dibutuhkan rancangan sistem proteksi yang sesuai dengan bentuk dan jenis jaringan, kondisi operasi, jenis gangguan, dan sistem pentanahan. Jadi saat sistem jaringan transmisi berubah maka diharapkan relai proteksi dapat disesuaikan dengan keadaan jaringan tersebut. Agar jaringan transmisi tetap terisolasi dari gangguan yang mungkin saja terjadi dan kestabilan penyaluran listrik tetap terjaga.

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, maka dapat dilakukan pengembangan penelitian yang memiliki keterikatan objek yang sama. Kegiatan *overhaul* di GIS Minuatur mengakibatkan konfigurasi jaringan transmisi berubah untuk sementara waktu. Sehingga diperlukan nilai *setting* baru yang sesuai dengan konfigurasi yang terpasang. Untuk menjaga keandalan suatu relai jarak maka diperlukan nilai *setting* yang sesuai standar agar relai dapat bekerja pada zona dan dengan waktu yang telah ditentukan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem transmisi tenaga listrik

Sistem transmisi, atau sistem penyaluran adalah suatu media yang dapat menyalurkan tenaga listrik dari pusat tenaga listrik (pembangkit) ke Gardu Induk, yang terletak berdekatan dengan beban seperti perkotaan atau industri besar. Saluran transmisi merupakan media penghubung antara stasiun pembangkit dan sistem distribusi dan menghubungkan dengan sistem-sistem tenaga listrik lain melalui interkoneksi. Media atau penghantar yang digunakan pada saluran transmisi ialah berupa kawat penghantar/konduktor.



Gambar 2.1 Proses penyaluran energi listrik

Sedangkan untuk konstruksinya, suatu saluran transmisi terdiri atas :

1. Menara Transmisi atau Tiang Transmisi

Menara atau tiang transmisi merupakan suatu bangunan yang digunakan sebagai penopang saluran transmisi. Menara ini biasanya berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, dan tiang kayu. Untuk penggunaan pada saluran udara tegangan tinggi menara yang umumnya digunakan ialah menara baja. Menara tersebut merupakan menara yang mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah yang jauh dari jalan raya. Berdasarkan penggunaannya menara transmisi dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu :

- a. Tiang baja, dan tiang beton yang umumnya digunakan pada jaringan transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (di bawah 70 kV).



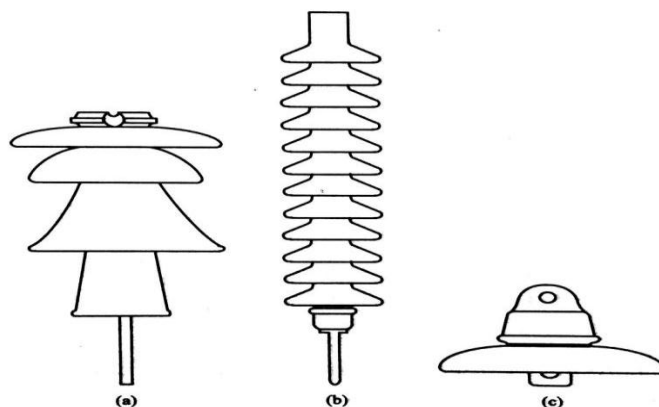
Gambar 2.2 Tiang baja

- b. Menara baja merupakan menara yang digunakan untuk daerah kerja bertegangan tinggi (SUTT) dan tegangan ekstra tinggi (SUTET).



Gambar 2.3 Menara baja

2. Jenis isolator yang digunakan dalam saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal ada tiga jenis isolator, yaitu isolator jenis pasak, isolator jenis pos saluran dan isolator gantung. Isolator jenis pasak dan isolator pos saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (kurang dari 22-33 kV), sedang isolator gantung dapat digandeng menjadi rentangan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Jenis-jenis isolator ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



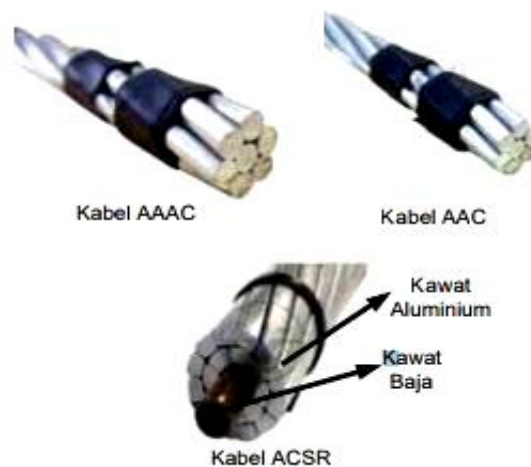
Gambar 2.4 Jenis-jenis isolator porselin : (a) pasak, (b) pos saluran, dan (c) gantung

3. Konduktor

Konduktor atau kawat penghantar berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Konduktor yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi adalah kawat telanjang tanpa pelindung / hanya menggunakan isolasi udara saja. Jenis – jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah :

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100 % (Cu 100%)
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%)
- c. 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 :



Gambar 2.5 Jenis-jenis kawat transmisi listrik

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.

4. Kawat Tanah

Kawat tanah atau “*ground wire*” juga biasa disebut kawat pelindung yang berfungsi untuk melindungi kawat – kawat penghantar / fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah terletak di atas kawat fasa. Kawat tanah yang pada umumnya dipakai ialah kawat baja (steel wires) karena mempunyai harga yang lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

2.2.2 Gangguan pada saluran transmisi

Setiap peralatan listrik memiliki masalah/ gangguan yang berbeda, ada yang bersifat temporer dan ada juga yang bersifat permanen tergantung dari sumber gangguan itu terjadi. Adapun gangguan-gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan antar fasa (3 fasa atau 2 fasa) dan gangguan fasa ke tanah (1 fasa ke tanah dan 2 fasa ke tanah) yang sifatnya temporer atau permanen. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya arus lebih pada fasa dan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Hal ini dapat terjadi karena kualitas isolasi yang tidak memenuhi syarat, yang disebabkan oleh faktor umur, mekanis, dan daya isolasi bahan isolator tersebut. Gangguan ini dapat diatasi dengan rele proteksi dan PMT.

