

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sistem proteksi merupakan salah satu bagian penting dari sistem tenaga listrik, di mana sistem proteksi diharapkan bekerja untuk melindungi peralatan dan juga mencegah meluasnya suatu gangguan apabila terjadi gangguan di dalam sistem tenaga listrik. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam penyetelan, pengaturan dan desain sistem proteksi yaitu kordinasi, karena dengan kordinasi sistem proteksi akan bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan lebih selektif dalam mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik.

Menurut Alawiy (2006), “Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi *abnormal* dari sistem itu sendiri”.

Sedangkan menurut J. Soekarto (1985), “Sistem pengaman merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, kondisi *abnormal* operasi sistem tenaga listrik”.

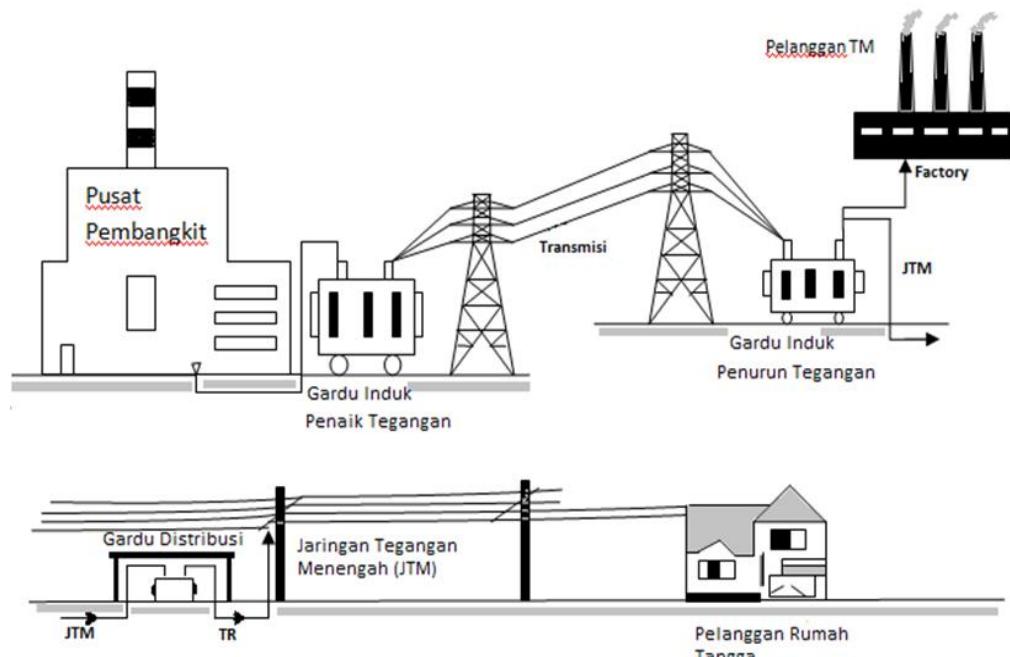
Menurut Mubarak (2008), “Sistem distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), yang menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa.”

Marsudi (1990) mengemukakan pendapatnya “Bahwa jenis-jenis sistem proteksi terbagi atas menjadi 1). Pengaman Lebur 2). Relai Arus Lebih, 3). Relai Arus Gangguan Tanah, 4). Relai Arus Gangguan Tanah Berarah, 5). Relai penutup balik, 6). Penutup balik Otomatis.”

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Ada tiga bagian penting dalam proses sistem tenaga listrik, yaitu: Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.1.** Skema Penyaluran Energi Listrik (Sistem Distribusi Daya Listrik, Hasan basri, 1997;12)

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan tenaga listrik yang memasok energi listrik ke beban (pelanggan) dengan menggunakan tegangan menengah 20 kV dan tegangan rendah 220-380V atau 231-400V.

Sistem distribusi mempunyai fungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pusat pembangkit ke pusat-pusat atau kelompok beban, dengan mutu yang memadai dan keterhandalan sistem yang tinggi.

Jadi tingkat kehandalan tinggi dapat diperoleh dengan tingkat kontinuitas pelayanan yang tinggi dan frekuensi pemadaman karena gangguan yang rendah. Frekuensi pemadaman karena gangguan dapat diperkecil dengan sistem proteksi yang sesuai, baik dan memadai.

Sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR). Baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial.

Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan dalam sistem distribusi adalah relatif lebih banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain. Disamping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus-menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

### **2.2.2 Jaringan Tegangan Menengah**

Fungsi dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) adalah untuk menyalurkan tenaga listrik dari GI ke gardu-gardu distribusi dan konsumen tegangan menengah. Tegangan menengah yang digunakan di Indonesia yaitu 20kV. Meskipun demikian di beberapa tempat masih terdapat tegangan menengah 6kV yang merupakan peninggalan sistem lama yang masih berfungsi dengan baik, tetapi tidak dikembangkan lebih lanjut.

Masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah bagaimana mengatasi gangguan dengan cepat karena gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam sistem distribusi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah atau juga disebut Jaringan Distribusi Primer. Gangguan pada SUTM jumlahnya lebih banyak dan kebanyakan bersifat temporer sedangkan pada kabel tanah jumlah gangguannya lebih sedikit tetapi kebanyakan bersifat permanen. Pemilihan jaringan distribusi biasanya dilakukan dengan memperhatikan keadaan daerah (perumahan, industri, perkotaan atau desa).

### **2.2.3 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

Bagian-bagian sistem tenaga listrik yang ada pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, antara lain:

1. Gardu Induk, fungsinya untuk menurunkan tegangan transmisi (tegangan tinggi) ke tegangan menengah.
2. Penyulang utama, fungsinya untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi.
3. Gardu Distribusi, fungsinya untuk menurunkan tegangan menengah (TM) menjadi tegangan rendah (TR).
4. Jaringan sekunder, fungsinya untuk menyalurkan tenaga listrik dari trafo distribusi menuju pelayanan (konsumen).
5. Pelayanan konsumen, yaitu jaringan yang merupakan instalasi listrik yang terdapat di para konsumen.

### **2.2.4 Gangguan Tegangan Menengah**

Gangguan pada SUTM dapat dibagi dua, yaitu:

1. Gangguan sementara yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sementara bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen (tetap) dan menyebabkan pemutusan tetap.
2. Gangguan permanen (tetap) di mana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Gangguan pada SUTM, tergantung pada keadaan alam sekitarnya, kurang lebih 75% sampai 90% dari jumlah gangguan merupakan gangguan sementara. Umumnya gangguan sementara terjadi bila kawat-kawat fasa bersentuhan satu sama lain atau berhubungan dengan tanah, misalnya akibat kawat fasa bersentuhan dengan pohon, burung atau binatang lainnya, angin kencang, petir, lompatan busur api dan sebagainya.

Arus lebih adalah arus yang timbul karena terjadinya gangguan/hubungan singkat pada sistem/peralatan yang diamankan.

Beban lebih adalah beban/arus yang melebihi nilai nominalnya, yang untuk waktu tertentu dapat ditolerir adanya untuk kepentingan pengusahaan, yang besar dan waktunya dibatasi oleh kemampuan alat/sistem JTM untuk menahannya. Arus lebih timbul disebabkan oleh hubungan singkat antara fasa dan atau antara fasa dengan tanah/netral. Hubungan singkat ini dapat terjadi karena terjadinya gangguan.

Bila hubung singkat dibiarkan berlangsung lama pada suatu sistem daya, akan muncul pengaruh-pengaruh berikut ini:

1. Berkurangnya batas - batas keseimbangan untuk sistem daya itu.
2. Rusaknya peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus yang tidak seimbang atau tegangan – tegangan rendah yang disebabkan oleh hubung singkat.
3. Ledakan - ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu hubung singkat, dan mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan yang lain.
4. Terpecah - pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengaman yang diambil oleh sistem – sistem pengaman yang berbeda-beda.

#### **2.2.5 Sistem Pengaman**

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut. Adapun fungsi dari sistem pengaman adalah:

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat pengaman yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
2. Untuk mempercepat melokalisir luas/zone daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.

3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
4. Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pada saat terjadi gangguan atau ketidak normalan pada sistem tenaga listrik, misal adanya arus lebih, tegangan lebih, dan sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi kondisi gangguan tersebut. Jika dibiarkan gangguan itu akan meluas keseluruh sistem sehingga bisa merusak semua peralatan sistem tenaga listrik yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu sistem pengaman yang handal.

Pengaman pada sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) yang bekerja memutus rangkaian jika terjadi gangguan yang operasinya dikendalikan oleh rele pengaman.

