

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kajian Pustaka**

Berikut ini adalah beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini, antara lain :

Amin Harist (2016) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Pada Sistem Distribusi Radial. Dari penelitian ini di simpulkan bahwa proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi adalah Relay arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) dan Rele gangguan tanah (GFR). OCR berfungsi didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai sebagai pengaman arus lebih. Hasil simulasi yang Amin lakukan menunjukkan bahwa koordinasi proteksi yang baik adalah relay yang terletak paling dekat dengan gangguan akan bekerja terlebih dahulu dan relay *incomingnya* menjadi *backup*.

Sedangkan Rezky Fajrian (2015) melakukan penelitian mengenai Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent* Relay Pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan Menggunakan Software Etap. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa prinsip kerja relay arus lebih akan bekerja apabila relay tersebut merasakan besar arus yang melebihi setting arus dari relay tersebut, maka dari itu relay akan bekerja dengan memerintahkan CB untuk trip .

Penelitian yang berjudul Analisis Rele Pengaman Peralatan dan Line Transmisi Switchyard Gidet Baru 500kV PT PLN(PERSERO) di Kediri dilakukan oleh Muhammad Rafi (2013). Dari penulisan yang Ia lakukan didapat kesimpulan bahwa apabila terjadi perbedaan arus yang melebihi arus pengaturan pada rele maka rele akan bekerja dan untuk mengamankan trafo dilakukan perhitungan slope yang selanjutnya dibandingkan dengan pengaturan yang ada dan dibandingkan juga dengan batas standart slope rele yang telah ditentukan .

Gisa Gumilang (2013) juga melakukan penelitian tentang Evaluasi Kelayakan Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Di Jawa Barat. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa *miss coordination* dan *overlapping* antara rele utama dan *backup* yang berhasil dilakukan pengaturan ulang dan dapat dikatakan bahwa koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan urutannya .

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Adanya gangguan pada sistem kelistrikan yang dipasang dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa komponen penting dalam sebuah jaringan seperti tranformator , kabel/penghantar, isolasi dan peralatan hubung lainnya. Dengan adanya kerusakan yang terjadi maka akan mengurangi keandalan pada sistem tersebut. Untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan peralatan jaringan maka diperlukan peralatan proteksi sebagai pengamannya.

Dengan memanfaatkan sistem proteksi maka kerusakan yang terjadi pada komponen jaringan saat terjadi gangguan dapat diminimalkan bahkan dapat dihindari dengan syarat sistem proteksi yang diaplikasikan memiliki kualitas yang baik. Untuk mendapatkan sistem proteksi yang baik dan keandalan tinggi maka sistem proteksi harus memiliki kemampuan untuk melakukan koordinasi dengan sistem pengamanan yang lain dari sisi sumber sampai ke beban dan dapat mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan yang terjadi.

#### **2.2.1.1. Tujuan Proteksi**

Tujuan utama proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi pengaruh-pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian- bagian yang lain.

Ada pula tujuan lainnya yaitu:

1. Memperkecil luas daerah lokalisir pada saat terjadi gangguan.
2. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memutuskan dengan waktu seminimal mungkin.
3. Untuk mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.
4. Memberikan pelayanan listrik yang memiliki keandalan tinggi terhadap beban yang terpasang.

### 2.2.1.2. Persyaratan Sistem Proteksi

#### 1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya

#### 2. Keandalan (*Reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90-99 %. Keandalan dapat dibagi 2 macam, yaitu :

##### a. *Dependability*

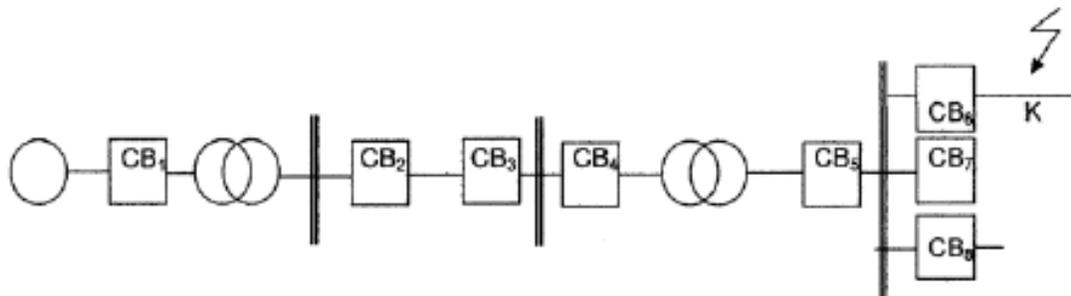
Yaitu tingkat kepastian untuk mampu bekerja saat terjadi gangguan tinggi. Dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu secara pasti dan tidak gagal bekerja.