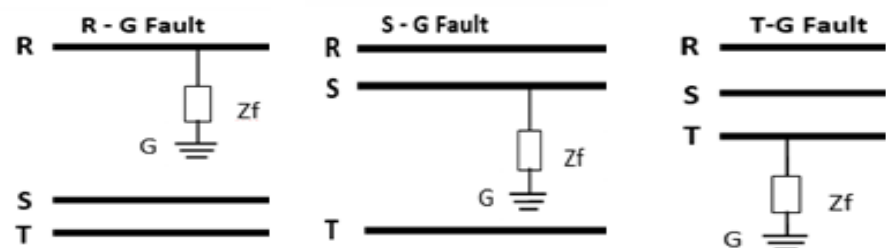
2. Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, seperti tegangan lebih karena adanya surja/ petir yang mengenai peralatan listrik. Surja petir terjadi karena adanya sambaran petir yang langsung mengenai konduktor fasa, atau kawat tanah yang dapat menyebabkan *back flashover* sehingga dapat berakibat hubung singkat. Gangguan ini dapat diatasi dengan menggunakan *lightning arrester*.

2.2.2.1 Gangguan hubung singkat

Dalam operasi sistem tenaga listrik terjadinya suatu gangguan dapat mengakibatkan terganggunya proses penyaluran tenaga listrik, salah satunya adalah gangguan hubung singkat. Pada dasarnya hubung singkat terjadi akibat adanya kegagalan dalam isolasi yang disebabkan oleh semakin melemahnya isolasi itu sendiri atau karena adanya *overvoltage*. Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik tiga fasa, yaitu :

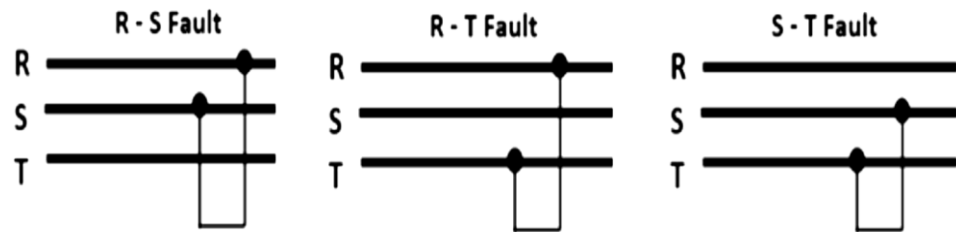
1. Gangguan satu fasa ke tanah (*Line-to-Ground*)



Gambar 2.6 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G)

Gangguan satu fasa ke tanah terjadi karena salah satu penghantar fasa dihubungkan ke tanah yang menyebabkan tegangan fasa tersebut menjadi 0 sehingga terdapat arus yang sangat besar (melebihi nilai nominalnya) yang mengalir, sedangkan dua penghantar fasa lainnya berada dalam kondisi normal.

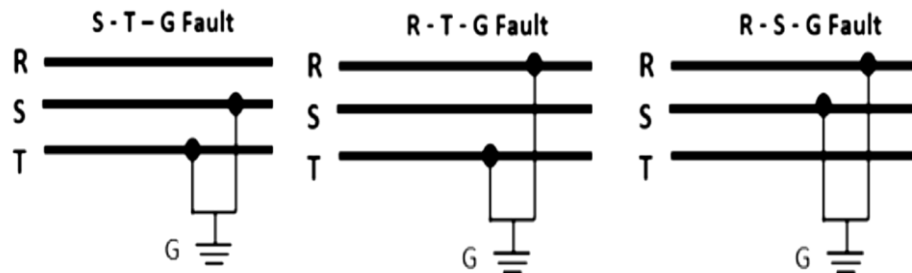
2. Gangguan hubung singkat fasa ke fasa (*Line-to-Line*)



Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat fasa ke fasa (L-L)

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa (*Line-to-Line*) terjadi karena dua buah penghantar fasa yang terhubung antar satu sama lain, dan menyebabkan terbentuknya arus yang sangat besar yang hanya mengalir diantara kedua penghantar fasa tersebut. Sehingga penghantar fasa yang tidak mengalami gangguan akan beroperasi secara normal

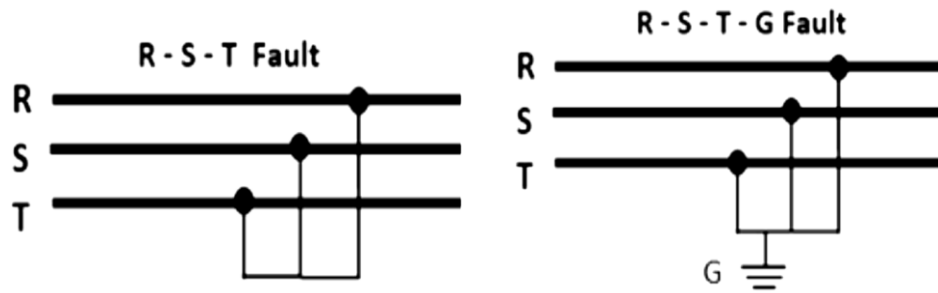
3. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (*Line-to-Line-to-Ground*)



Gambar 2.8 Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (L-L-G)

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena dua penghantar fasa salurannya terhubung ke tanah sehingga tegangan di kedua fasa tersebut menjadi 0 dan arus yang mengalir melewatinya sangat besar, sedangkan fasa yang tidak mengalami gangguan akan beroperasi secara normal.

