



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Transmisi <sup>1</sup>

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lain, seperti dari stasiuan pembangkit ke gardu induk (*substasion*). Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara sistem pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan.

Sistem transmisi dapat dibedakan menjadi sistem transmisi tegangan tinggi (*High Voltage, HV*), sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage, EHV*), dan sistem transmisi ultra tinggi (*Ultra High Voltage, UHV*). Besarnya tegangan nominal saluran transmisi tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi berbeda-beda untuk setiap Negara atau perusahaan listrik di Negara tersebut, tergantung kepada kemajuan tekniknya masing-masing. Di Indonesia tegangan tinggi yang digunakan adalah 70 kV dan 150 kV dan tegangan ekstra tinggi adalah tegangan 500kV yang terinterkoneksi antara Jawa dan Bali. Sistem interkoneksi ekstra tinggi ini merupakan bagian terpenting dari penyaluran daya di Indonesia sehingga kelangsungan dan keandalan sistem ini harus selalu di jaga.

Sistem Penyaluran pada transmisi menggunakan jenis kawat penghantar fase jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang spesifikasinya secara teknis sesuai dengan SPLN 41-7 : 1981 tentang Hantaran Aluminium Berpenguat Baja (ACSR).<sup>2</sup>

Saluran transmisi merupakan suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segera

---

<sup>1</sup> Cristof Naek Halomoan Tobing, "Relai Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi", Wordpress, diakses dari <https://qtop.files.wordpress.com/2008/04/relai-jarak-di-saluran-transmisi1.pdf>, pada tanggal 21 Mei 2014 pukul 00.39.

<sup>2</sup> SPLN 41-7 : 1981, *Hantaran Aluminium Berpenguat Baja*.



dapat diantisipasi . Dalam hubungannya dengan sistem pengaman suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Masalah-masalah yang timbul pada saluran transmisi, diantaranya yang utama adalah :

### **2.1.1 Pengaruh perubahan frekuensi sistem**

Frekuensi dari suatu sistem daya berubah secara terus menerus dalam suatu nilai batas tertentu. Pada saat terjadi gangguan perubahan frekuensi dapat merugikan baik terhadap peralatan ataupun sistem transmisi itu sendiri. Pengaruh yang disebabkan oleh perubahan frekuensi ini terhadap saluran transmisi adalah pengaruh pada reaktansi. Dengan perubahan frekuensi dari  $\omega_1$  ke  $\omega_1'$  dengan kenaikan  $\Delta \omega_1$ , reaktansi dari saluran akan berubah dari  $X$  ke  $X'$  dengan kenaikan  $\Delta X$ . Perubahan reaktansi ini akan berpengaruh terhadap pengukuran impedansi sehingga impedansi yang terukur karena adanya perubahan pada nilai komponen reaktansinya akan berbeda dengan nilai sebenarnya.

### **2.1.2 Pengaruh dari ayunan daya pada sistem**

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



### 2.1.3 Pengaruh gangguan pada sistem transmisi

Saluran transmisi mempunyai resiko paling besar bila mengalami gangguan, karena itu akan berarti terputusnya kontinuitas penyaluran beban. Terputusnya penyaluran listrik dari pusat pembangkitan ke beban tentu sangat merugikan bagi pelanggan terutama industri, karena berarti terganggunya kegiatan operasi di industri tersebut. Gangguan penyediaan listrik tidak dikehendaki oleh siapa pun, tetapi ada kalanya gangguan tersebut tidak bisa dihindari. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengurangi akibat adanya gangguan tersebut atau memisahkan bagian yang terganggu dari sistem. Gangguan pada saluran transmisi merupakan 50% dari seluruh gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan tersebut gangguan yang terbesar frekuensi terjadinya adalah gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, yaitu sekitar 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara. Suatu sistem proteksi harus dapat mendeteksi semua gangguan apakah itu gangguan antar fasa atau gangguan satu fasa ketanah. Karena sifat-sifat gangguan tersebut berbeda maka untuk mendapatkan pengukuran yang betul adalah dengan mengukur impedansi yang berbeda-beda untuk setiap gangguan.

## 2.2 Relai Proteksi Pada Sitem Penyaluran <sup>3</sup>

Relai proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Relai proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Dalam

---

<sup>3</sup> Hazairin Samaulah, *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, 2004, hlm. 3.



relai proteksi pada sistem penyaluran terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Perangkat sistem proteksi.
2. Fungsi relai proteksi.
3. Syarat-syarat sistem proteksi.
4. Peranan relai proteksi.
5. Pemberian sifat selektif pada relai.

