

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar-Dasar Sistem Proteksi**

Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan.

Dari hasil analisa gangguan, dapat ditentukan sistem proteksi yang akan digunakan, seperti: spesifikasi switchgear, rating circuit breaker (CB) serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu relay (setting relay) untuk keperluan proteksi.

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri.

Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain. Dengan kata lain sistem proteksi itu bermanfaat untuk:

1. Menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
2. Cepat melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan, menjadi sekecil mungkin.
3. Dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
4. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari berbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian system proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit Breaker yang tepat untuk mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang dioperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya menginstruksikan circuit breaker yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian atau sistem yang terganggu. Dan peralatan tersebut kita kenal dengan relay.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang berhubungan, mempunyai dua fungsi pokok:

1. Mengisolir peralatan yang terganggu, agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (*over heating*), pengaruh gaya-gaya mekanik dst.

"Koordinasi antara relay dan circuit breaker (CB) dalam mengamati dan memutuskan gangguan disebut sebagai sistem proteksi".

Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam mempertahankan arus kerja maksimum yang aman. Jika arus kerja bertambah melampaui batas aman yang ditentukan dan tidak ada proteksi atau jika proteksi tidak memadai atau tidak efektif, maka keadaan tidak normal dan akan mengakibatkan kerusakan isolasi. Pertambahan arus yang berlebihan menyebabkan rugi-rugi daya pada konduktor akan berlebihan pula, sedangkan pengaruh pemanasan adalah sebanding dengan kuadrat dari arus.

Proteksi harus sanggup menghentikan arus gangguan sebelum arus tersebut naik mencapai harga yang berbahaya. Proteksi dapat dilakukan dengan Sekering atau Circuit Breaker.

Proteksi juga harus sanggup menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri. Untuk ini pemilihan peralatan proteksi harus sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat “*breaking capacity*” atau *Repturing Capacity*.

Disamping itu, sistem proteksi yang diperlukan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sekering atau circuit breaker harus sanggup dilalui arus nominal secara terus menerus tanpa pemanasan yang berlebihan (*overheating*).
2. Overload yang kecil pada selang waktu yang pendek seharusnya tidak menyebabkan peralatan bekerja.
3. Sistem Proteksi harus bekerja walaupun pada *overload* yang kecil tetapi cukup lama, sehingga dapat menyebabkan *overheating* pada rangkaian penghantar.
4. Sistem Proteksi harus membuka rangkaian sebelum kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang dapat terjadi.
5. Proteksi harus dapat melakukan “pemisahan” (*discriminative*) hanya pada rangkaian yang terganggu yang dipisahkan dari rangkaian yang lain yang tetap beroperasi.

Proteksi *overload* dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi *overheating*. Jadi disini *overload* action relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kwadrat dari arus.

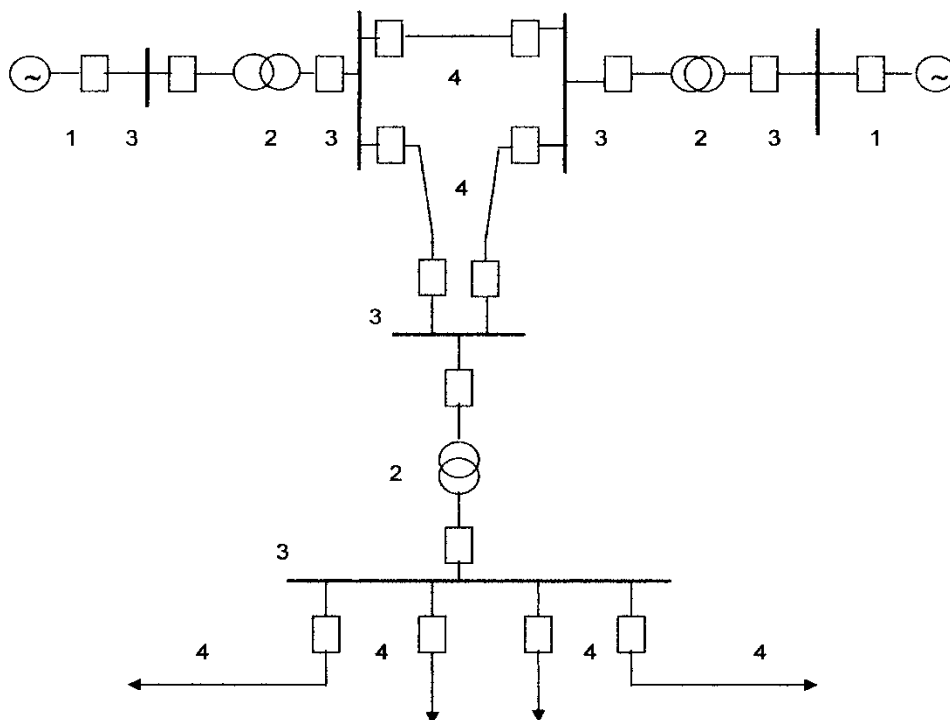
Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika action dari sekering atau circuit breaker cukup cepat untuk membuka rangkaian sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat *overheating*, arcing atau ketegangan mekanik.