4. Gangguan hubung singkat 3 fasa (*Three Phase or Three Phase to Ground*)

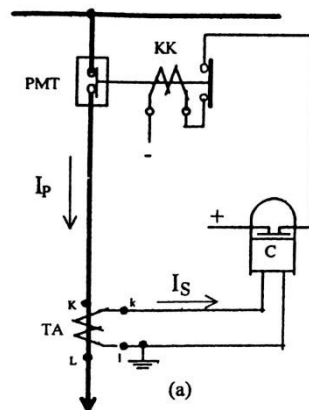


Gambar 2.9 (Kiri) Gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L),
(Kanan) Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G)

Gangguan hubung singkat tiga fasa ini adalah gangguan hubungan singkat yang terjadi karena ketiga fasa pada saluran saling terhubung, sehingga ketiga penghantar fasa mengalami keadaan yang sama.

2.2.3 Sistem proteksi

Sistem proteksi ialah pengaturan dari satu atau lebih peralatan proteksi, dan peralatan lain yang dimaksudkan untuk melakukan satu atau lebih fungsi tertentu. Sistem proteksi berfungsi untuk mendeteksi kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik dan memerintahkan *trip* pada PMT dan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang normal, sehingga sistem dapat terus berfungsi. Suatu sistem proteksi terdiri dari satu atau lebih peralatan proteksi, transformator pengukuran, pengawatan, rangkaian *tripping*, catu daya dan sistem komunikasi bila tersedia. Yang termasuk dalam peralatan proteksi adalah sekring, relai, dan perangkat dari suatu pemutus tenaga atau PMT.



KK = Kumparan Kerja
PMT = Pemutus Tenaga
TA = Trafo Arus
C = Relai arus

Gambar 2.10 Cara kerja sistem proteksi

Pada saluran transmisi, sistem proteksi dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

1. Proteksi utama

Proteksi yang menjadi prioritas pertama untuk mengisolasi suatu gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Untuk instalasi tenaga listrik, dapat digunakan dua atau lebih proteksi utama. Kerja dari sistem proteksi utama akan berlangsung dengan cepat dan mengisolasi bagian sistem tenaga listrik dengan waktu yang singkat.

2. Proteksi cadangan

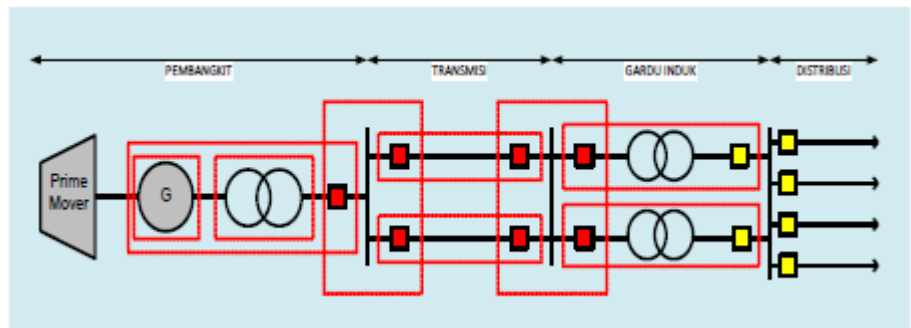
Proteksi yang bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama. Proteksi cadangan terdiri dari proteksi cadangan lokal dan proteksi cadangan jauh. Proteksi cadangan lokal adalah proteksi yang akan bekerja ketika gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama di tempat yang sama. contoh : relai arus lebih (OCR). Sedangkan proteksi cadangan jauh / *remote* akan bekerja ketika gangguan yang terjadi tidak dapat dibebaskan/ diisolasi oleh proteksi utama di tempat yang lain. Contoh : Z-2 relai jarak.

2.2.3.1 Fungsi Sistem Proteksi

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal).
2. Untuk mempercepat melokalisasi luas / zona daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terkena gangguan menjadi sekecil mungkin
3. Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan

2.2.3.2 Zona proteksi

Untuk membatasi luasnya sistem tenaga listrik yang terputus saat terjadi gangguan, maka sistem proteksi dibagi dalam zona – zona proteksi. Zona proteksi sendiri ialah bagian dari sistem tenaga listrik, dimana telah diaplikasikan proteksi tertentu. Pada zona perbatasan, zona proteksi harus tumpang tindih (*overlap*) sehingga tidak ada bagian dari sistem yang tidak terproteksi. Setiap zona proteksi dibatasi oleh PMT.



Gambar 2.11 Zona proteksi

2.2.3.3 Komponen sistem proteksi

Peralatan – peralatan yang membentuk suatu sistem proteksi yaitu :

1. Transformator arus / transformator tegangan (CT/PT)

Peralatan proteksi yang berfungsi untuk memberikan informasi dalam bentuk besaran arus/ tegangan dalam suatu sistem tenaga listrik (normal atau terganggu) dan juga berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan tinggi (jaringan yang diamankan) terhadap bagian tegangan rendah (relai pengaman). Transformator arus (CT)

berfungsi untuk merubah besaran arus primer menjadi besaran arus sekunder dengan perbandingan tertentu dan mempunyai beda sudut fasa mendekati nol pada polaritas hubungan yang sesuai. Transformator tegangan (PT) berfungsi untuk merubah besaran tegangan primer menjadi besaran tegangan sekunder dengan perbandingan tertentu dan mempunyai beda sudut fasa mendekati nol pada polaritas hubungan yang sesuai. Transformator tegangan mengisolasi bagian tegangan primer terhadap peralatan pengukuran.

2. Relai proteksi

Relai ialah suatu peralatan yang dirancang untuk menghasilkan perubahan pada rangkaian output apabila nilai parameter input telah mencapai nilai yang ditetapkan sebelumnya. Relai proteksi berfungsi untuk mendeteksi gangguan atau kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik dalam rangka membebaskan/ mengisolasi gangguan, menghilangkan kondisi tidak normal, dan untuk menghasilkan sinyal atau indikasi yang selanjutnya memberi perintah trip pada PMT.

