



2.2 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *Generator Station/* Pembangkit Listrik sampai *distribution station* hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe saluran transmisi listrik.

Berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan terdiri:

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

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

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

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya *single* atau *double* sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (*double* atau *qudrapole*) dan Berkas konduktor disebut *bundle conductor*.



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

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

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

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

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 lambing sebagai berikut :

1. AAC (*All-Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
4. ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.^[5]



2.3 Gardu Induk

2.3.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu induk di sebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari transformator dan rangkaian *switchgear* yang tergabung dalam satu kesatuan melalui sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Gardu Induk juga merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah.

2.3.2 Fungsi Gardu Induk

Fungsi gardu induk secara umum :

a. Mentransformasikan daya listrik :

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150/70 KV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150/20KV, 70 /20KV).
4. Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50/60 Hertz).

b. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari system tenaga listrik.



c. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

d. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (*feeder-feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

e. Menyalurkan tenaga listrik (kVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari pembangkit atau dari gardu induk lain.

2.3.3 Klasifikasi Gardu Induk

Gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam menurut dari segi fungsi, segi pemasangan, dan lain-lain. Berikut adalah jenis-jenis dari Gardu Induk:

2.3.3.1 Jenis-Jenis Gardu Induk Berdasarkan Pemasangan Peralatan

Gardu induk berdasarkan dari pemasangan peralatan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :

a. Gardu Induk Pasang Luar (*out door substation*)

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Pemasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (*switch board*) dan baterai. Gardu Induk jenis ini ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

b. Gardu Induk Pasangan Dalam (*indoor door substation*)

Gardu induk ini disebut Gardu induk pemasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada gardu induk pemasangan luar. Dari transformator utama, rangkaian *switchgear* dan panel kontrol serta batere semuanya. Jenis



pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

c. Gardu Induk Semi-Pasangan Luar (*semi-out door substation*)

Sebagian peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut juga gardu induk semi pasangan dalam.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah (*underground substation*)

Sesuai dengan namanya, gardu induk pasangan bawah tanah hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatan-peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Gardu induk jenis ini umumnya berada dipusat kota, karena tanah yang tidak memadai.

2.3.3.2 Jenis-Jenis Gardu Induk Berdasarkan Tegangan

Gardu induk berdasarkan dari tegangan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :

a. Gardu induk transmisi

Gardu induk transmisi yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 30 KV.

b. Gardu induk distribusi

Gardu induk distribusi yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau 6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.^[8]



2.4 Sistem Proteksi

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

1. Selektifitas

Sistem proteksi harus selektif dan memilih dengan tepat bagian mana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus terus beroperasi.

2. Sensitifitas

Sistem proteksi perlu memiliki suatu tingkat sensitifitas tinggi, agar gangguan dapat dideteksi sedini mungkin sehingga bagian yang terganggu, atau kemungkinan terjadinya kerusakan menjadi sekecil mungkin.

3. Andal

Sistem proteksi perlu memiliki suatu taraf keandalan yang tinggi dan senantiasa dapat bekerja pada kondisi – kondisi gangguan yang terjadi.

4. Cepat

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan waktu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan, serta stabilitas operasi.

5. Perluasan sistem

Sistem proteksi harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak akan mengganggu kemungkinan perluasan instalasi atau jaringan diwaktu yang akan datang.^[6]

Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengamanan adalah:

1. Generator
2. Transformator daya
3. Busbar
4. Transmisi

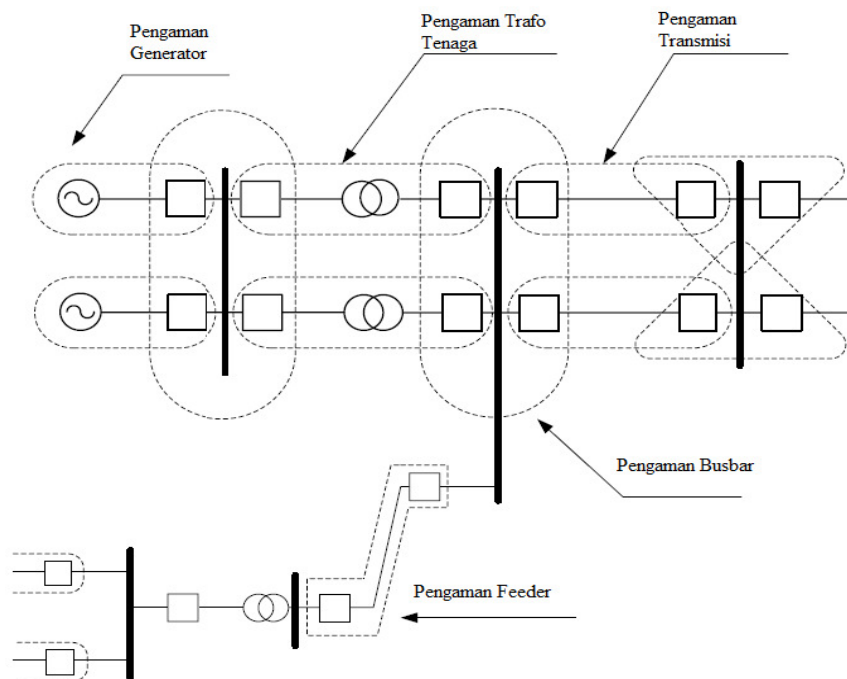


5. Feeder

Pembagian dalam 5 daerah pengamanan dilaksanakan dengan saling berhubungan meliputi daerah pengaman didekatnya. Sebagai contoh sistem tenaga listrik dan daerah pengamanannya diperlihatkan pada gambar 2.2.^[6]

Adapun tujuan dari sistem proteksi, yaitu :

- Mengurangi kerugian produksi
- Menempatkan dan memisahkan peralatan dari gangguan
- Mengetahui jenis dari gangguan
- Melindungi keseluruhan dari system (primer dan sekunder)
- Mengurangi kerusakan dan memperbaiki harga
- Mencegah panas dan medan magnet yang berlebih akibat dari kegagalan yang terjadi
- Melindungi dari jatuh tegangan untuk mempertahankan kestabilan
- Untuk melindungi keselamatan dari pegawai yang bekerja



Gambar 2.2 Pengaman Utama Pada Sistem Tenaga^[6]



2.5 Bagian Dari Suatu Sistem Proteksi

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan dan penyaluran energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik tersebut adalah merupakan suatu kesatuan antara PMT atau CB, transduser dan relai. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut dapat berakibat sistem proteksi tersebut tidak dapat berjalan dengan baik.

2.5.1 Transformator Ukur

Sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke relai (besaran listrik sekunder), transformator arus (CT) berfungsi sebagai pengindera yang apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapatkan gangguan. Transformator arus adalah suatu transformator yang berfungsi mengubah besaran arus primer yang tinggi menjadi arus sekunder yang lebih rendah serta memisahkan sisi sekundernya dengan sisi primer secara listrik dari jaringan tegangan tinggi. Transformator tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan sistem dengan perbandingan transformasi tertentu. Transformator Tegangan/Potensial (PT) adalah transformator instrumen yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sehingga dapat diukur dengan Voltmeter.

2.5.2 *Circuit breaker* (CB) / Pemutus tenaga (PMT)

PMT berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu. PMT dapat dioperasikan yaitu ditutup atau dibuka dengan mempergunakan sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu.

Jenis – jenis pemutus tenaga berdasarkan media pemutusannya yaitu:

1. Pemutus tenaga minyak (*oil circuit breaker*)

Pemutus tenaga minyak terdiri atas sebuah tangki atau bejana yang terbuat dari baja yang diisi dengan minyak isolasi. Pada salah satu



versi, isolator tembus (*bushing*) memasukkan tegangan fasa dan dihubungkan dengan suatu kontak tetap yang tidak bergerak. Kontak yang bergerak dikendalikan oleh relai yang dapat menutup atau membuka rangkaian.