### 2.1.1 Daerah Pengamanan (*protective zone*)

Untuk mendapatkan sistem pengaman yang cukup baik didalam sistem tenaga listrik, sistem tenaga tersebut dibagi dalam beberapa daerah pengamanan yakni dengan pemutusan sub-sistem seminimum mungkin. Adapun yang dimaksud dengan keterangan diatas adalah :

1. Generator
2. Transformator daya
3. Bus-bar
4. Transmisi, sub-transmisi dan distribusi
5. Beban

Pembagian ke 5 daerah pengamanan diatas dilaksanakan secara saling meliputi (*over laping*), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.2.



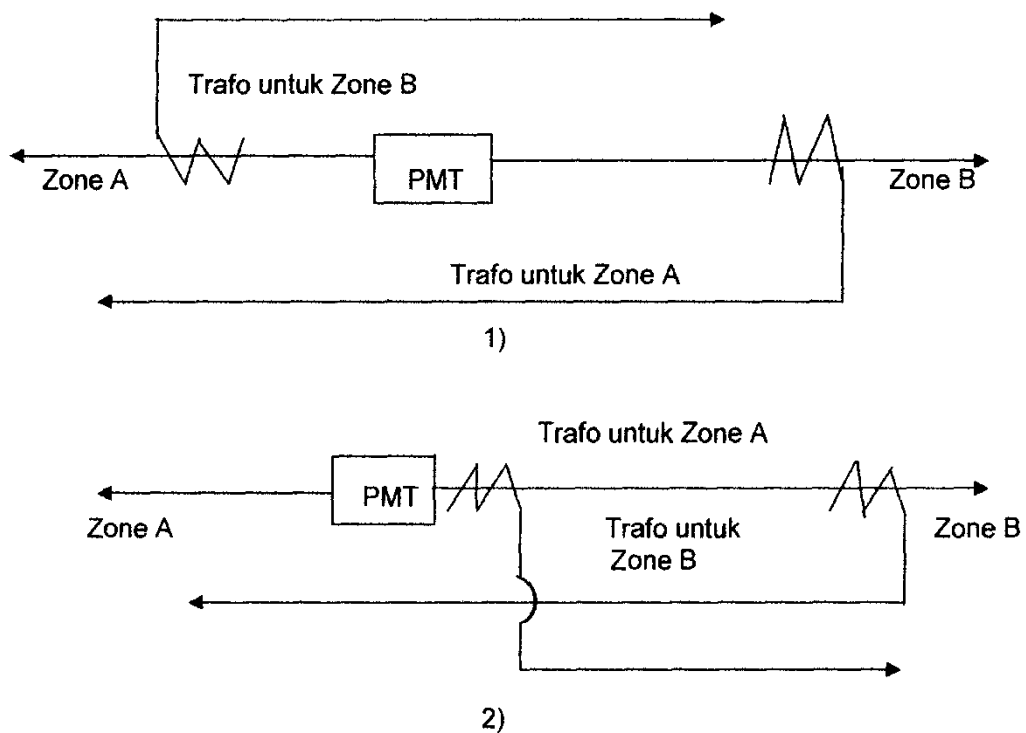
Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Suatu Sistem Tenaga Listrik Dengan Daerah-Daerah Pengamannya

Yang dimaksud dengan saling meliputi adalah bahwa pada suatu tempat sistem pengamannya (daerah) berfungsi. Hal ini diperlukan untuk menghindari kemungkinan adanya daerah yang tidak teramankan. Adapun pelaksanaan saling

meliputi tersebut dapat dilakukan dengan cara menghubungkan relay dengan trafo arus seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.

Daerah yang dibicarakan di atas adalah daerah jangkauan dari relay pengaman utama, yang berarti relay pengaman utama mendeteksi adanya gangguan / kerja ab-normal dan meneruskan keadaan ini (berupa sinyal) ke CB.

Apabila karena suatu sebab relay pengaman gagal dalam menjalankan tugasnya, maka harus ada relay pengaman kedua untuk menggantikan fungsi relay yang gagal tadi. Relay pengaman kedua ini disebut back-up relay.



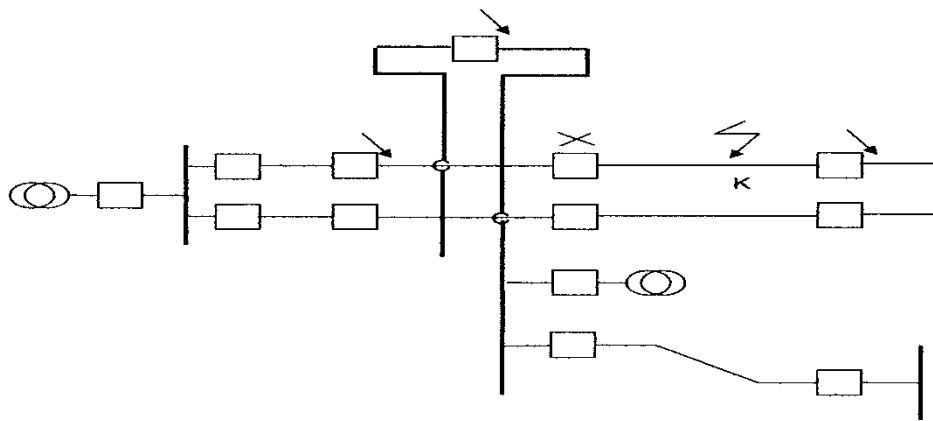
Gambar 2.2 Prinsip Saling Meliputi Dari Rangkaian Relay Pengaman

