

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam penyaluran energi listrik suatu sistem tenaga listrik tidak dapat lepas dari gangguan. Gangguan tersebut jika tidak diatasi dapat membahayakan sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Untuk menghindari hal tersebut dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari gangguan tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan (Tobing, 2003). Dalam mengamankan sistem dari gangguan sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin (Arismunandar, 2004).

Rele jarak adalah rele pengaman utama pada saluran transmisi. Rele ini menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang diamankan. Rele ini akan bekerja jika impedansi terukur di dalam batas setting. Rele jarak bergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele proteksi dan tidak bergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi (Wisatawan,dkk, 2012).

2.2. Landasan Toeri

2.2.1 Pengertin Umum Saluran Transmisi

Pusat pembangkit tenaga listrik biasanya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan. Oleh karena itu, tenaga listrik dibangkitkan akan di naikkan dayanya dengan cara menaikkan tegangan

sebesar-besarnya, lalu disalurkan melalui penghantar-penghantar dari pusat pembangkit listrik ke pusat beban, baik langsung maupun melalui saluran penghubung yaitu Gardu Induk.

Batas jumlah tegangan transmisi pada masing masing negara berbeda-beda tergantung pada kemajuan teknologi tenaga listrik dinegara-negara tersebut. Saluran transmisi tegangan tinggi di Indonesia pada saat ini berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan terdiri Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV dan 150 kV dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV-500 kV.

Saluran transmisi dapat dibedakan menjadi 2 katagori yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*under ground*). Sistem saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui penghantar yang digantung pada tiang transmisi dengan perantaraan isolator-isolator, sedangkan sistem bawah tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel bawah tanah.

Pada saluran transmisi tidak luput terjadi gangguan. Gangguan merupakan keadaan menyimpang atau tidak normalan dari suatu sistem. Gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang menyebabkan rele dan pemutus tenaga trip diluar kehendak oprator, sehingga mengakibatkan putusnya aliran daya yang melalui pemutus tersebut. Untuk bagian sistem yang diamankan dengan sekring, gangguan terjadi akibat gangguan sekring (Djiteng, 2006).

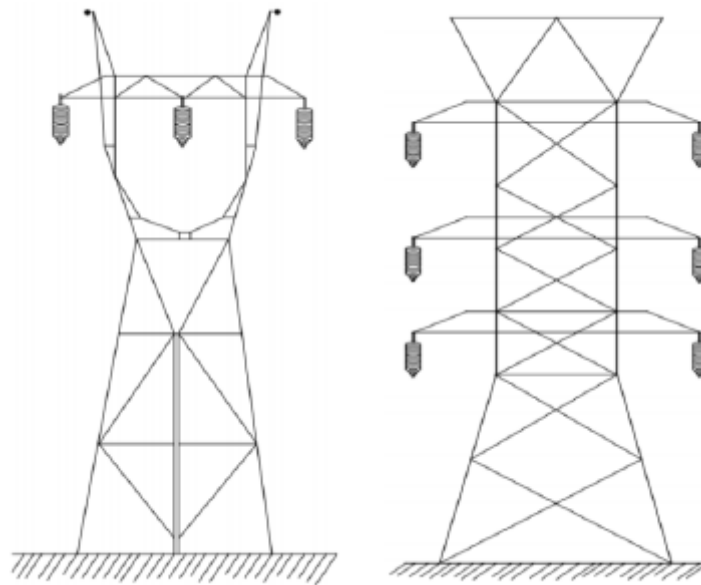
Maka dari itu saluran transmisi dipasang sistem proteksi untuk mengamankan penyaluran tenaga listrik kepelanggan. Sistem proteksi yang terpasang pada saluran transmisi haruslah memiliki sifat handal, sehingga penyaluran energi listrik terjaga baik.

2.2.2 Kontruksi Transmisi Saluran Udara

kontruksi dari saluran udara tegangan tinggi terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya :

1. Tiang Penyangga / TOWER

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 antar isolasi antar kawat penghantar. Untuk menyanggah dan 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 menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator. Untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi biasanya menggunakan tiang besi dengan bentuk lattice network.



Gambar 2.1 Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi

2. Kawat Konduktor

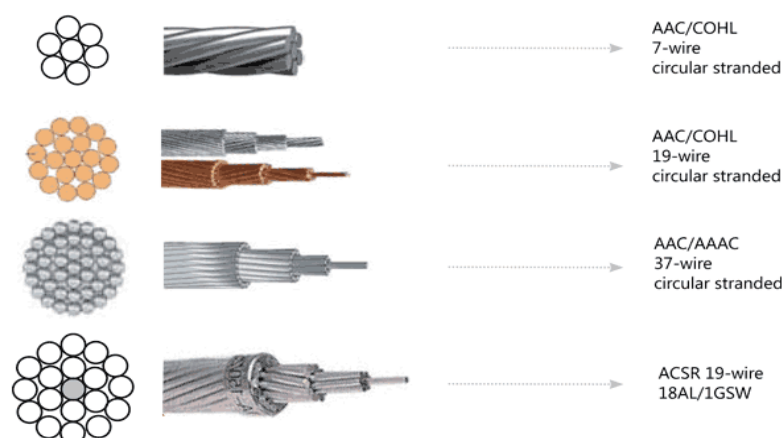
Kawat konduktor ini digunakan untuk menghantarkan listrik yang ditransmisikan. Kawat konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi ini selalu tanpa pelindung/isolasi, hanya menggunakan isolasi udara. Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat-

sifat diantaranya memiliki konduktivitas tinggi, kekuatan tarik mekanikal tinggi, titik berat, biaya rendah dan tidak mudah patah. Biasanya bahan konduktor yang dipakai terbuat dari Tembaga (cu), *Alumunium* (Al), Baja (*steel*).

Untuk memeperbesar kuat tarik dari kawat penghantar Alumunium biasanya kawat penghantar Alumunium dicampur dengan bahan penghantar lain. Untuk saluran tegangan tinggi dimana jarak antara tiang jauh, dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Adapun beberapa Jenis-jenis penghantar Aluminium adalah:

- a. AAC (*All-Alumunium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
- b. AAAC (*All-Alumunium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium.
- c. ACSR (*Alumunium Conductor Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
- d. ACAR (*Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.

Dari keempat jenis penghantar Alumunium campuran diatas yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah kawat penghantar ACSR.



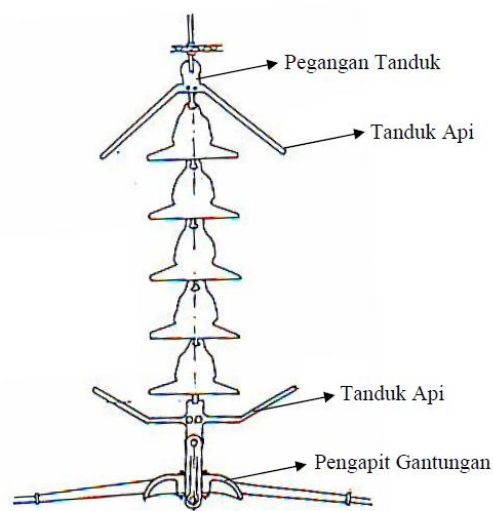
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Konduktor *Alumunium*.

