



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

Gardu induk adalah sub sistem dari sistem penyaluran (tranmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran, gardu induk memiliki peran yang penting dalam pengoperasian, tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran secara keseluruhan, untuk mengirimkan energi listrik tersebut menuju ke beban, untuk mencegah terjadinya gangguan pada gardu induk haruslah mempunyai sistem proteksi yang baik, salah satunya dengan menggunakan Relay Over Current Relay (OCR), ^[5]



Gambar 1. Kontruksi Gardu induk

2.1.1 Fungsi Gardu Induk

Mentransformasikan daya listrik

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV)
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/70 KV)



3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/20 KV, 70 KV/20KV),^[5]

2.1.2 Berdasarkan Pemasangan Peralatan

1. Gardu induk pemasangan luar adalah gardu induk yang sebagian luar komponennya ditempatkan di luar gedung, Kecuali komponen control, Sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya ada di dalam gedung,^[5]
2. Gardu induk pemasangan dalam adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (switchgear busba, Isolator, Komponen control, Komponen kendali, cubicle, dan lain-lain dipasang ke dalam gedung, kecuali transformator daya,^[5]

2.1.3 Berdasarkan Fungsinya

1. Gardu induk penarik tegangan yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikan menjadi tegangan sistem, gardu induk ini berada dilokasi pembangkit tenaga listrik, karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efesiensi, tegangan dinaikan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi,^[5]
2. Gardu induk penurun teganga adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan rendah (menengah) atau tegangan distribusi, gardu induk terletak di daerah pusat-pusat beban,^[5]
3. Gardu distribusi gardu ini yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi, gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat pembangkit listrik,^[5]



2.2 Fasilitas Dan Peralatan Gardu Induk

Gardu induk dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya, dan mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharannya sebagai berikut : ^[1]

2.2.1 Transformator Utama

trafo utama dipakai untuk menurunkan atau menaikkan teganga di G.I. ia menurunkan tegangan, di pusat pembangkit ia menaikkan tegangan, ada 2 jenis transformator: 1 fasa dan 3 fasa trafo 3 fasa banyak di pakai karena menguntungkan, demikian pula halnya dengan pengubah-penyadap- berbeban untuk mengatur aliran daya, ^[1]

2.2.2 Alat Pengubah Fasa

Alat pengubah fasa dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran atau transformator dengan mengatur daya reaktif, atau untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya, alat tersebut ada yang berputar, ada yang stasioner, yang berputar adalah kondesioneer sinkron dan kondesioneer asinkron sedangkan yang stasioner adalah kondesioneer statis dan reaktor shunt, yang berputar dipakai baik untuk fasa terdahulu (*leading*) atau terbelakang (*lagging*) dan dapat diatur secara kontinu, ^[1]

2.2.3 Peralatan Penghubung

Saluran tranmisi dan distribusi dihubungkan dengan G.I jadi G.I ini merupakan tempat pemusatan dari tenaga yang dibangkitkan dan interkoneksi dari sistem tranmisi dan distribusi, saluran tranmisi dan distribusi ini dihubungkan dengan ril melalui transformator utama, setisp saluran mempunyai pemutus beban (*circuit breaker*), jika terjadi gangguan pada saluran tranmisi alat ini memutus tegangan secara otomatis, ^[1]



2.2.4 Panel Hubung Dan Trafo Ukur

Panel hubung merupakan pusat syaraf bagi suatu G.I. pada panel hubung inilah operator dapat mengamati keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan serta pengukuran – pengukuran tegangan, arus dan daya dan sebagainya, bila terjadi gangguan panel hubung itu membukakan pemutus beban secara otomatis melalui rele pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu, ^[1]

2.2.5 Alat Pelindung

- Arrestor mengamankan peralatan G.I. terhadap tegangan lebih abnormal yang bersifat kejutan (surja), misalnya kejutan petir dan surja hubung
- Peralatan netral di titik netral transformator untuk pengamanan pada waktu terjadi gangguan tanah, tahanan pembumian netral dipakai untuk menekan tegangan lebih abnormal dan untuk memastikan berkerjanya rele pengaman,
- Di dalam G.I. dipasang peralatan perisai (*shielding device*) berupa kawat tanah atas (*overhead ground wire*) guna melindungi peralatan gardu induk terhadap sambaran petir langsung, ^[1]