##### b. *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja tinggi.

### 3. Selektivitas (*Selectivity*) dan Diskriminatif

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila rele proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya, dengan demikian segala tindakannya akan tepat .



(Sumber : <http://www.kuliahelektro.blogspot.co.id/2011/03/proteksi-sistem-tenaga-listrik-dan.html>)

**Gambar 2.1.** Contoh gangguan

Dapat dilihat dari contoh gambar diatas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya CB6 saja yang akan bekerja sedangkan untuk CB1 sampai dengan CB7 tidak boleh bekerja.

### 4. Kecepatan (*speed*)

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan

stabilitas operasi. Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dilepaskan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Keterlambatan melepaskan sistem yang terganggu dapat mengakibatkan gangguan kestabilan pada sistem atau dapat merusak peralatan dan komponen jaringan yang disebabkan oleh *thermal stress*.

## 5. Ekonomis

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak terlepas tentunya dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu rele proteksi yang digunakan hendaknya memiliki nilai seekonomis mungkin dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalannya.

Tipe Proteksi Ada dua kategori proteksi yang dikenal yaitu proteksi utama (main protection) dan proteksi pembantu (back up protection). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (auxiliary protection) pada alat proteksi tersebut.

Proteksi pembantu bekerja bila rele utama gagal dan tidak hanya melindungi daerah berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari pada rele utamanya. Dengan adanya *main* dan *back up protection* maka dalam perencanaannya harus diperhitungkan dengan baik.

### **2.2.1.3. Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen yang sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut :

#### **1. Faktor Manusia (*Human Error*)**

Faktor ini menyangkut pada kesalahan atau kelalaian manusia dalam memberikan perlakuan pada sistem yang tidak sesuai dengan standar penetapan. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

#### **2. Faktor Internal**

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai komponen sudah lama (ketuaan), kondisi komponen yang sudah aus, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitivitas rele pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

#### **3. Faktor Eksternal**

Faktor ini meliputi gangguan- gangguan yang bersal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan lain sebagainya.

#### 2.2.1.4. Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Jenis gangguan yang terjadi dalam sistem tenaga listrik diantaranya sebagai berikut :

##### 1. Tegangan Lebih ( *Over Voltage* )

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari yang telah ditetapkan. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi external dan internal. Kondisi internal terutama karena isolasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya. Kondisi external terutama akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi disebabkan oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan negatif. Pertemuan ini berakibat terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

Jika ada menara (tiang) listrik yang cukup tinggi maka awan bermuatan yang menuju ke bumi ada kemungkinan akan menyambar menara atau kawat tanah dari saluran transmisi dan mengalir ke tanah melalui menara- dan tahanan pentanahan menara. Bila arus petir ini besar, sedangkan tahanan tanah menara kurang baik maka akan timbul tegangan tinggi pada menaranya. Keadaan ini

akan berakibat dapat terjadinya loncatan muatan dari menara ke penghantar fasa.

Pada penghantar fasa ini akan terjadi tegangan tinggi dan gelombang tegangan tinggi petir yang sering disebut surja petir. Surja petir ini akan merambat atau mengalir menuju ke peralatan pada jaringan.

## 2. **Hubung Singkat (*Short Circuit*)**

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan antar penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung yang tidak melalui media (resistor/ beban) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik

Arus listrik yang terjadi akibat hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika rele proteksi dan pemutus tenaga tidak tersedia untuk mengamankan jaringan. Berikut ini adalah jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik :

### a. Gangguan Simetris

Gangguan simetris yaitu gangguan hubung singkat 3(tiga) fase, baik itu 3(tiga) fase ke tanah maupun 3(tiga) fase tanpa tanah. Gangguan ini memiliki persamaan nilai hubung singkat yang paling besar.

