

BAB II

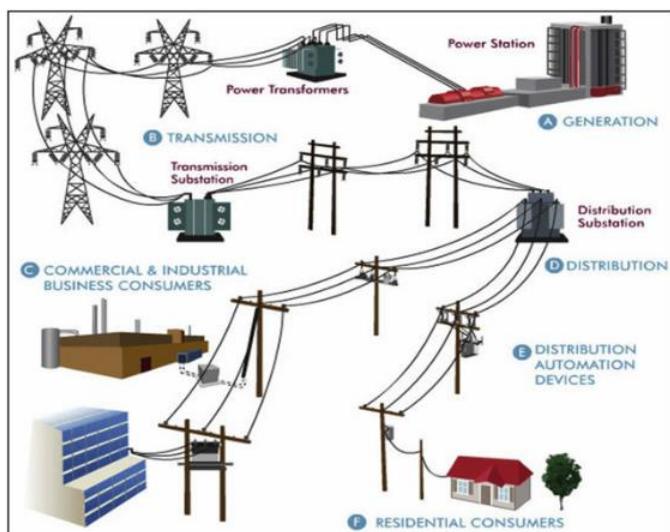
PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

Sistem Distribusi Tenaga Listrik

1. Pengertian

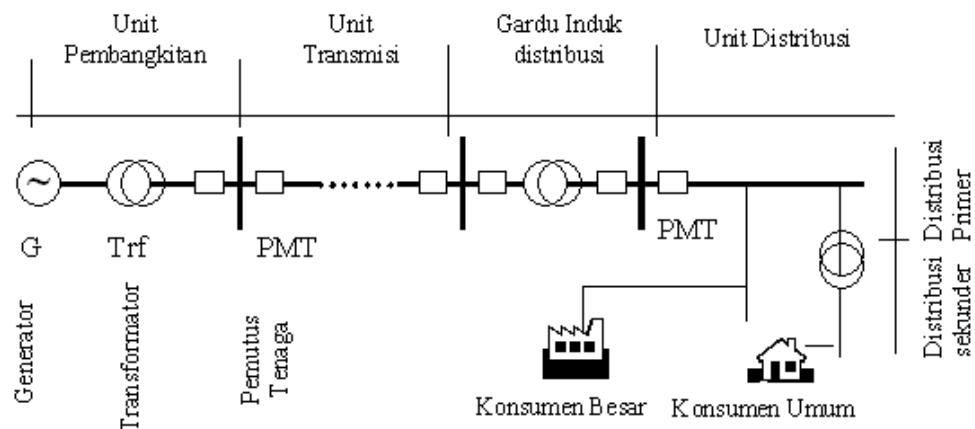
Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik.

Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; (1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan (2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi (Suhadi, 2008:11).



Gambar 1. Sistem distribusi tenaga listrik
(Sumber : <https://www.researchgate.net>)

2. Pengelompokan Jaringan



Gambar 2. Sistem pengelompokan distribusi tenaga listrik
(Sumber : <https://armanbacktrak5.wordpress.com>)

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan, antara lain:

- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer (*Prime Distribution*)
- Daerah IV : Unit Distribusi (*Secondary Distribution*)

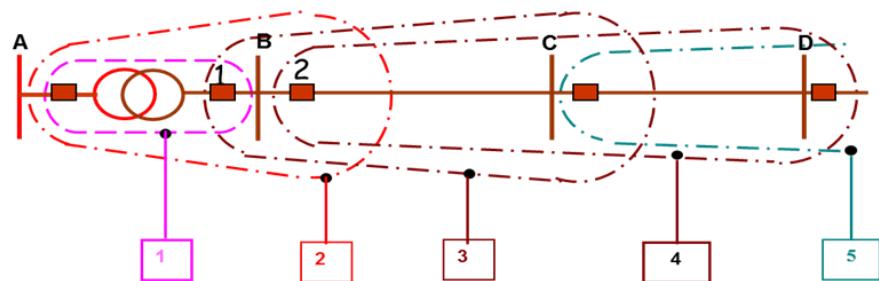
Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa sistem distribusi adalah daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup jaringan distribusi adalah:

- a. SUTM, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengamanan dan pemutus.