- 1) C.B Diapit Oleh Dua Trafo Arus
- 2) Kedua Trafo Arus Diletakkan Disamping C.B

Relay pengaman kedua tersebut dapat diletakkan pada satu lokasi dengan relay pengaman utama atau dapat juga dengan relay pengaman yang terletak di sisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan) pada lokasi/stasion yang berlainan.

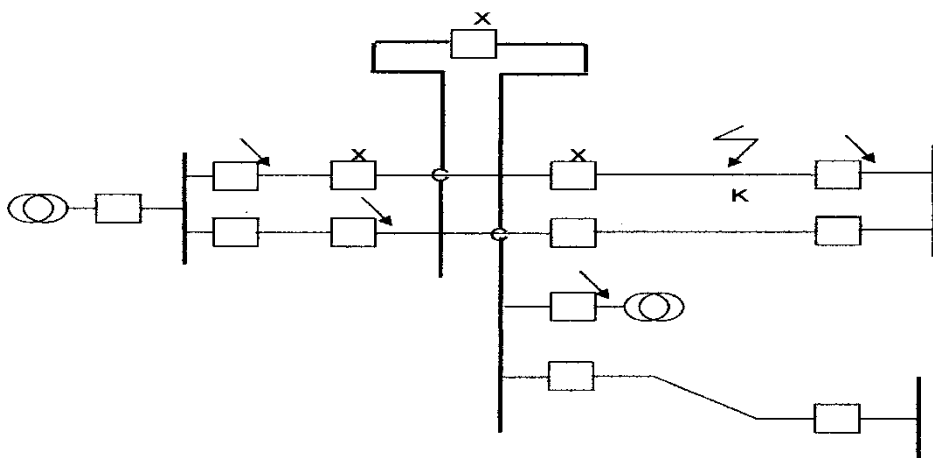
Sebagai contoh dari penempatan satu tempat antara relay pengaman utama dan back-up relays adalah pada pilot relay, sedangkan yang kedua adalah

pada distance relay untuk S.U.T.T. Apabila relay pengaman utama berada pada satu lokasi dengan back-up relays disebut local back-up, bila back-up relay berada pada sisi selanjutnya yang berdampingan disebut remote back-up. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.3 dan 2.4. Pada Gambar 2.3 tampak bahwa dengan terjadinya gangguan pada titik K, semestinya ke dua C.B. yang berada disebelah kiri dan kanannya bekerja. Akan tetapi bila karena suatu sebab C.B. yang berada disebelah kiri tidak bekerja, maka C.B. – C.B. yang lain harus bekerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Demikian pula penjelasannya untuk Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Prinsip Lokal Back-Up

X = C.B. gagal trip  
 ↘ = C.B. tripped



Gambar 2.4 Prinsip Remote Back-Up

X = C.B. gagal trip  
 ↘ = C.B. trip

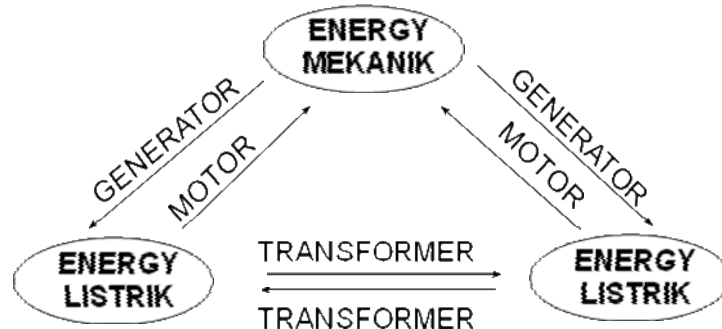
## 2.2 Transformator

Transformator atau lebih dikenal dengan nama “transformer” atau “trafo” sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan yang satu ke level tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (kumparan primer) dan kumparan yang lain mensuplai listrik ke beban (kumparan sekunder). Bila terdapat lebih dari dua kumparan maka kumparan tersebut akan disebut sebagai kumparan tersier, kuarter, dst.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, sehingga fluks magnet yang timbulkan akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Transformer adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik

yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.



Gambar 2.5 Transformasi Energi

### 2.2.1 Sejarah Transformator

- ✓ 1831, Michael Faraday mendemonstrasikan sebuah koil dapat menghasilkan tegangan dari koil lain.
- ✓ 1832, Joseph Henry menemukan bahwa perubahan flux yang cepat dapat menghasilkan tegangan koil yang cukup tinggi.
- ✓ 1836, Nicholas Callan memodifikasi penemuan Henry dengan dua koil.
- ✓ 1850 – 1884, era penemuan generator AC dan penggunaan listrik AC.
- ✓ 1885, Georges Westinghouse & William Stanley mengembangkan transformator berdasarkan generator AC.
- ✓ 1889, Mikhail Dolivo-Dobrovolski mengembangkan transformator 3 fasa pertama.