### 2.2.1 Perangkat sistem proteksi <sup>4</sup>

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

1. Relai sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah *trip* kepada pemutus tenaga (PMT).
2. Trafo arus dan trafo tegangan sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke relai (besaran listrik sekunder).
3. Pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
4. Baterai beserta alat pengisi (*bateray charger*) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya relai, peralatan bantu *tripping*.
5. Pengawatan (*wiring*) yang terdiri dari sirkit sekunder (arus atau tegangan), sirkit *tripping* dan sirkit peralatan bantu.

#### 2.2.1.1 Relai

Relai merupakan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidak stabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga agar dapat terpisah pada bagian yang terganggu.

---

<sup>4</sup> Dasar Sitem Proteksi, PT. PLN (Persero) PUSDIKLAT,2009, hlm. 9.



### 2.2.1.2 Transformator arus (CT) dan Transformator tegangan (PT)

Transformator arus (CT) / *current transformer* adalah suatu transformator yang berfungsi mengubah besaran arus primer yang tinggi harganya menjadi arus sekunder yang lebih rendah serta memisahkan sisi sekunder (rangkaiannya) dengan sisi primer secara listrik dari jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukur arus, transformator arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan relai proteksi.

Kumparan primer transformator arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedang kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau relai proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan relai membutuhkan arus 1 atau 5 A. Transformator arus bekerja sebagai transformator yang terhubung singkat, kawasan transformator arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 s/d 1,2 kali arus yang akan diukur, sedang transformator arus untuk proteksi harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.

Fungsi transformator arus :

1. Menyesuaikan besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran atau proteksi.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
3. Memungkinkan standar arus pengenal pada sisi sekunder.

Pada prinsipnya transformator arus tidak berbeda dengan transformator daya.

Hal utama yang membedakannya adalah terletak pada kondisi kerjanya yaitu :

1. Transformator arus bekerja pada kondisi hamper mendekati keadaan hubung singkat karena beban sekunder merupakan impedansi yang rendah.
2. Arus sekunder ditentukan oleh arus primernya dan bukan oleh impedansi rangkaian sekunder, arus primer ditentukan oleh beban rangkaian dari sistem tenaga listrik.
3. Perbandingan arus primer dan arus sekunder diutamakan sesuai dengan kebutuhan, ketelitian merupakan persyaratan yang harus dipenuhi.



Transformator tegangan (PT) / *potential transformer* adalah transformator satu fasa *step-down* yang mentransformasi tegangan tinggi atau tegangan menengah ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indicator, alat ukur, relay, dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi. Tegangan perlengkapan seperti indicator, meter, dan relai dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan.

Fungsi PT yaitu :

1. Memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan sistem pengukuran.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
3. Memungkinkan standar arus pengenal pada sisi sekunder.

Prinsip kerja transformator jenis ini sama dengan transformator daya, meskipun demikian rancangannya berbeda dalam beberapa hal, yaitu :

1. Kapasitasnya kecil (10 s/d 150 VA ), karena digunakan untuk daya yang kecil.
2. Galat factor transformasi dan sudut fasa tegangan primer dan sekunder lebih kecil untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
3. Salah satu terminal pada sisi tegangan tinggi dibumikan / ditanahkan.
4. Tegangan pengenal sekunder biasanya 100 atau  $100\sqrt{3}$  V.

Pada transformator tegangan terdapat 2 macam rating tegangan, yaitu :

a. Rating tegangan primer

Nilai standar tegangan primer dari trafo satu fasa yang terpasang antara fasa dan tanah pada sistem tiga fasa atau antara netral dan tanah adalah sebesar kali nilai nominal tegangan sistem.

b. Rating tegangan sekunder



Nilai tegangan sekunder standar menurut IEC 186 untuk PT yang terpasang antara fasa-fasa pada sistem tiga fasa atau nilai standar untuk PT satu fasa pada sistem satu fasa adalah:

1. Di Negara-negara Eropa saat ini 100 V dan 110 V; 200 V *for extended secondary circuits*.
2. Di Amerika dan Kanada saat ini 120 V pada sistem distribusi ; 115 V pada sistem transmisi ; 230 V *for extended secondary circuits*.

Untuk PT satu fasa yang digunakan untuk sambungan antara fasa tanah pada sistem 3 fasa, dimana nilai rating tegangan primer PT adalah suatu nilai yang dibagi dengan  $\sqrt{3}$  , maka nilai rating tegangan sekundernya dibagi dengan  $\sqrt{3}$ , sehingga sesuai dengan nilai transformasi rasionya.

#### 2.2.1.3 Pemutus tenaga (PMT)

Sakelar pemutus tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.