#### **2.2.6 Rele Pengaman**

Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, seperti arus lebih, tegangan lebih, dan sebagainya, maka perlu diambil suatu tindakan untuk mengatasi gangguan tersebut. Jika dibiarkan, gangguan itu akan meluas ke seluruh sistem sehingga bisa merusak peralatan sistem. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu suatu sistem pengaman yang handal. Salah satu komponen yang penting untuk pengaman tenaga listrik adalah rele pengaman (protection relay).

Rele pengaman adalah piranti, baik elektronik atau magnetik yang direncanakan untuk mendeteksi suatu kondisi ketidak normalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan. Jika bahaya itu muncul maka rele pengaman secara otomatis memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar bagian terganggu dapat dipisahkan dari system yang normal. Rele pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, dan lain

sebagainya sesuai dengan besaran yang telah ditentukan. Alat tersebut kemudian akan mengambil keputusan seketika dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga atau hanya memberikan tanda tanpa membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga dalam hal ini harus mempunyai kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatkinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat dan kemudian membuka kembali.

Pada prinsipnya rele pengaman yang di pasang pada sistem tenaga listrik mempunyai tiga macam fungsi yaitu:

1. Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang lain yang tidak terganggu didalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
3. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Syarat-syarat penting relaying pengaman haruslah memenuhi: sensitif, selektif, dapat diandalkan, dan cepat.

1. Sensitif: Rele harusnya mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian rele harus stabil, artinya
  - a. Rele harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum.
  - b. Pada saat pemasukan trafo daya, rele tidak boleh bekerja karena adanya arus inrush, yang besarnya seperti gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum.
  - c. Rele harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban.

2. Selektif: Kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Suatu sistem proteksi tenaga harus bisa kerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan. Sehingga kalau terjadi pemutusan hanya bagian yang terganggu saja yang terpisah. Atau pengaman hanya bekerja sesuai dengan fungsinya dan sesuai dengan daerah pengamannya.
3. Keandalan (reliability): Pada kondisi normal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan-bulan atau lebih rele tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka rele tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan kerja rele dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Rele tidak boleh gagal kerja, artinya rele yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan rele pengaman ditentukan dari rancangan, penggerjaan, beban yang digunakan, dan perawatan.
4. Cepat: Relay harus cepat beraksi / bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan beraksi dari relay adalah saat relay mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (CB) karena komando dari relay tersebut.
5. Ekonomis: Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan rele pengaman adalah masalah harga atau biaya. Rele tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik jika harganya mahal. Persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja rele hendaknya tidak menyebabkan harga rele menjadi mahal.

Pada dasarnya sistem perlindungan arus lebih yang digunakan pada saluran distribusi maupun pada saluran transmisi tidak berdiri sendiri artinya dalam pengoperasiannya, dibantu oleh rele lain, yaitu:

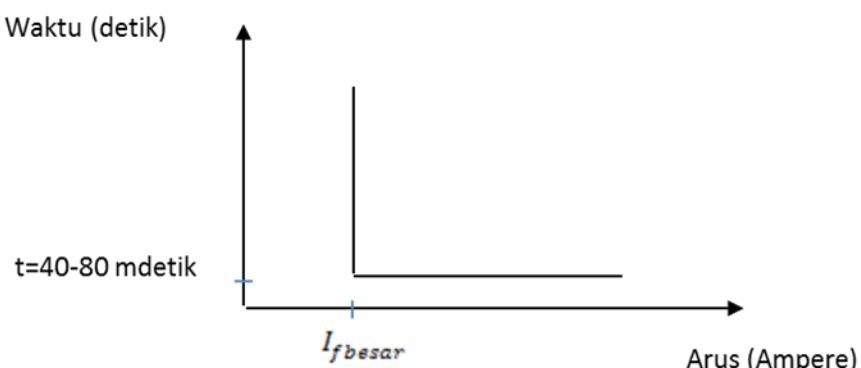
1. Rele arus lebih adalah rele perlindungan yang bekerja apabila arus yang melewati daerah pengaman (zone protection) melebihi arus penyetelan dari rele arus tersebut dan memerintahkan PMT (pemutus tenaga) untuk segera memisahkan daerah terganggu secara otomatis.
2. Rele arah adalah rele yang bekerja bila arus gangguan mempunyai arah tertentu dan arah sebaliknya tidak bekerja. Apabila rele arah ini digabung dengan rele arus lebih maka rele tersebut akan diakatakan sebagai rele arus lebih terarah.
3. Rele Gangguan Tanah adalah rele yang bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat ketanah atau antara fasa ketanah.
4. Rele Penutup Kembali (auto reclosing), apabila pemutus tenaga yang dibuka pada waktu terjadi gangguan dapat ditutup kembali secara otomatis sesudah waktu tertentu, maka proses ini dinamakan penutup kembali.
5. Rele Jarak atau Impedansi, Arus ( $I$ ) yang terukur pada lokasi rele dimana rele tersebut ditempatkan pada saat terjadinya gangguan. Apabila  $V / I$  yang terukur lebih kecil dari  $V / I$  yang diamankan atau impedansi ( $Z$ ) saluran yang diamankan rele bekerja. Oleh karena impedansi saluran transmisi sebanding dengan jarak maka rele impedansi juga disebut rele jarak.
6. Rele Turun Tegangan, apabila terjadi gangguan pada saluran transmisi yang mengakibatkan tegangan sistem turun dibawah harga penyetelan rele ini, maka rele turun tegangan bekerja.
7. Rele Waktu akan bekerja sesuai sifat penyetelan dan berfungsi sebagai penghambat kerja penjatuhan pemutus tenaga yang disesuaikan dengan lokasi gangguan.
8. Rele Perasa (statter) bekerja paling awal untuk merasakan gangguan yang selanjutnya menghidupkan rele yang lain untuk beroperasi (menghidupkan rele pengukur atau rele waktu).