### 2.2.2 Prinsip Dasar Transformator

Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama (*mutual induction*) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan induksi yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu path yang mempunyai relaktansi yang rendah. Kedua kumparan tersebut mempunyai mutual induction yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan



sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum faraday, bila arus bolak balik mengalir pada induktor, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl).

### 2.2.3 Macam-macam Trafo

#### 1. Trafo Radio

Trafo yang biasa digunakan pada rangkaian radio dan televisi dengan tegangan input 220 V/110 V dan tegangan output 48 V – 24 V step down. Dimensi pada trafo ini sangat kecil dan efisiensi rendah.

#### 2. Trafo Pengukuran

- *Current Transformer*

*Current Transformer* mengukur aliran listrik dan memberikan masukan untuk kekuasaan transformer dan instrumen. *Current Transformer* baik menghasilkan arus bolak-balik atau tegangan bolak-balik yang sebanding dengan arus yang diukur. Ada dua tipe dasar transformator saat ini: wound dan toroida. Transformer wound saat ini terdiri dari integral belitan primer yang dimasukkan secara seri dengan konduktor yang membawa arus yang diukur. Toroidal atau berbentuk donat transformer saat ini tidak mengandung belitan primer. Sebaliknya, kawat yang membawa arus threaded melalui jendela di transformator toroida.

Beberapa CTS dibuat untuk engsel terbuka, memungkinkan insersi sekitar konduktor listrik konduktor tanpa mengganggu sama sekali. Standar industri untuk arus sekunder CT adalah kisaran 0 hingga 5 ampli AC. Seperti PTS, CTS dapat dibuat dengan rasio berliku kustom untuk memenuhi hampir semua aplikasi. Karena mereka "beban penuh" arus sekunder adalah 5 ampli, rasio CT biasanya digambarkan dalam hal beban penuh amp utama sampai 5 ampli.

- *Potential Transformer*

Transformer juga dapat digunakan dalam sistem instrumentasi listrik. Karena transformer kemampuan untuk meningkatkan atau turun tegangan dan arus, dan listrik isolasi yang mereka berikan, mereka dapat berfungsi sebagai cara untuk menghubungkan peralatan listrik tegangan tinggi, sistem tenaga arus tinggi. Misalkan kita ingin secara akurat mengukur tegangan 13,8 kV sebuah power sistem.

Sekarang Voltmeter membaca fraksi yang tepat, atau rasio, dari sistem yang sebenarnya tegangan, mengatur skala untuk membaca seolah-olah mengukur tegangan secara langsung. Transformator instrumen menjaga tegangan pada tingkat yang aman dan mengisolasi listrik dari sistem, sehingga tidak ada hubungan langsung antara saluran listrik dan instrumen atau kabel instrumen. Ketika digunakan dalam kapasitas ini, trafo disebut Potensi Transformer, atau hanya PT.

Potensial transformer dirancang untuk memberikan seakurat tegangan rasio step-down. Untuk membantu dalam regulasi tegangan yang tepat, beban seminimal mungkin: voltmeter dibuat untuk memiliki impedansi masukan yang tinggi sehingga menarik sedikit arus dari PT. Sumbu telah terhubung secara seri dengan gulungan primer PT, untuk keselamatan dan kemudahan memutus tegangan dari PT.

Standar tegangan sekunder untuk sebuah PT adalah 120 volt AC, untuk full-rated tegangan listrik. Rentang voltmeter standar untuk menemani PT adalah 150 volt, skala penuh. PT dengan rasio berliku custom dapat dibuat sesuai dengan aplikasi apapun. Ini cocok baik untuk standarisasi industri voltmeter yang sebenarnya instrumen sendiri, karena PT akan menjadi ukuran untuk langkah sistem tegangan ke tingkat instrumen standar ini.

- Trafo Tenaga

Trafo ini biasanya digunakan pada pemakaian daya dari rumah tangga, sampai pembangkit, transmisi dan distribusi tenaga listrik.

Beberapa alasan digunakannya transformer, antara lain :

1. Tegangan yang dihasilkan sumber tidak sesuai dengan tegangan pemakai,
2. Biasanya sumber jauh dari pemakai sehingga perlu tegangan tinggi (pada jaringan transmisi), dan
3. Kebutuhan pemakai/beban memerlukan tegangan yang bervariasi.

### 2.3 Rele Arus Lebih

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan parameter arus yang sangat besar dan terjadi pada waktu yang cepat, yang disebabkan oleh hubung singkat. Pada proteksi arus lebih ini, relai akan pick-up jika besar arus melebihi nilai seting. Elemen dasar dari proteksi arus lebih adalah relai arus. Proteksi arus lebih meliputi proteksi terhadap gangguan hubung singkat yang dapat berupa gangguan hubung singkat fasa-fasa, satu fasa ke tanah serta hubung singkat antar fasa.