3. Isolator

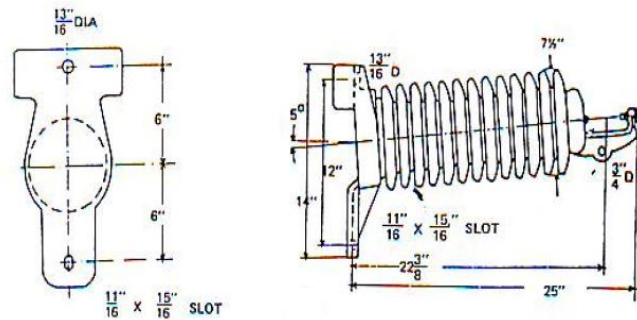
Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap ground. Isolator transmisi biasanya terbuat dari bahan *porcelain*, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan. Bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk melindungi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

Macam macam isolator yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi adalah sebagai berikut:

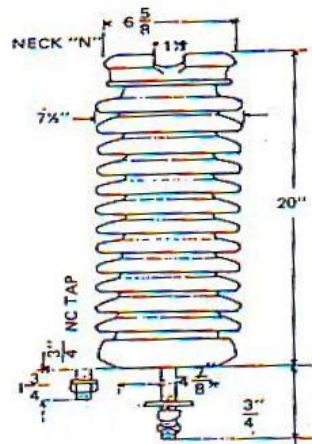
- a. Isolator piring, dipergunakan untuk isolator penegang dan isolator gantung, dimana jumlah piringan isolator disesuaikan dengan tegangan sistem pada saluran udara tegangan tinggi tersebut.
- b. Isolator tonggak saluran vertikal (gambar 2.4)
- c. Isolator tonggak saluran horizontal (gambar 2.5)



Gambar 2.3 Isolator Piring



Gambar 2.4 Isolator Tonggak Saluran Horizontal



Gambar 2.5 Isolator Tonggak Saluran Vertikal

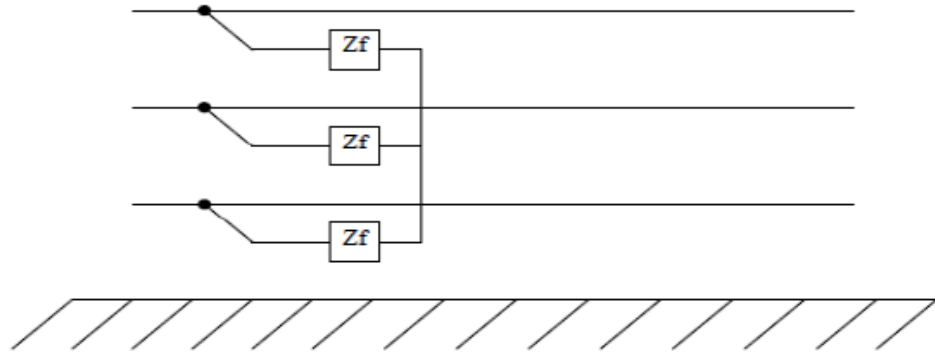
2.2.3 Gangguan Yang Biasanya Terjadi di Saluran Transmisi

Menurut sistem tenaga listrik gangguan adalah semua kegagalan yang berhubungan dengan aliran arus ke beban, jenis gangguan terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.2.3.1 Gangguan Hubung singkat Tiga Fasa

Pada saat terjadi gangguan tiga fasa yang simetris maka amplitudo tegangan fasa VR,VS,VT turun dan beda fasa tetap 120 derajat. Impedansi yang

diukur relai jarak pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

$$V_{\text{relai}} = V_R$$

$$I_{\text{relai}} = I_R$$

$$Z_R = V_R / I_R \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

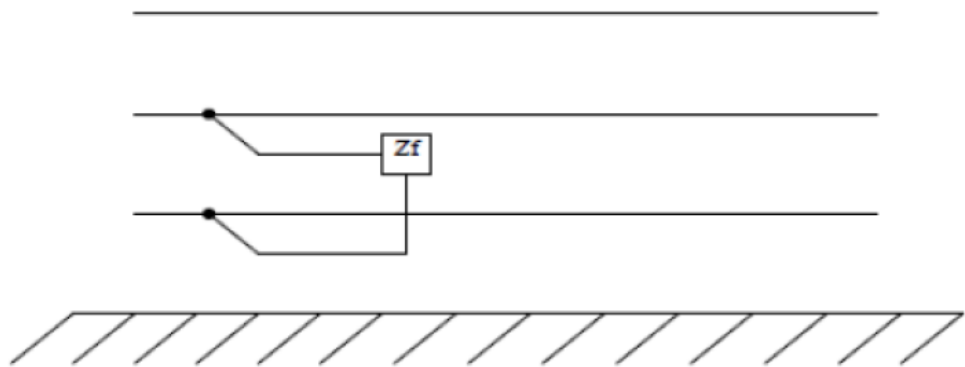
Z_R = Impedansi terbaca oleh relai

V_R = Tegangan fasa ke netral

I_R = Arus fasa

2.2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Untuk mengukur impedansi pada saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, tegangan yang masuk ke komparator relai adalah tegangan fasa yang terganggu, sedangkan arusnya adalah selisih (secara vektoris) arus-arus yang terganggu. Maka pengukuran impedansi untuk hubung singkat antara fasa S dan T adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$V_{\text{relai}} = V_S - V_T$$

$$I_{\text{relai}} = I_S - I_T$$

Sehingga,

$$Z_R = (V_S - V_T) / (I_S - I_T) \dots\dots\dots (2.2)$$

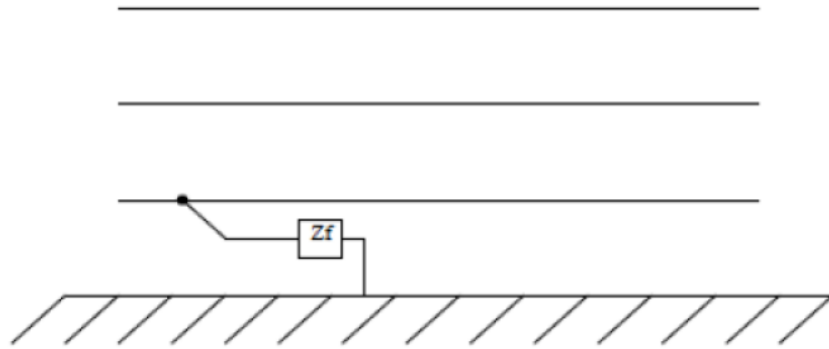
Tabel. 2.1. Tegangan dan arus masukan rele untuk gangguan hubung singkat dua fasa

Fasa Yang Terganggu	Tegangan	Arus
R-S	$V_R - V_S$	$I_R - I_S$
S-T	$V_S - V_T$	$I_S - I_T$
T-R	$V_T - V_R$	$I_R - I_T$