3. PMT

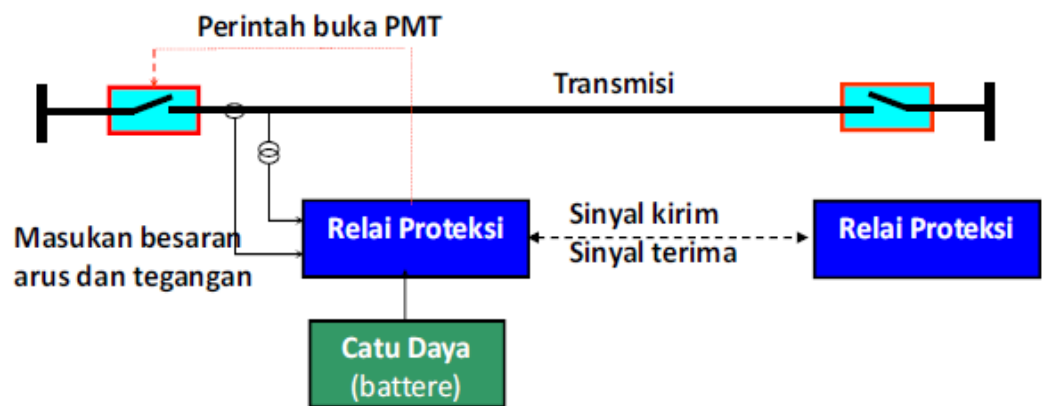
PMT adalah sebuah alat penghubung mekanis (sakelar) yang dapat menghubungkan, menghantar dan memutus arus pada sirkit normal. PMT dapat menghubungkan sistem tenaga listrik selama waktu tertentu, menghantar arus serta memutus arus pada keadaan abnormal tertentu, seperti misalnya hubung singkat.

4. *Power supply*

Power supply berfungsi sebagai sumber tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan PMT. Dengan *power supply* tersebut PMT dapat melaksanakan perintah yang diterima dari relai proteksi.

5. Pengawatan

Berfungsi menghubungkan semua komponen tersebut di atas guna untuk membentuk suatu sistem proteksi.



Gambar 2.12 Elemen sistem proteksi

2.2.3.4 Persyaratan sistem proteksi

Persyaratan desain proteksi harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa sistem tenaga listrik dilengkapi dengan sistem proteksi yang andal. Desain juga harus mempertimbangkan tipe peralatan atau komponen sistem tenaga listrik yang diproteksi. Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun ketidaknormalan sistem dan beroperasi di bawah nilai minimum gangguan.

2. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat.

3. Andal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja dengan benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu.

4. Cepat

Komponen sistem proteksi harus mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasi terjadinya gangguan meluas, lama gangguan pada stabilitas sistem.

2.2.3.5 *Intertripping*

Intertripping atau *transfer trip* merupakan kondisi trip suatu pemutus tenaga yang dikarenakan oleh adanya sinyal yang diinisiasi dari proteksi di sisi *remote* kepada proteksi lokal.

2.2.4 Relai jarak

Relai jarak adalah relai penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar. Impedansi penghantar yang dirasakan oleh relai adalah hasil bagi antara nilai tegangan dan arus dari sebuah sirkit. Relai ini mempunyai beberapa karakteristik seperti mho, quadrilateral, reaktans dan lain-lain. Sebagai unit proteksi, relai ini dilengkapi dengan pola teleproteksi seperti *basic*, PUTT, dan POTT. Relai jarak sebagai proteksi utama mempunyai fungsi lain yaitu sebagai proteksi cadangan jauh (*remote backup*) untuk penghantar di depannya (zona-2 dan zona-3). Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai. Dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

