



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

Sistem proteksi terhadap tenaga listrik ialah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik. Sistem proteksi bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, dan keselamatan umum yang disebabkan karena gangguan dan meningkatkan kelangsungan pelayanan pada konsumen.

Cara, macam dan tingkat pengamanan yang diterapkan tergantung pada banyak faktor (sistem yang ada termasuk cara pentanahannya, peralatan, kondisi dan peraturan setempat dan macam beban) dan merupakan kompromi praktis yang memungkinkan untuk cukup memenuhi kebutuhan dan yang sebanding dengan biayanya. Macam dan karakteristik beban sangat mempengaruhi perencanaan “pengamanan” dan macam dan karakteristik beban pulalah yang banyak menentukan perencanaan suatu sistem distribusi. Jadi, perencanaan suatu sistem pengamanan pada hakekatnya tidak dapat dipisahkan, melainkan harus sudah terpadu (integrated) dalam perencanaan sistem distribusinya.

2.2 Perangkat Sistem Proteksi

Suatu sistem pengamanan terdiri dari alat – alat utama yaitu :

2.2.1 Pemutus tenaga (CB)

Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup



saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain.

2.2.2 Transformator arus (CT)

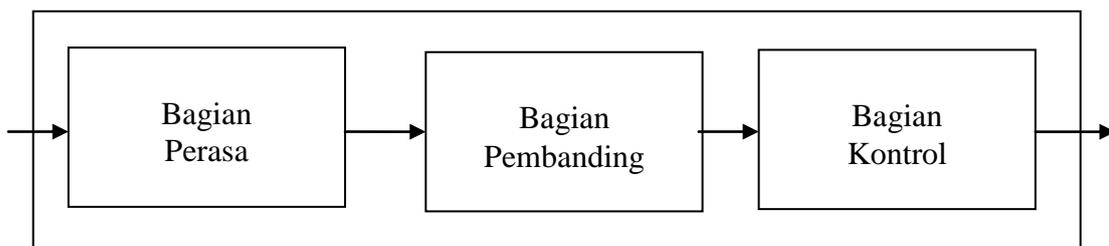
Trafo Arus (CT) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada intalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

2.2.3 Rele proteksi

Rele adalah suatu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengatur / memasukan suatu rangkaian listrik (rangkaian trip atau alarm) akibat adanya perubahan lain. Rele Proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem tenaga elektrik, tidak memiliki manfaat pada saat sistem berada dalam kondisi normal, namun sangat dibutuhkan bilamana sistem tengah mengalami gangguan dan kondisi tidak normal. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga.

2.3 Bagian Umum dari Suatu Rele Proteksi

Rele proteksi umumnya terdiri dari tiga bagian seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian Umum dari Suatu Proteksi



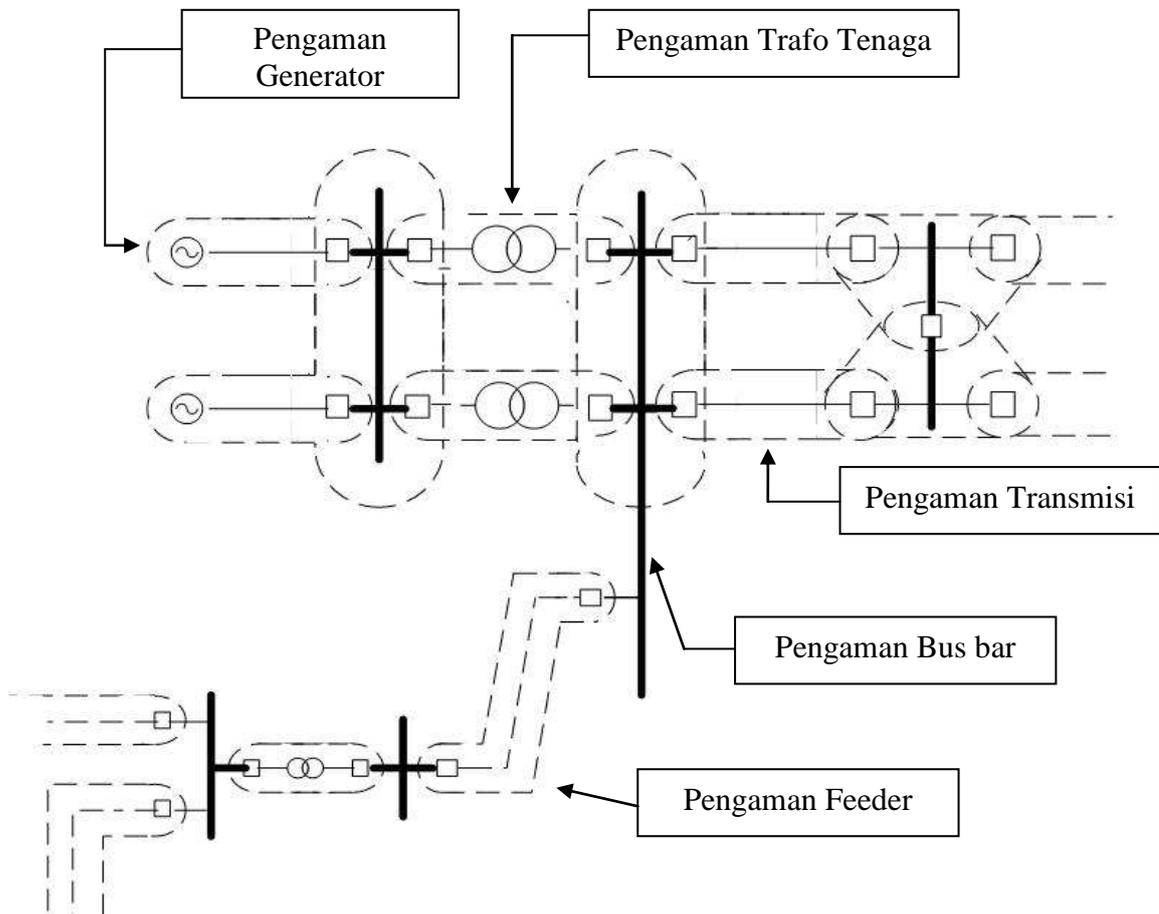
1. Bagian Perasa (sensing element)
Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.
2. Bagian Pembanding (comparing element)
Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur masih dalam keadaan normal atau tidak.
3. Bagian kontrol
Pada bagian ini pembukaan circuit breaker (PMT) atau pemberian tanda / signal diatur dan dilaksanakan.