### 2.2.7 Rele Arus Lebih (Over Current Relay, OCR)

Relai arus lebih merupakan pengaman utama sistem distribusi tegangan menengah terhadap gangguan hubung singkat antar fasa. Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi nilai settingnya pengaman tertentu dalam waktu tertentu. Berdasarkan karakteristik waktu relai arus lebih dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Tanpa penundaan waktu (instantaneous time)

Relai ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) begitu arus yang mengalir melebihi nilai setting arusnya, relai akan bekerja dalam waktu beberapa millidetik (40-80 ms). Setelan dengan karakteristik instant/moment digunakan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang dekat dengan sumber listrik, yang gangguannya besar sekali (tergantung besarnya kapasitas trafo/generator).

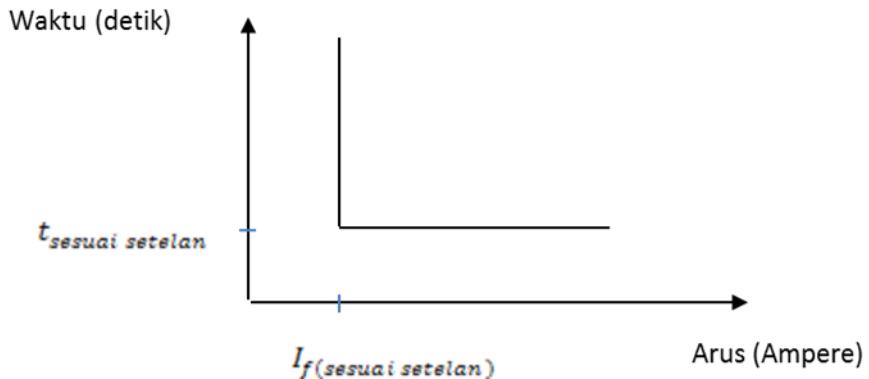


**Gambar 2.2.** Karakteristik Relai Waktu Seketika

2. Dengan penundaan waktu tertentu (definite time)

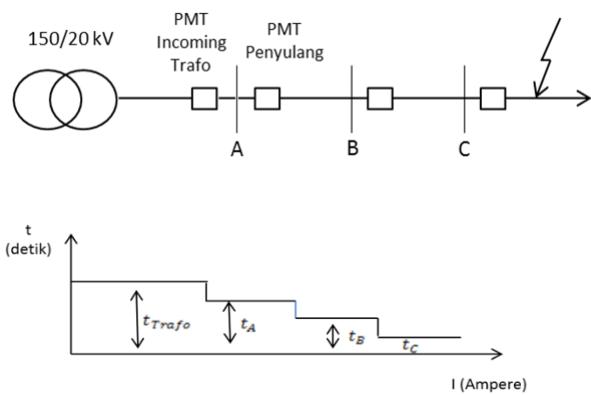
Relai ini bekerja dengan waktu tunda tertentu (definite time delay) yang tidak tergantung dari besar arus yang mengalir melalui relai, bila melebihi nilai settingnya maka relai ini bekerja yang selanjutnya menghitung waktu kerja relai. Jadi penyetelan relai yang dilakukan pada relai ini adalah penyetelan arus dan penyetelan waktu tunda

sesuai BS 142 1966 sebagai berikut,  $I_{set} = 1,2$  sampai  $1,3 \times I_{beban}$  dan  $t = 0,3$  detik (minimum).