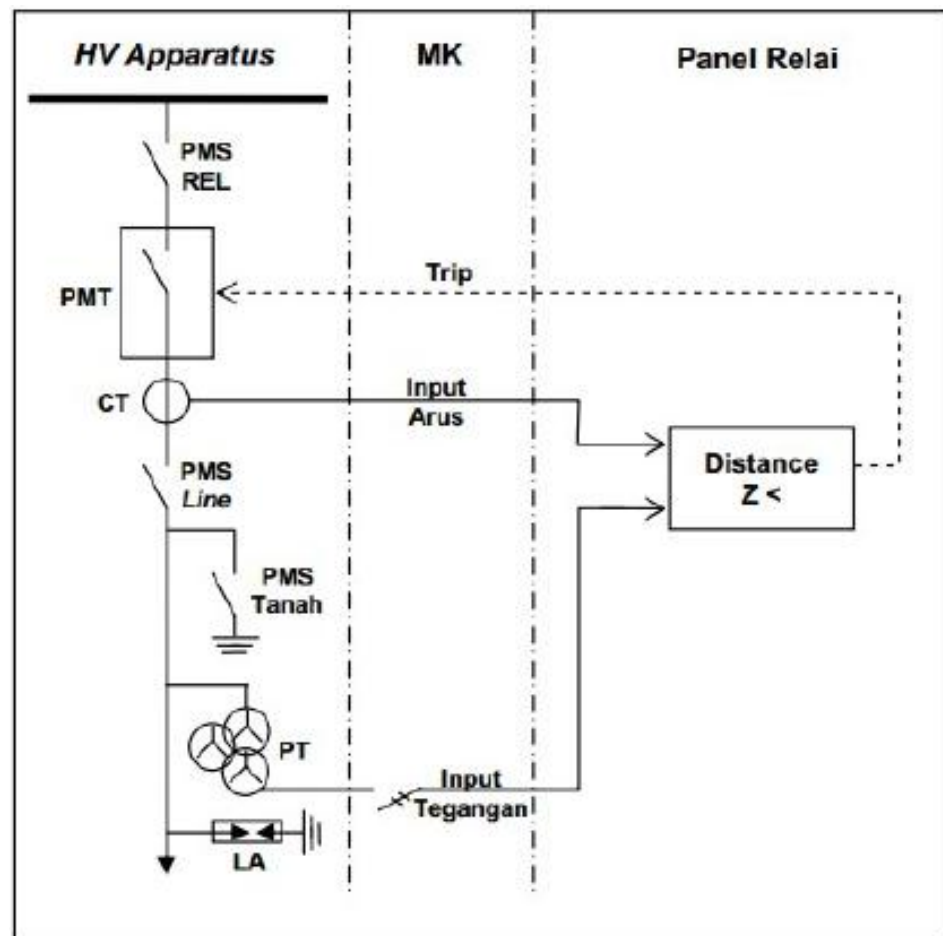
$$Z_f = \frac{V_f}{I_f}$$

Dimana,

Z_f : Impedansi s/d titik gangguan (ohm)

V_f : Tegangan gangguan (volt)

I_f : Arus gangguan (Amp)



Gambar 2.13 Prinsip kerja relai jarak

Relai jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi *setting*, dengan ketentuan :

- Bila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi *setting* relai maka relai akan memberi perintah untuk PMT *trip*.
- Bila nilai impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi *setting* relai maka relai tidak akan memberi perintah untuk PMT *trip*.

2.2.4.1 Karakteristik relai jarak

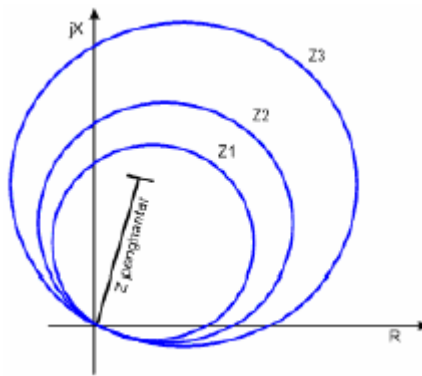
Karakteristik relai jarak yang umumnya digunakan adalah :

1. Mho

Ciri-ciri :

- Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*.

- b. Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*. Gangguan *high resistance* akan menambah nilai R_f (tahanan gangguan) sehingga relai akan bekerja di luar zona proteksinya (gangguan yang berada di zona-1 namun karena bersifat resistif sehingga relai membacanya sebagai zona-2), begitu pula jika terdapat gangguan kapasitif maupun induktif. Gangguan akan menambah nilai X_f (reaktansi kapasitif atau induktif gangguan) sehingga akan bekerja di luar zona proteksinya.
- c. Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa.



Gambar 2.14 Karakteristik mho

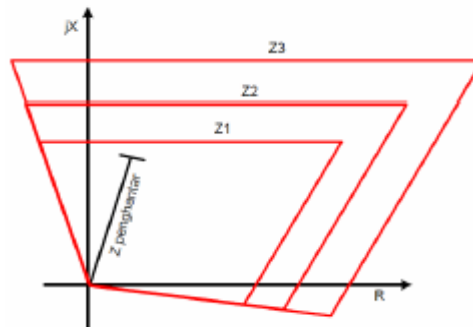
2. Quadrilateral

Ciri-ciri :

- a. Karakteristik quadrilateral merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu : *reactance*, *berarah*, dan resistif.
- b. Dengan *setting* jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi (*high resistance*). Dengan batasan jangkauan relai kurang dari 50% impedansi beban.
- c. Umumnya pada relai elektromekanik dan statis kecepatan relai dengan karakteristik quadrilateral lebih lambat dari jenis mho. Pada relai numerik yang telah menggunakan digital sinyal

microprocessor (DSP) kecepatan antara karakteristik mho dan quadrilateral relatif sama.

d. Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah.



Gambar 2.15 Karakteristik quadrilateral

2.2.4.2 Pola pengaman pada relai jarak

Pola pengaman pada relai jarak ditentukan berdasarkan kebutuhan untuk keamanan peralatan maupun keandalan operasi .

1. Pola *Basic*

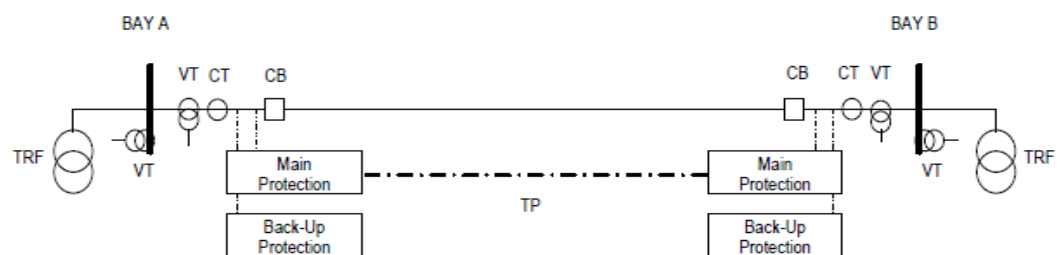
Pola *basic* pada relai jarak merupakan pola kerja relai jarak yang bekerja *instance* pada area *setting* zona-1, bekerja dengan *backup time* untuk zona-2 dan zona-3 tanpa dilengkapi fasilitas teleproteksi (*sending receive* sinyal pada saat relai mendeteksi gangguan).



