

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen, (Sodikin, 2018) distribusi tenaga listrik memiliki beberapa fungsi yaitu :

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. (Mahardhika et al., 2016)

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangan diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 KV dengan transformator penurun tegangan pada gardu distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer ialah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangan dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 220/380 volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem

distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan transformator *step up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain , bahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan transformator *step down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terhadap bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.

## 2.2 Sistem proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem yang mencegah, mengurangi, melindungi, atau membatasi kerusakan terhadap gangguan, sehingga penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan.

Ada beberapa fungsi dari sistem proteksi yaitu :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh gangguan.
- Untuk mengisolir daerah gangguan sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen

### 2.3 Gangguan Hubung Singkat

Ada beberapa macam gangguan hubung singkat yang kemungkinan terjadi yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah, (Putra, 2017). Semua gangguan yang disebutkan diatas, arus gangguannya dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I = \frac{v}{z} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

I = Arus mengalir pada hambatan (A)

V = Tegangan Sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Yang menjadi pembeda antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa adalah impedansi dengan berbagai macam gangguan yang mengalirkan arus ke titik gangguan. (Lestari, 2019)

Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

- Z untuk gangguan tiga fasa  $Z = Z_1$
- Z untuk gangguan dua fasa  $Z = Z_1 + Z_2$
- Z untuk gangguan satu fasa  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots\dots 2.2$

Dimana :

Z = Impedansi

$Z_1$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif (ohm)

$Z_0$  = Impedansi urutan nol (ohm)

### 2.3.1 Impedansi Sumber

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

$X_s$  = Impedansi sumber (ohm)

$kV$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

$MVA$  = Data hubung arus singkat di bus (MVA)

Impedansi sumber dalam satuan unit dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$X_s(pu) = X_s \times \frac{V_{B1}}{V_{B2}} \times \frac{S_{B2}}{S_{B1}} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

$X_s(pu)$  = Impedansi Sumber (pu)

$V_{B1}$  = Tegangan dasar yang dipilih (kV)

$V_{B2}$  = Tegangan dasar sisi primer (kV)

$S_{B1}$  = Daya Dasar Generator (MVA)

$S_{B2}$  = Daya Dasar yang dipilih (MVA)

$X_s$  = Impedansi Sumber (ohm)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dapat dihitung dengan persamaan :

$$X_s \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times (X_s \text{ sisi 150 kV}) \dots\dots\dots 2.8$$

### 2.3.2 Reaktansi Transformator

Dalam transformator daya, biasanya informasi nilai reaktansi menggunakan nilai presentase. Adapun persamaan yang dipakai dalam mencari reaktansi transformator daya yaitu :

$$X_t = X\% \times \frac{S_{baru}}{S_{lama}} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

$X_t$  = Reaktansi transformator (pu)

$X\%$  = Reaktansi transformator (%)

$S_{baru}$  = Daya dasar baru (MVA)

$S_{lama}$  = Daya dasar lama (MVA)

### 2.2.3 Impedansi Penyulang

Untuk menghitung impedansi penyulang, perhitungan tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang

penghantarnya,(Affandi, 2009a). Persamaan untuk impedansi penyulang adalah sebagai berikut :

$$Z_L = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{base}} pu \times P_s \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

$Z_L$  = Impedansi Penyulang (pu)

$Z_{Base}$  = Impedansi dasar (ohm)

$Z_{penyulang}$  = Impedansi penyulang (ohm)

$P_s$  = Panjang saluran (km)

Untuk urutan nol menggunakan rumus

$$Z_o = \% \text{ panjang} \times \text{panjang} \text{ panjang} \text{ penyulang (km)} \times Z_o \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana

$Z_o$  = Impedansi urutan nol (ohm)

#### 2.2.4 Impedansi Beban

Persamaan yang digunakan dalam menghitung impedansi beban dan merubahnya kedalam bentuk per unit, yaitu sebagai berikut :

$$R(pu) = \frac{V^2 S_b P}{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots 2.13$$

$$X(pu) = \frac{V^2 S_b Q}{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots 2.14$$

dimana :