- b. SKTM, terdiri dari : Kabel tanah, *indoor* dan *outdoor termination*, batu bata, pasir dan lain-lain.
- c. Gardu trafo, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, *Arrester*, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. SUTR dan SKTR terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM yang membedakan hanya dimensinya.

3. Sistem Proteksi

Sistem proteksi di distribusi tenaga listrik bertujuan untuk mengamankan lokasi yang belum terkena gangguan agar kerugian tidak semakin besar dan mengamankan wilayah lainnya agar tidak terjadi gangguan. Perlu adanya koordinasi pengaman pada sistem distribusi tenaga listrik untuk menjaga agar sistem tenaga listrik bisa beroperasi dengan semestinya, untuk koordinasi pengaman di sistem distribusi listrik bisa dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3. Sistem proteksi distribusi tenaga listrik
(Sumber : Edi Supriyadi, 2017:6)

Keterangan :

- a) *Differensial Relay* : Pengaman utama transformator.

- b) *Over Current Relay* transformator sisi 150 KV : Pengaman cadangan lokal transformator, pengaman cadangan jauh bus B.
- c) OCR dan GFR transformator sisi 20 KV : Pengaman utama bus B1, Pengaman cadangan jauh saluran BC.
- d) OCR dan GFR di B2 : Pengaman utama saluran BC, Pengaman cadangan jauh saluran CD.
- e) OCR dan GFR di C : Pengaman utama saluran CD pengaman cadangan jauh seksi berikutnya.

4. Gangguan-Gangguan

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Disamping itu masalah drop tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih, dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisis secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem. Berikut merupakan gangguan-gangguan yang ada di sistem distribusi.

a. Gangguan Hilang Pembangkit

Merupakan gangguan yang disebabkan oleh hilangnya pasokan daya pada pembangkit. Gangguan ini terjadi karena beberapa faktor, antara lain:

- 1) Gangguan *internal* yaitu yang diakibatkan oleh pembangkit itu sendiri, misalnya: kerusakan/gangguan pada penggerak mula (*prime over*) dan kerusakan/gangguan pada generator, atau komponen lain yang ada di pembangkitan (Suhadi, 2008:181).
- 2) Gangguan *eksternal*, yaitu gangguan yang berasal dan diakibatkan dari luar pembangkitan, misalnya: gangguan hubung singkat pada jaringan. Hal ini akan menyebabkan sistem proteksi (*relay* atau *circuit breaker*) bekerja dan memisahkan suatu pembangkitan dari sistem yang lainnya. Apabila tingkat kemampuan pembebanan pembangkitan yang hilang atau terlepas dari sistem tersebut melampaui *spinning reserve system*, maka terjadi penurunan frekuensi terus menerus. Hal ini harus segera diatasi, karena akan menyebabkan trip pada unit pembangkitan yang lain, sehingga berakibat lebih fatal, yaitu sistem akan mengalami padam total (*collapse*) (Suhadi, 2008:181).

b. Gangguan Beban Lebih

Pelayanan kepada pelanggan listrik yang melebihi kemampuan sistem tenaga listrik yang ada, misal: transformator distribusi dengan kapasitas daya terpasang 100 KVA, akan tetapi melayani pelanggan lebih besar dari kapasitasnya. Hal ini menyebabkan transformator bekerja pada kondisi abnormal. Hal ini menimbulkan arus yang mengalir cukup besar dan menimbulkan panas, sehingga mengurangi *lifetime* pada peralatan.