Gambar 2.16 Pola *basic*

2. Pola Teleproteksi

Pada dasarnya relai jarak memberikan *tripping* seketika untuk gangguan pada kawasan zona-1, yang mencakup sekitar 80% dari panjang saluran. Sedangkan untuk gangguan di luar zona-1 relai akan *trip* dengan waktu tunda. Untuk menjaga keandalan suatu sistem diperlukan fasilitas teleproteksi agar gangguan di sepanjang saluran dapat ditripkan dengan seketika pada kedua sisi ujung saluran. Pola ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.17 Pola teleproteksi

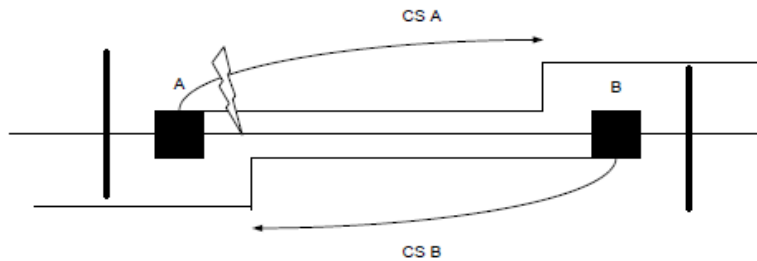
a. Pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*)

Pola ini umumnya dioperasikan/ diterapkan pada relai jarak sebagai proteksi untuk saluran transmisi menengah dan panjang. Prinsip kerja dari pola PUTT adalah sebagai berikut :

- Pengiriman sinyal *carrier* dilakukan bila gangguan dirasakan pada zona-1.
- *Trip* seketika (waktu zona-1) terjadi pada dua kondisi sebagai berikut :
 - 1) Gangguan pada zona-1.
 - 2) Relai mendeteksi gangguan pada zona-2 dan menerima sinyal *carrier* dari GI lawan.

Kelebihan dari pola PUTT :

- Untuk gangguan di daerah ujung saluran yang diamankan (zona-2), relai di kedua ujung saluran yang diamankan akan *trip* seketika karena menerima sinyal trip dari relai di ujung lawannya.

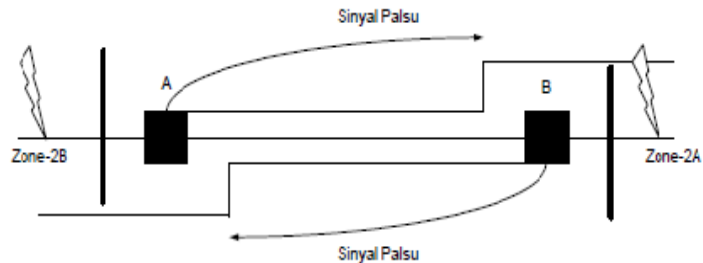


Gambar 2.18 Kelebihan pola PUTT

- Jika pengiriman sinyal gagal, relai diharapkan masih bisa selektif artinya relai masih dapat bekerja walaupun dengan pola *basic*.

Kekurangan pola PUTT :

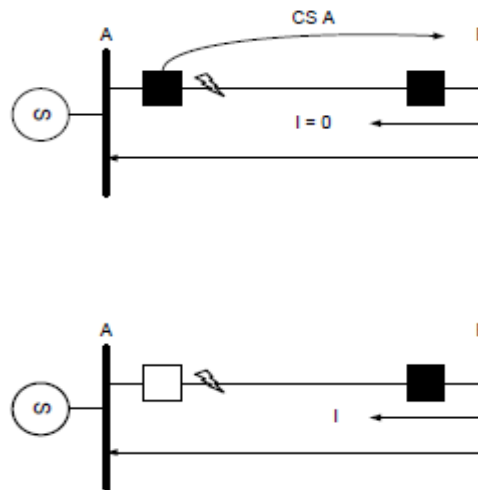
- Adanya sinyal trip palsu dari relai B akan menyebabkan relai A bekerja seketika untuk gangguan di luar daerah yang diproteksi tetapi masih zona-2, sehingga relai tidak selektif.



Gambar 2.19 Kekurangan pola PUTT

- Jika pengiriman sinyal gagal, dari A ke B tidak akan terjadi trip seketika tetapi trip dengan t_2 (lebih lambat) sesuai penyetingan relai.
- Trip seketika bisa tidak terjadi jika pada salah satu ujung saluran tidak ada/ kecil *infeed* (pembangkitan), hal ini dapat digambarkan sebagai berikut :
 - 1) Pada saat terjadi gangguan relai A akan mengirimkan sinyal trip ke B tetapi B tidak melihatnya sebagai zona-2 karena arus yang mengalir melalui relai B sangat kecil.

2) Ketika PMT A sudah terbuka, arus mengalir melalui B (Sehingga B melihat zona-2) tetapi relai tidak akan trip seketika karena relai A sudah berhenti mengirimkan sinyal.



Gambar 2.20 Pola PUTT pada kondisi *weak infeed*

- Pada penghantar pendek penggunaan relai jarak pola PUTT tidak direkomendasikan untuk digunakan. Penghantar pendek umumnya mempunyai nilai resitif yang besar yang akan membuat relai jarak akan bekerja diluar daerah kerjanya.
- Kelemahan PUTT pada gangguan *High Resistance* mengakibatkan kedua relai akan membaca sebagai zona-2.

b. Pola POTT (*Permissive Overreach Transfer Trip*)

Pola dari POTT pada umumnya diterapkan untuk saluran transmisi jarak pendek, menengah dan panjang. Prinsip kerja dari pola POTT ialah :

- Pengiriman sinyal *carrier* dilakukan bila gangguan dirasakan pada zona-2 *starting*.
- Trip seketika (waktu kerja zona-1) terjadi pada dua kondisi sebagai berikut :

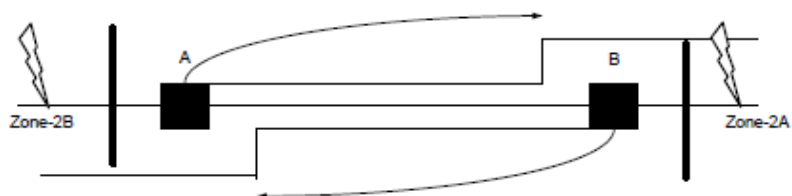
- 1) Gangguan pada zona-1.
- 2) Relai mendeteksi gangguan pada zona-2 dan menerima sinyal *carrier* dari GI lawan.