Dalam hubungannya dengan relai pengaman agar pemutus tenaga tersebut dapat dioperasikan / dikontrol oleh relai pengaman agar dapat bekerja membuka kontak-kontaknya, maka pemutus tersebut harus di lengkapi dengan kumparan pelepas (*tripping coil*), dimana jika kumparan pelepas *tripping coil* ini bekerja maka otomatis kontak-kontaknya dari pemutus tenaga membuka.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.



Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang akan dibebankan, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT yaitu :

1. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang arus maksimum *continue* yang akan dialirkan melalui pemutus daya.
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung, hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

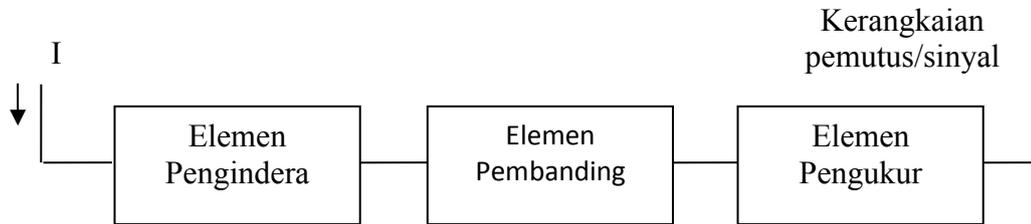
Tegangan pengenal PMT dirancang untuk lokasi yang ketinggiannya maksimum 1000 meter diatas permukaan laut. Jika PMT dipasang pada lokasi yang ketinggiannya lebih dari 1000 meter, maka tegangan operasi maksimum dari PMT tersebut harus dikoreksi dengan factor yang diberikan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Faktor Koreksi Antara Tegangan Dan Lokasi

Ketinggian (meter)	Faktor Koreksi
1000	1,00
1212	0,98
1515	0,95
3030	0,80



Secara garis besar bagian dari relai proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti pada blok diagram gambar 2.1 di bawah ini :<sup>5</sup>



**Gambar 2.1 Blok Diagram Relai Proteksi**

Dari gambar 2.1 diatas dapat dijelaskan bahwa masing-masing elemen / bagian mempunyai fungsi sebagai berikut :

a. Elemen Pengindra

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relai yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.

b. Elemen Pembanding

Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relai.

c. Elemen Pengukur

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.

<sup>5</sup> Aslimeri, Ganefri, dan Zaedel Hamdi, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008, hlm. 372.



### 2.2.2 Fungsi relai proteksi <sup>6</sup>

Maksud dan tujuan pemasangan relai proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang lebih besar, dengan cara :

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.
2. Melepaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu atau yang mengalami keadaan abnormal lainnya secepat mungkin sehingga kerusakan instalasi yang terganggu atau yang dilalui arus gangguan dapat dihindari atau dibatasi seminimum mungkin dan bagian sistem lainnya tetap beroperasi.
3. Memberikan pengaman cadangan bagi instalasi lainnya.
4. Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang terbaik kepada konsumen.
5. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

### 2.2.3 Syarat-syarat sistem proteksi

Dalam perencanaan sistem proteksi, maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Sensitif.
2. Selektif.
3. Cepat.
4. Andal.
5. Ekonomis.
6. Sederhana.

#### 2.2.3.1 Sensitif

Suatu relai proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk

---

<sup>6</sup> Ibid., hlm. 374.



dalam jangkauan pengamannya. Relai proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi didaerah pengamannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentripkan pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.

#### 2.2.3.2 Selektif

Selektifitas dari relai proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengaman. Bagian yang terbuka dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relai proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi didaerah pengamannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamannya.

#### 2.2.3.3 Cepat

Makin cepat relai proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

#### 2.2.3.4 Andal

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu relai proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun, tetapi relai proteksi bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila relai gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya relai lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relai proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.



#### 2.2.3.5 Ekonomis

Dengan biaya yang sekecil-kecilnya diharapkan relai proteksi mempunyai kemampuan pengaman yang sebesar-besarnya. Sistem proteksi pertimbangannya adalah besar biaya dari peralatan sistem yang dilindungi dan biaya harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

#### 2.2.3.6 Sederhana

Perangkat relai proteksi disyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel.