2.2.3.3 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Untuk mengukur impedansi pada saat hubung singkat satu fasa ke tanah, tegangan yang dimasukkan ke rele adalah tegangan yang terganggu,

sedangkan arus fasa terganggu di tambah arus sisa dikali factor kompensasi. Misalnya terjadi gangguan hubung singkat satu fasa R ke tanah, maka pengukuran impedansi dilakukan dengan cara sebagai berikut :



Gambar 2.8 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Tegangan pada relai : $V_{relai} = V_R$

Arus pada relai : $I_{relai} = I_R + K_0 \cdot I_n$

Arus netral : $I_n = I_R + I_S + I_T$

Kompensasi urutan nol : $K_0 = 1/3(Z_0 - Z_1/Z_1)$ (2.3)

$Z_1 = V_R / (I_R + K_0 \cdot I_n)$ (2.4)

Tabel 2.2 Tegangan dan arus masukan rele untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Fasa yang terganggu	Tegangan	Arus
R-N	V_R	$I_R + K_0 \cdot I_n$
S-N	V_S	$I_S + K_0 \cdot I_n$
T-N	V_T	$I_T + K_0 \cdot I_n$

Impedansi urutan nol akan timbul pada gangguan tanah. Adanya K0 adalah untuk mengkompensasi adanya impedansi urutan nol tersebut. Sehingga impedansi yang terukur menjadi benar.

2.2.4 Akibat Gangguan

Gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran transmisi dapat mengakibatkan :

- a. Kerusakan pada alat yang terganggu dan yang dilalui arus gangguan
- b. Terputusnya unit pelayanan (pemadaman aliran listrik)

2.2.5 Sistem Proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah pengisolasian kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik untuk meminimalkan pemadaman dan kerusakan yang lebih lanjut. Kerja dari sistem proteksi membutuhkan dua hal yang saling berkaitan yaitu:

1. Sistem tenaga listrik harus mempunyai *Circuit Breaker* dengan jumlah yang cukup untuk melaksanakan tugas pengisolasian
2. Setiap *Circuit Breaker* dilengkapi alat pengendali yang dapat mendeteksi keadaan abnormal dan hanya mengaktifkan *Circuit Breaker* yang diperlukan untuk mengisolasi kondisi abnormal, hal ini dikenal dengan *selective fault clearance*.

Rele proteksi sebagai komponen utama sistem proteksi tenaga listrik didalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan, harus memenuhi beberapa persyaratan keandalan sebagai berikut:

- a. Waktu kerja rele cepat

Rele pengaman harus dapat bekerja dengan cepat memisahkan/mengisolir pada saat terjadi gangguan sehingga dapat mengurangi atau mencegah jumlah kerusakan yang lebih fatal dari suatu

sistem maupun peralatan, membantu menjaga stabilitas dari mesin-mesin yang sedang bekerja paralel dan mengurangi total energi listrik yang tidak tersalurkan. Gangguan tiga fasa lebih berpengaruh pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kestabilan sehingga waktu penyelesaian gangguan harus secepat mungkin. Interval waktu kerja sistem pengaman dengan memisahkan seksi yang terganggu dari sistem yang tidak terganggu adalah merupakan jumlah antara waktu kerja rele pengaman dengan waktu kerja mekanik penggerak dari *Circuit Breaker*.

$$T_{oper} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

T_{oper} = waktu kerja sistem pengaman

t_p = waktu kerja rele pengaman

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

b. *Selektif*

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

c. *Reliable* (dapat diandalkan)

Bila sistem dalam kondisi normal, rele tidak akan merasakan adanya kondisi abnormal maka rele tidak bekerja, mungkin berbulan-bulan, atau bertahun tahun. Tetapi bila pada suatu saat ada gangguan maka rele harus bekerja dengan segera memberi perintah membuka/mentriapkan *Circuit Breaker* untuk menghindari pemadaman yang meluas. Dalam hal ini, yang harus dapat diandalkan bukan hanya rele saja, tetapi harus didukung oleh komponen - komponen sistem pengaman yang lain. Keandalan rele pengaman itu ditentukan mulai dari rancangan, pengerjaan, bahan yang digunakan dengan perawatannya. Oleh karena itu diperlukan perawatan yang dalam hal ini perlu adanya pengujian secara periodik.

d. *Sensitif* (peka)

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

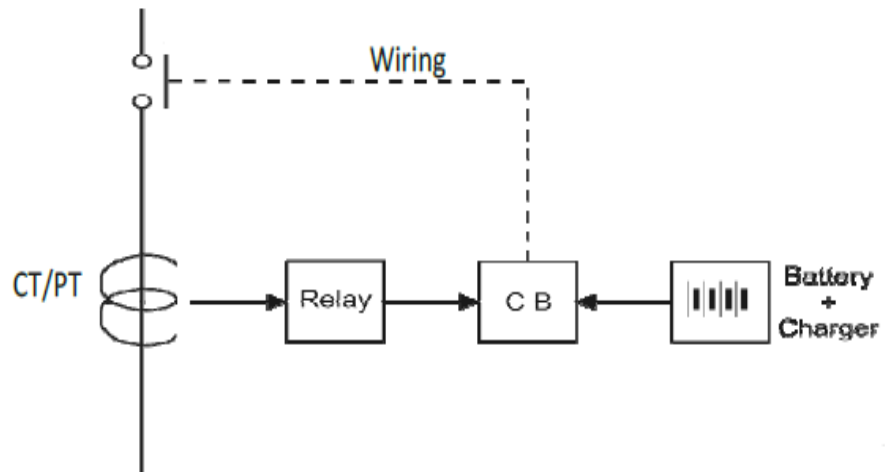
e. Ekonomis

Dalam menentukan peralatan pengaman yang akan digunakan harus ditinjau dari segi ekonomi-teknisnya. Untuk mendapatkan penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara selektif dan cepat, sehingga adakalanya harus diadakan kompromi. Kita sadari pula bahwa sistem pengaman tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja.

2.2.6 Peralatan-Peralatan Proteksi

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 tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besaran ambang-batas pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi pengaturan ambang batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan proteksi pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem yang diamatinya.

Dibawah ini akan dibahas mengenai peralatan-peralatan proteksi tenaga listrik, diantaranya adalah:



Gambar 2.9 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

1. Trafo Instrumen

a) Trafo Arus/*Current Transformer* (CT)

Trafo arus adalah suatu perangkat listrik yang berfungsi menurunkan arus yang besar menjadi arus dengan ukuran yang lebih kecil. Trafo

arus digunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini disebabkan arus sangat besar dan tegangan sangat tinggi. 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.

b) Trafo Tenaga/Potential Transformer (PT)

Trafo tenaga adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan pengaturan rele. Trafo ini juga memiliki angka perbandingan lilitan/tegangan primer dan sekunder yang menunjukkan kelasnya.