2.4 Daerah Pengamanan (Protective Zone)

Untuk mendapatkan daerah pengamanan yang cukup baik didalam sistem tenaga listrik digai di dalam suatu daerah pengamanan yang cukup dengan pemutusan subsistem seminim mungkin. Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengaman adalah :

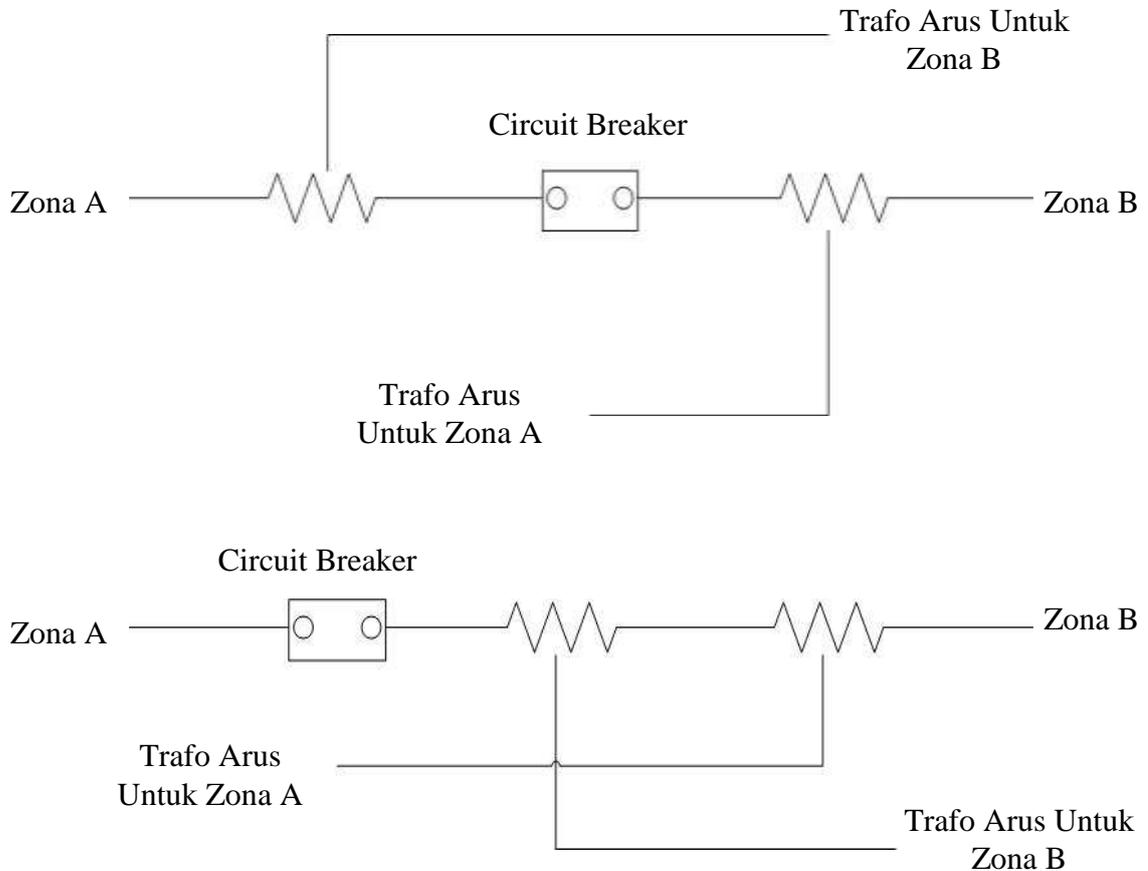
1. Generator
2. Transformator Daya
3. Bus bar
4. Transmisi dan distribusi
5. Motor