2.2.6 Peralatan Lain-Lain

Peralatan pembantu *auxiliary*, seperti alat pendingin, alat pencuci isolator, batere, pengisi batere, kompresor, sumber tenaga, alat penerangan, dan dilengkapi dengan peralatan komunikasi untuk pengukuran jauh dan supervisi, ^[1]

2.2.7 Bangunan Gedung Gardu Induk

Disamping panel hubung dan sumber tenaga untuk control, hanya peralatan komunikasi dan kantor yang harus ada didalam gedung, oleh karna itu gedungnya kecil saja dibandingkan dengan G.I. jenis pasangan dalam, alat pelengkap untuk



gedung antara lain terdiri dari alat penerangan, instalasi air minum, dan pembuangan *drainage*, alat pemadam api, ventilasi dan sebagainya, ^[1]

2.3 Transformator

Transformator 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-elektromagnet, transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika, penggunaan sistem transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh, ^[4]



Gambar 2 Kontruksi Transformator Daya

2.3.1 Prinsip Dasar Transformator Daya

Trafo terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain, yang dibelitkan pada inti yang sama, Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantaraan garis gaya magnet (*flux*



magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer. Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, flux magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal ini, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer haruslah aliran listrik bolak-balik, ^[6]

Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC, pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet bersama yang bolak-balik juga, Dengan adanya gaya gerak magnet ini, di sekitar kumparan primer timbul flux magnet bersama yang juga bolak-balik, Adanya flux magnet bersama ini, pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi, atau rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada perbandingan transformasi kumparan trafo tersebut, ^[6]

Jika kumparan sekunder dihubungkan ke beban, maka pada kumparan sekunder timbul arus listrik bolak-balik sekunder akibat adanya gaya gerak listrik induksi sekunder. Hal ini mengakibatkan timbul gaya gerak magnet pada kumparan sekunder dan akibatnya pada beban timbul tegangan sekunder, Kombinasi antar gaya gerak magnet induksi sekunder dan primer disebut induksi silang atau *mutual induction*, ^[6]

Dapat kita lihat dari hubungan gulungan Gambar 3 bahwa tegangan e_1 dan e_2 yang diimbaskan oleh fluks yang berubah-ubah adalah sefasa jika keduanya didefinisikan dengan tanda-tanda polaritas + dan - seperti yang ditunjukkan. Kemudian dari hukum Faraday kita dapatkan, ^[6]

kumparan yang mendapat pengaruh flux magnet yang berubah-ubah, maka di ujung-ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik yang menentang terhadap tegangan sumber, yaitu sebesar : ^[6]

$$V_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2 - 1)$$

dan

$$V_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2 - 2)$$

Dimana :

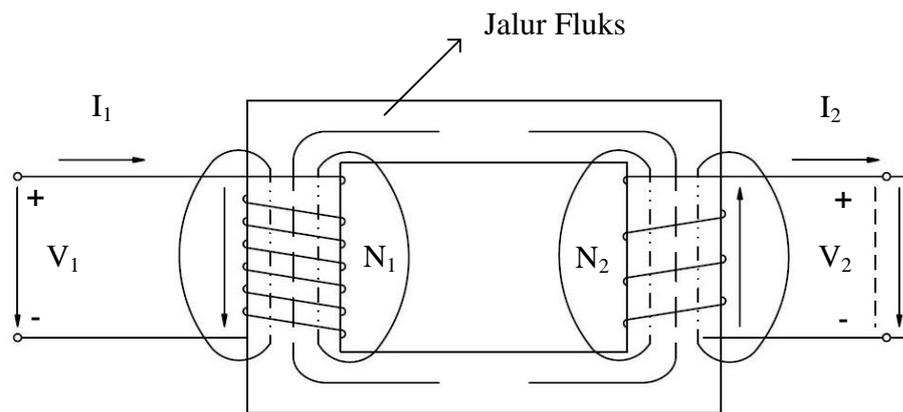
V = Tegangan

e = Gaya gerak listrik

N = Banyaknya lilitan

Φ = Flux magnet

t = Waktu



Gambar 3. Transformator dua-gulungan

Di mana Φ adalah sesaat (*instantaneous*) dari fluks dan N_1 dan N_2 adalah jumlah lilitan (*turns*) pada gulungan 1 dan 2, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. karena kita sudah memisalkan perubahan fluks menurut bentuk sinusoida, kita dapat beralih ke bentuk fasor sesudah membagi Persamaan (1) dengan Persamaan (2) yang menghasilkan, ^[4]