2. Rele

Rele adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *Electromechanical* (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Rele menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar. Berdasarkan fungsinya, rele diklasifikasikan sebagai berikut: *Overcurrent rele*, *Differential Rele*, *Directional Rele*, *Distance Rele*, *Ground Fault Rele*. Kelima rele tersebut memiliki fungsi yang berbeda. Pada dasarnya ada beberapa keadaan operasi rele, yaitu:

- a. *Operatate*: kondisi dimana rele tersebut memerintahkan peralatan proteksi untuk bekerja
- b. *Pick-Up*: kondisi dimana rele mulai mendeteksi adanya kenaikan arus atau tegangan pada sistem
- c. *Drop-Out*: Kondisi dimana rele tidak merasakan gangguan lagi. Pada kondisi ini, rele membuka *normally open contact*
- d. *Reset*: Kondisi dimana rele dikembalikan ke keadaan semula. Pada kondisi ini rele menutup kontak dari rele *closed contact*

3. *Circuit Breaker* (PMT)

Circuit Breaker atau PMT adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan.

4. *DC System Power Supply*

DC System Power Supply Merupakan pencatu daya cadangan yang terdiri dari *battery charger*, sebagai peralatan yang mengubah tegangan AC ke DC dan Battery, sebagai penyimpan daya cadangan. Sebagai peralatan proteksi, *DC System Power Supply* merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung, maka akan bekerja yang menyebabkan *Circuit Breaker* membuka. *Charge* sebenarnya adalah sumber utama dari *DC System Power Supply*, karena *charge* adalah alat untuk merubah AC power menjadi DC power.

2.2.7 Sistem Proteksi pada Saluran Transmisi

Setiap rele dalam pengamannya membentuk suatu fungsi tertentu dan tanggap terhadap perubahan kuantitas tertentu di dalam sirkuitnya. Hal ini secara umum dapat dengan membandingkan dua besaran masukan listrik, yaitu besaran dan sudut fasanya. Besaran yang dimaksud terdiri dari arus dan tegangan, dan rele bekerja bila perbandingan V/I kurang dari nilai setelan awalnya. Untuk menentukan setelan awal perlu diketahui tipe rele, lokasi gangguan dan kerja rele. Lain halnya dengan rele arus lebih, yang hannya memiliki satu besaran listrik dan rele beroperasi bila nilainya melebihi suatu nilai tertentu. Peralatan rele yang mempunyai sifat membandingkan dua besaran masukan listrik yaitu arus dan tegangan disebut sebagai komparator yang selanjutnya dapat menentukan karakteristik kerja rele. Dalam sistem tenaga listrik hal hal yang perlu diperhatikan adalah:

- a. Sistem harus dibagi dalam daerah-daerah pengamanan yang merupakan kesatuan fungsi terkecil.

- b. Daerah perlindungan harus saling tumpang tindih satu sama lain, sehingga sistem terlindungi. Bila terjadi gangguan pada daerah perlindungan tertentu. Maka hanya PMT yang berada pada daerah terjadi gangguan saja yang bekerja.
- c. Setiap daerah perlindungan diamankan oleh rele yang sesuai dengan karakteristik daerah yang diamankan.
- d. Adanya rele cadangan yang bekerja jika pengamanan utama gagal bekerja.

2.2.7.1 Klasifikasi Sistem Proteksi Saluran Transmisi

Sistem proteksi pada saluran transmisi umumnya dibagi dalam dua kelompok yaitu pengamanan utama dan pengamanan cadangan. Adapun penjelasannya dibawah ini:

1. Pengaman Utama

Pengaman utama merupakan sistem proteksi yang diharapkan segera bekerja jika terjadi kondisi abnormal atau gangguan pada daerah yang diamankan. Peralatan pengamanan saluran udara yang sering digunakan sebagai sistem proteksi utama adalah rele jarak.

2. Pengaman cadangan

Pengaman cadangan diperlukan apabila pengamanan utama tidak dapat bekerja atau terjadi gangguan pada sistem pengamanan utama. Pengaman cadangan dibagi menjadi :

- a. Sistem proteksi cadangan lokal (*local back up protection system*).
Pengaman ini bekerja apabila pengamanan utama gagal bekerja. Peralatan cadangan lokal yang biasanya digunakan adalah OCR (*over current rele*) dan GFR .
- b. Sistem proteksi cadangan jauh (*remote back up protection system*)
pengaman ini bekerja apabila pengamanan utama di tempat lain gagal bekerja. Biasanya berupa rele jarak zona 2, atau zona 3.

Pengaman cadangan lokal dan jarak jauh diusahakan koordinasi waktunya dengan pengamanan utama di tempat berikutnya. Koordinasi waktu dibuat sedemikian hingga pengamanan cadangan dari jauh bekerja lebih dahulu

dari pengaman cadangan lokal (Jemjem dan Syofvi, 2006). Dalam Jaringan SUTT/ SUTET rele jarak digunakan sebagai pengaman utama sedangkan rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan ke tanah (GFR) digunakan sebagai cadangan lokal (*local backup protection*) (Sugiarto dkk, 2007).

2.2.7.2 Pengaman Yang Digunakan pada Saluran Transmisi

Penerapan rele pengaman jaringan transmisi dapat dibagi menjadi:

- a. Rele Arus Lebih (OCR), bekerja bila terjadi kenaikan arus melebihi nilai setelan awalnya. Bila terjadi gangguan di transmisi, maka hanya rele arus lebih yang berdekatan dengan titik gangguan yang bekerja.
- b. Rele Differensial, prinsip kerja berdasarkan adanya beda arus, antara arus yang masuk dengan arus yang keluar dari alat yang diamankan. Rele akan bekerja jika nilai arus masuk dan arus keluar ini melebihi nilai arus yang ditetapkan sebelumnya.
- c. Rele Tegangan Lebih, bekerja bila terjadi kenaikan tegangan. Gangguan tegangan lebih dapat disebabkan oleh petir dan gangguan pada saluran (hubung singkat).
- d. Rele jarak, rele dibuat sedemikian rupa agar bereaksi terhadap impedansi antara lokasi rele dengan titik gangguan. Impedansi ini sebanding dengan jarak ke titik gangguan, karena inilah rele ini disebut rele jarak. Rele jarak dapat dibuat terarah dengan memasukkan unit arah.

2.2.8 Rele Jarak

Rele jarak merupakan proteksi yang paling utama pada saluran transmisi. Rele jarak menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas pengaturannya, maka rele akan bekerja. Disebut rele

jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu, rele jarak tidak tergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele proteksi. Impedansi yang diukur dapat berupa Z, R atau X saja, tergantung dari jenis rele yang digunakan.

Syarat utama dari rele jarak adalah sebagai berikut:

- a. Dapat menentukan letak arah gangguan yang terjadi, apakah di depan rele (yang diamankan) atau di belakang rele (yang diamankan), dimana rele ini tidak dapat bekerja.
- b. Dapat mengukur letak gangguan yang terjadi, apakah terletak didalam atau diluar jangkauan.
- c. Beban maksimum tidak boleh masuk jangkauan rele.
- d. Dapat membedakan gangguan dan ayunan daya.

