

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada penelitian [1] membahas mengenai koordinasi proteksi relai arus lebih pada perencanaan jaringan distribusi *spindle* GI Ciawi Trafo 1 Bogor. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *ETAP* 6.0 didapatkan bahwa koordinasi antar relai telah bekerja sesuai urutan dengan waktu kerja antar relai berkisar 0,1-0,2 detik.

Penelitian yang dilakukan Risangpajar, dkk [2] membahas evaluasi *setting Over Current Relay* (OCR) pada jaringan distribusi daya pemakaian sendiri di Unit Pembangkitan Tambak Lorok Blok I Semarang dengan menggunakan *ETAP* 7.5.0. dengan menentukan nilai arus *setting* untuk menghitung TMS dari masing-masing relai proteksi OCR pada jaringan. Pada *existing*, relai OCR terdekat tidak bekerja saat gangguan sehingga tidak sesuai syarat koordinasi proteksi. Terdapat relai OCR dengan *time grading* kurang dari 0,2 detik dan lebih dari 0,4 detik. Terdapat kurva koordinasi yang tumpang-tindih. Setelah *resetting*, relai OCR terdekat bekerja saat gangguan. Proteksi *back-up* bekerja sesuai urutan koordinasi saat relai utama gagal dan tidak ditemukan kurva tumpang-tindih. *Time grading* sesuai standar IEEE 242-1986, yaitu 0,2 - 0,4 detik. Penelitian ini memberikan koordinasi proteksi lebih baik daripada *existing* dengan *time grading* sesuai standar IEEE 242-1986. Hasilnya adalah peningkatan keandalan pada jaringan distribusi daya pemakaian sendiri di Unit Pembangkitan Tambak Lorok Blok I Semarang.

Setelah dilakukan analisa oleh [3] terhadap perubahan arus gangguan yang muncul serta koordinasi *setting* relai proteksi GH Lubuk Buaya, didapati bahwa nilai *setting* arus OCR moment pada *incoming* dan masing-masing *Feeder* di *Outgoing* GH perlu dilakukan perubahan karena kurang efektif. *Setting* arus *instan* terlalu kecil sehingga menyebabkan relay pada *incoming* akan sama-sama merasakan arus gangguan hubung singkat 2 untuk jarak gangguan kurang dari 30% panjang masing-masing *Outgoing*. Hasil Penelitian ini dapat meminimalkan *trip* (pemutusan) yang terjadi pada penyulang. Dimana *setting* ulang waktu kerja pada *relay Outgoing* di set 0,3 sec dan untuk *setting* waktu kerja *incoming* GH Lubuk Buaya di set 0,6 dimana ada *grading time* sebesar 0,3 sec. *Setting* ulang ini dimaksudkan agar relai tidak sampai *trip* lagi akibat arus *Inrush* dari trafo-trafo distribusi yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut dimasukkan. Sehingga untuk mengkoordinasikan kembali dapat digunakan *setting relay* hasil analisa yang terdapat pada tabel *Incoming* dan *Outgoing Feeder* GH Lubuk Buaya.

Penelitian [4] dilakukan analisis arus hubung singkat tiga fase pada sistem distribusi standard IEEE 13 bus dengan menggunakan *ETAP Power Station 7.0*. Penelitian dilakukan dengan membuat model sistem distribusi standar 13 bus dengan menggunakan *ETAP Power Station 7.0*. Data-data sistem yang diperlukan kemudian dimasukkan ke dalam model tersebut. Setelah modelnya lengkap kemudian dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah sempurna atau belum. Kemudian ditentukan lokasi yang akan terjadi gangguan hubung singkat tiga fase, dalam hal ini lokasi

hubung singkat dilakukan pada masing masing bus yang berada pada sistem tiga fase, antara lain pada bus 632, bus 633, bus 634, bus 671, bus 692, bus 675.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa gangguan hubung singkat tiga fase jika semakin jauh bus tersebut dari *power grid*, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi salurannya maka arus hubung singkat tiga fase akan semakin kecil, juga didapat hasil bahwa arus gangguan terbesar terjadi pada bus 634 dengan nilai gangguan 20.157 A, karena berada pada tegangan yang berbedayaitu berada pada tegangan 0,48 kV dari trafo gardu induk yang di suplai dari bus 633 dari tegangan dasar sebesar 4,16 kV.