$R$  = Resistansi (pu)

X = Reaktansi (pu)

S<sub>b</sub> = Daya dasar (pu)

V = Tegangan (pu)

P = Daya Aktif (W)

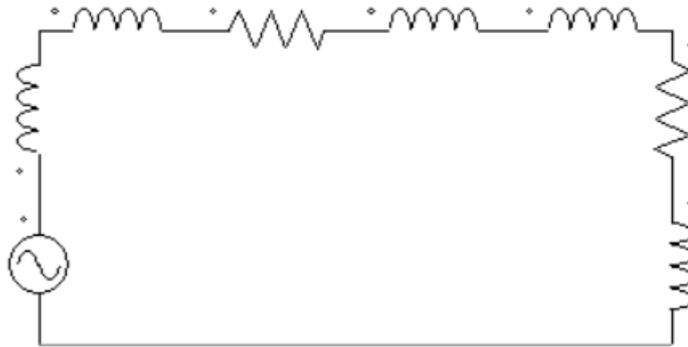
Q = Daya Reaktif (VAR)

### 2.2.5 Impedansi Penyulang Urutan Positif, Urutan Negatif, dan Urutan Nol

Dalam menghitung impedansi dikenal dengan tiga macam impedansi yaitu

- a. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif
- b. Impedansi urutan negative ( $Z_2$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif
- c. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol

Untuk perhitungan impedansi urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol, perlu diketahui rangkaian sistem sebelum sistem itu diberi gangguan (tanpa gangguan), dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2. 1 Diagram Sistem

Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan :

$$Z1 = Z2 = \frac{A \times B}{A + B}$$

Dimana

$Z1$  = Impedansi Urutan Positif (pu)

$Z2$  - Impedansi Urutan Negatif (pu)

$A$  = Node Gangguan

$B$  = Node Gangguan

Sedangkan untuk urutan nol dapat dihitung dengan persamaan

$$Z0 = X_{T1} \times \text{Impedansi jarak gangguan}$$

Dimana

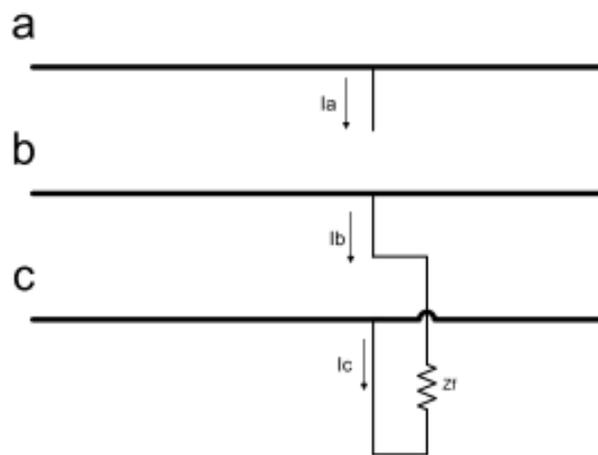
$Z0$  = Impedansi Urutan Nol (pu)

XT1 = Reaktansi Transformator (pu)

Impedansi Jarak Gangguan = Impedansi Jarak Gangguan (%)

### 2.2.6 Arus Gangguan Dua Fasa dan Tiga Fasa

Dari Gambar 2.5 dapat diketahui bahwa arus gangguan dua fasa terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terjadi gangguan.



Gambar 2. 2 Gangguan Dua Fasa

Dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{A1} = \frac{E_A}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \dots\dots\dots 2.15$$

$I_{A1}$  = Arus Gangguan (pu)