Ketika rangkaian berada dalam keadaan tertutup, dan kontak tetap lalu kontak bergerak berada dalam keadaan terhubung maka arus listrik mengalir. Bilamana beban lebih sehingga arus lebih bekerja, kontak bergerak akan ditarik keluar dari kontak tetap agar hubungan jaringan menjadi terbuka. Pada saat kedua kontak membuka, terjadi suatu busur api yang sangat kuat dan juga gas – gas panas. Tekanan dari gas panas inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi dari minyak sekitar busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api dan memadamkannya. Pada pemutus tenaga minyak yang modern busur api dialokasikan dalam ruang pemadam sehingga tekanan gas panas menghasilkan suatu semburan minyak melintasi busur api.

2. Pemutus tenaga udara tiup (*air blast circuit breaker*)

Pemutus tenaga udara tiup tidak menggunakan minyak. Pada pemutus jenis ini udara bertekanan tinggi dengan kecepatan supersonic melintasi busur api. Udara bertekanan tinggi itu disimpan dalam sebuah tangki dan diisi sebuah kompressor, sehingga pemutus tenaga udara bertekanan dengan daya besar dapat membuka arus hubung singkat sebesar 40 kA pada tegangan 500 kV. Kebisingan yang terjadi saat pelepasan udara itu sedemikian nyaring sehingga lebih menyerupai ledakan yang dahsyat. Bilamana GI terletak dekat daerah pemukiman, perlu diatus agar kebisingan itu dikurangi.

3. Pemutus tenaga SF₆ (*SF₆ circuit breaker*)

Pemutus tenaga SF₆ merupakan sistem yang sepenuhnya tertutup, dan diisolasi dengan gas *Sulfur Hexaflorida* (SF₆). Jenis pemutus tenaga ini sangat baik namun mahal. Karena bentuknya yang kompak, peralatan yang berisolasi SF₆ dipakai ditempat – tempat yang harga tanahnya tinggi, seperti di tengah kota besar. Kini terdapat pula GI yang



berisolasi yang berisolasi gas SF₆. Gas SF₆ merupakan suatu terobosan sebagai bahan isolasi dan pemadaman bagi pemutus tenaga yang memiliki stabilitas termal yang tinggi, tidak beracun dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Pada tekanan yang sama, gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik 2,5 sampai 3 kali dari udara dan juga pada tekanan yang lebih rendah, gagal isolasi masih tinggi, dan menyamai yang dari minyak atau bahan isolasi padat. Kemampuan isolasi SF₆ untuk sebagian diperoleh dari sifatnya yang elektromagnetik sehingga menarik elemen – elemen bebas ke molekul.

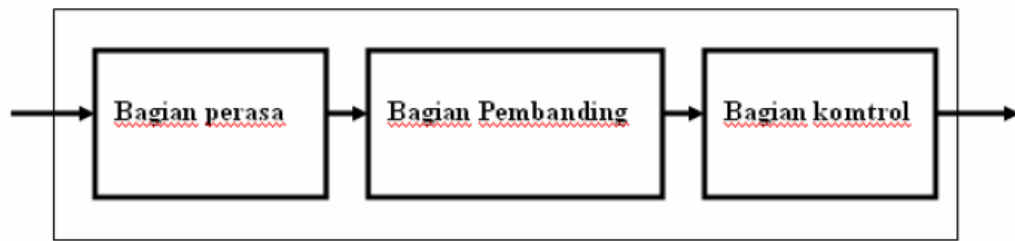
4. Pemutus tenaga vakum (*vaccum circuit breaker*)

Pemutus tenaga vakum bekerja atas dasar prinsip lain, karena terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak – kontak terbuka. Pemutus tenaga jenis ini tertutup secara rapi, tidak boleh bocor karena tidak terdapat kebisingan atau polusi. Kemampuannya terbatas hingga kira – kira 30 kV. Untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dipasang secara seri. Pemutus tenaga vakum banyak dipakai pada sistem bawah tanah ACR (*automatic circuit recloser*).^[6]

2.5.3 Relai Proteksi

Relai proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga untuk memisahkan sistem yang terganggu sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal.