c. Gangguan Tegangan Lebih

Menurut Suhadi (2010), gangguan tegangan lebih yaitu besarnya tegangan pada jaringan listrik melebihi tegangan nominal, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- 1) Adanya penurunan beban atau hilangnya beban pada jaringan, yang disebabkan oleh *switching* karena gangguan atau disebabkan karena manuver.
- 2) Terjadinya gangguan pada pengatur tegangan otomatis/*automatic voltage regulator* (AVR) pada generator atau pada *on load tap changer transformer*.
- 3) Putaran yang sangat cepat (*over speed*) pada generator yang diakibatkan karena kehilangan beban.
- 4) Terjadinya sambaran petir atau surja petir (*lightning surge*), yang mengakibatkan hubung singkat dan tegangan lebih.
- 5) Terjadinya surja hubung (*switch surge*), yaitu berupa hubung singkat akibat bekerjanya *circuit breaker*, sehingga menimbulkan tegangan *transient* yang tinggi.

d. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang mengakibatkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat pada jaringan listrik, dapat terjadi antara phasa dengan phasa (2 phasa atau 3 phasa) dan gangguan antara phasa ke tanah. Timbulnya gangguan

bisa bersifat sementara (*non persistant*) dan gangguan yang bersifat permanen (*persistent*) (Suhadi, 2008:182).

1) Gangguan Hubung Singkat Permanen

Gangguan hubung singkat permanen adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung dengan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh hubung singkat pada kabel, belitan transformator, dan generator.

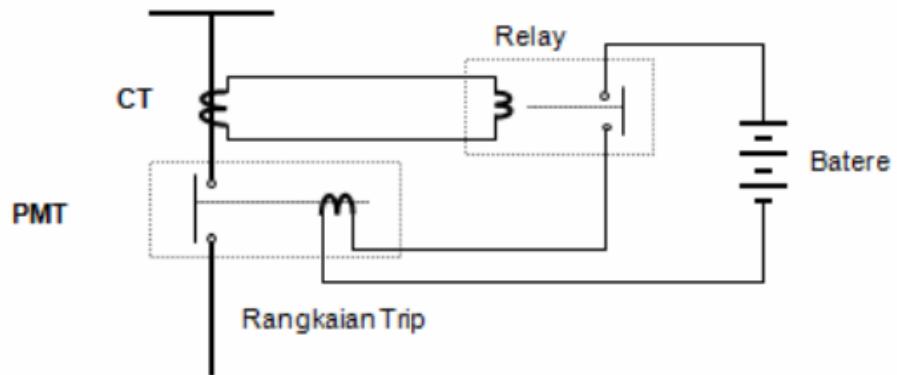
2) Gangguan Hubung Singkat Sementara

Gangguan hubung singkat sementara adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung sementara. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh sambaran petir dan tipan angin.

A. Relay Proteksi

1. Pengertian Relay Proteksi

Relay proteksi merupakan suatu alat baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk merasakan dan mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik. Jika terjadi gangguan maka *relay* secara otomatis akan memberikan sinyal perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem.



Gambar 4. *Wiring diagram* relay proteksi
 (Sumber : <https://rikikhomarudin09.wordpress.com>)

2. Fungsi Relay Proteksi

Secara umum prinsip fungsi *relay* proteksi dipasang di sistem distribusi tenaga listrik ada 3 fungsi pokok yaitu :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan cepat.
- b. Mengurangi gangguan kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap sistem yang lain yang tidak terganggu dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal dan juga untuk mencegah meluasnya gangguan.

3. Syarat Suatu Relay Proteksi

Untuk dapat menjaga kelangsungan penyaluran tenaga listrik, maka *relay* harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

a. Keandalan

Pada keadaan normal atau tidak terjadi gangguan, mungkin dalam waktu yang lama *relay* tidak bekerja. Namun ketika suatu saat terjadi gangguan maka *relay* tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut.

b. Sensifitas

Relay harus memiliki kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal sesuai dengan pengaturannya. *Relay* harus bekerja pada saat awal terjadi gangguan, sehingga gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Disamping itu *relay* juga harus stabil.

c. Selektifitas

Selektifitas berarti kemampuan untuk mengenali gangguan dan memberikan perintah ke pemutus tenaga untuk membuka seminimal mungkin untuk mengatasi gangguan yang terjadi.

d. Kecepatan

Relay pengaman harus mampu memutuskan dan memisahkan gangguan secara cepat dengan waktu gangguan yang minimum dan *relay* bekerja sesuai dengan pengaturan waktu yang telah ditetapkan.

e. Ekonomis

Memiliki kemampuan proteksi yang maksimum dengan biaya yang minimum. Keempat persyaratan di atas hendaknya tidak menyebabkan harga *relay* menjadi mahal.