Proteksi terhadap hubung singkat antar fasa dikenal sebagai proteksi arus lebih dan relai yang digunakan disebut relai arus lebih (*over current relay*). Jika arus gangguan mengalir melalui tanah, gangguan ini disebut gangguan hubung singkat ke tanah dan relai yang digunakan disebut proteksi hubung tanah (*ground fault relay*).

Pada proteksi transformator daya, relai arus lebih digunakan sebagai tambahan bagi relai differensial untuk memberikan tanggapan terhadap gangguan luar. Relai arus lebih yang digunakan adalah relai arus lebih tanpa perlambatan waktu, relai arus lebih dengan karakteristik waktu yang berbanding terbalik dengan besar arus dan relai arus lebih dengan komponen arah. Relai arus lebih terdapat beberapa karakteristik waktu yang dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu:

Relai arus lebih seketika (*instantaneous*). Relai ini memberikan perintah trip pada pemutus tenaga (PMT) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus gangguannya mencapai arus settingnya ( $I_s$ ) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai relai bekerja sangat singkat tanpa tunda waktu.

Relai arus lebih waktu tertentu. Relai ini akan memberikan perintah trip pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus gangguannya mencapai setting ( $I_s$ ) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai relai kerja diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relai.

Relai arus lebih terbalik (*inverse*). Relai ini akan memberikan perintah trip pada PMT pada saat terjadi gangguan bila arus gangguan mencapai nilai settingnya ( $I_s$ ) dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai kerja relai diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Pada relai ini sumbu tegak merupakan waktu dalam detik dan sumbu datar adalah berapa kali besarnya arus gangguan yang melewati relai terhadap arus penyetelannya. Penyetelan waktu ditunjukkan dengan kurva yang sering digunakan dan disebut dengan  $T_d$  (*time dial*) atau TMS (*time multiple setting*) yang dirumuskan sebagai berikut (PT. PLN, 2005c)<sup>1</sup>:

$$t = TMS(Td) \times \frac{k}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^\alpha - 1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

t = waktu setting rele

TMS( $T_d$ ) = standar waktu setting rele

$I_f$  = arus yang diamankan

$I_s$  = arus setting

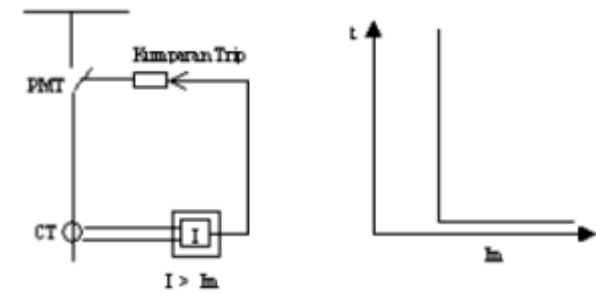
k = konstanta standar invers (0.14)

$\alpha$  = konstanta standar invers (0.02)

### 2.3.1 Relay Waktu Seketika (*Instantaneous relay*)

Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10–20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.

<sup>1</sup> PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali, *Modul Pelatihan Relai OCR* (Jakarta: Badan Penerbit PLN, 2005)

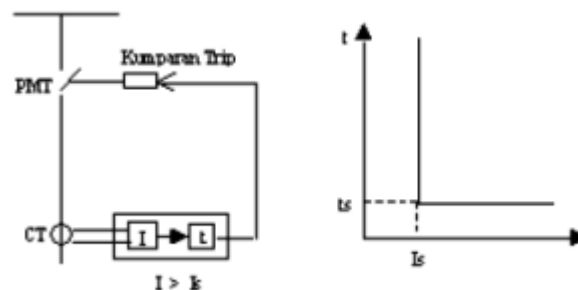


Gambar 2.6 Karakteristik Relay Waktu Seketika

Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

### 2.3.2 Relay arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay, lihat gambar dibawah ini.

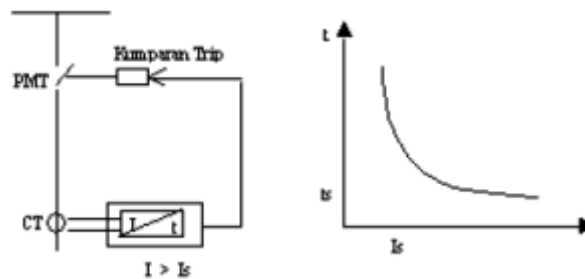


Gambar 2.7 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.3.3 Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse relay*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- *Standar invers*
- *Extreemely inverse*
- *Very inverse*



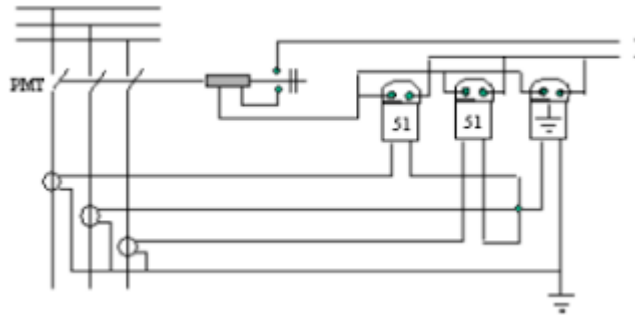
Gambar 2.8 Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Terbalik.