Secara garis besar bagian dari sistem proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti gambar di bawah ini:



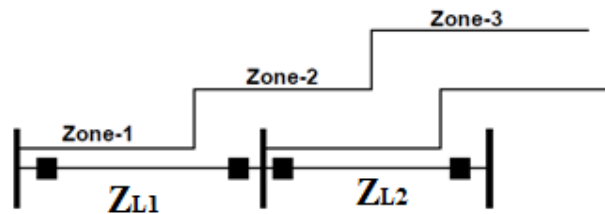
Gambar 2.3 Bagian Relai Pengaman^[6]

- Bagian perasa
Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan yang selanjutnya diteruskan ke bagian pembanding.
- Bagian pembanding
Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.
- Bagian kontrol
Pada bagian ini pembukaan pemutus tenaga (PMT) atau pemberian sinyal/tanda diatur dan dilaksanakan.^[6]

2.6 Relai Jarak

2.6.1 Pengertian Relai Jarak

Relai jarak atau distance relay digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada suatu sistem transmisi, baik SUTT maupun SUTET, dan sebagai cadangan atau backup untuk seksi didepan. Relai jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z), dan transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan pengamanan yaitu *Zone-1*, *Zone-2*, dan *Zone-3*, serta dilengkapi juga dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif didalam daerah pengamanannya.

Gambar 2.4 Daerah Pengamanan Relai Jarak^[1]

2.6.2 Prinsip Kerja Relai Jarak

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 :

= —

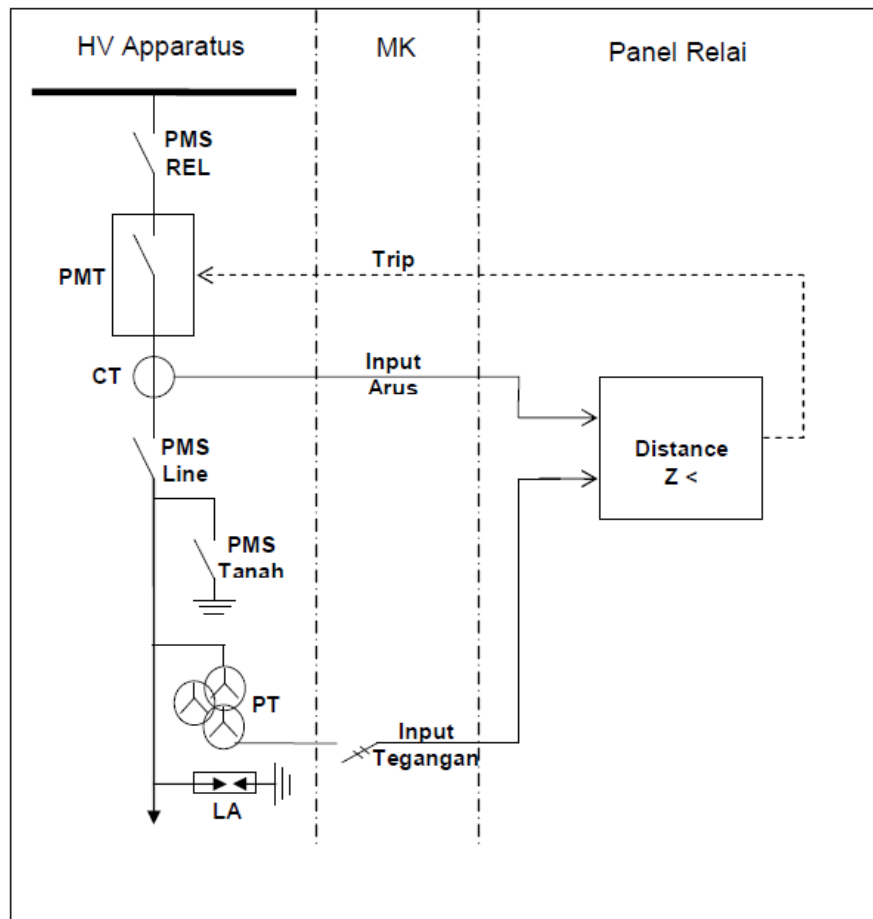
Dimana : Z_F =Impedansi (ohm)