4. Komponen Relay Proteksi

Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

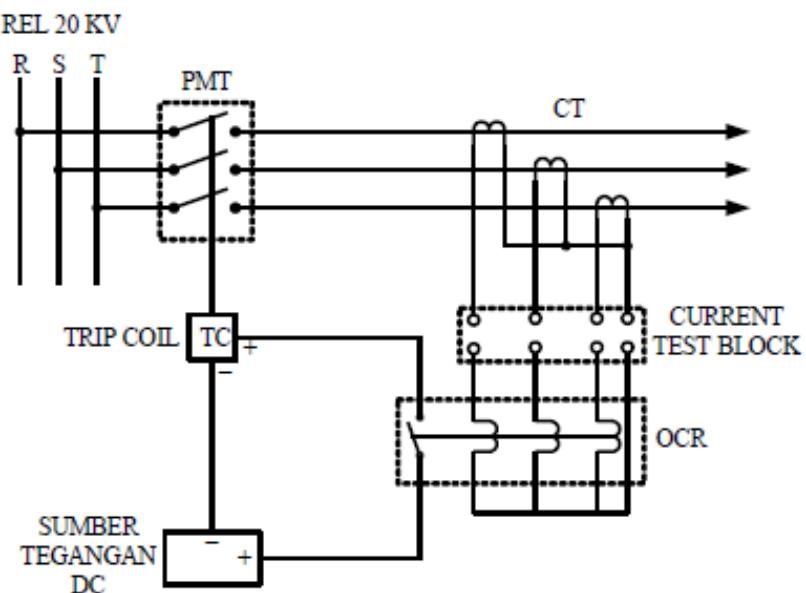
- a. *Relay*, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada pemutus tenaga (PMT).
- b. Transformator arus dan/atau transformator tegangan sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke *relay* (besaran listrik sekunder).
- c. Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
- d. Baterai dan alat pengisi (*battery charger*) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya *relay*, peralatan bantu tripping.
- e. Pengawatan (*wiring*) yang terdiri dari sirkit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu.

5. Jenis Relay Proteksi

- a. *Relay Arus Lebih (Over Current Relay)*

Relay arus lebih merupakan peralatan yang dapat merasakan adanya arus lebih yang disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat maupun adanya beban berlebih (*overload*) yang dapat merusak peralatan yang berada di wilayah proteksi. *Relay* ini berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) pada transformator tenaga untuk gangguan *eksternal* atau sebagai pengaman cadangan pada *outgoing feeder*.

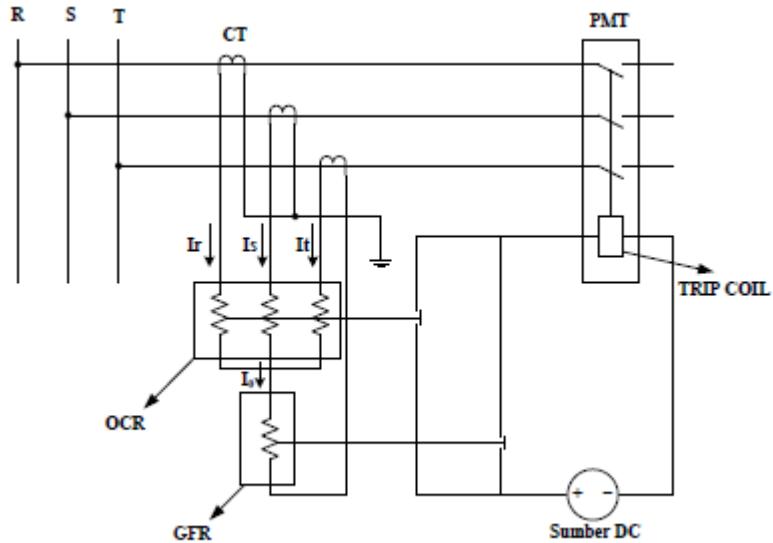
Pada dasarnya *relay* ini bekerja karena adanya arus lebih yang dirasakan baik karena hubung singkat maupun beban berlebih, yang kemudian akan memerintahkan PMT untuk membuka sehingga gangguan dapat dipisahkan dari sistem.