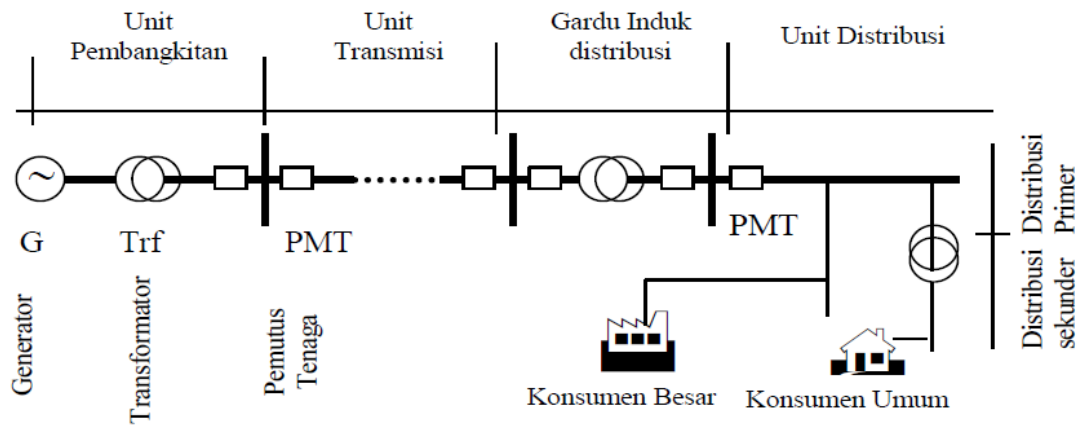
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.

Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat. Dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat

pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Dengan menggunakan Blok diagram sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut [5] :



Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Tenaga Listrik

Sumber : PT PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal. 3

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

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. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya 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 induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Dilihat dari tegangannya sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu [6] :

1. Distribusi Primer, terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo *substation* (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV.
2. Distribusi Sekunder, terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt.

2.2.3 Macam-macam Jaringan Distribusi

2.2.3.1 Jaringan Distribusi *Radial*

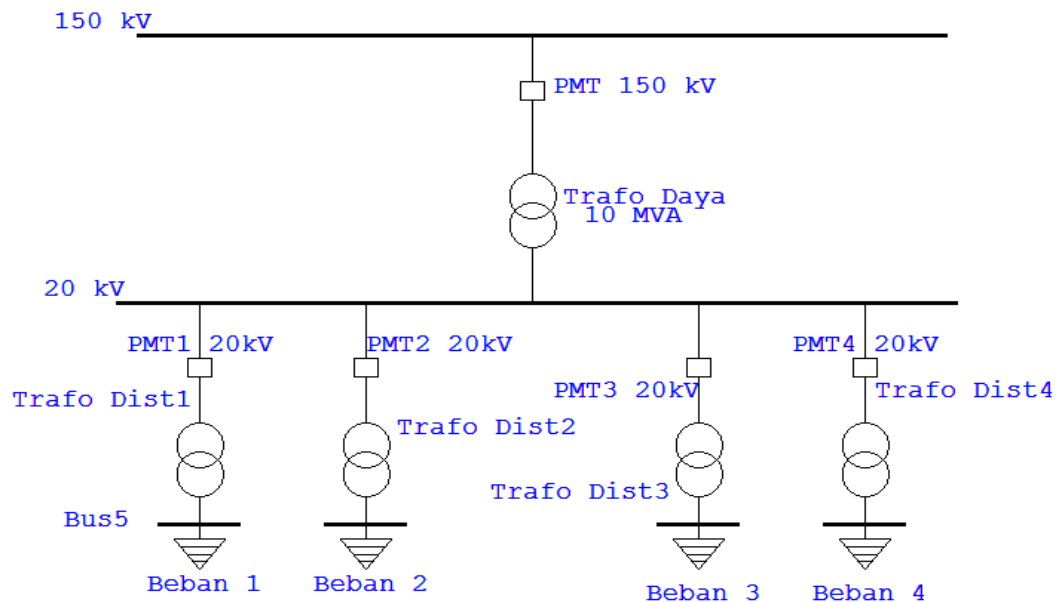
Sistem *radial* ini merupakan suatu sistem distribusi tegangan menengah yang paling sederhana, murah, banyak digunakan terutama untuk sistem yang kecil/kawasan pedesaan. Proteksi yang digunakan tidak rumit dan keandalannya paling rendah [7].