V_F =Tegangan (Volt)

I_F =Arus gangguan

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

- Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi seting relai maka relai akan trip.
- Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi seting relai maka relai akan tidak trip.



Gambar 2.5. Blok Diagram Relai Jarak^[1]

2.6.3 Karakteristik Relai Jarak

Karakteristik relai jarak merupakan penerapan langsung dari prinsip dasar relai jarak, karakteristik ini biasa digambarkan didalam diagram R-X.

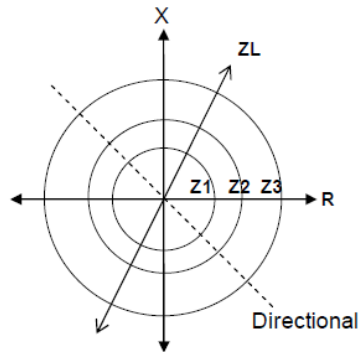
1. Karakteristik impedansi

Ciri-ciri nya :

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



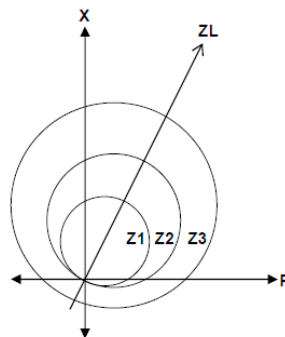
- Karakteristik impedansi sensitive oleh perubahan beban, terutama untuk SUTT yang panjang sehingga jangkauan lingkaran impedansi dekat dengan daerah beban.

Gambar 2.6 Karakteristik Impedansi^[1]

2. Karakteristik Mho

Ciri-ciri :

- Titik pusatnya bergeser sehingga mempunyai sifat directional.
- Mempunyai keterbatasan untuk mengantisipasi gangguan tanah *high resistance*.
- Untuk SUTT yang panjang dipilih *Zone-3* dengan karakteristik Mho lensa geser.

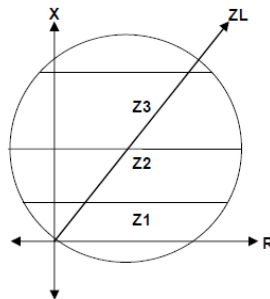
Gambar 2.7 Karakteristik Mho^[1]



3. Karakteristik Reaktance

Ciri-ciri :

- Karakteristik *reactance* mempunyai sifat non directional. Untuk aplikasi di SUTT perlu ditambah relai directional.
- Dengan seting jangkauan resistif cukup besar maka relai *reactance* dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi.

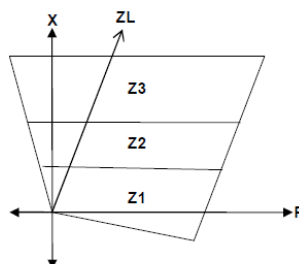


Gambar 2.8 Karakteristik *Reaktance*^[1]

4. Karakteristik Quadrilateral

Ciri-ciri :

- Karakteristik quadrilateral merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu : reaktansi, berarah dan resistif.
- Dengan seting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi.
- Umumnya kecepatan relai lebih lambat dari jenis mho.



Gambar 2.9 Karakteristik Quadrilateral^[1]



2.6.4 Pola Proteksi

Agar gangguan sepanjang SUTT dapat ditripkan dengan seketika pada kedua sisi ujung saluran, maka relai jarak perlu dilengkapi fasilitas teleproteksi.