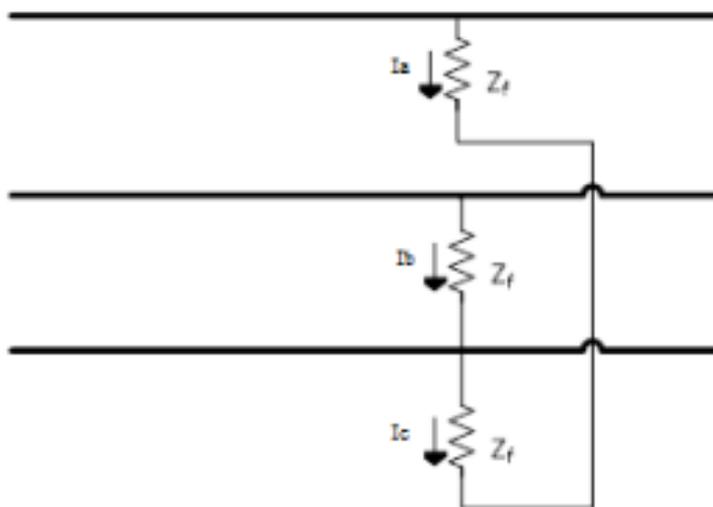
$E_A$  = Tegangan Sistem (pu)

$Z_1$  = Impedansi Urutan Positif (pu)

$Z_2$  = Impedansi Urutan Negatif (pu)

$Z_f$  = Impedansi Gangguan (ohm)

Sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa terjadi ketika gangguan mengenai ketiga fasa yang ada di jaringan. Arus gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi (Harjunang, 2018). Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisis hanya dengan menggunakan urutan positif saja.



Gambar 2. 3 Gangguan Tiga Fasa

Dengan persamaan berikut ini :

$$I_{A1} = \frac{E_A}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots 2.16$$

$I_{A1}$  = Arus Gangguan (pu)

$E_A$  = Tegangan sistem (pu)

$Z_1$  = Impedansi Urutan Positif (pu)

$Z_f$  = Impedansi Gangguan (ohm)

Perhitungan riil yang dibutuhkan untuk gangguan setiap fasa baik arus gangguan hubung singkat dua fasa, dan tiga fasa dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$I_A = I_{A1} \times I_{dasar} \dots\dots\dots 2.17$$

$I_A$  = Arus Gangguan (A)

$I_{A1}$  = Arus Gangguan (pu)

$I_{dasar}$  = Arus Dasar (A)

### 2.3 Pemutus Balik Otomatis (Recloser)

Pemutus balik Otomatis (*recloser*) adalah rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (elektronik control box). Kontrol box ini berfungsi sebagai pelengkap dari *recloser* yang mana peralatan ini yaitu suatu peralatan elektronik sebagai kelengkapan recloser dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikendalikan cara pelepasannya. *Recloser* hampir sama dengan pemutus tenaga, diletakkan di saluran distribusi. Meskipun begitu *recloser* dan kontrol boxnya diletakan berdampingan.



Gambar 2. 4 Recloser

*Pemutus balik otomatis Recloser* berguna memisahkan daerah atau memperkecil jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat menetralkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, lalu *recloser* akan terbuka kembali sesuai setelahnya sehingga jaringan aktif kembali secara otomatis, (Putra, 2017).

Perlengkapan elektronik ditempatkan pada sebuah kotak yang terpisah dari tangki *recloser*. Dalam melakukan perubahan karakteristik, tingkat arus penjatuh minimum dan urutan operasi *recloser* dapat dilakukan dengan mudah tanpa mengeluarkan *recloser*. Arus pada saluran dideteksi oleh trafo arus yang dipasang pada bushing *recloser*, kemudian arus sekundernya dialirkan ke elektronik control box. Setelah mencapai waktu tunda yang ditentukan oleh program karakteristik arus – waktu, maka rangkaian trip (penjatuh) mengirimkan sinyal untuk melepaskan kontak utama *recloser*. Rele urutan kerja akan diatur ulang *timing* pada posisi semula untuk mengatur penutupan kembali berikutnya. Apabila ternyata gangguan yang terjadi belum hilang, maka pada pembukaan yang terakhir sesuai urutan kerja *recloser* akan berada pada posisi lock out ( terkunci),.