Keuntungan :

- Mudah mengoperasikannya.
- Sistem pemeliharaannya lebih murah.
- Bentuknya sederhana

Kerugiannya :

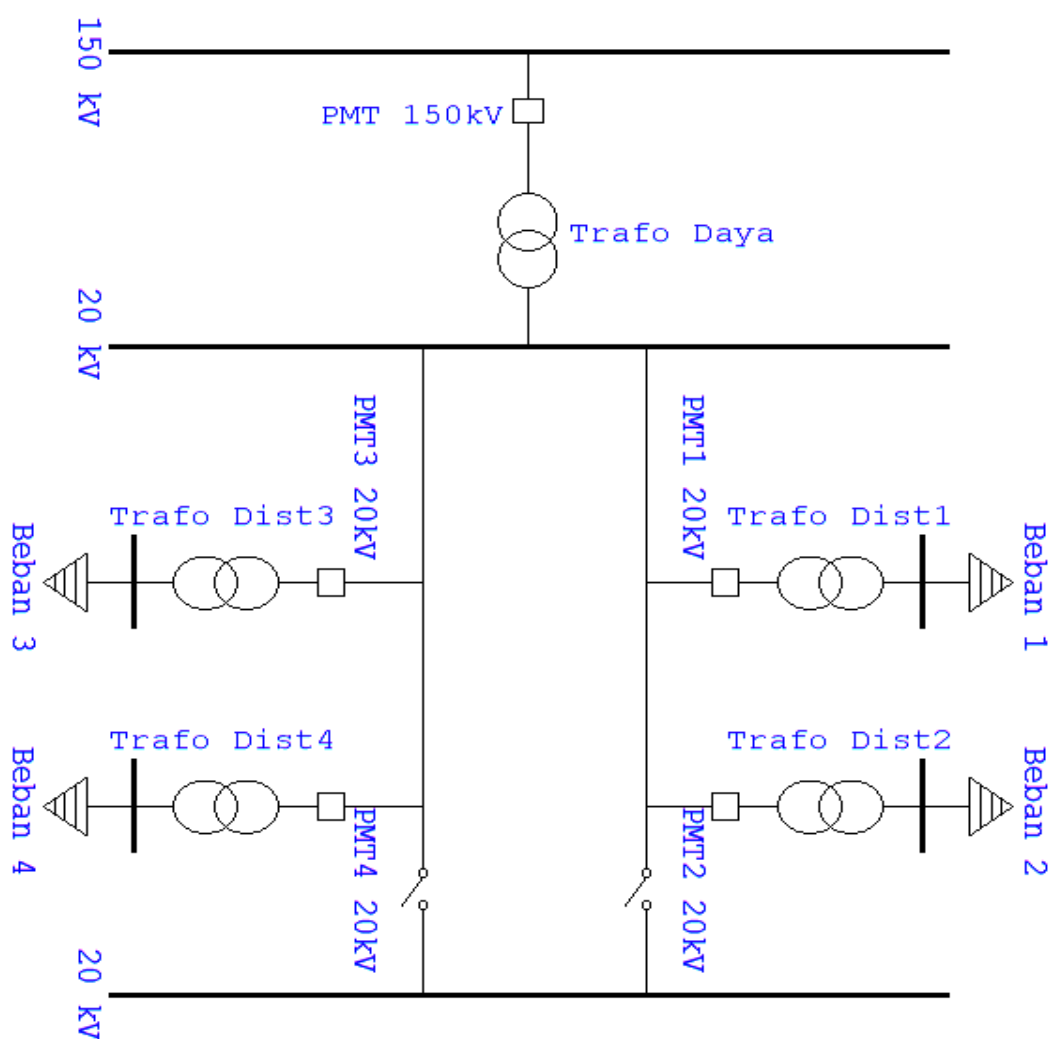
- Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanannya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman / *black out* secara total.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi *Radial*