1. Pola Dasar (*Basic Scheme*)

Ciri-ciri Pola dasar :

- Tidak ada fasilitas sinyal PLC
- Untuk lokasi gangguan antara 80 – 100 % relai akan bekerja *zone-2* yang waktunya lebih lambat (tertunda).

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

Prinsip Kerja dari pola PUTT :

- Pengiriman sinyal trip (*carrier send*) oleh relai jarak *zone-1*.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak *zone-2* bekerja disertai dengan menerima sinyal. (*carrier receipt*).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak kembali ke pola dasar.
- Dapat menggunakan berbeda type dan relai jarak.

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

Prinsip Kerja dari pola POTT :

- Pengiriman sinyal trip (*carrier send*) oleh relai jarak *zone-2*.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak *zone-2* bekerja disertai dengan menerima sinyal (*carrier receipt*).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak kembali ke pola dasar.
- Dapat menggunakan berbeda type dan relai jarak.



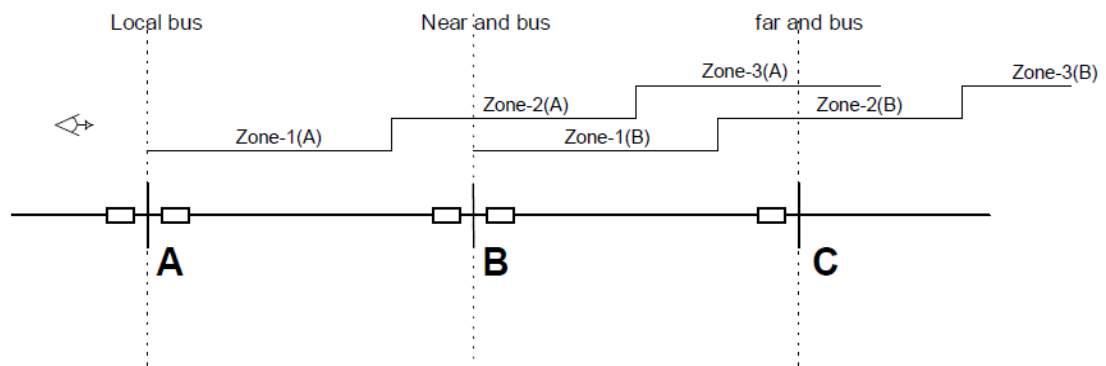
4. Pola Blocking (*Blocking Scheme*)

Prinsip Kerja dari pola PUTT :

- Pengiriman sinyal block (*carrier send*) oleh relai jarak *zone-3* reverse.
- Trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi bila relai jarak *zone-2* bekerja disertai dengan tidak ada penerimaan sinyal block. (*carrier receipt*).
- Bila terjadi kegagalan sinyal PLC maka relai jarak akan mengalami mala kerja.
- Membutuhkan sinyal PLC cukup *half duplex*.
- Relai jarak yang dibutuhkan merk dan typenya sejenis

2.6.5 Penyetelan Daerah Jangkauan pada Relai Jarak

Adapun gambar dibawah ini menunjukkan penyetelan daerah jangkauan pada relai jarak :



Gambar 2.10 Penyetelan Daerah Jangkauan pada Relai Jarak^[1]

Relai jarak pada dasarnya bekerja mengukur impedansi saluran, apabila impedansi yang terukur / dirasakan relai lebih kecil impedansi tertentu akibat gangguan ($Z_{set} < Z_F$) maka relai akan bekerja. Prinsip ini dapat memberikan selektivitas pengamanan, yaitu dengan mengatur hubungan antara jarak dan waktu kerja relai.