**Gambar 2.3.** Karakteristik Rele Waktu Tertentu

Pada metode ini setiap rele mempunyai interval waktu untuk PMT-nya bekerja, dengan catatan bahwa PMT yang terdekat dengan gangguan akan membuka terlebih dahulu. Perhatikan suatu sistem sesuai dengan gambar 2.3. misalkan terjadi gangguan pada seksi saluran C, maka rele pada C akan merasakan gangguan tersebut (mungkin juga rele-rele kearah hulu), akan tetapi supaya pemadaman konsumen sekecil mungkin, hanya PMT di C saja yang membuka (trip), sedangkan PMT-PMT yang berada kearah hulu tidak boleh trip. Hal ini dapat dicapai dengan cara memberikan waktu tunda yang lebih lama pada rele-rele B dan A serta. Pengaman dengan cara seperti ini disebut pengaman selektif.

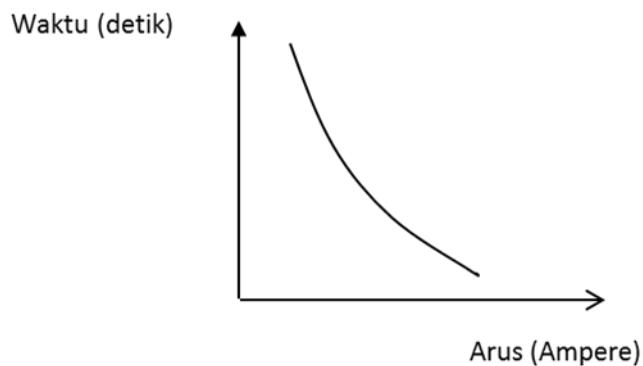


**Gambar 2.4** Penyulang dengan Rele Karakteristik Waktu Tertentu

Dari sini terlihat bahwa makin dekat dengan kearah sumber waktu kerja rele makin lama, atau terjadi akumulasi waktu pada rele didekat sumber.

### 3. Relay waktu terbalik (invers time)

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), makin besar arus maka makin kecil waktu tundanya. Karakteristik inverse time ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda.



**Gambar 2.5.** Karakteristik Rele Waktu Terbalik

#### 2.2.8 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) adalah suatu peralatan yang mampumemutus/menutup rangkaian pada semua kondisi, yaitu padakondisi gangguan maupun kondisi normal. Secara singkat tugas pemutus tenaga adalah:

1. Keadaan normal: membuka/menutup rangkaian listrik.
2. Keadaan tidak normal: dengan bantuan relai, PMT dapat membuka sehingga gangguan dapat dihilangkan.

Berbagai tipe PMT digunakan pada sirkit sistem tenaga guna membuka dan menutup rangkaian baik pada kondisi normal maupun abnormal. Arus nominal, tegangan pengenal dan kapasitas pemutus (MVA) dari PMT tersebut harus disesuaikan dengan beban daya hubung singkat pada titik tertentu pada sirkit dimana PMT tersebut dipasang. Dalam kaitannya dengan pengamanan, dalam rangka memisahkan bagian dari sistem tenaga yang mengalami gangguan, dibutuhkan satu atau lebih PMT.

PMT dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis. Dalam hal ini adalah bagaimana memisahkan bagian yang mengalami gangguan oleh rele pengaman dengan mengendalikan PMT-nya. Membuka PMT bila kumparan kerjanya diberi energi, dan ini menyebabkan mekanisme PMT bekerja sehingga membuka kontak-kontak utamanya. Rele biasanya menutup kontak-kontaknya secara langsung atau melalui rele bantu menutup sirkuit kumparan kerja melalui batere sehingga mengalir arus ke kumparan kerja PMT. Sehingga PMT tersebut membuka. Waktu pengoperasian PMT tergantung pada desainnya dan biasanya berkisar antara 0,05 detik sampai 0,25 detik.