2.2.3.2 Jaringan Distribusi *Loop*

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan *loop*. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena susut tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil [7].



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi *Loop*

Keuntungan :

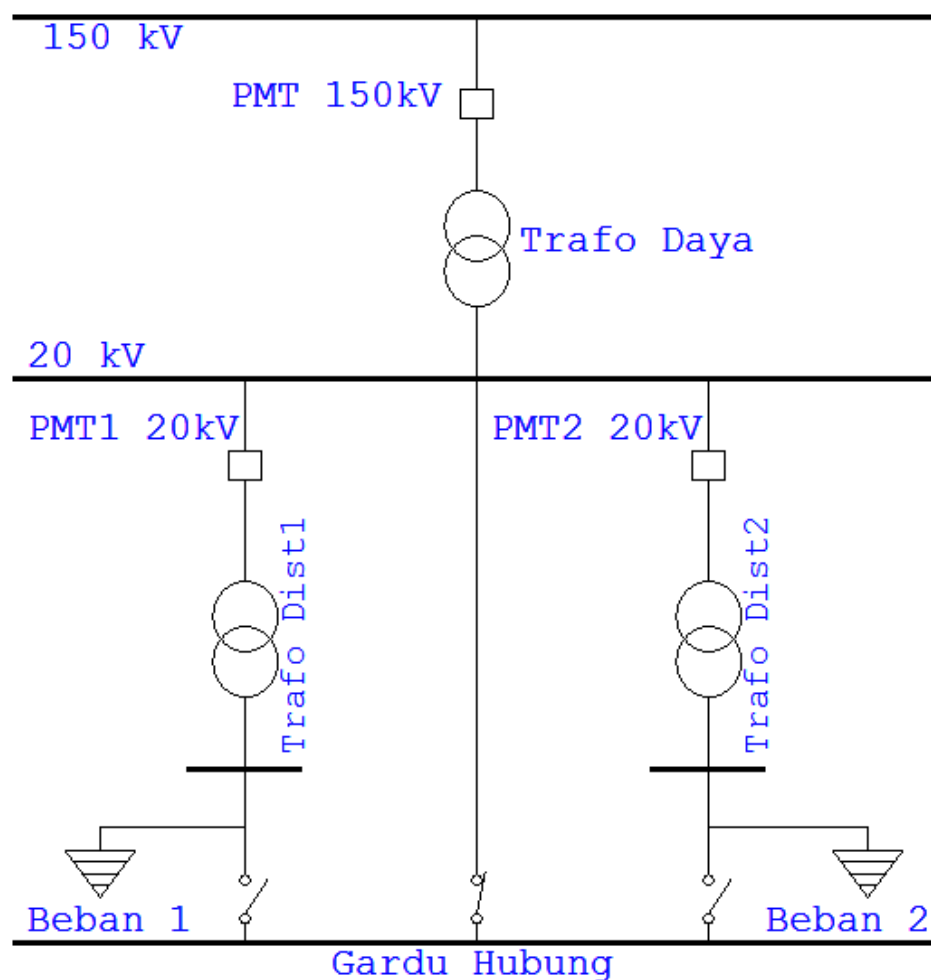
- Jumlah konsumen yang besar bisa dijangkau.
- Gangguan salah satu sisi penghantar harus sanggup menampung seluruh beban yang terpasang pada sistem, disini erat hubungannya dengan rugi tegangan.