### 2.2.4 Peranan relai proteksi <sup>7</sup>

Peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik dan jaringan transmisi memiliki nilai investasi yang sangat besar, sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisien dan optimal, tetapi juga teramankan dari gangguan dan kerusakan yang fatal. Untuk itu, relai proteksi sangat diperlukan pada jaringan proteksi saluran transmisi. Adapun peranan relai proteksi antara lain :

1. Memutuskan hubungan sistem (*tripping*) pada jaringan transmisi yang terganggu dengan cepat guna menjaga stabilitas, kontinuitas, dan pelayanan kerja dari sistem.
2. Memberikan sinyal untuk melepaskan kontak pemutus tenaga/ *circuit breaker* dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal yakni hubung singkat.
3. Melokalisir daerah yang terganggu untuk mencegah meluasnya pengaruh dan akibat yang timbul bagi peralatan lainnya.
4. Mengurangi kerugian produksi.
5. Menempatkan dan memisahkan peralatan dari gangguan.
6. Mengetahui jenis dari gangguan.
7. Melindungi keseluruhan dari sistem.
8. Mengurangi kerusakan dan memperbaiki harga.

---

<sup>7</sup> A. Muhammad Syafar, *Studi Keandalan Distance Relay Jaringan 150 kV*, 2010, Hlm. 2.



9. Mengurangi waktu produksi.
10. Mencegah panas dan medan magnetik yang berlebihan pada peralatan dari akibat kegagalan yang terjadi.
11. Melindungi dari jatuh tegangan untuk mempertahankan kestabilan.
12. Untuk melindungi keselamatan dari pegawai yang bekerja.

### 2.2.5 Pemberian sifat selektif pada relai <sup>8</sup>

Untuk pemberian sifat selektif pada relai proteksi yaitu sifat untuk membedakan atau menentukan bagian mana dari sistem yang mengalami gangguan dapat dilakukan dengan dua cara yakni :

#### 1. Sistem *Pilot Relaying*

Kata *pilot* berarti pada ujung saluran transmisi dipasang saluran transmisi dipasang saluran informasi yang dapat menyalurkan informasi timbal balik. Prinsip kerja dari *relay pilot* ini adalah pemberian informasi lewat penghantar-penghantar suatu rangkaian telepon sebagai media fisik , sinyal-sinyal frekuensi tinggi yang digandengkan pada saluran transmisi daya itu sendiri dari relai ke relai yang lainnya. Alat ini dikenal sebagai PLC atau *Power Line Carrier*.

#### 2. Sistem Keterlambatan Waktu Kerja Relai

Yaitu dengan memberikan keterlambatan waktu yang berlainan bagi setiap relai, sehingga diperoleh koordinasi kerja yang lebih baik antar relai. Jadi, untuk mendapatkan selektifitas pada sistem proteksi digunakan kelambatan waktu yang bertingkat (*stepped delay time*).

## 2.3 Relai Jarak <sup>9</sup>

Sesuai standart SPLN 52-1 : 1984, relai jarak adalah relai yang digunakan sebagai pengaman utama pada SUUT.<sup>10</sup> Relai jarak bekerja dengan mengukur

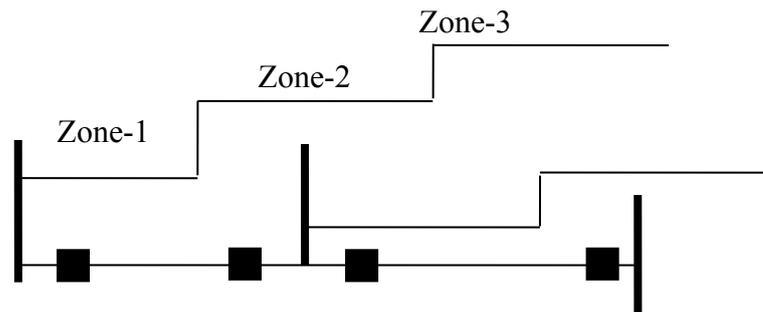
<sup>8</sup> Ibid., hlm. 3.

<sup>9</sup> Pelatihan O&M Relai Proteksi Jaringan, PT. PLN (Persero) P3B, 2006, hlm. 61.

<sup>10</sup> SPLN 52-1 : 1984, Pola Pengaman Sistem Transmisi.



besaran impedansi ( $Z$ ) transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu Zone 1, Zone 2, Zone 3 serta dilengkapi juga dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif di dalam daerah pengamannya.