Kelebihan pola POTT :

- Untuk gangguan yang terjadi di tengah saluran dengan gangguan tahanan tinggi, dimana kedua relai akan merasakan impedansi zona-2 *starting*, maka relai di kedua ujung saluran yang diamankan akan trip seketika karena sama-sama menerima sinyal trip dari relai di ujung yang lain.

Kekurangan pola POTT :

- Jika pengiriman sinyal gagal, dari A ke B tidak akan terjadi trip seketika tetapi trip dengan $t-2$ (lebih lambat) sesuai penyetingan relai di kedua sisi.
- Jika pada saat yang bersamaan terjadi gangguan di luar daerah yang diamankan, maka relai kedua sisi akan ikut bekerja secara instantaneous (tidak selektif).



Gambar 2.21 Kekurangan pola POTT

2.2.4.3 Pemilihan zona proteksi relai jarak

1. Pemilihan zona-1

Sebagai proteksi utama, jangkauan zona-1 relai jarak harus mencakup seluruh saluran yang diproteksi. Namun dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data konstanta saluran, CT, PT, dan peralatan -peralatan lainnya sebesar 20%, maka zona-1 relai jarak diset 80% dari panjang saluran yang diamankan. Waktu kerja dari relai jarak adalah seketika, sehingga

tidak diperlukan penyetingan waktu. Perhitungan rumus zona-1 relai jarak ditulis sebagai berikut :

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{L1}$$

2. Pemilihan zona-2

Jangkauan zona-2 harus mencakup hingga busbar yang berada didepannya (*near end bus*) namun tidak boleh *overlap* / tumpang tindih dengan zona-2 relai jarak di seksi berikutnya. Dengan mengasumsikan kesalahan – kesalahan seperti pada penyetingan zona-1 sekitar 20%, maka didapat penyetingan minimum dan maksimum untuk zona-2 sebagai berikut :

$$Z_{2min} = 1,2 \times Z_{L1}$$

$$Z_{2max} = 0,8 \times (Z_{L1} + (0.5Z_{L2}) \times K)$$

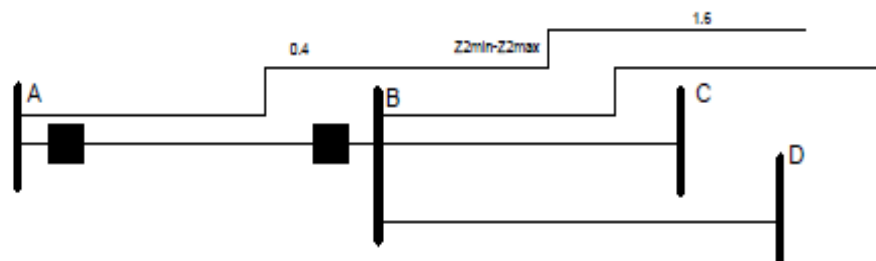
Dimana :

Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L2} : impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)

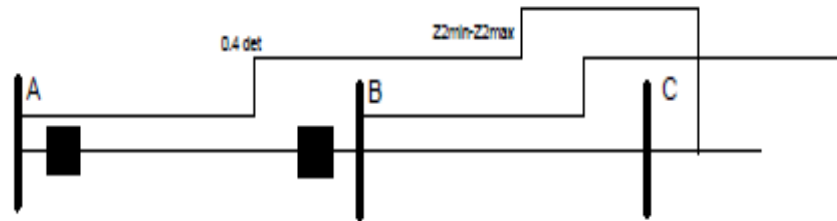
K : *Infeed Factor* ($K = 1$ s.d 2)

Jika pada saluran seksi berikutnya terdapat beberapa cabang, untuk mendapatkan selektifitas yang baik maka *setting* Z_{2max} diambil dengan nilai impedansi penghantar (ohm) yang terkecil seperti terlihat pada contoh di bawah ini :



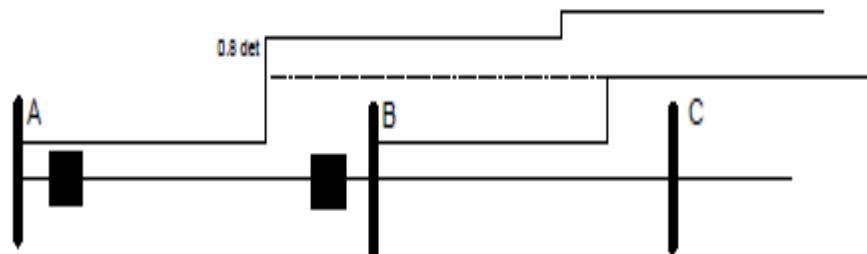
Gambar 2.22 Saluran seksi dengan banyak cabang

Untuk keadaan dimana nilai $Z_{2max} > Z_{2min}$ maka untuk *setting* zona-2 relai jarak adalah Z_{2max} dengan waktu kerja relai $t_2 = 0,4$ detik.



Gambar 2.23 Saluran seksi dengan kondisi $Z_{2max} > Z_{2min}$

Jika saluran yang diamankan jauh lebih panjang dari saluran seksi berikutnya maka akan terjadi $Z_{2max} < Z_{2min}$. Pada keadaan demikian untuk mendapatkan selektifitas yang baik, maka zona-2 = Z_{2min} dengan *setting* waktunya dinaikkan satu tingkat ($t_2 = 0,8$), seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.24 Saluran seksi dengan kondisi $Z_{2max} < Z_{2min}$

Jika pada gardu induk di depannya terdapat transformator daya, maka jangkauan zona-2 tidak melebihi impedansi transformator $Z_{TR} = 0,8 (Z_{L1} + K \times X_t)$, dimana k adalah bagian dari transformator yang diproteksi. Nilai dari k yang direkomendasikan adalah 0,5. Hal ini dimaksudkan jika terjadi gangguan pada sisi LV transformator, relai jarak tidak bekerja.