Kerugian :

- Lebih mahal biaya investasi
- Lebih rumit pengendalian dan sistemnya

2.2.3.3 Jaringan Distribusi *Spindle*

Sistem *spindle* merupakan sistem yang relatif handal karena disediakan satu buah *express feeder* yang merupakan *feeder*/penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung/GH refleksi. *Express feeder* tersebut berfungsi sebagai cadangan ketika terjadi gangguan pada *feeder* lain. Sistem ini banyak digunakan pada jaringan SKTM. Sistem ini relatif mahal karena biasanya dalam pembangunannya sekaligus untuk mengatasi perkembangan beban dimasa yang akan datang. Proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem *open loop*. Biasanya di setiap *feeder* dalam sistem *spindle* disediakan gardu tengah (*middle point*) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut [7].



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi *Spindle*

2.2.4 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih (*Over Current Relay / OCR*) merupakan peralatan yang mendeteksi adanya arus lebih, baik disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih akan bekerja apabila arus yang terdeteksi oleh relai melebihi nilai *setting /* ambang batas arusnya.

Fungsi utama OCR adalah sebagai pengaman utama atau cadangan untuk gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem, terutama gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan gangguan hubung singkat ke tanah. Oleh karena itu, relai arus lebih memiliki 2 jenis pengaman yang berbeda, yaitu pengaman terhadap hubung singkat fasa (OCR/*Over Current Relay*) dan pengaman hubung tanah (GFR/*Ground Fault Relay*) [8].

Adapun arus yang mengakibatkan bekerjanya relai, meliputi [9]:

- Arus *pick-up* (I_p) adalah nilai arus minimum yang dapat menyebabkan relai bekerja dan menutup kontakannya. Arus ini biasa disebut sebagai arus kerja. Berdasarkan *British Standard* kesalahan *pick-up* berkisar antara 1,05-1,5 dari tiap *setting* arusnya.
- Arus *drop-off* (I_d) adalah nilai arus maksimum yang menyebabkan relai berhenti bekerja sehingga kontakannya membuka kembali. Arus ini biasa disebut sebagai arus kembali..

2.2.5 Jenis OCR Berdasarkan Karakteristik Waktu

Karakteristik waktu kerja relai proteksi secara garis besar dapat dikelompokkan sebagai berikut, yaitu [10] :

a. Relai Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Relai akan bekerja seketika tanpa waktu tunda, bila arus yang dideteksi melebihi setelan relai. Waktu bekerjanya relai antara 0,016 detik sampai dengan 0,1 detik dengan setelan arus sangat besar biasanya 4 sampai 6 kali arus nominal.