2.2.8.1 Prinsip Kerja Rele Jarak

Prinsip kerja dari rele jarak adalah dengan cara mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

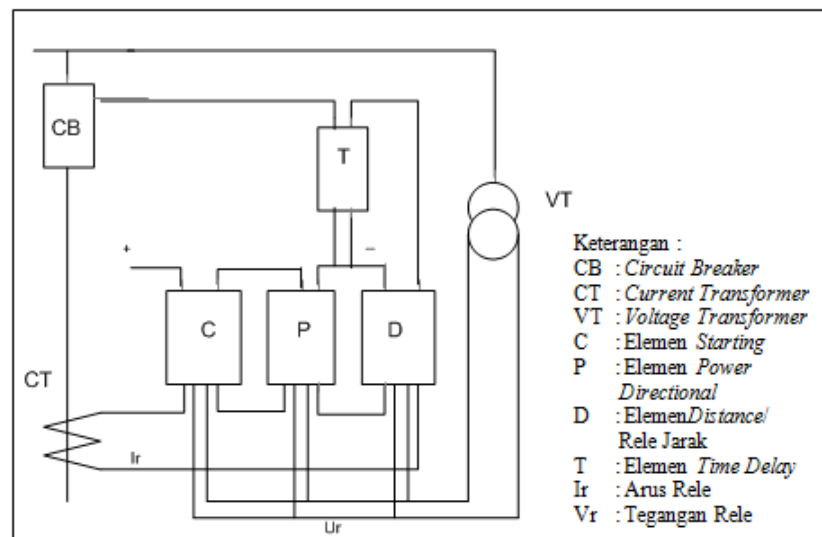
$$Z_f = V_f / I_f \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- | | | |
|-------|---|------------------------|
| Z_f | = | Impedansi (Ω) |
| V_f | = | Tegangan (Volt) |
| I_f | = | Arus gangguan |

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

- Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi setting rele maka rele akan bekerja.
- Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting rele maka rele akan tidak bekerja.



Gambar 2.10 Alur kerja rele jarak

- Huruf C merupakan komponen *starting*, komponen ini berfungsi sebagai pembatas gangguan sehingga apabila gangguan terjadi di luar zone maka rele tidak boleh bekerja.
- Huruf P yang ditunjukkan pada gambar di atas ditandai sebagai komponen *power directional*, komponen ini berperan mengizinkan suatu pengaman bekerja apabila terdapat gangguan dengan arah dari bus ke saluran transmisi yang diamankan.
- Huruf D pada gambar di atas menunjukkan komponen *distance* yang berfungsi menentukan nilai impedansi dari perbandingan tegangan dan arus (U_r/I_r) sehingga dapat mengukur jarak dari pengaman ke titik gangguan yang terjadi.
- Sedangkan huruf T adalah komponen *time delay*, komponen ini merupakan rangkaian waktu dimana nilainya tergantung dari jarak pengaman ke titik gangguan.

Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa arus dan tegangan yang terbaca pada CT dan VT dibandingkan pada komponen *power directional* (P) dan komponen *distance* (D) untuk memperoleh arah gangguan dan nilai impedansi gangguan, kemudian dari hasil perbandingan tersebut pula ditentukan gangguan yang terjadi termasuk zone 1, zone 2, atau zone 3 sehingga rele dapat bereaksi.

2.2.8.2 Pengaturan Rele Jarak

Pengaturan rele jarak berdasarkan pada daerah atau zona dari saluran transmisi yang akan diproteksi. Zona ini menggambarkan seberapa panjang saluran yang diproteksi oleh rele jarak. Secara umum, zona pada proteksi rele jarak terdiri dari 3 zona, yaitu :

- a. Zona 1 : mengamankan saluran yang diproteksi (*protected line*)

Pengaturan daerah yang diproteksi pada zona 1 adalah 80-85 % impedansi saluran yang diproteksi.

- b. Zona 2 : mengamankan saluran yang diproteksi (*protected line*) dan saluran sebelahnya (*adjacent line*)

Pengaturan daerah yang diproteksi pada zona 2 adalah 115-120 % impedansi saluran yang diproteksi

- c. Zona 3 : mengamankan saluran sebelahnya (*adjacent line*)

Pengaturan daerah yang diproteksi pada zona 3 adalah ditambah 115-120% saluran sebelahnya (*adjacent line*)

Ada dua hal yang harus dikoordinasikan dalam penyetelan rele jarak yaitu:

- a) Koordinasi antara rele salah satu ujung dengan rele dengan ujung lainnya dalam satu saluran yang diamankan sehingga jika rele pada salah satu ujung saluran yang diamankan bekerja seketika, maka rele pada ujung lain akan bekerja seketika pula.
- b) Koordinasi antara suatu rele dengan rele seksi berikutnya, sehingga tidak terjadi tumpang tindih (*overlapping*) dengan mengamankan seksi berikutnya

ataupun jika terjadi tumpang tindih dilakukan perlambatan waktu untuk rele bukan pada daerah pengamannya.

2.2.8.3 Karakteristik Rele Jarak

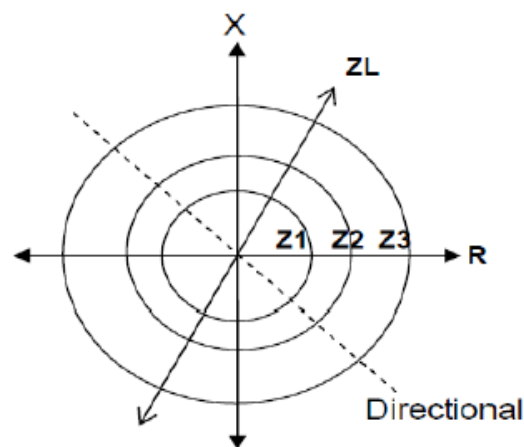
Sudah menjadi ketentuan bahwa untuk menggambarkan ratio tegangan dan arus sama yang merupakan nilai impedansi $\left(\frac{V}{I} = Z\right)$ digunakan diagram R-X, dimana pusat koordinatnya menggambarkan lokasi rele dan batas awal zona yang diamankan, koordinat reaktansi X dan absisnya tahanan R. karakteristik waktu rele jarak pada umumnya adalah *definite time*.

Rele jarak terbagi menjadi empat karakteristik, yaitu : tipe impedansi, tipe admitansi (mho tipe), tipe reaktansi dan tipe quadrilateral. Berikut penjelasan singkat mengenai keempat karakteristik rele jarak.

1. Tipe impedansi

Ciri-cirinya:

- Merupakan lingkaran dengan titik pusatnya ditengah tengah, sehingga mempunyai sifat *non directional*. Untuk diaplikasikan sebagai pengaman SUTT perlu ditambah rele directional.
- Mempunyai keterbatasan mengantisipasi gangguan tanah high resistance.