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-3)$$



2.3 Gangguan Hubungan Singkat

Pada sistem tenaga listrik tidak terlepas dari terjadinya berbagai macam gangguan, pada sistem tenaga listrik, gangguan terjadi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- Gangguan listrik

Jenis gangguan ini adalah gangguan listrik yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik

- Gangguan mekanis

Jenis gangguan ini dikarenakan adanya kerusakan secara fisik dari peralatan

- Gangguan sistem

Jenis gangguan ini terjadi berhubungan dengan parameter pada sistem

Bila ditinjau dari segi lamanya gangguan. Jenis gangguan dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu :

- Gangguan temporer
- Gangguan permanen ^[5]

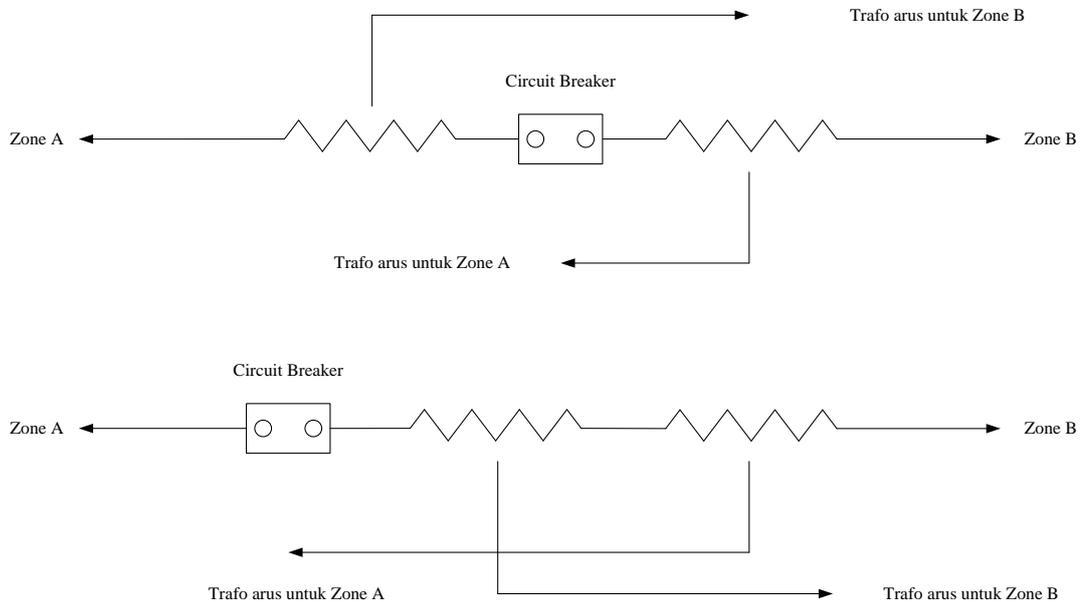
2.4 Proteksi Relay Pada Transformator

Pemutusan beban (*circuit breaker*) merupakan satu rangkaian dengan peralatan rele pengaman. Oleh sebab itu pemutus beban harus mempunyai kemampuan memutuskan arus hubung singkat sesaat maksimum, yang dapat mengalir melaluinya, Pemutus beban harus mampu juga terhadap penutupan pada kondisi hubungan singkat yang kemudian diputuskan sesuai dengan sinyal yang diterima rele, ^[3]

Fungsi lain dari rele pengaman adalah untuk mengetahui letak dan jenis gangguan. Sehingga data-data tersebut dapat dipakai untuk pedoman perbaikan peralatan yang rusak dengan membandingkan data-data yang diperoleh dari pengamatan orang dan hasil pengukuran otomatis dari oscillosgraph, Biasanya semua data-data tersebut dianalisa secara efektif guna langkah pencegahan



gangguan dan juga mengetahui apa kekurangan-kekurangan yang terjadi pada sistem pengaman termasuk rele itu sendiri, [3]



Gambar 4. Prinsip saling meliputi disekitar pemutus beban

Fungsi utama peralatan proteksi atau perlindungan adalah melepaskan atau memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem keseluruhannya guna memperkecil kerusakan yang dapat terjadi dan sebanyak mungkin mempertahankan kontinuitas penyediaan tenaga listrik, Peralatan pengaman harus melakukannya dalam waktu yang secepatnya sehingga perlu seluruhnya dilaksanakan secara otomatis, Hal ini dilakukan dengan rele pengaman, [3]

2.5 Fungsi dan Syarat Relay Pengaman Transformator

Sistem rele pengaman memegang peranan penting dalam sistem tenaga listrik tersendiri yang berfungsi untuk :