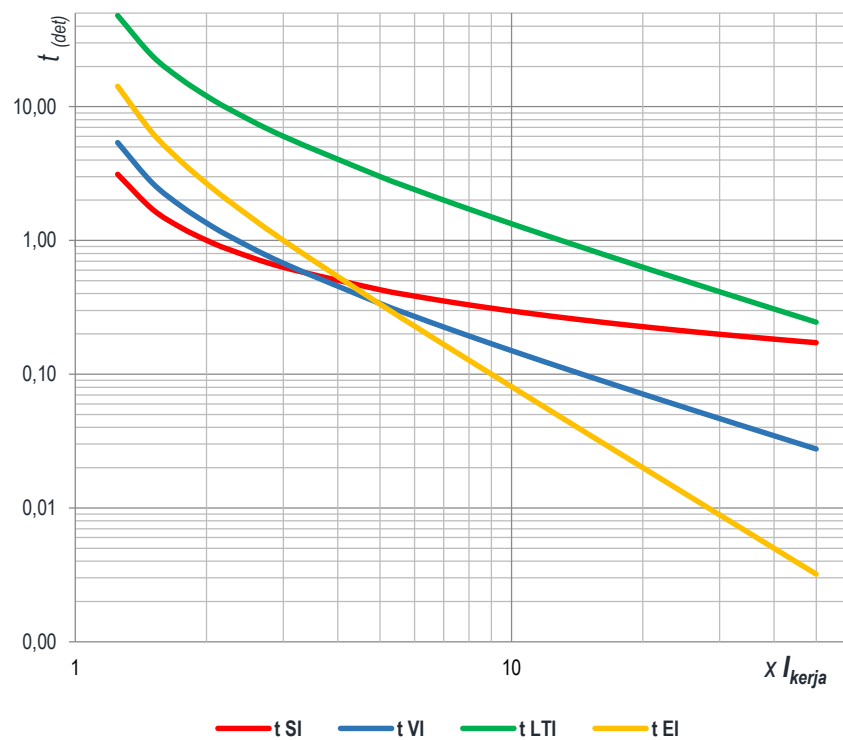
b. Relai Arus Lebih dengan waktu tunda tertentu (*Definite time*)

Relai akan bekerja dengan waktu tunda tertentu yang tidak tergantung dari besarnya arus, asalkan arus yang dideteksi melebihi nilai setelan relai. Yang disetel adalah arus dan waktu tundanya.

c. Relai Arus Lebih dengan waktu terbalik (*Inverse time*)

Relai akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus yang dideteksi berbanding terbalik dengan waktu, makin besar arusnya makin kecil waktu tundanya.

Menurut standar IEC terdapat empat karakteristik *inverse*, yaitu *Standard Inverse* (SI), *Very Inverse* (VI), *Long Time Inverse* (LTI) dan *Extremely Inverse* (EI). Persamaan kurva waktu terhadap arus untuk karakteristik *inverse* standar IEC [11] :



Gambar 2.5 Macam Kurva Karakteristik *Inverse* (TMS=0,1)

2.2.6 Dasar Penyetelan Relai

Ada beberapa persamaan yang digunakan sebagai untuk melakukan penyetelan relai, antara lain [12] :

2.2.6.1 Penyetelan Waktu Kerja

$$t = \frac{a \times (Tms)}{\left[\frac{In_{(setting)}}{ISC_{(setting)}} \right]^n - C} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : t paling ujung (hilir) = 0,1 – 0,5 detik

t berikutnya = t paling ujung (hilir) + Δt

Δt = 0,3 – 0,5 detik

Tabel 2.1 Nilai a dan n Kurva Karakteristik

No	Kurva karakteristik	a	n
1	<i>Standart Inverse</i> / SI	0,14	0,02
2	<i>Very Inverse</i> / VI	13,5	1
3	<i>Long Time Inverse</i> / LTI	120	1
4	<i>Extremely Inverse</i> / EI	80	2

keterangan :

t : waktu kerja relai (*second* / s)

Tms : waktu yang di inputkan pada relai agar relai bekerja

In : Arus nominal beban (A)

I_{sc} : Arus hubung singkat terkecil (kA)

$I_{n(setting)}$: Arus nominal *setting* pada relai (kA)

$I_{sc(setting)}$: Arus *setting* hubung singkat terendah (kA)

C : 1 (standar relai)

a : konstanta

n : eksponensial

2.2.6.2 Penyetelan Arus Kerja

$$I_{n(setting)} = I_n \times (1,05 \sim 1,5) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$I_{sc(setting)} = I_{sc} - (25\% \times I_{sc}) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$I_{instan/moment} = (3 - 6) \times I_{n(setting)} \dots \dots \dots (2.4)$$

keterangan :

$I_{instan/moment}$: Arus yang membuat relai bekerja tanpa waktu tunda (kA)