Pembagian dalam 5 daerah pengamanan dilaksanakan dengan saling meliputi daeran pengamanan didekatnya (overlapping). Sebagai contoh sistem tenaga listrik dan daerah pengaman diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram satu garis yang menggambarkan pengamanan utama pada sebagian sistem tenaga

Saling meliputi diperlukan guna menghindari kemungkinan adanya daerah yang tidak teramankan. Pelaksanaan saling meliputi dengan cara menghubungkan rele dengan trafo arus seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Prinsip Saling Meliputi disekitar Pemutus Beban

Daerah pengamanan yang dibicarakan di atas adalah daerah jangkauan dari rele pengamanan utama, yang berarti rele pengamanan utama yang mendeteksi adanya gangguan hubungan singkat dan meneruskan sinyalnya untuk memutuskan rangkaian dengan pemutus tenaga (Circuit Breaker). Bila rele pengamanan utama gagal melaksanakan tugasnya, maka harus ada rele pengamanan kedua untuk menggantikan / meneruskan fungsi pengamanan. Rele pengamanan kedua itu disebut back up relays. Rele pengamanan kedua tersebut dapat dipasang pada satu titik lokasi dengan rele pengamanan utama atau dapat juga dengan rele pengamanan yang terletak disisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan pada lokasi / stasiun yang berlainan).



2.5 Fungsi dan Peranan Rele Proteksi

Tugas rele proteksi berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal rele hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan. Rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
- e. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.6 Syarat-Syarat Rele Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif, yaitu:

A. Kepekaan (sensitivity)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Untuk rele arus lebih yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh untuk seksi berikutnya, rele ini juga harus dapat juga mendeteksi arus gangguan hubung singkat 2 fasa yang terjadi di ujung akhir jaringan dalam kondisi pembangkitan minimum.

B. Keandalan (reliability)

Pada keandalan pengaman ada 3 aspek, pada sistem distribusi dengan tegangan menengah, yaitu :



1. Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman hanya dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan dependabilitynya harus tinggi.

2. Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

3. Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (actually in service) dari waktu total operasi.

4. Selektifitas (Selectivity)

Pengaman harus dapat memisahkan dimana bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengaman utamanya. Pengaman sedemikian disebut pengaman yang selektif.

Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengaman utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya di mana ia harus bekerja sama sekali karena gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

5. Kecepatan (Speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, dengan arus besar, maka bagian yang terganggu, harus dipisahkan secepat mungkin dari sumbernya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (time delay). Antara pengaman yang



terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang disetkan ke rele untuk menghindari thermal stress adalah

$$t_{total} = t_{start} + t_{CT} + t_{PMT}$$

Dimana,

t_{total} = Waktu total pembebasan gangguan

t_{start} = Waktu start rele (waktu kerja tanpa waktu tunda)

t_{CT} = Waktu CT menerima arus besar

t_{PMT} = Waktu pemutusan arus gangguan PMT

Dengan peralatan proteksi yang terpasang pada sistem tegangan menengah kondisi saat ini yang mempunyai

$$t_{start} = 20 - 30 \text{ mili detik}$$

$$t_{CT} = 10 \text{ mili detik}$$

$$t_{PMT} = 40 - 60 \text{ mili detik}$$

Maka t_{total} pengaman utama dengan waktu, bisa kurang 100milidetik. Setelah ini adalah setelah untuk pengaman dengan waktu instant (cepat), yang disetkan untuk pengaman listrik bila terjadi gangguan listrik dengan arus besar.

2.7 Hal – Hal yang Menyebabkan Kegagalan Pengaman

Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang dapat menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Kegagalan pada rele sendiri
- b. Kegagalan suplai arus dan/atau tegangan ke rele tegangannya rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat
- c. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- d. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun



kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

2.8 Pengaman Utama dan Pengaman Cadangan

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (Back Up Protection) . Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial.
- b. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja terlebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama.

Pada pengaman cadangan dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu :

- a. Pengaman cadangan setempat, yang berfungsi menginformasikan adanya gangguan tersebut kepada seluruh pemutus tenaga (PMT) yang terkait dengan kegagalan sistem proteksi sehingga tenaganya tidak membuka.
- b. Pengaman cadangan remote (remote), dalam hal ini bila terdapat suatu kegagalan suatu pengaman maka pengaman disisi hulunya harus dapat mendeteksi dan kemudian bekerja dengan suatu perlambatan waktu.



2.9 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan.

Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka rele jenis ini termasuk rele yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya. Relay jenis ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ketanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih. Digunakan sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi sistem radial, sebagai pengaman cadangan untuk generator, transformator daya dan saluran transmisi.