### 2.3.4 Pengaman Pada Relay Arus Lebih

Pada relay arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda antara lain:

- Pengamanan hubung singkat fasa. Relay mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Relay fasa”. Karena pada relay tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya ( $I_s$ ) harus lebih besar dari arus beban maksimum.
- Pengamanan hubung tanah. Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah dari hal berikut:

Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi. Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan. Dalam hal demikian, relay pengamanan hubung singkat (relay fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya relay sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka relay dipasang tidak pada kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian relay ini dialiri oleh arus netralnya, berdasarkan komponen simetrisnya arus netral adalah jumlah dari arus ketiga fasanya. Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (melalui kawat netral).



Gambar 2.9 Sambungan Relay GFR dan 2 OCR.

Perhitungan setting rele dan parameter apa saja yang perlu dicari (WECC, 1989)<sup>2</sup>:

a. Arus Nominal

Arus nominal ( $I_n$ ) adalah arus kerja dari suatu peralatan listrik.

$$I_n = I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$$I_n = I_{base} = \text{Arus nominal (A)}$$

$$S_{base} = \text{Daya semu (VA)}$$

$$V_{base} = \text{Tegangan (V)}$$

b. Rasio CT

Rasio CT ditentukan dari arus nominal peralatan atau dari kabel pada umumnya.

$$\text{Rasio CT} = \frac{\text{Primer}}{\text{Sekunder}} \dots\dots\dots(2.3)$$

c. Arus yang mengalir melalui rele ( $I_{rele}$ )

$$I_{rele} = 1.1 \times I_{base} \dots\dots\dots(2.4)$$

d. Arus kerja rele/arus setting ( $I_s$ )

$$I_s = I_n \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots(2.5)$$

e. Waktu operasi ( $T_s$ )

Time setting ( $T_s$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pengaman ( rele ) untuk bekerja.

<sup>2</sup> WECC (Western Electricity Coordinating Council), *Relaying Current Transformer Application Guide* (1989).

$$T_s = \frac{k}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

$T_s$  = waktu setting rele

$TMS$  = standar waktu setting rele

$I_f$  = arus yang diamankan

$I_s$  = arus setting

$k$  = konstanta standar invers (0.14)

$\alpha$  = konstanta standar invers (0.02)

## 2.4 Transformator Daya

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bias secara terus menerus tanpa berhenri). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu tranformator harus dipelihara dengan menggunakan system dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian tranformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian lainnya.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi tranformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untk system pengamanan/proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan thanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung disisi netral 20 kV nya.



### **2.4.1 Klasifikasi Transformator Daya**

Transformator daya dapat di klasifikasikan dalam beberapa cara, yaitu:

1. Menurut Pemasangan :
  - Transformator pasangan dalam
  - Transformator pasangan luar
2. Menurut Fungsi dan Pemakaian :
  - Transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik)
  - Transformator Gardu Induk
  - Transformator Distribusi
3. Menurut Kapasitas dan Tegangan Kerja :
  - Transformator besar
  - Transformator sedang
  - Transformator kecil.

### **2.4.2 Komponen Transformator Dan Fungsinya**

1. Bagian Utama :
  - Inti Besi  
Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalannya fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis yang saling diisolasi, untuk mengurangi rugi rugi daya (dalam bentuk thermal) yang ditimbulkan oleh adanya rugi rugi hysteresis dan rugi rugi akibat arus pusar (eddy current).
  - Kumparan Transformator  
Beberapa lilitan kawat pada inti besi membentuk suatu kumparan, dan kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Pada transformator terdapat kumparan primer, kumparan sekunder dan kumparan tertier.

- Minyak Transformator

Sebagian besar dari transformator tenaga, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator-transformator daya yang berkapasitas besar. Minyak transformator selain berfungsi sebagai media pemindah panas (pendingin), juga berfungsi sebagai media isolasi (memiliki daya tegangan tembus tinggi).

- Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dan jaringan luar dilakukan melalui bushing transformator, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

- Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator, berada atau ditempatkan di dalam tangki, dan untuk menampung pemuai pada minyak transformator, maka tangki dilengkapi dengan sebuah konservator

## 2. Peralatan Bantu :

- Sistem Pendingin

Energy yang hilang dalam bentuk panas yang dihasilkan oleh inti besi dan kumparan, dapat menyebabkan temperatur yang berlebihan dalam tangki dan merusak isolasi disekitar conductor. Untuk itu dibutuhkan pendinginan transformator. Metode pendinginan harus mampu mempertahankan temperatur rata-rata yang cukup rendah dan mampu mencegah timbulnya temperature yang berlebihan pada setiap bagian trafo serta terbentuknya “hot spots”, dengan memberikan ruang sirkulasi yang bebas pada minyak.

- Sistem Pernapasan

Karena pengaruh naik turunnya beban trafo dan suhu udara luar, maka suhu minyak dalam trafo akan berubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, maka minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, maka minyak menyusut dan udara akan masuk dan mengisi

ruang di atas permukaan minyak. Proses keluar masuknya udara ke dalam tangki disebut sebagai pernapasan trafo.