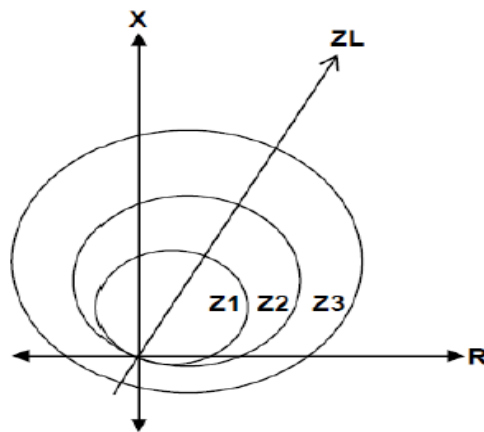


Gambar 2.11 Karakteristik Impedansi

2. Tipe admitansi

Ciri-cirinya:

- Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat *directional*
- Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*.

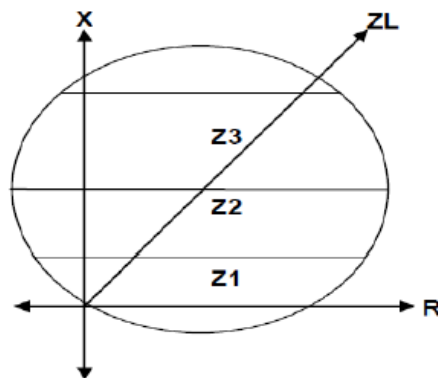


Gambar 2.12 karakteristik admitansi

3. Tipe reaktansi

Ciri-cirinya:

- Karakteristik reaktansi mempunyai sifat *non directional*. Untuk aplikasi di SUTT perlu ditambah rele *directional*.
- Dengan setting jangkauan resistif cukup besar maka rele resistance dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi.

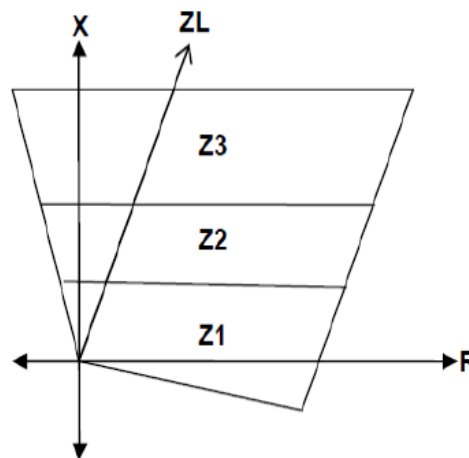


Gambar 2.13 Karakteristik Reaktansi

4. Tipe quadrilateral

Ciri-cirinya:

- Karakteristik quadrilateral merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu : reactance, terarah, resistif
- Dengan setting jangkauan resistif cukup besar, maka karakteristik rele ini dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi
- Umumnya kecepatan rele lebih lambat



Gambar 2.14 Karakteristik Quadrilateral

2.2.8.4 Pola Proteksi Rele Jarak

Untuk dapat meningkatkan koordinasi waktu sistem proteksi pada saluran udara tegangan tinggi, diperlukan suatu peralatan yang dapat mengirim dan menerima sinyal dari satu atau beberapa rele di satu Gardu Induk (GI) ke rele di GI yang lain. Peralatan teleproteksi merupakan peralatan yang dapat mengirim dan menerima sinyal (*data or logic status*) dari satu rele ke rele yang lain. Dikarenakan jarak antara satu gardu induk dengan gardu induk yang lain cukup jauh maka diperlukan suatu media komunikasi yang dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal. Saluran komunikasi yang digunakan dapat berupa serat optik (*fiber optic*), *Power Line Communication* (PLC) atau melalui gelombang mikro (*microwave*).

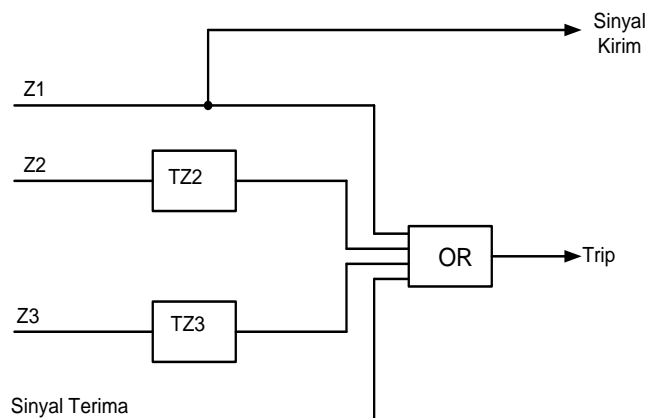
Dasar pemilihan pola proteksi rele jarak dengan menggunakan teleproteksi adalah untuk meningkatkan keandalan sistem yaitu jika terjadi

gangguan di luar zona satu rele tetapi masih berada pada saluran yang diamankan (ujung saluran transmisi), maka rele jarak yang telah dilengkapi teleproteksi akan bekerja lebih cepat dibandingkan rele jarak tanpa teleproteksi. Waktu pemutusan gangguan yang cepat pada saluran transmisi mempunyai beberapa keuntungan yaitu :

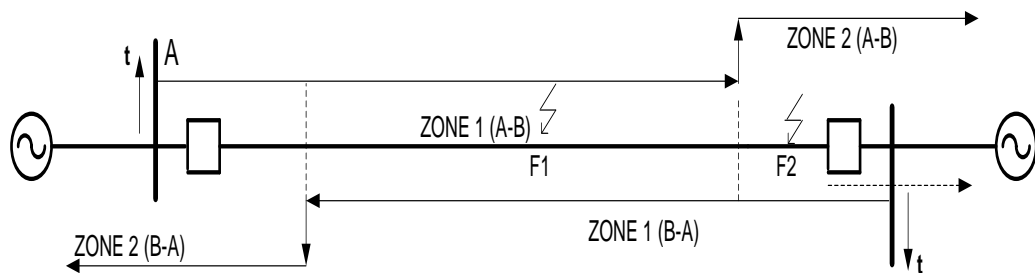
- Mengurangi kerusakan pada konduktor atau penghantar
- Meningkatkan stabilitas sistem
- Memungkinkan diterapkannya *autoreclosing* untuk meningkatkan ketersediaan penghantar sehingga peluang (lama dan frekuensi) pemadaman dapat dikurangi.

a) Pola DUTT (*Direct Underreach Transfer Trip*)

Salah satu cara yang paling sederhana untuk mengurangi waktu pemutusan gangguan yang terjadi di ujung saluran transmisi adalah dengan menerapkan *Direct Underreach Transfer Trip* atau sinyal *trip* secara langsung, gambar 2.15 menunjukkan gambar rangkaian logika dari pola DUTT. Apabila terjadi gangguan pada zona satu rele jarak, maka rele akan bekerja mengirim sinyal trip ke PMT dan pada saat yang bersamaan rele juga mengirim sinyal (*direct transfer trip signal*) ke rele lain di ujung terminal. Rele yang menerima sinyal tersebut akan langsung (*instantaneous*) mengirim sinyal tripping ke PMT.