1. Memberikan tanda bahaya (alarm) atau men-trip pemutus tenaga guna memisahkan sebagian sistem tersebut selama terjadi gangguan.
2. Memutuskan bagian yang tidak normal, sehingga kesalahan berantai dapat



dihindari,

3. Dengan waktu pemutusan yang cepat maka kerusakan pada bagian yang tidak normal tidak berakibat fatal,
4. Dapat mempercepat kembali stabilitas sistem, ^[5]

Agar suatu relay pengaman dapat bekerja dengan baik dan efektif maka harus memenuhi persyaratan yaitu :

- Selektif

Selektif suatu relay pengaman adalah mendeteksi dengan cepat daerah mana yang mengalami gangguan dan kemudian dapat menentukan dengan cepat mengerjakan pemutus daya untuk memisahkan daerah yang mengalami gangguan tersebut dengan memisahkan dari sistem, ^[8]

- Keandalan (reliable)

Suatu relay pengaman harus mampu bekerja, handal dan tepat dalam operasinya pada setiap saat dan untuk setiap tingkatan gangguan pada bagian sistem tenaga listrik yang diamankan, Oleh karena itu system pengaman pada relay yang digunakan harus sedemikian rupa agar dapat melakukan tugasnya serta beroperasi sebagai mana mestinya, ^[8]

- Sensitifitas

Berarti bahwa siste relay pengaman harus peka terhadap setiap gangguan, walaupun gangguan yang terjadi masih dalam tingkat yang ringan, sehingga dapat bekerja dengan tepat atau memberikan reaksi yang tepat bila terjadi perubahan keadaan normal keadaan tidak normal, Dengan kata lain di harapkan suatu sistem relay pengaman peka terhadap semua tingkatan gangguan berat maupun ringan, ^[8]



- Kecepatan

Waktu kerja relay diharapkan secepat mungkin, karena semakin cepat kerjanya suatu relay maka tidak hanya memperkecil kerusakan akibat gangguan tetapi dapat memperkecil meluasnya suatu gangguan, ^[8]

Kecepatan relay pengaman bekerja dimaksudkan untuk :

- a. Menjaga keseimbangan sistem
- b. Mengurangi bagian-bagian yang rusak akibat terjadinya gangguan
- c. Mengurangi timbulnya gangguan pada beban
- d. Sederhana

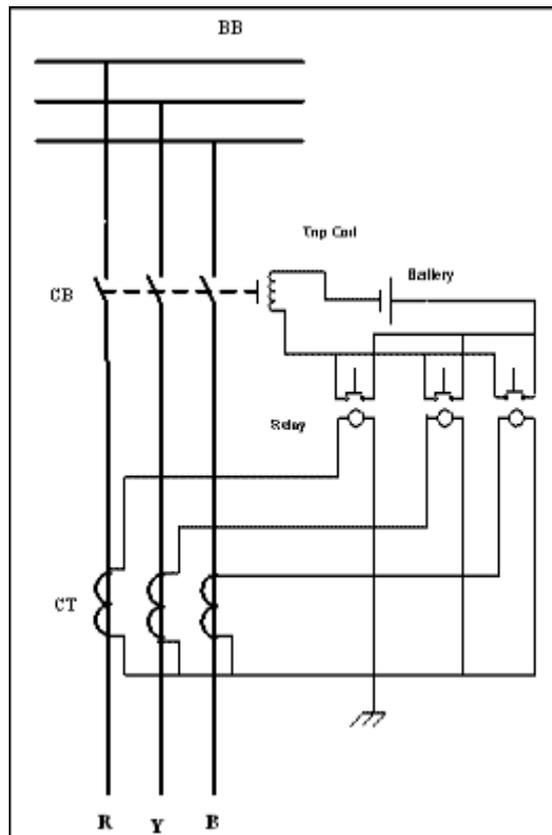
Kesederhanaan dalam sistem relay pengaman dengan kehandalan tinggi akan memberikan design yang baik, tetapi sederhana bukan berarti murah harga peralatan ataupun kurangnya tingkat kehandalan dan sensitifitas relay pengaman, ^[8]

- Ekonomis

Dalam perencanaan sistem pengaman factor biaya memegang peranan penting, Dengan adanya biaya peralatan yang serendah mungkin, akan didapat system pengaman yang setinggi-tingginya, ^[8]