2.10 Keuntungan dan Fungsi Rele Arus Lebih

Rele arus lebih mempunyai keuntungan dan mempunyai fungsi yaitu :

- a. Sederhana dan murah.
- b. Mudah penyetelannya.
- c. Merupakan rele pengaman utama dan cadangann.
- d. Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat satu fasa ketanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (overload).
- e. Pengamanan utama pada jaringan distiribusi dan sub transmisi radial.
- f. Pengamanan cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi

2.11 Karakteristik Rele Arus Lebih

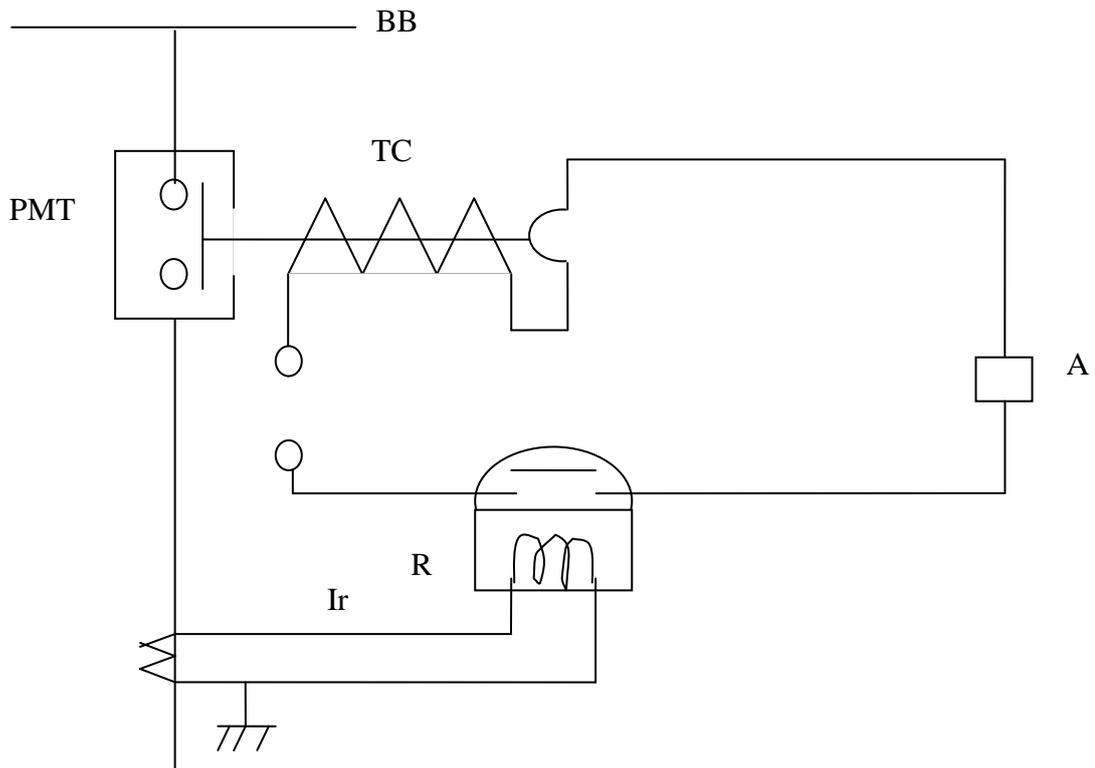
Beberapa macarn jenis rele arus lebih menurut karakteristiknya , yaitu :

2.11.1 Rele arus lebih seketika (moment)

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja relay yaitu mulai saat rele mengalami pick-up sampai selesainya kerja rele sangat singkat yakni sekitar 20 - 100 mili detik tanpa adanya



penundaan waktu. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (definite time) dan waktu terbalik (inverse time) dan hanya dalam beberapa hal berdiri sendiri secara khusus.



Gambar 2.4 Rangkaian Rele Arus Lebih Seketika

Keterangan gambar:

BB = Bus-bar

PMT = Pemutus (Circuit Breaker)

TC = Kumparan pemutus (Tripping Coil)

DC = Sumber arus searah

- = Polaritas negatif sumber arus searah

+ = Polaritas positif sumber arus searah

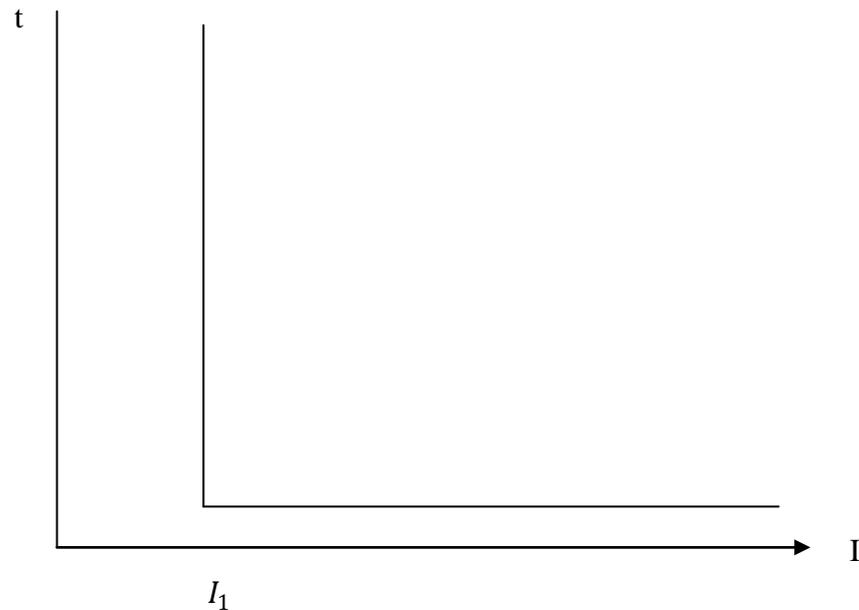
A = Tanda bahaya (Alarm)