#### 2.4 Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut rele ini dapat digunakan sebagai pengamanan utama ataupun pengamanan cadangan. Di transformator tenaga, rele arus lebih hanya berfungsi sebagai pengamanan cadangan (back up protection) untuk gangguan eksternal atau sebagai *back up* bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi

tegangan tinggi saja, atau. pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat memberikan sinyal pada pemutus tenaga pada sisi dimana rele terpasang atau dapat melakukan trip pada pemutus tenaga di kedua sisi transformator tenaga. Rele arus lebih jenis waktu tertentu ataupun waktu terbalik dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih. Sebagai pengamanan transformator tenaga bertujuan untuk mencegah kerusakan transformator dari gangguan hubung singkat, membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin, dan hanya bekerja bila pengamanan utama transformator tidak bekerja.

#### 2.4.1 Time Multiple Setting (TMS)

*Time Multiple Setting* (TMS) adalah setelan yang digunakan untuk menyetel settingan waktu pada rele dengan persamaan kurva arus gangguan terhadap waktu kerja rele

#### 2.4.2 Jenis Rele Berdasarkan Waktu

Jenis rele berdasarkan pengamanan ini dapat dibedakan menjadi tiga yaitu :

- Rele arus lebih sesaat

Rele ini bekerja seketika tanpa ada waktu tunda ketika arus lebih yang mengalir melebihi nilai setelannya.

Setelan Arus pada Bagian Sekunder

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \dots\dots\dots 2.18$$

Dengan setelan arus instan sebagai berikut :

A. Untuk setelan disisi penyulang, dengan arus maksimum adalah 60 MVA 2,4

$$\times I_{n \text{ trafo}}$$

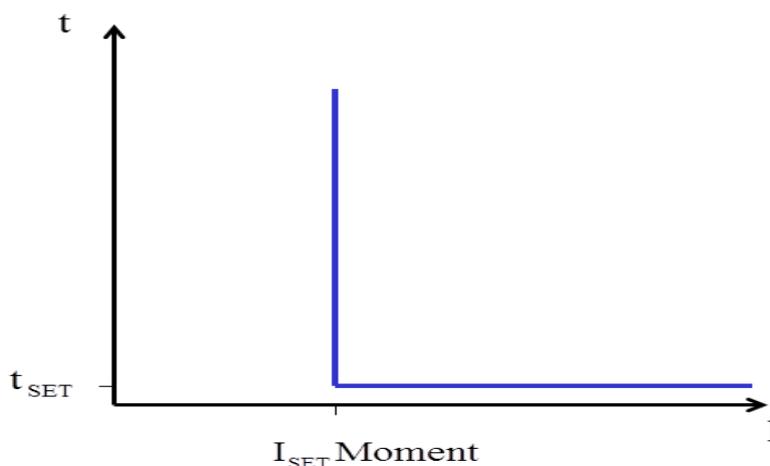
A. Untuk setelan disisi masukan 20 kV disetel sebesar :

$$I_{\text{instan}} = 4 \times I_{n \text{ trafo}} \dots\dots\dots 2.19$$

$$I_{n \text{ trafo}} = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times kV \text{ L-L}} \dots\dots\dots 2.20$$

1.5.2 Setelan Arus pada bagian primer

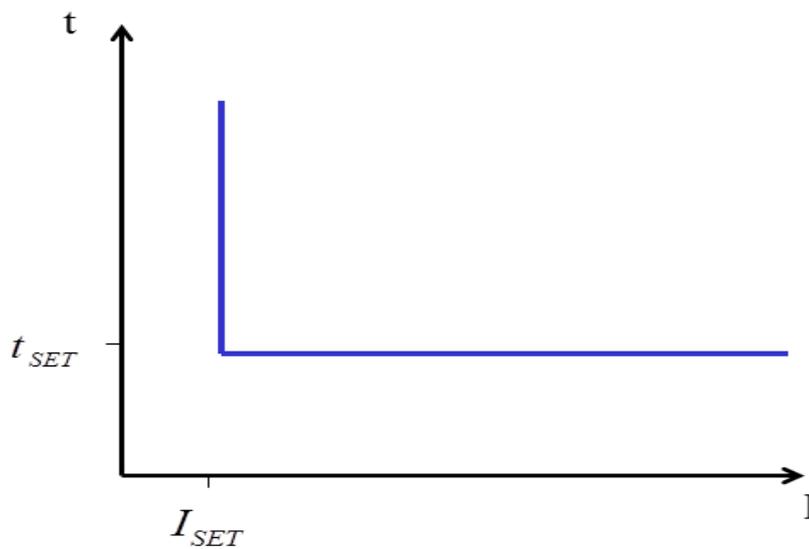
$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \dots\dots\dots 2.21$$