Gambar 5. *Wiring diagram relay arus lebih (OCR)*
(Sumber : Modul Diklat PT. PLN (Persero), 2010)

b. Relay Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Relay jenis ini memiliki prinsip kerja seperti halnya *relay* arus lebih (OCR), namun pada pengaplikasiannya berbeda. OCR akan mendeteksi bila terjadi hubung singkat antar phasa, sedangkan GFR akan mendeteksi bila terjadi hubung singkat ke tanah.



Gambar 6. *Wiring diagram relay gangguan tanah (GFR)*
 (Sumber : Modul Diklat PT. PLN (Persero), 2010)

Besar arus Ir , Is , It pada kondisi normal adalah seimbang, sehingga pada kawat tanah tidak mengalir arus dan *relay* gangguan tanah pun tidak bekerja. Bila terjadi hubung singkat ke tanah maka akan timbul ketidakseimbangan arus, sehingga pada kawat pentanahan akan mengalir arus urutan nol dan mengakibatkan GFR bekerja.

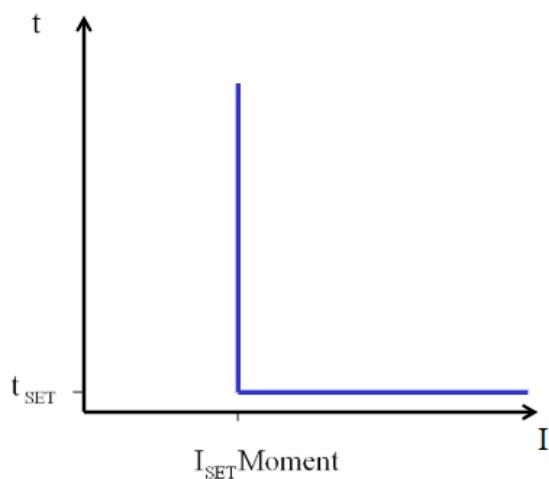
B. Karakteristik OCR Berdasarkan Waktu

OCR memiliki karakteristiknya masing-masing, berikut macam-macam karakteristik *relay* berdasarkan waktu :

1. *Instantaneous OCR (Relay Arus Lebih Waktu Kerja Seketika)*

Relay ini bekerja tanpa adanya penundaan waktu atau *time delay* dalam beroperasi apabila terjadi gangguan. *Relay* ini akan bekerja apabila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya. *Relay* ini bekerja dalam waktu

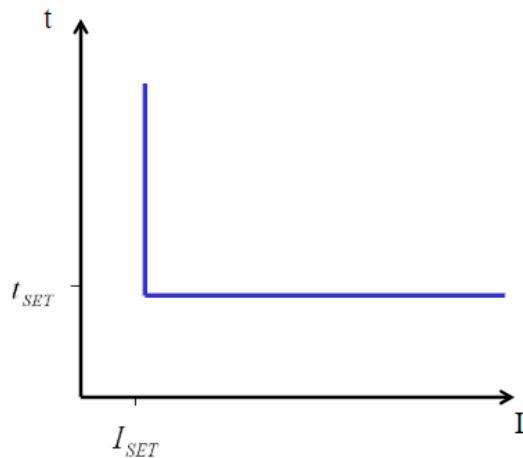
milidetik (*operating time = 0.1 second*). *Relay* ini akan beroperasi ketika arus mencapai nilai yang telah ditentukan. Setting yang dipilih pada gardu distribusi yang paling jauh dari sumber, *relay* akan beroperasi pada nilai arus yang rendah (Dr.Prof. Mohammed Tawfeeq, 2004:3).