R = Relay arus lebih seketika

CT = Transformator arus (Current transformer)



I_r = Arus yang melewati kumparan relay
 I = Arus beban
 = Pentanahan



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika

Bila karena suatu hal sehingga harga arus beban I naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga I_r juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga operasi dari rele, maka relay arus lebih seketika akan bekerja. Kerja dari rele ini ditandai dengan bergeraknya kontaktor gerak rele untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus/trip akan tertutup.

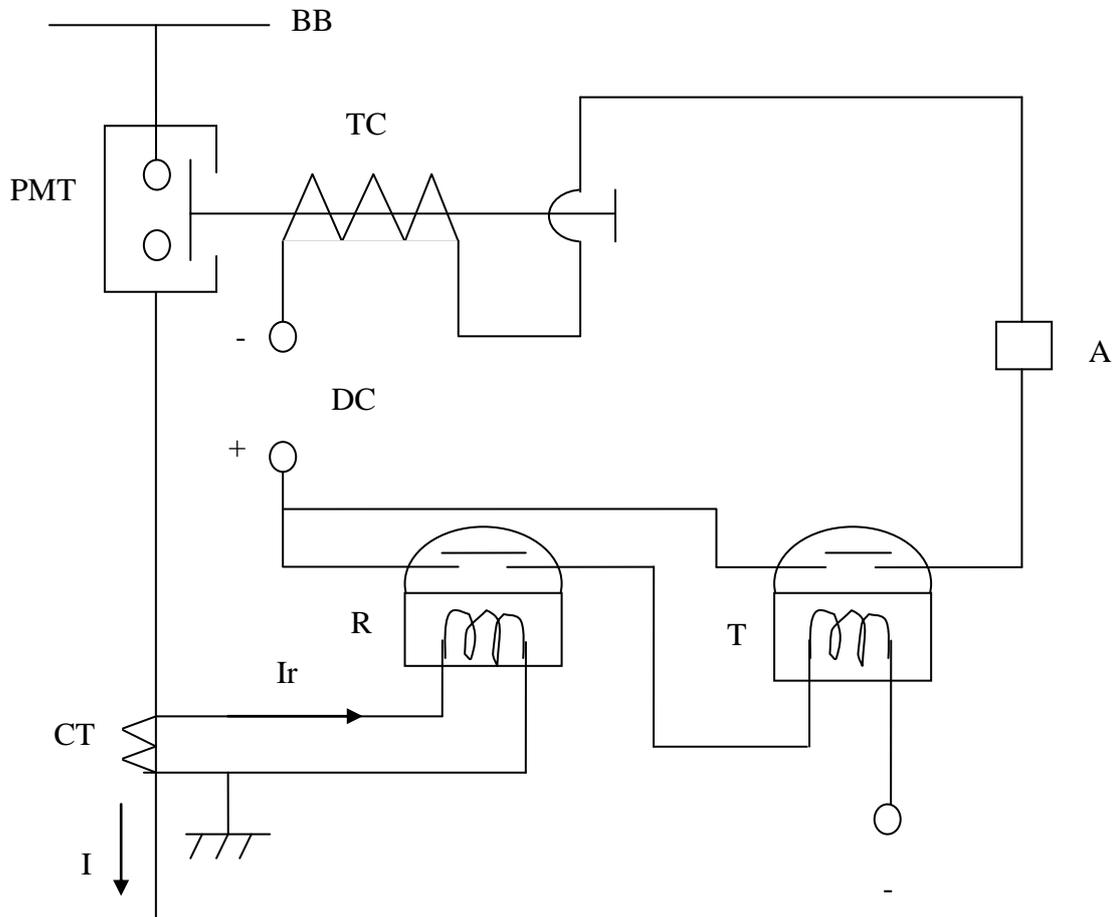
Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan Kontak Pemutus sehingga bagian sistem yang harus diamankan terbuka.