**Gambar 2.2 Daerah Pengaman Relai Jarak**

### 2.3.1 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 :

$$Z_f = \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$Z_f$  = Impedansi (ohm)

$V_f$  = Tegangan (Volt)

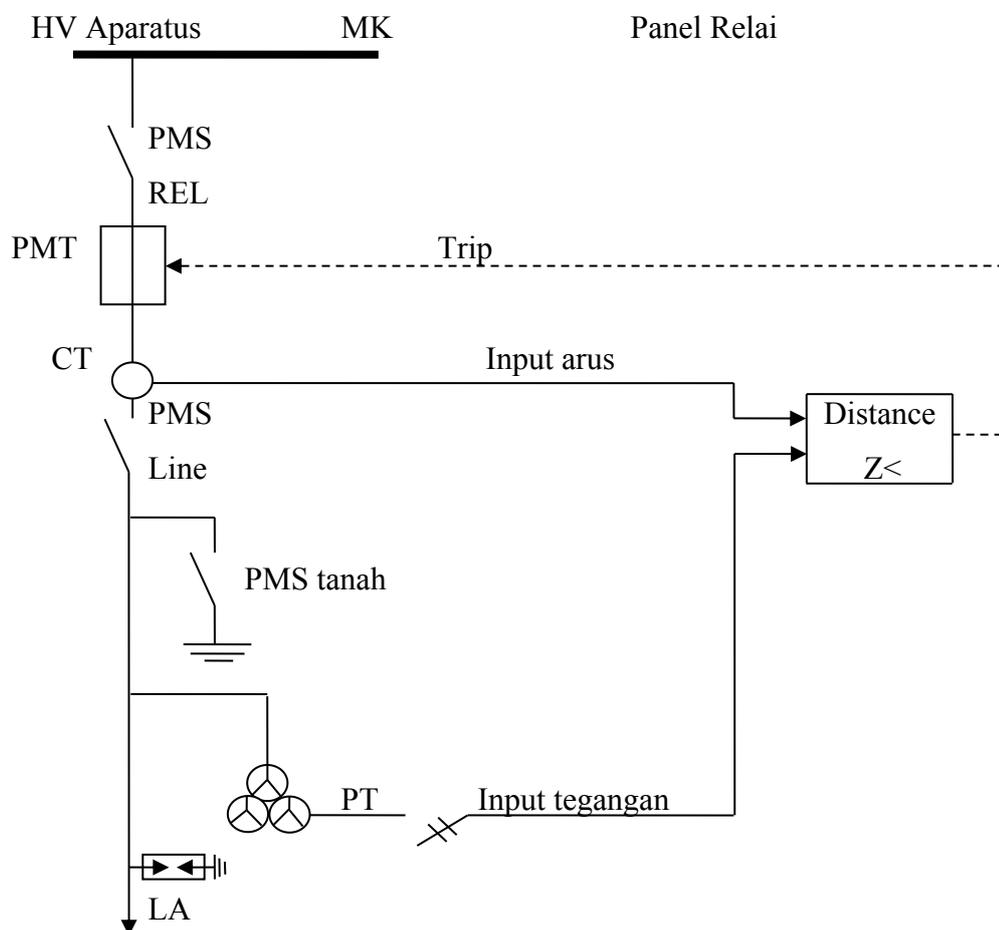
$I_f$  = Arus gangguan (Ampere)



Relai jarak bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting, dengan ketentuan : <sup>11</sup>

1. Bila harga impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi setting relai.
2. Bila harga impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting relai maka tidak akan trip.

Berikut adalah blok diagram dari relai jarak :

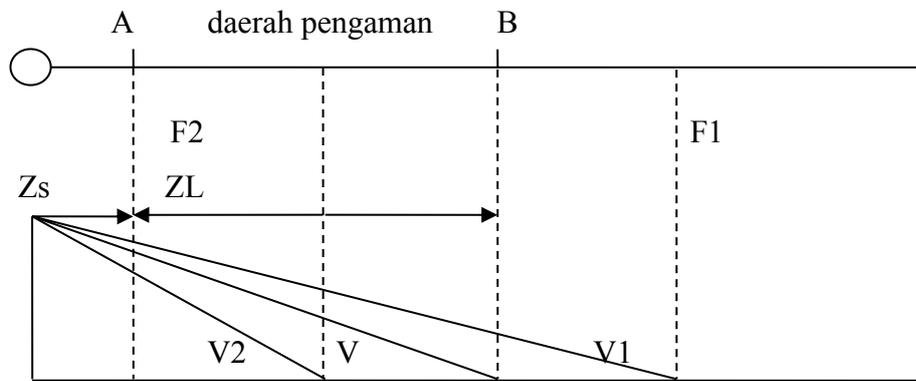


**Gambar 2.3 Blok Diagram Relai Jarak**

<sup>11</sup> Ibid., hlm. 62.