- Tap Changer

Adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan), akibat tegangan jaringan primer yang berubah-ubah. Tap changer yang hanya dapat beroperasi untuk memindahkan tap trafo dalam keadaan tanpa beban disebut OFF Load tap Changer, dimana perubahan tapnya bersifat manual. Sedangkan tap changer yang beroperasi dalam keadaan berbeban disebut dengan ON Load Tap Changer (OLTC) dan dapat beroperasi secara manual ataupun otomatis.

- Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator yang dipasang pada transformator. Indikator tersebut adalah indikator suhu minyak, indikator permukaan minyak, indikator sistem pendingin, indikator kedudukan tap, dan sebagainya.

### 3. Peralatan Proteksi

Adapun dalam pengamanan pada transformator diperlukan peralatan yang dapat untuk memproteksi/melindungi transformator itu sendiri seperti relai bucholz, pengaman tekanan lebih, relai tekanan lebih, relai diferensial, relai arus lebih, relai tangki tanah, relai hubung tanah dan relai thermis.

#### 2.5 Rele Proteksi MiCOM 14x

Proteksi arus lebih yang disertakan dalam relay P14x memberikan proteksi arus tiga fasa non-directional/directional empat tahap dengan karakteristik penundaan waktu yang independen. Semua pengaturan arus lebih dan terarah berlaku untuk ketiga fasa namun independen untuk masing-masing dari empat tahap.

Dua tahap pertama proteksi arus lebih memiliki karakteristik tertunda waktu yang dapat dipilih antara waktu tertentu terbalik (IDMT), atau waktu tertentu (DT). Tahap ketiga dan keempat hanya memiliki karakteristik waktu tertentu.

Tabel 2.1 Proteksi Arus Lebih Fasa

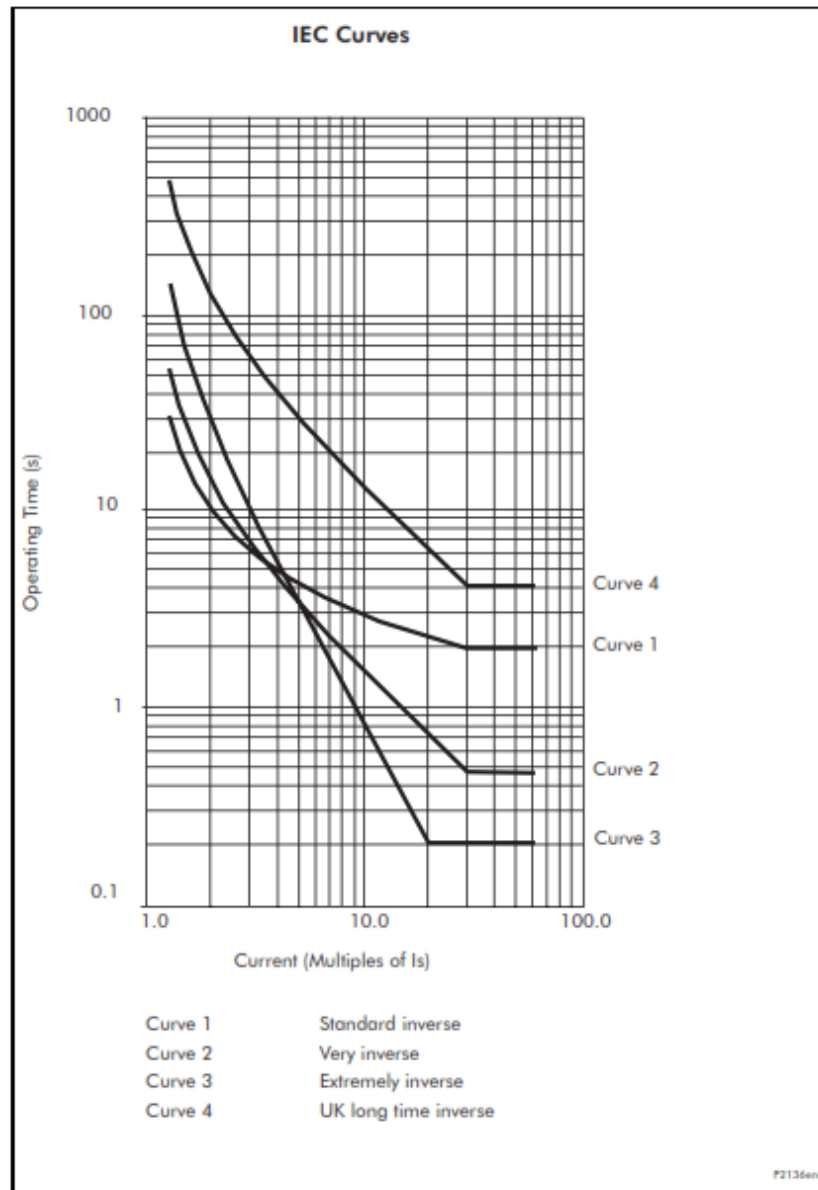
| Teks Menu   | Setting Awal    | Kisaran Pengaturan  |          | Tingkat Ukuran |
|---|-----------------|---|----------|----------------|
|   |                 | Min.  | Max.     |                |
| I>1 Function  | IEC S Inverse   | Disabled, IEC S Inverse, IEC V Inverse, IEC E Inverse, UK LT Inverse, UK Rectifier, RI, IEEE M Inverse, IEEE V Inverse, IEEE E Inverse, US Inverse, US ST Inverse |          |                |
| Pengaturan untuk karakteristik trip pada tahap pertama elemen rele arus lebih.                        |                 |   |          |                |
| I>1 Direction   | Non-directional | Non-directional<br>Directional Fwd<br>Directional Rev   |          |                |
| Pengaturan ini menentukan pengendalian pengukuran untuk elemen tahap pertama.                         |                 |   |          |                |
| I>1 Current Set   | 1 x In          | 0.08 x In   | 4.0 x In | 0.01 x In      |
| Ambil pengaturan untuk elemen arus lebih tahap pertama.   |                 |   |          |                |
| I>1 Time Delay  | 1               | 0   | 100      | 0.01           |
| Pengaturan untuk waktu tunda untuk menentukan waktu tertentu jika dipilih untuk elemen tahap pertama. |                 |   |          |                |
| I>1 TMS   | 1               | 0.025   | 1.2      | 0.005          |
| Pengaturan pengali waktu untuk mengatur waktu pengoperasian karakteristik IEC IDMT.                   |                 |   |          |                |
| I>1 Time Dial   | 1               | 0.01  | 100      | 0.01           |
| Pengaturan pengali waktu untuk mengatur waktu pengoperasian kurva IEEE/US IDMT.                       |                 |   |          |                |
| I>1 K (RI)  | 1               | 0.1   | 10       | 0.05           |
| Pengaturan pengali waktu untuk menyesuaikan waktu operasi untuk kurva RI.                             |                 |   |          |                |
| I>1 DT Adder  | 0               | 0   | 100      | 0.01           |
| Pengaturan untuk menambahkan waktu tunda tetap tambahan ke karakteristik waktu pengoperasian IDMT.    |                 |   |          |                |
| I>1 Reset Char  | DT              | DT or Inverse   |          | N/A            |
| Setting untuk menentukan jenis karakteristik reset/release dari kurva IEEE/US.                        |                 |   |          |                |
| I>1 tRESET  | 0               | 0s  | 100s     | 0.01s          |
| Pengaturan yang menentukan waktu reset/release untuk karakteristik reset waktu tertentu.              |                 |   |          |                |
| I>2 Cells as for<br>I>1 above   |                 |   |          |                |
| Pengaturan yang sama seperti untuk elemen rele arus lebih tahap pertama.                              |                 |   |          |                |