2.6 Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

Relay arus lebih adalah suatu rele yang bekerjanya didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih, merupakan suatu jenis relay yang berkerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p) maka relay arus lebih berkerja, dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT), bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan rele, besaran arus gangguan (I_f) yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga, Relay akan berkerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut ,^[8]

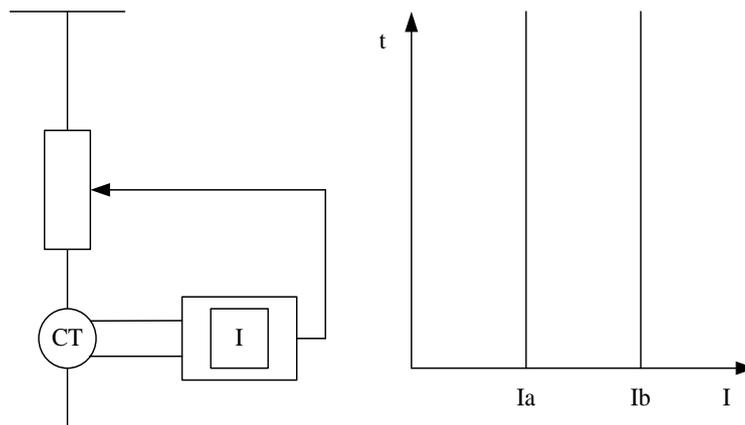


Gambar 5 sistem proteksi relay Over Current Relay (OCR)^[7]

Karakteristik Waktu Kerjanya

1. OCR Dengan Waktu Seketika (*Instantaneous Time OCR*)

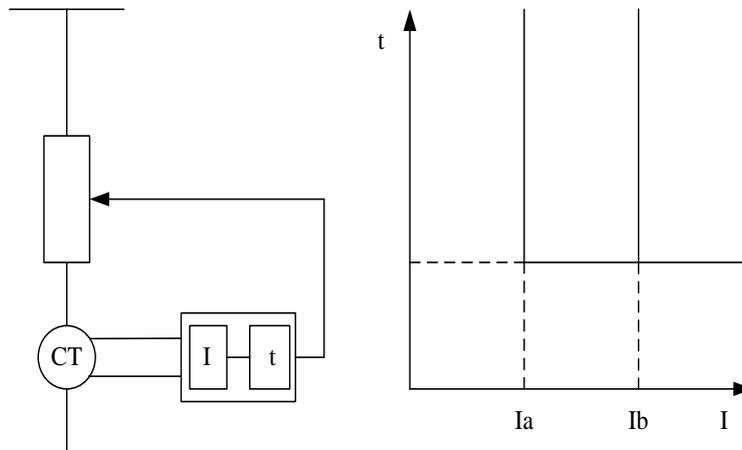
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya *pick up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat, yaitu tanpa penundaan waktu, Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*invers time*) dan hanya dalam beberapa hala berdiri sendiri secara khusus, Seperti terlihat pada Gambar 6, ^[3]



Gambar 6. Karakteristik Rele Arus Lebih Dengan Waktu Seketika (*Instantaneous Time OCR*)

2. OCR Dengan Waktu Tertentu (*Definite Time OCR*)

OCR Dengan Waktu Seketika (*Instantaneous Time OCR*) ialah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan, Seperti terlihat pada Gambar 7, ^[3]



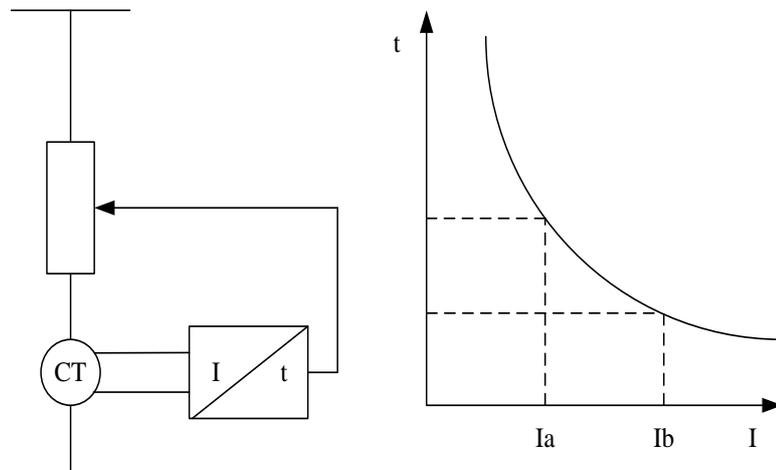
Gambar 7. Karakteristik Rele Arus Lebih Dengan Waktu Tertentu (*Definite Time OCR*)