2.11.2 Rele arus lebih waktu tertentu (definiti time)

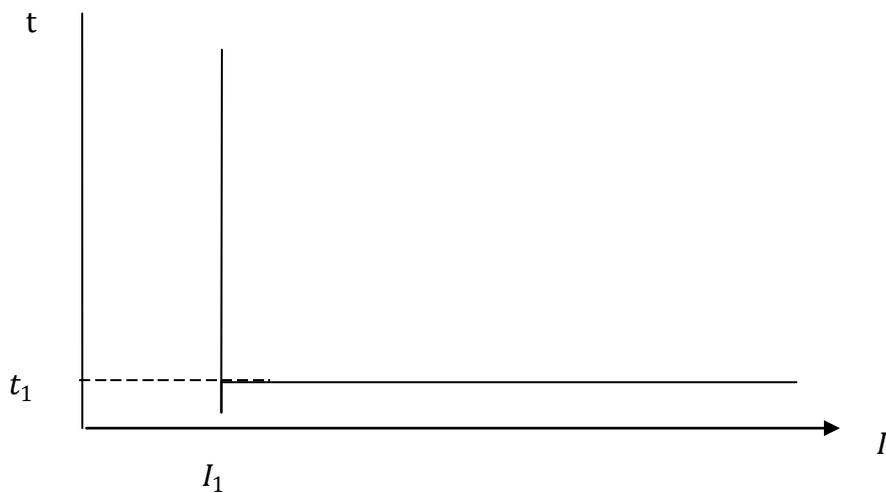
Rele arus lebih waktu tertentu adalah jenis relay arus lebih dimana jangka waktu rele mulai pick-up sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya



(tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus setting maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu settingnya)



Gambar 2.6 Rangkaian Rele Arus Lebih



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Tertentu

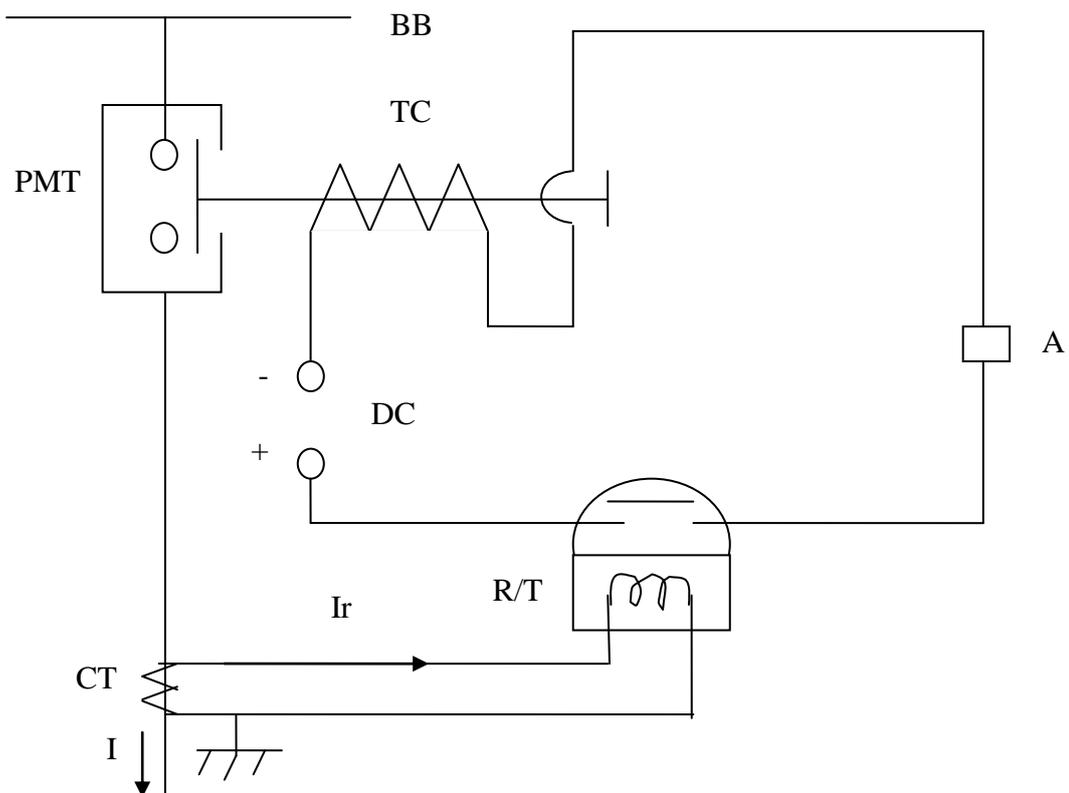


Dengan memasang rele kelambatan waktu T (Time lag relay) seperti gambar 2.6, maka beroperasinya rangkaian rele akan tergantung pada penyetelan / setting waktu pada rele kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya dapat dilihat pada gambar 2.7.

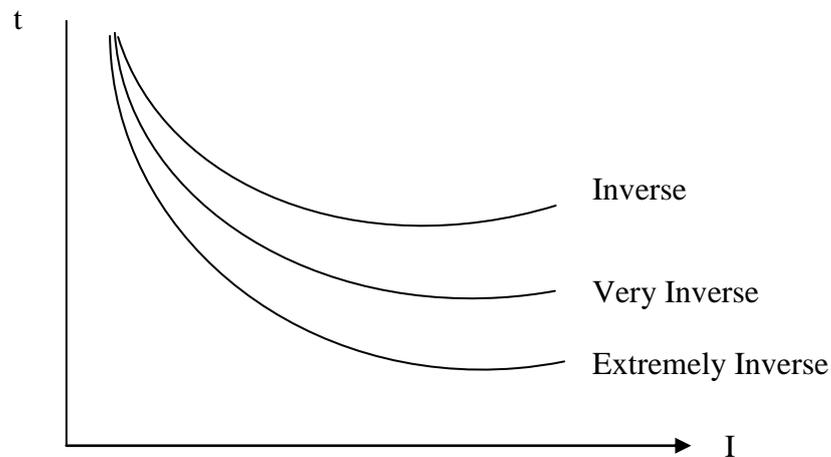
2.11.3 Rele arus lebih berbanding terbalik (inverse time)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu-arus berbanding terbalik adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai pick-up sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya.