| Teks Menu  | Setting Awal    | Kisaran Pengaturan                                    |         | Tingkat Ukuran |
|--|-----------------|---|---------|----------------|
|  |                 | Min.  | Max.    |                |
| I>3 Status   | Disabled        | Disabled or Enabled                                   |         | N/A            |
| Pengaturan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan elemen arus lebih tahap ketiga. |                 |   |         |                |
| I>3 Direction  | Non-directional | Non-directional<br>Directional Fwd<br>Directional Rev |         | N/A            |
| Pengaturan ini menentukan pengendalian pengukuran untuk elemen rele arus lebih.  |                 |   |         |                |
| I>3 Current Set  | 20 x In         | 0.08 x In   | 32 x In | 0.01 x In      |
| Ambil pengaturan untuk elemen arus lebih tahap ketiga.                           |                 |   |         |                |
| I>3 Time Delay   | 0               | 0s  | 100s    | 0.01s          |
| Pengaturan penundaan waktu operasi untuk elemen arus lebih tahap ketiga.         |                 |   |         |                |
| I>4 Cells as for<br>I>3 Above  |                 |   |         |                |
| Pengaturan yang sama seperti untuk elemen rele arus lebih tahap ketiga.          |                 |   |         |                |
| I> Char. Angle   | 45              | -95°  | +95°    | 1°             |
| Pengaturan sudut karakteristik relay yang digunakan untuk pilihan pengendalian.  |                 |   |         |                |

Perlindungan penyearah berbeda dari aplikasi arus lebih tradisional sehingga banyak penyearah dapat menahan periode overload yang relatif lama tanpa kerusakan, biasanya 150% selama 2 jam dan 300% selama 1 menit.

Pengaturan I> harus diatur ke biasanya 110% dari beban penyearah maksimum yang diijinkan dari penyearah. Relay tersebut memberikan indikasi awal saat setting I> telah terlampaui, namun ini tidak ada konsekuensinya, karena fungsi ini tidak digunakan dalam aplikasi ini. Kurva rectifier harus dipilih untuk kurva invers karena memungkinkan overload yang relatif lama bahkan dengan pengaturan 110% I>.

Penggunaan elemen termal untuk memberikan perlindungan antara 70% dan 160% arus pengenal dapat meningkatkan perlindungan. Hal ini juga merupakan praktik umum untuk memberikan perlindungan gangguan pentanahan yang terbatas untuk transformator yang memberi makan penyearah. Lihat bagian yang sesuai yang berhubungan dengan perlindungan gangguan pentanahan yang dibatasi.



Gambar 2.10 Kurva Standar IEC