Untuk menghitung impedansi saluran 1 dan impeansi saluran 2, dapat digunakan persamaan :

$$Z_{L1} = Z \times L_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Z_{L2} = Z \times L_2 \dots\dots\dots(2.2)^{[7]}$$

Penyetelan relai jarak terdiri dari tiga daerah pengamanan, Penyetelan zone-1 dengan waktu kerja relai t1, zone-2 dengan waktu kerja relai t2 , dan zone-3 waktu kerja relai t3.

a. Penyetelan Zone-1

Dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data saluran, CT, PT, dan peralatan penunjang lain sebesar 10% - 20 % , zone-1 relai disetel 80 % dari panjang saluran yang diamankan.

$$\text{Zone-1} = 0,8 \cdot Z_{L1} (\text{Saluran}) \dots\dots\dots, (2.3)^{[1]}$$

Perhitungan nilai impedansi yang terbaca pada relai adalah :

$$Z_s \text{ Relai} = \text{Zone 1} \times \text{-----} \dots\dots\dots (2.4)$$

nCT = Rasio transformator arus

nCT = Rasio transformator tegangan

Waktu kerja relai seketika, (t1= 0) tidak dilakukan penyetelan waktu.

b. Penyetelan Zone-2

Prinsip peyetelan Zone-2 adalah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :



$$\text{Zone-2 min} = 1,2 \cdot Z_{L1} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Zone-2 mak} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \cdot Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.6)^{[1]}$$

Dengan :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan.

Z_{L2} = Impedansi saluran berikutnya yang terpendek (W)

Perhitungan nilai impedansi yang terbaca pada relai adalah :

$$Z_s \text{ Relai} = \text{Zone 2} \times \text{---} \dots\dots\dots (2.7)$$

n_{CT} = Rasio transformator arus

n_{CT} = Rasio transformator tegangan

Waktu kerja relai $t_2 = 0.4 \text{ s/d } 0.8 \text{ dt}$.

c. Penyetelan Zone-3

Prinsip penyetelan zone-3 adalah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

$$\text{Zone-3min} = 1.2 (Z_{L1} + 0,8 \cdot Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Zone-3mak1} = 0,8 (Z_{L1} + 1,2 \cdot Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Zone-3mak2} = 0,8 (Z_{L1} + k \cdot Z_{TR}) \dots\dots\dots (2.10)^{[1]}$$

Dengan :

Z_{L1} = Impedansi saluran yang diamankan

Z_{L2} = Impedansi saluran berikutnya yang terpanjang

Perhitungan nilai impedansi yang terbaca pada relai adalah :

$$Z_s \text{ Relai} = \text{Zone 3} \times \text{---} \dots\dots\dots (2.11)$$



n_{CT} = Rasio transformator arus

n_{VT} = Rasio transformator tegangan

Waktu kerja relai $t_3 = 1.2 \text{ s/d } 1.6 \text{ dt}$.

2.6.6 Pengukuran Impedansi Gangguan oleh Relai Jarak

Menurut jenis gangguan pada sistem tenaga listrik, terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah. Relai jarak sebagai pengaman utama harus dapat mendeteksi semua jenis gangguan dan kemudian memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang tidak terganggu.

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Pada saat terjadi gangguan tiga fasa yang simetris maka amplitudo tegangan fasa V_R, V_S, V_T turun dan bedafasa tetap 120 derajat. Impedansi yang diukur relai jarak pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa adalah sebagai berikut:

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

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

$$Z_R = \frac{V_{\text{relai}}}{I_{\text{relai}}} \dots \dots \dots (2.12)^{[2]}$$

keterangan:

Z_R = impedansi terbaca oleh relai

V_R = Tegangan fasa gangguan

I_R = Arus fasa gangguan

2. Gangguan hubung singkat dua fasa.

Untuk mengukur impedansi pada saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, tegangan yang masuk kekomparatorrelai 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 :



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

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

$$Z_R = \frac{-}{-} \dots\dots\dots(2.13)^{[2]}$$

Tabel 2.1.

Tegangan dan Arus Masukan Relai Untuk 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 | $V_T - V_R$ | $I_R - I_T$ |