Adapun rangkaian dan karakteristiknya dapat dilihat pada gambar 2.8 dan 2.9 :



Gambar 2.8 Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik



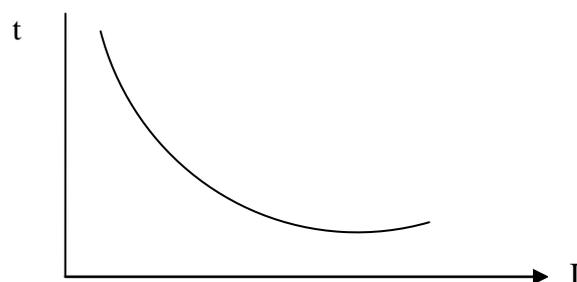
Gambar 2.9 Karakteristik Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, akan tetapi kesemuanya itu dapat digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut:

- 1) Berbanding terbalik biasa (standar inverse)
- 2) Sangat berbanding terbalik (very inverse)
- 3) Sangat berbanding terbalik sekali (extremely inverse)

2.11.4 Rele arus lebih inverse definiti minimum time (IDMT)

Rele arus lebih dengan karakteristik inverse definiti minimum time (IDMT) ialah jika jangka waktu rele arus mulai pick up sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele pick up dan kemudin mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar.



2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse Definiti Minimum Time



2.12 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai setting, maka rele akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting. Rele arus lebih memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Rele arus lebih biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa).

2.13 Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang biasa disensor oleh rele arus lebih yaitu

- a. Gangguan arus hubung singkat 3 Fasa
- b. Gangguan arus hubung singkat 2 fasa

Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat yaitu dengan menggunakan hukum ohm :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.1)$$

I = Arus Gangguan

V = Tegangan Sumber

Z = Impedansi dari sumber ke titik gangguan

2.14 Perhitungan Impedansi

2.14.1 Perhitungan impedansi sumber

Impedansi sumber adalah nilai tahanan pada sisi primer, yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi. Beberapa perusahaan listrik memberikan data pada langganan untuk menetapkan pemutus rangkaian sistem distribusi yang dihubungkan pada sistem pemakaian di seberang titik.

$$X_{th} = \frac{(\text{nominal kV})^2}{\text{MVA hubung -singkat}} \dots\dots\dots(2.2)$$



Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak disisi primer kesisi sekunder dilakukan dengan cara menyamakan daya trafo tenaga antara sisi primer dan sekunder, maka

$$\frac{(kV_1)^2}{Z_1} = \frac{(kV_2)^2}{Z_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dari persamaan 2.3 didapatkan rumus seperti persamaan 2.4

$$Z_2 = \frac{(kV_2)^2}{(kV_1)^2} \times Z_1 \dots\dots\dots(2.4)$$

2.14.2 Perhitungan reaktansi trafo

Reaktansi trafo tenaga tercantum pada papan nama pada trafo Untuk perhitungan reaktansi trafo digunakan rumus seperti persamaan 2.5 :

$$X_{(100\%)} = \frac{(kV)^2}{(MVA)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Nilai reaktansi trafo tenaga ini adalah reaktansi urutan positif negatif, Maka rumus digunakan untuk menghitung reaktansi Trafo urutan positif negatif yaitu

$$X_{t1} = X \% \times X_{(100\%)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

X_{t1} = Reaktansi trafo (ohm)

$X \%$ = Reaktansi dalam %

2.14.3 Perhitungan impedansi penyulang

Perhitungan impedansi penyulang atau jaringan distribusi adalah impedansi yang telah ditetapkan, besarnya tergantung luas penampang , nilai impedansi dalam ohm yang tergantung pada panjang kawat. Maka rumus untuk menghitung impedansi penyulang yaitu :

$$\text{Impedansi Penyulang} = \text{Panjang Penyulang (km)} \times Z \text{ (Ohm/Km)} \dots\dots\dots(2.7)$$



2.14.4 Perhitungan impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan impedansi ekivalen jaringan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen urutan Positif dan impedansi ekivalen urutan negatif dari titik gangguan sampai kesumber. Jaringan Ekivalen (Z_{1eq} dan Z_{2eq}) dapat langsung dihitung sesuai lokasi gangguan, dengan menjumlahkan impedansi sumber, impedansi trafo dan impedansi penyulang.. Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} yaitu :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_2 + X_{t1} + Z_{1penyulang} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.14.5 Perhitungan arus gangguan hubung singkat

Perhitungan gangguan terdiri dari penentuan besarnya arus yang mengalir di berbagai lokasi pada suatu sistem untuk bermacam – macam jenis gangguan. Gangguan listrik yang terjadi pada sistem kelistrikan 3 fasa adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan arus gangguan hubung singkat 2 fasa.