Gambar 7. karakteristik *relay* waktu kerja seketika (*instantaneous*)
(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>)

2. *Definite Time OCR (Relay Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu)*

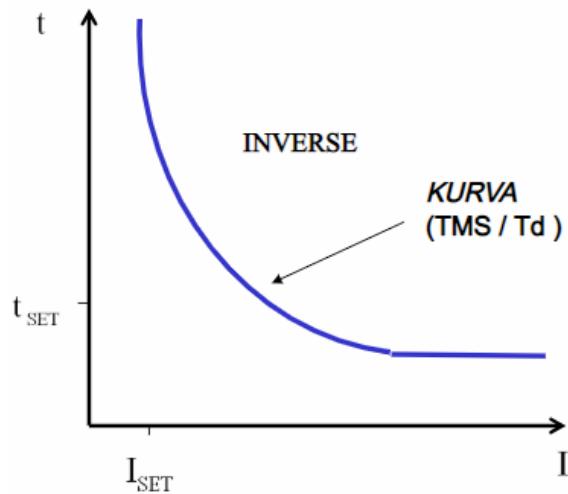
Relay ini bekerja dengan waktu tunda yang telah telah ditentukan. Relay jenis ini memungkinkan settingi yang bervariasi untuk mengatasi besar arus gangguan yang berbeda dengan menggunakan waktu operasi berbeda. Setting dapat disesuaikan dengan cara dimana pemutus tenaga yang paling dekat dengan gangguan akan membuka dalam waktu yang pendek. Maka cara kerja untuk *relay* tipe ini dapat disesuaikan pada langkah yang pasti dimana proteksi lebih selektif (Dr.Prof. Mohammed Tawfeeq, 2004:4).



Gambar 8. Kurva karakteristik *definite time OCR*
 (Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>)

3. ***Invers Time OCR (Relay Arus Lebih Kerja Terbalik)***

Relay ini bekerja dengan waktu tunda sesuai dengan nilai arus gangguan, umumnya bekerja dengan karakteristik terbalik (*invers*). Cara kerja relay ini pada dasarnya adalah semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu kerja dari *relay* tersebut. Keuntungan dari *relay* ini adalah untuk arus yang sangat tinggi, waktu untuk membuka (*trip*) menjadi sangat pendek sehingga tidak ada resiko terhadap selektivitas *relay* dalam beroperasi (Dr.Prof. Mohammed Tawfeeq, 2004:5).



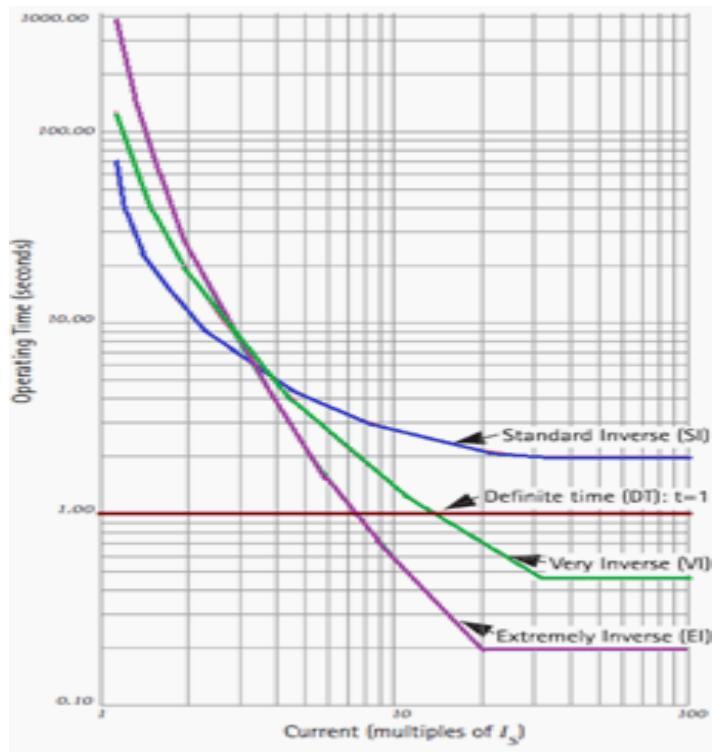
Gambar 9. Kurva karakteristik *invers time* *OCR*
 (Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>)