Pada relai jarak terdapat skema batas gangguan pengaman yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini : <sup>12</sup>



**Gambar 2.4 Skema Batas Gangguan Relai Jarak**

a. Gangguan di Bus B (Batas Gangguan Pengaman)

Tegangan yang diukur di A adalah

$$V = I_f \times Z_L \dots\dots\dots (2.2)$$

Perbandingan tegangan dan arus di A

$$\dots\dots\dots (2.3)$$

Hal ini berarti relai dalam batas keseimbangan.

b..... Ganggu

an di F<sub>1</sub> (diluar batas/daerah pengaman)

Tegangan yang diukur di A adalah V<sub>1</sub> > V

$$V_1 = I_{F1} \times Z_1$$

Perbandingan tegangan dan arus di A

<sup>12</sup> Hazairin Samaulah, op. cit., hlm. 42.



Jika  $V_1 > V$  dan  $I_{F1} = I_F$  maka  $Z_1 > Z_L$ , hal ini berarti relai tidak bekerja.

c..... Ganggu

an di  $F_2$  (didalam daerah pengamanan)

Tegangan yang diukur di A adalah  $V_2 < V$

$$V_2 = I_{F2} \times Z_2$$

Perbandingan tegangan dan arus di A

$$= = Z_2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika  $V_2 < V$  dan  $I_{F2} = I_F$  maka  $Z_2 < Z_L$ , hal ini berarti relai akan bekerja.

Jadi relai impedansi didasarkan atas jika impedansi yang diukur lebih kecil dari impedansi saluran yang diamankan relai akan bekerja, sedang bila impedansi lebih besar relai tidak bekerja. Oleh karena itu impedansi saluran sebanding dengan jarak, maka relai impedansi disebut juga relai jarak. <sup>13</sup>

### 2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi *Distance Relay* <sup>14</sup>

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja relai jarak (*distance relay*), yaitu :

#### a. *Infeed*

Yang dimaksud dengan *infeed* yaitu adanya pengaruh penambahan atau pengurangan arus yang melalui titik terhadap arus yang ditinjau. Adanya pengaruh *infeed* ini akan membuat impedansi yang dilihat *distance relay* seolah-olah menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil.

#### b. *Mutual Impedance*

Bila SUTT menggunakan satu tower yang digunakan untuk sirkit-1 dan sirkit-2, maka akan timbul *mutual impedance* di antara dua sirkit

<sup>13</sup> Ibid., hlm. 43.

<sup>14</sup> Pelatihan O&M Relai Proteksi Jaringan, op. cit., hlm. 69.



tersebut. Untuk pengukuran impedansi urutan positif dan negatif pengaruh *mutual kopling* sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Namun, untuk pengukuran impedansi urutan nol maka pengaruh *mutual kopling* tidak bisa diabaikan. Proteksi penghantar yang hanya bisa menggunakan pengukuran arus, seperti pembanding fasa atau *pilot wire* tidak dipengaruhi oleh mutual kopling.

c. *Power Swing*

*Power swing* adalah variasi aliran daya dimana *distance relay* mendeteksi ada lokus impedan yang bergerak dari daerah beban memasuki daerah kerja *distance relay*.

d. Pengaruh Impedansi Sumber

Pada dasarnya impedansi sumber akan mempengaruhi besar arus dan tegangan yang terbaca oleh *distance relay*.

e. Pengaruh Tahanan Gangguan

Tahanan gangguan merupakan tahanan murni, bila bertambah secara vektoris dengan impedansi saluran maka akan menggeser lokus impedan menjadi lebih besar sehingga relai menjadi lebih lambat ( $Z_2$ ,  $Z_3$ ) atau tidak *trip* sama sekali (diluar jangkauan seting). Penyebab dari tahanan gangguan pada SUTT adalah terjadi hubung singkat yang menimbulkan busur api akibat terkena pohon, layangan, binatang, manusia dan sambaran petir.

## 2.4 Penyebab Bekerjanya Sistem Proteksi <sup>15</sup>

Jika proteksi bekerja sebagaimana mestinya, maka kerusakan yang parah akibat gangguan mestinya dapat dihindari/dicegah sama sekali, atau kalau gangguan itu disebabkan karena sudah adanya kerusakan (*insulation break down* di dalam peralatan), maka kerusakan itu dapat dibatasi sekecilnya. Proteksi yang

<sup>15</sup> Aslimeri, Ganefri, dan Zaedel Hamdi, Op. cit., hlm. 375.



benar harus dapat bekerja cukup berat, selektif dan andal sehingga kerusakan peralatan yang mungkin timbul akibat busur gangguan atau pada bagian sistem/peralatan yang dilalui arus gangguan dapat dihindari dan kestabilan sistem dapat terjaga. Sebaliknya jika proteksi gagal bekerja atau terlalu lambat bekerja, maka arus gangguan ini berlangsung lebih lama, sehingga panas yang ditimbulkannya dapat mengakibatkan kebakaran yang hebat, kerusakan yang parah pada peralatan instalasi dan ketidakstabilan sistem.