Gambar 2.15 Rangkaian logika pola DUTT

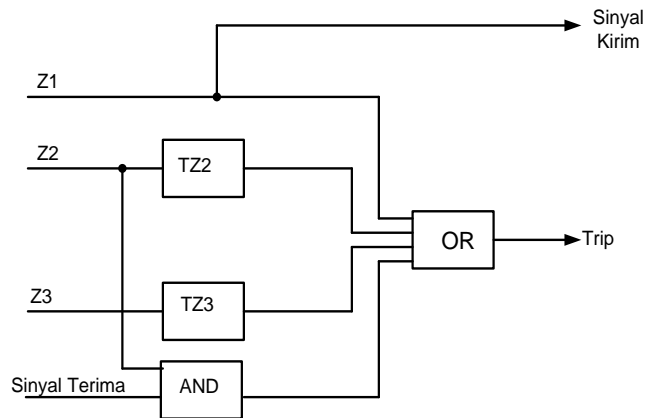


Gambar 2.16 Penyetelan zone 1 dan zone 2 rele jarak pada pola DUTT

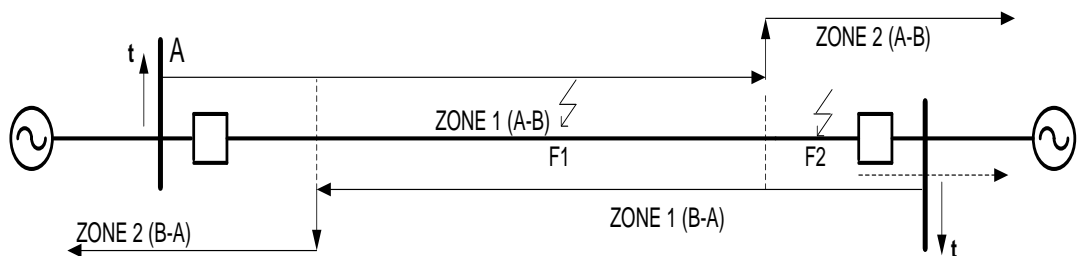
Pada gambar 2.16 apabila gangguan di F1, kedua rele jarak akan bekerja seketika untuk mentripkan PMT A dan B karena pada gangguan di F1 termasuk zona 1 dari rele A dan rele B. Pada gangguan di F2 Rele jarak di A akan melihatnya sebagai zona 2, sehingga rele jarak di A akan mentripkan PMT dengan waktu zona 2 yang lebih lambat, akan tetapi dengan bantuan saluran komunikasi signal Z1 di B dikirimkan ke rele A, tanpa melalui rele jarak di A, PMT A ditripkan.

b) Pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*)

Pola *direct under-reach transfer tripping* yang telah dijelaskan sebelumnya dapat dibuat lebih aman dengan cara mengawasi sinyal yang diterima (*received signal*) dengan operasi dari zona dua rele jarak sebelum mengirim sinyal trip secara langsung ke PMT seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 Prinsip kerja dari pola PUTT adalah apabila gangguan dirasakan pada zona satu rele jarak, maka rele akan mengirim sinyal trip ke PMT dan pada saat yang bersamaan juga mengirim sinyal ke rele di ujung terminal yang lain. Rele yang menerima sinyal *received* hanya akan bekerja secara langsung apabila telah merasakan adanya gangguan pada zona dua relenya. Pola PUTT mempunyai kelebihan yaitu untuk gangguan di daerah ujung saluran transmisi yang diamankan (zona dua) maka rele di kedua ujung saluran yang diamankan akan trip seketika karena menerima sinyal trip dari rele di ujung yang lain.



Gambar 2.17. Rangkaian logika Pola PUTT



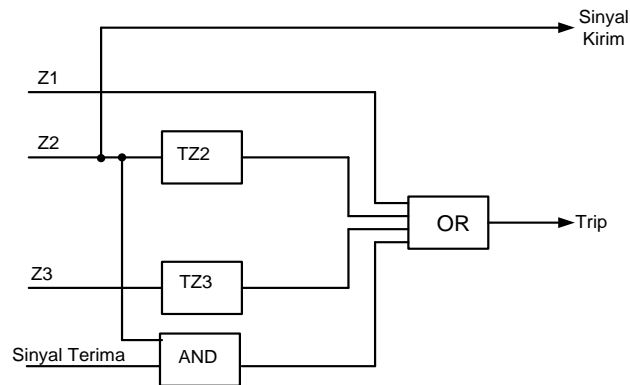
Gambar 2.18. Penyetelan zone 1 dan zone 2 rele jarak pada pola PUTT

Pada gambar 2.18 apabila gangguan di F1, kedua rele jarak akan bekerja seketika untuk mentripkan PMT A dan B karena pada gangguan di F1 termasuk zona 1 dari rele A dan rele B. Pada gangguan di F2, rele jarak A akan melihatnya sebagai zona 2 dan rele jarak B melihatnya sebagai zona 1, agar PMT A dan B secara bersamaan dapat ditripkan. Maka rele jarak B akan mengirim signal ke rele jarak A untuk mentripkan PMT A sehingga waktu zona 2 rele jarak A dapat dipotong dan PMT A dapat trip dalam waktu seketika.

c) Pola POTT (*Permissive Overreach Transfer Trip*)

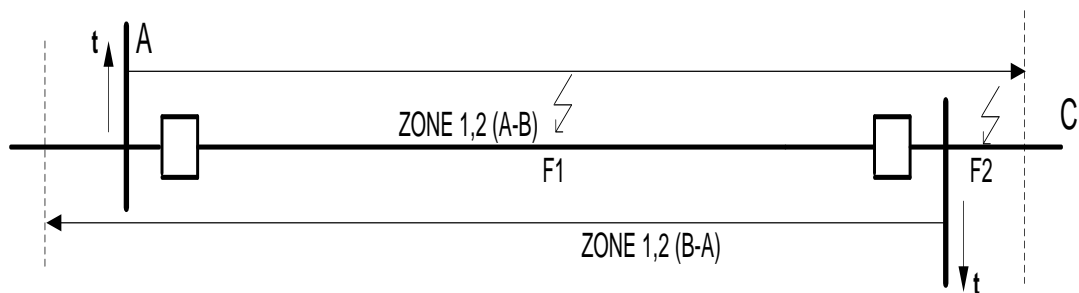
Prinsip kerja pola POTT adalah apabila ada gangguan yang dirasakan oleh zona dua rele jarak, maka rele akan mengirim sinyal ke rele di ujung

terminal yang lain dan rele di ujung terminal yang lain tersebut hanya akan bekerja apabila gangguannya juga dirasakan oleh zona dua rele tersebut. Gambar rangkaian logikanya adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2.19



Gambar 2.19. Rangkaian logika permissive overreach transfer trip

Sinyal yang diterima oleh rele, umumnya di monitor oleh kontak arah rele (*directional rele contact*) agar dapat bekerja (tripping) hanya jika zona dua *forward* rele bekerja.