Pada jenis karakteristik *invers time overcurrent relay* ini memiliki beberapa tipe yang dimodifikasi, berikut merupakan *invers time overcurrent relay* tipe modifikasi antara lain (Jignesh Parmar,2003):

- a. *Standard Inverse*
- b. *Very Inverse*
- c. *Long Inverse*

Relay tipe modifikasi *long inverse* ini biasanya digunakan untuk memback-up jika terjadi kegagalan beroperasi pada *Earth Fault* (EF)

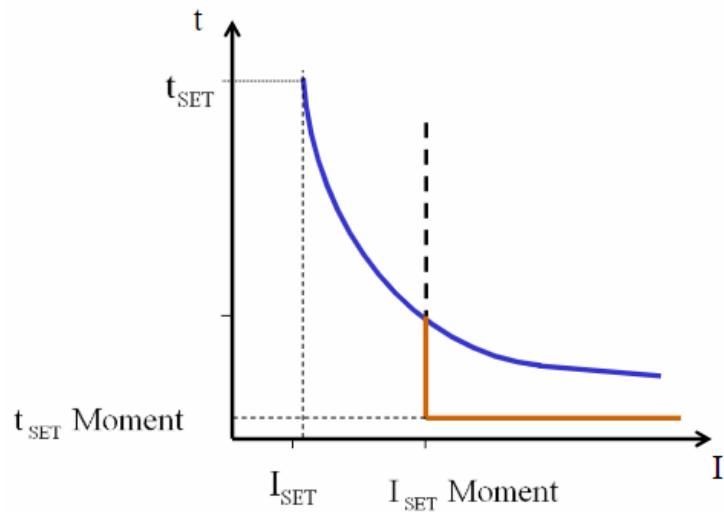
- d. *Extremly Inverse*



Gambar 10. Kurva karakteristik tipe modifikasi
 (Sumber : <https://electrical-engineering-portal.com>)

4. *Invers Definite Minimum Time OCR (Relay Arus Lebih IDMT)*

Karakteristik *relay* ini memiliki bagian *invers time* untuk arus gangguan kecil dan bagian datar untuk arus gangguan yang besar, sehingga semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat *relay* bekerja. Tetapi pada saat tertentu yaitu pada saat mencapai waktu yang telah ditentukan maka kerja *relay* tidak lagi ditentukan oleh arus gangguan tetapi oleh waktu. Keuntungan menggunakan relay jenis ini adalah sebagai pengaman banyak saluran. *Relay* ini dapat memberikan pengamanan yang cepat, baik di ujung saluran maupun yang berada dekat sumber (Dr.Prof. Mohammed Tawfeeq, 2004:6).

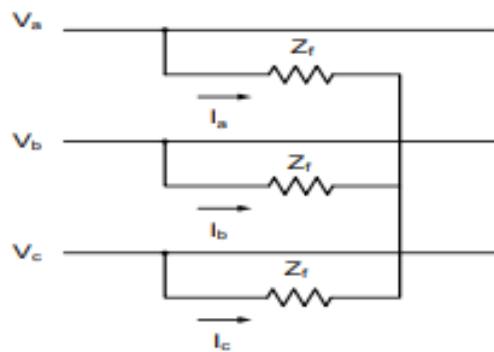


Gambar 11. Karakteristik Arus Lebih IDMT
(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>)).