Tangki trafo daya yang menggelembung atau jebol akibat gangguan biasanya karena kegagalan kerja atau keterlambatan kerja proteksi. Kegagalan atau keterlambatan kerja proteksi juga akan mengakibatkan bekerjanya proteksi lain disebelah hulunya (sebagai *remote back up*) sehingga dapat mengakibatkan pemadaman yang lebih luas atau bahkan runtuhnya sistem (*collapse*). Kegagalan atau keterlambatan kerja proteksi dapat disebabkan antara lain oleh :

1. Relainya telah rusak atau tidak konsisten bekerjanya.
2. Setelan (*setting*) relainya tidak pernah (kurang sensitif atau kurang cepat).
3. Baterainya lemah atau kegagalan sistem DC supply sehingga tidak mampu mentripping PMT-nya.
4. Hubungan kontak kurang baik pada sirkit *tripping* atau terputus.
5. Kemacetan mekanisme *tripping* pada PMT karena kotor, karat, patah atau meleset.
6. Kegagalan PMT dalam memutuskan arus gangguan terlalu besar melampaui kemampuan pemutusan (*interrupting capability*), atau kemampuan pemutusannya telah menurun, atau karena ada kerusakan.
7. Kekurang sempurnaan rangkaian sistem proteksi antara lain adanya hubungan kontak yang kurang baik.
8. Kegagalan saluran komunikasi teleproteksi.
9. Trafo arus terlalu jenuh.



## 2.5 Gangguan Pada Sistem Penyaluran <sup>16</sup>

Jaringan tenaga listrik yang terganggu harus dapat segera diketahui dan dipisahkan dari bagian jaringan lainnya secepat mungkin dengan maksud agar kerugian yang lebih besar dapat dihindarkan. Gangguan pada jaringan tenaga listrik dapat terjadi diantaranya pada pembangkit, jaringan transmisi atau di jaringan distribusi. Penyebab gangguan tersebut dapat dilakukan oleh gangguan sistem dan non sistem.

### 2.5.1 Gangguan sistem

Gangguan sistem adalah gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik seperti pada generator, trafo, SUTT, SKIT dan lain sebagainya. Gangguan sistem dapat dikelompokkan sebagai gangguan permanen dan gangguan temporer.

#### a. Gangguan Temporer

Gangguan temporer adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya bila PMT terbuka, misalnya sambaran petir yang menyebabkan *flash over* pada isolator SUTT. Pada keadaan ini PMT dapat segera dimasukkan kembali, secara manual atau otomatis dengan *auto recloser*.

#### b. Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak hilang dengan sendirinya, sedangkan untuk pemulihan di perlukan perbaikan, misalnya kawat SUTT putus.

### 2.5.2 Gangguan non sistem

PMT terbuka tidak selalu disebabkan oleh terjadinya gangguan pada sistem, dapat saja PMT terbuka oleh karena relai yang bekerja sendiri atau kabel kontrol yang terluka atau oleh sebab interferensi dan lain sebagainya. Gangguan seperti ini disebut gangguan bukan pada sistem, selanjutnya disebut gangguan non-sistem. Jenis gangguan non-sistem antara lain :

---

<sup>16</sup> Ibid., hlm. 376.



1. Kerusakan komponen relai.
2. Kerusakan kabel kontrol terhubung singkat.
3. Interferensi/induksi pada kabel kontrol.

## 2.6 Penyetelan Daerah Jangkauan Pada Relai Jarak <sup>17</sup>

Relai jarak pada dasarnya bekerja mengukur impedansi saluran, apabila impedansi yang terukur/dirasakan relai lebih kecil impedansi tertentu akibat gangguan maka relai akan bekerja. Prinsip ini dapat lebih memberikan selektivitas pengaman, yaitu dengan mengatur hubungan antara jarak dan waktu kerja relai. Penyetelan relai jarak terdiri dari tiga daerah pengaman. Penyetelan zone 1 dengan waktu kerja relai  $t_1$ , zone 2 dengan waktu relai  $t_2$ , dan zone 3 dengan waktu kerja relai  $t_3$ .