3. OCR Dengan Waktu Terbalik (*Invers Time OCR*)

OCR Dengan Waktu Terbalik (*Invers Time OCR*) ialah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan, Seperti terlihat pada Gambar 8, ^[3]

Bentuk perbandingan terbalik dari waktu arus ini sangat bermacam-macam tetapi dapat digolongkan menjadi:

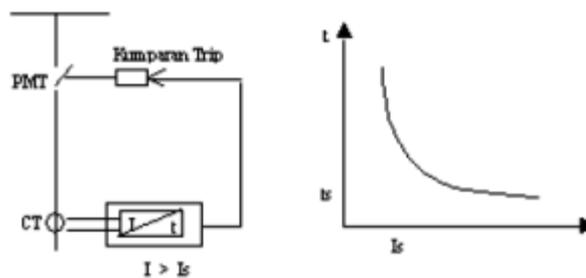
- Berbanding terbalik (*inverse*)
- Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely invers*)



Gambar 8. Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers *Time OCR*)

4, OCR inverse definite minimum timer

OCR dengan karakteristik inverse definite 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 kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar, rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus tertentu berbending terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika,^[3]



Gambar 9. karakteristik inverse definite minimum time (IDMT)



2.7 Setting Relay Pengaman

- Setting Arus

Pada dasarnya batas penyetelan relay arus lebih adalah relay tidak boleh berkerja pada saat beban maksimum, arus setingnya harus lebih besar dari arus beban maksimumnya, ^[3]

- Setting waktu

Penyetelan waktu kerja relay terutama dipertimbangkan terhadap kecepatan dan selektivitas kerja dari rele, sehingga relay tidak salah operasi, yang dapat menyebabkan tujuan pengaman tidak berarti, ^[3]

2.8 Beberapa Istilah Pada Rele Arus Lebih

- I_p = arus kerja (arus pick up) yaitu arus minimum yang menyebabkan rele berkerja
- I_d = I_r arus kembali yaitu arus maksimum yang menyebabkan rele kembali tidak berkerja
- Perbandingan I_d / I_p adalah suatu harga perbandingan antara arus kembali dengan arus berkerja
- Waktu tunda yaitu periode waktu yang sengaja diberikan pada rele untuk memperlambat trip PMT sejak rele itu pick up ^[5]

2.9 Cara Perhitungan Rele Arus Lebih

1. Perhitungan rele dalam menentukan besarnya arus setting dan waktu harus terlebih dahulu diketahui besar arus nominal jaringan (I_n) yang ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut: ^[3]

$$I_n = \frac{S}{v\sqrt{3}} \quad (2 - 4)$$

Dimana :



- S = Daya Nyata
 - V = tegangan pada jaringan
2. Harga arus nominal jaringan yang didapat dimasukkan ke dalam rumus arus penyetelan (arus setting), yang dihitung dengan menggunakan rumus: ^[2]

$$I_S = \frac{kfk}{kd} \times \frac{1}{Ratio CT} \times I_n \quad (2 - 5)$$

Dimana :

- I_S = Arus Penyetelan
- Kfk = faktor keamanan
- Kd = faktor arus kembali

3. Setelah mengetahui arus penyetelan (I_S), maka rumus untuk penyetelan arus (I_B) yaitu : ^[2]

$$I_S = I_B \times 0,2 I_n \quad (2 - 6)$$

Maka,

$$I_B = \frac{I_S}{0,2} \quad (2 - 7)$$

Dimana :

- I_S = Arus Penyetelan
- I_B = Penyetelan Arus
- I_n = Arus Nominal Jaringan

Sebelum membuat penyetelan waktu, maka harus mencari arus gangguan (I_F), berikut rumusnya : ^[2]



$$I_{Fj} = I_S \times I_n \quad (2 - 8)$$

maka,

$$I_F = I_{Fj} \times \text{Rasio CT} \quad (2 - 9)$$

Dimana :

- I_{Fj} = Arus gangguan jaringan
- I_F = Arus gangguan

Setelah mendapatkan rumus diatas, maka dapat kita masukkan hasilnya ke rumus penyetelan waktu, berikut rumusnya : ^[2]

$$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{I_F}{I_S} \right)^{0,02} - 1 \right\}}{0,14} \quad (2 - 10)$$

Dimana :

- tms = Faktor perkalian waktu
- t = Waktu
- I_F = Arus gangguan
- I_S = Arus penyetelan ^[2]