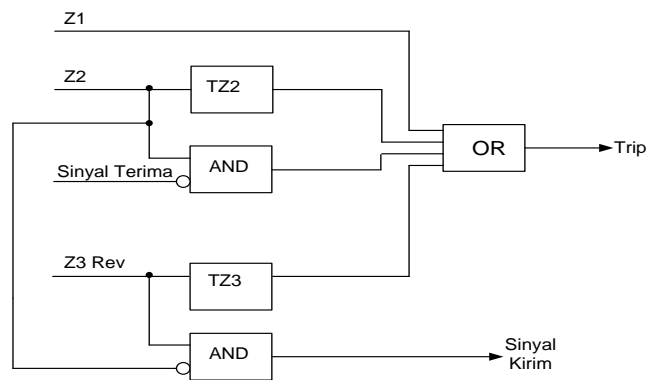
Gambar 2.20. Penyetelan zone 1 dan zone 2 rele jarak pada pola POTT

Pada gambar 2.20, untuk gangguan di F1, zona 1 dan zona 2 rele jarak di A dan di B bersama-sama mendeteksi gangguan yang berada didalam daerah jangkauannya, sehingga masing-masing rele mengirim sinyal trip ke rele jarak lawannya, sehingga PMT trip seketika.

Bila gangguan terjadi di F2, rele jarak di A mendeteksi gangguan itu, tetapi rele jarak di B tidak melihat gangguan, sehingga rele jarak di A akan mentripkan PMT setelah menghitung waktu tunda dengan kata lain rele jarak di A memberi kesempatan kepada rele jarak di B kea arah C untuk bekerja terlebih dahulu. Inilah yang dinamakan POTT.

d. Pola Bloking

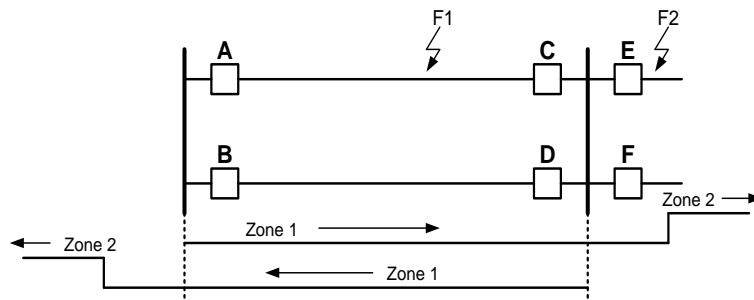
Pola bloking menggunakan logika yang berbeda dibandingkan pola-pola yang telah dijelaskan sebelumnya. Pengirim sinyal blocking ini (agar rele tidak bekerja) dilakukan oleh zona arah belakang (*reverse*). Gambar logika diagramnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.21. Rangkaian logika pola bloking

Jika rele di A merasakan gangguan di zone dua dan rele di B mendeteksi gangguan tersebut berada pada zone tiga arah belakang atau reverse, maka rele di B akan mengirim sinyal blocking ke rele di A sehingga rele di A tidak trip seketika tetapi trip dengan waktu tunda t_2 (waktu zona dua). Rele jarak dengan pola *blocking* akan trip seketika jika memenuhi dua kondisi di bawah ini yaitu :

- Gangguan dirasakan oleh zone satu rele
- Rele di ujung terminal yang lain mendeteksi gangguan di zone dua dan pada saat yang bersamaan tidak menerima sinyal blocking



Gambar 2.22. Penyetelan zone 1 dan zone 2 rele jarak pada pola bloking

Dalam pola ini rela jarak A dan B dipasang over reach seperti terlihat pada gambar 2.22, sehingga apabila gangguan yang terjadi di seksi 1 dari SUTT (gangguan di F1) pasti akan dilihat oleh rele jarak A dan rele jarak B dalam zone 1 sehingga PMT A dan PMT B akan trip secara bersamaan secara instantinuous.

Masalahnya timbul apabila gangguan yang terjadi pada seksi 2 dari SUTT (gangguan di F2) yang masih termasuk dalam zone 1 dari PMT A, dalam hal ini PMT A akan trip. PMT A tidak perlu trip, untuk mencegah PMT A trip, rele jarak B apabila melihat gangguan dibelakangnya harus mengirim sinyal kepada rele impedansi A untuk mencegah tripnya PMT Pada pola bloking ini merek dan tipe rele jarak yang digunakan harus sejenis.

2.2.9 Teleproteksi

Berfungsi mengirimkan dan menerima “*command*” berupa kontak dari sistem proteksi sehingga harus mempunyai keandalan yang tinggi dalam pemrosesannya dan keamanan yang baik agar perintah yang dikirim maupun yang diterima sesuai dengan perintah yang dikirim dari sistem proteksi bukan perintah yang tidak diinginkan (*unwanted command*).

Teleproteksi dioperasikan bersama peralatan Rele Proteksi (*Distance Relay, Differensial Relay* dan lain - lain) atau berdiri sendiri sebagai sarana

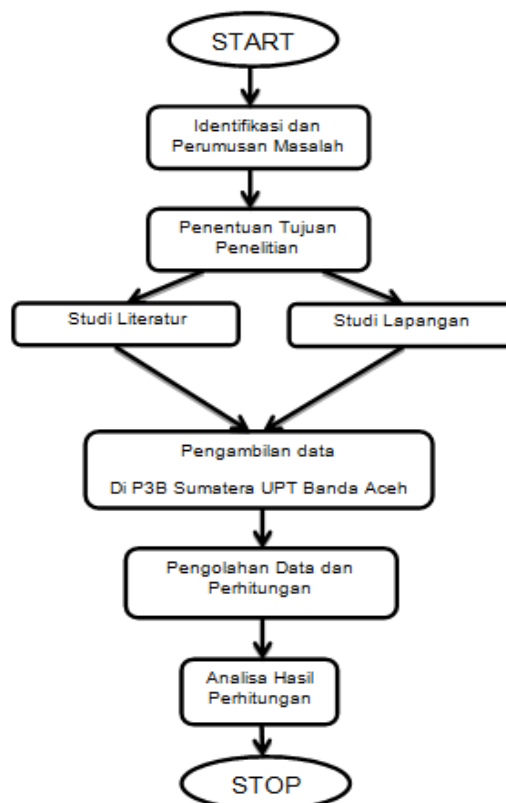
proteksi peralatan/system jaringan Listrik seperti: OLS, *Direct Trip*, *Remote Alarm*, dan lain -lain.

Macam-macam teleproteksi sesuai jenis pemancar dan penerima, yaitu:

- HFTP (*High Frekuensi Teleprotection*):Peralatan teleproteksi yang menggunakan carrier pemancar/penerima sendiri.
- LFTP (*Low Frekuensi Teleprotection*): Peralatan teleproteksi yang tidak menggunakan carrier pemancar/penerima sendiri, melainkan ditumpangkan ke media lain.

2.3 Kerangka Pemikiran

Pada penulisan skripsi ini dapat dijelaskan secara singkat melalui kerangka pemikiran seperti pada gambar 2.23 dibawah ini:



Gambar 2.23 Kerangka Pemikiran