Berdasarkan Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 133 dan 134, tentang Proteksi dan Kontrol Penghantar menyatakan bahwa proteksi utama (zone 1) pada *distance relay* adalah proteksi yang bekerja tanpa waktu tunda dengan jangkauan terbatas pada seksi (*section*) penghantar itu sendiri. Proteksi cadangan jauh (zone 2 dan zone 3) pada *distance relay* adalah proteksi yang dicadangkan untuk bekerja apabila proteksi utama seksi di depannya gagal bekerja. Zone 2 umumnya disetel dengan jangkauan minimum mencapai impedansi saluran sampai dengan gardu induk di depannya dengan waktu tunda antara 300-800 milidetik. Zona 3 disetel dengan jangkauan mencapai impedansi saluran sampai dengan 2 (dua) gardu induk di depannya atau (2 seksi penghantar berikut) dengan waktu tunda maksimum 1600 milidetik. <sup>18</sup>

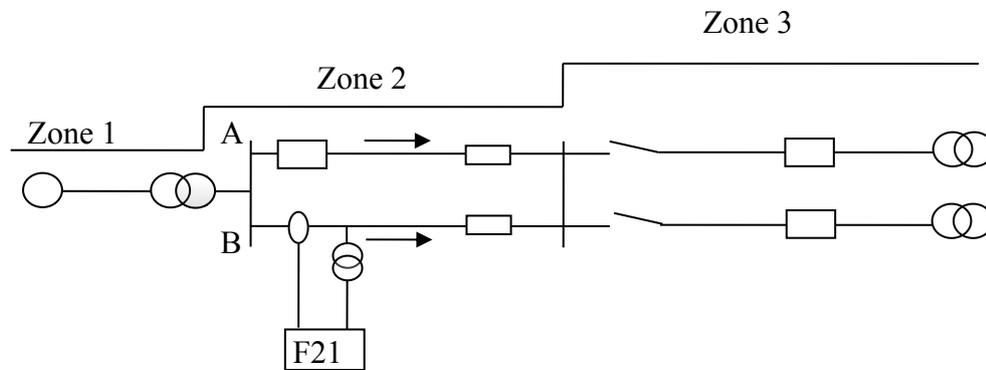
---

<sup>17</sup> *Pedoman operasi dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi*, PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Palembang, 2007, hlm. 5.

<sup>18</sup> *Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 133 dan 134 tentang Proteksi dan Kontrol Penghantar*, PT. PLN (Persero), 2009, hlm. 10.



Daerah penyetelan relai jarak tiga tingkat dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.5 Daerah Penyetelan Relai Jarak Tiga Tingkat**

Untuk menghitung impedansi saluran 1 maka dapat menggunakan persamaan:

$$Z_{L1} = Z_1 \times L_1 \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan untuk menghitung impedansi saluran 2 menggunakan persamaan:

$$Z_{L2} = Z_1 \times L_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

### 2.6.1 Penyetelan zone 1 <sup>19</sup>

Dengan mempertimbangkan adanya kesalahan-kesalahan dari data saluran, CT, PT, dan peralatan penunjang lain sebesar 10% - 20%, zone 1 diseting 80% dari panjang saluran yang diamankan. Untuk perhitungan impedansi primer pada zone 1 dapat digunakan persamaan :

$$Z_s \text{ relai} = 0,8 \times Z_{L1} (\text{saluran}) \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk perhitungan zone 1 yang terbaca pada relai/ impedansi sekunder digunakan persamaan :

<sup>19</sup> Pedoman operasi dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi, Op. cit., hlm. 6.



$$Z_s \text{ relai} = \text{Zone 1} \times \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

$n_{CT}$  = Transformator arus.

$n_{PT}$  = Transformator tegangan.

Waktu kerja relai seketika, ( $t_1 = 0$ ) tidak dilakukan penyetelan waktu.

### 2.6.2 Penyetelan zone 2

Prinsip penyetelan zone 2 adalah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

$$\text{Zone 2 min} = 1,2 \times Z_{L1} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{Zone 2 mak} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$Z_{L1}$  = Impedansi saluran yang diamankan

$Z_{L2}$  = Impedansi saluran berikutnya yang terpendek

Untuk perhitungan zone 2 yang terbaca pada relai / impedansi sekunder dapat menggunakan persamaan :

$$Z_s \text{ relai} = \text{Zone 2} \times \dots\dots\dots (2.14)$$

Waktu kerja relai  $t_2 = 0,4$  s/d  $0,8$  detik.

### 2.6.3 Penyetelan zone 3 <sup>20</sup>

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

<sup>20</sup> Pedoman operasi dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi, Op. cit., hlm. 7.



$$\text{Zone 3 min} = 1,2 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Zone 3 mak} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan :

$Z_{L1}$  = Impedansi saluran yang diamankan

$Z_{L2}$  = Impedansi saluran berikutnya yang terpanjang

Untuk perhitungan zone 3 yang terbaca pada relai / impedansi sekunder dapat menggunakan persamaan :

$$Z_s \text{ relai} = \text{Zone 3} \times \dots\dots\dots (2.17)$$

Waktu kerja relai  $t_3 = 1,2$  s/d  $1,6$  detik.