Gambar 2. 5 Karakteristik Waktu Seketika

- Rele arus lebih waktu tertentu

Tidak tergantung pada besarnya arus gangguan, adalah penjelasan dari karakteristik rele arus lebih waktu tertentu. Karakteristik ini akan bekerja dengan waktu yang sudah ditetapkan berapapun besar dari arus gangguan tersebut.



Gambar 2. 6 Karakteristik Waktu Tertentu

- Rele arus lebih berbanding terbalik

Relay arus lebih waktu terbalik (*inverse time*) adalah rele dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu keja rele akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relay.

A. Arus Setelan Primer

$$I_p = 1.05 \times I_n \dots\dots\dots 2.22$$

B. Arus Setelan Sekunder

$$I_s = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots 2.22$$

Penyetelan time multiple setting (TMS) pada rele arus lebih jenis invers sebagai berikut :

$$t = \frac{\beta \text{ TMS}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_p}\right)^\alpha - 1} \dots\dots\dots 2.23$$

t = Waktu Operasi (detik)

TMS = *Time Multiple Setting*

I<sub>fault</sub> = Arus Gangguan (A)

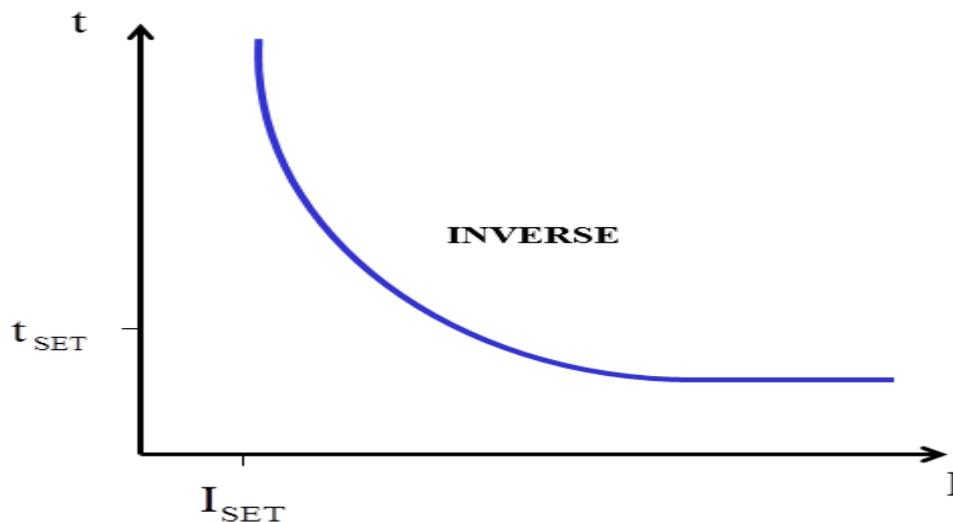
I<sub>p</sub> = Arus Setting (A)

α, β = Konstanta

Tabel 2. 1 Nilai Konstanta α dan β untuk Karakteristik Inverse

	α	B
<i>Normal Inverse</i>	0,02	0,14
<i>Very Inverse</i>	1	13,5
<i>Extremely Inverse</i>	2	80
<i>Long Invers</i>	1	54

(sumber IEC 60255)



### Gambar 2. 7 Karakteristik Waktu Terbalik

Prinsip kerja relay arus lebih ialah ketika ada arus hubung singkat atau arus berlebih maka rele akan memberikan perintah trip ke pemutus tenaga atau PMT sesuai dengan karakteristik waktunya. (Tawfeeq & Alzuhairi, 2015).