1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa

Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif ekivalen Z_1 . Tegangannya adalah V fasa. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$I_{f3} = \frac{V}{Z_{1eq}} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

I_{3fasa} = Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

V = Tegangan Fasa – Netral

Z_{1eq} = Impedansi Z_1 Ekivalen

2. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa

Impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif + urutan negatif. Nilai Ekivalen $Z_1 + Z_2$. Tegangannya adalah V Fasa-



fasa. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$I_{f2} = \frac{V}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

I_{2fasa} = Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

V = Tegangan Fasa – Fasa

Z_{1eq} = Impedansi Z1 Ekivalen

Z_{2eq} = Impedansi Z2 Ekivalen

2.15 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

Pada tahap berikutnya, hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan TMS (Time Multiple Setting), dari rele arus lebih dengan karakteristik invers. Disamping itu setelah nilai setelan pele diperoleh, nilai – nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa rele arus lebih. Berikut ini adalah kaidah setelan arus dan waktu pada penyulang. Tabel dibawah ini adalah kaidah setting rele arus lebih

Tabel 2.1 Kaidah Setting Rele Arus Lebih

Uraian	Penyulang	Incoming Trf
Jenis	SI	SI
Karakteristik	OCR	OCR
Setelan Arus	$(1,0-1,2) \times I_{nCT}$	$(1,0-1,2) \times I_{nTrf}$
Waktu Kerja	(0,2-0,4) detik	(0,7-1) detik



2.15.1 Arus setting

Sesuai British standar untuk rele inverse biasa diset sebesar 1,05 – 1,3 x Ibeban. Rumus yang digunakan untuk menghitung setelan arus pada sisi primer yaitu :

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Setelah mendapatkan nilai setelan arus sisi primer, untuk mendapatkan nilai setelah sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data rasio trafo arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{RasioCT}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana

Iset (primer) = Arus yang disetting di primer

Iset (sekunder) = Arus yang disetting di sekunder

Rasio CT = Setting Trafo yang dipasang di penyulang

2.15.2 Waktu Setting

Hubungan untuk arus dan waktu untuk beberapa karakteristik ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$t = \frac{K \times t_{ms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{\alpha} - 1}$$

Dimana :

t = waktu dalam detik

I_{fault} = arus gangguan

I_{set} = Arus Setting



K dan α untuk karakteristik besarnya seperti pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Karakteristik K dan α

Karakteristik	K	A
Standar Inverse	0,14	0,02
Very Inverse	13,5	1,0
Extremely Inverse	80,0	2,0
Long Time Inverse	120,0	1,0

Dari tabel 2.2, Hubungan untuk arus dan waktu untuk beberapa karakteristik ditunjukkan dalam persamaan yang ada pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Rumus Persamaan Setting Waktu

Karakteristik	Setelan Waktu
Standar Inverse	$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^{0,02} - 1 \right\}}{0,14}$
Very Inverse	$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{Ifault}{Iset} \right) - 1 \right\}}{13,5}$
Extremely Inverse	$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{Ifault}{Iset} \right)^2 - 1 \right\}}{80}$
Long Time Inverse	$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{Ifault}{Iset} \right) - 1 \right\}}{120}$



Waktu kerja rele di incoming ditentukan 1 detik untuk gangguan hubung singkat 3 fasa di bus 20 kV. Untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dinyatakan oleh persamaan 2.13.

$$I_s = \frac{V}{3 X_t} = \frac{100}{\% X_t} \times I_n \dots\dots\dots(2.13)$$

Persyaratan lain, yang harus dipenuhi adalah penyetelan waktu minimum dari rele arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih dari 0,3 detik.

2.16 Pemeriksaan Selektifitas Kerja Rele Arus Lebih

Hasil perhitungan setelan rele arus lebih yang didapat masih harus diperiksa, apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain masih bekerja selektif atau memberikan beda waktu kerja yang terlalu lama. Untuk waktu kerja yang terlalu lama bila terjadi kegagalan kerja rele arus lebih di Penyulang, maka rele arus lebih di incoming feeder yang dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama membuka (mentripkan) PMT.

Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada rele arus lebih dari jenis standar (normal) inverse, karena setelan waktu (T_{ms}) pada rele arus lebih jenis inverse bukan menunjukkan lamanya waktu kerja rele tersebut. Lamanya waktu kerja rele ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir pada rele. Makin besarnya arus gangguan hubung singkat yang mengalir di rele makin cepat kerja rele tersebut menutup kontaknya, kemudian memberikan tripping PMT.

Pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan bermacam – macam nilai arus gangguan hubung singkat sesuai hasil perhitungannya, ke persamaan inverse yang digunakan. Karena nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan hubung singkat adalah dalam nilai primer, maka dalam pemeriksaan selektifitas rele arus lebih ini, maka nilai setelan rele arus lebih yang akan dimasukkan kedalam persamaan rele Inverse juga diambil dari nilai arus primernya.