3. Pemilihan zona-3

Jangkauan zona-3 harus mencakup dua busbar GI di depannya yang terjauh (*far end bus*) sehingga diperoleh penyetingan zona-3 sebagai berikut :

$$Z_{3min} = 1,2(Z_{L1} + K \times Z_{L3})$$

$$Z_{3max1} = 0,8(Z_{L1} + ((1.2 \times Z_{L3}) \times K))$$

$$Z_{3max2} = 0,8(Z_{L1} + (0.8 \times ((Z_{L3} + 0.8 \times Z_{L4}) \times K))$$

$$Z_{TR} = 0.8(Z_{L1} + 0.8 \times X_t)$$

Dimana,

Z_{L1} : impedansi saluran yang diamankan (Ω)

Z_{L3} : impedansi saluran berikutnya yang terpanjang (Ω)

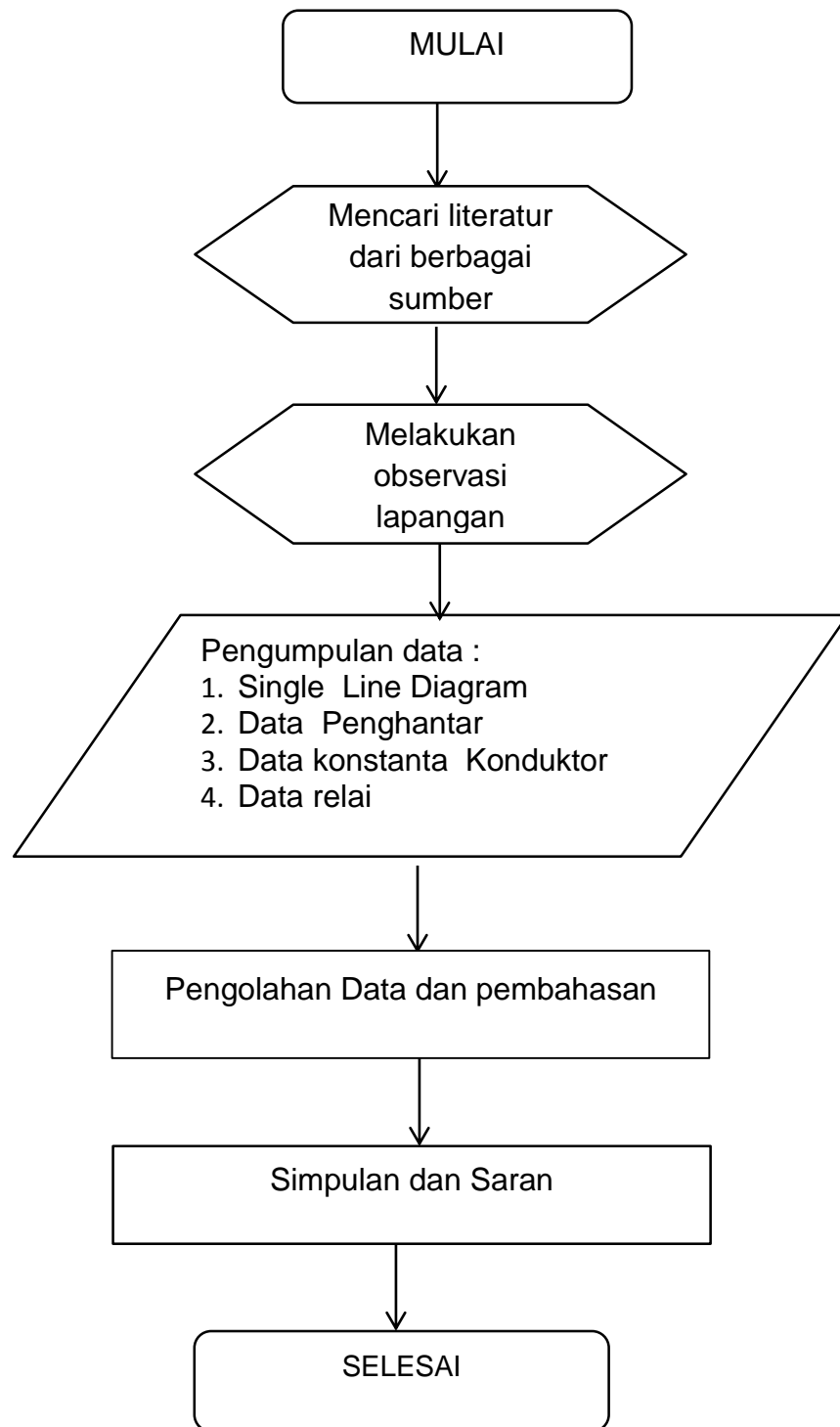
Z_{L4} : impedansi saluran dari *far end bus* yang terpendek (Ω)

K : *infeed factor* jika terdapat pembangkit di busbar GI di depannya ($K = 1$ s.d 2)

Zona-3 dipilih yang terbesar diantara Z_{L1} , Z_{L2} dan Z_{L3} , namun tidak melebihi nilai dari Z_{TR} . Pemilihan waktu selama 1.6 detik dikarenakan agar melebihi waktu kerja dari *pole discrepancy* 1.5 detik dan DEF *backup*.

2.3 Kerangka Pemikiran

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu adanya susunan kerangka pemikiran yang jelas tahapannya. Adapun kerangka pemikiran yang dilakukan sebagai berikut



Gambar 2.25 Diagram alur penelitian