C. Perhitungan Arus Hubung Singkat

1. Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L-L)

Gangguan arus hubung singkat 3 phase terjadi ketika ketika ke-3 *line* terjadi *short circuit* namun arus dan tegangan pada antar *line* masih seimbang. Hal ini dikarenakan gangguan 3 phase merupakan gangguan simetris yang dapat dianalisis menggunakan urutan positif saja, gangguan hubung singkat 3 phase dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 12. Gangguan arus hubung singkat 3 phase

(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>).

Untuk mencari nilai arus hubung singkat gangguan 3 phase ini bisa menggunakan rumus persamaan seperti dibawah ini :

$$I_{sc3\ \emptyset} = \frac{V_{LN}}{Z_{1eq}} \quad (1)$$

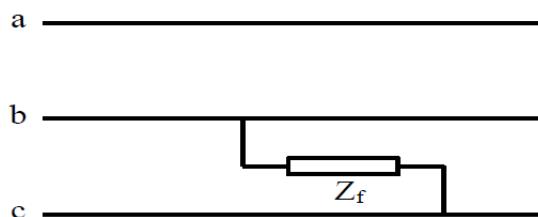
Dimana :

V_{LN} = Tegangan 20 kV (Phase-Netral)

Z_{1eq} = Impedansi Ekivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

2. Arus Hubung Singkat 2 Phase (L-L)

Gangguan arus hubung singkat 2 phase terjadi ketika ke-2 *line* terjadi *short circuit* namun arus dan tegangan pada antar line masih seimbang. Hal ini dikarenakan gangguan 2 phase merupakan gangguan simetris yang dapat dianalisis menggunakan urutan positif saja, gangguan hubung singkat 2 phase dapat dilihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 13. Gangguan arus hubung singkat 2 phase
(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>).

Untuk mencari nilai arus hubung singkat gangguan 2 phase ini bisa menggunakan rumus persamaan seperti dibawah ini :

$$I_{sc} 2 \emptyset = \frac{V_{ph}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (2)$$

Dimana :

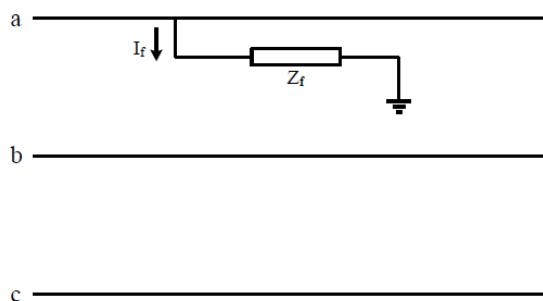
V_{ph} = Tegangan 20 kV (Phase-Phase)

Z_{1eq} = Impedansi Ekivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

Z_{0eq} = Impedansi Ekivalen Urutan Nol (Sesuai Gangguan)

3. Arus Hubung Singkat 1 Phase ke Tanah (L-G)

Gangguan 1 phase ke tanah yaitu terhubungnya 1 phase bertegangan ke tanah, ada yang disebut *single phase* ke tanah, dua phase ke tanah dan tiga phase ketanah. Karena gangguan tiga phase dimulainya dari satu phase ke tanah maka perlu diperhatikan gangguan *single phase to ground*. gangguan hubung singkat 1 phase ke tanah dilihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 14. Gangguan arus hubung singkat 1 phase ke tanah
(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/3637080/>)).

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya nilai arus gangguan hubung singkat satu phase ke tanah juga dengan persamaan rumus (Kadarisman : 11-25) :

$$I = \frac{V}{Z} \quad (3)$$

Sehingga arus hubung singkat satu phase ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{sc} = \frac{3 \times V_{LN}}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \quad (4)$$

Dimana :

V_{LN} = Tegangan 20 kV (Phase-Netral)

Z_{1eq} = Impedansi Ekivalen Urutan +/- (Sesuai Gangguan)

Z_{0eq} = Impedansi Ekivalen Urutan Nol (Sesuai Gangguan)