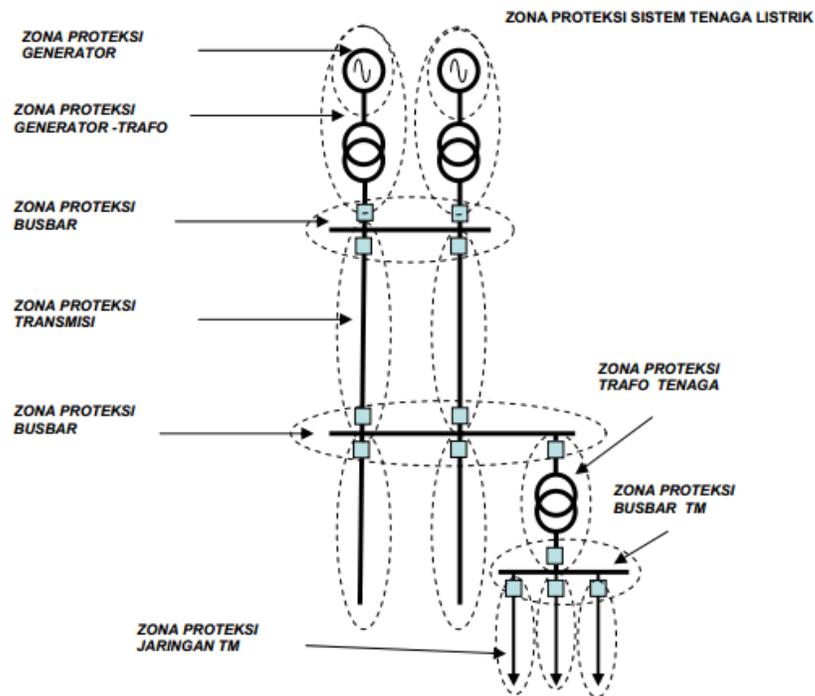
### b. Gangguan Tak Simetris

Gangguan tak simetris adalah gangguan hubung singkat 1(satu) atau 2(dua) fase yang saling terhubung seperti; gangguan satu fase ke tanah, dua fase

ke tanah, fase ke fase dan lainnya. Perhitungan arus hubung singkat sangat penting untuk menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk koordinasi pemasangan rele pengaman.

### 2.2.2. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada sebuah jaringan listrik yang mengalami gangguan maka pada sistem proteksi dibentuk daerah daerah proteksi yang dinamakan zona proteksi. Zona ini biasanya dibatasi oleh pemutus tenaga (*circuit breaker*) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan.



(Sumber : <http://www.wandynotes.com/2012/08/sistem-proteksi.html>)

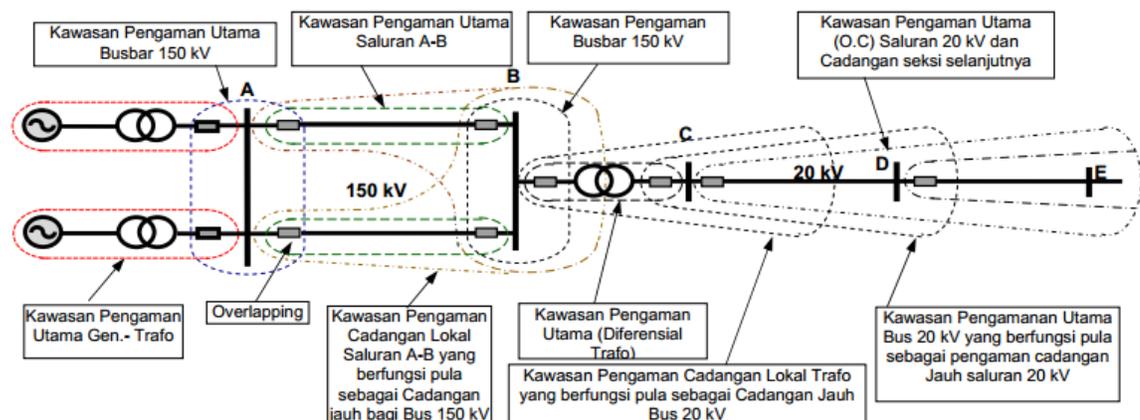
**Gambar 2.2.** Zona proteksi pada komponen jaringan

### 1. Zona Proteksi Utama (*Main Protection*)

Zona utama terdiri atas peralatan utama yang harus beroperasi untuk zona yang diproteksinya.

### 2. Zona Proteksi Pendukung (*Backup Protection*)

Zona pendukung ini diperlukan untuk mengantisipasi kegagalan peralatan pada zona proteksi utama. Zona ini digunakan untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi. Zona pendukung dibagi menjadi dua(2) yaitu Lokal *backup*, dimana peralatan pendukung berada pada zona yang sama dengan peralatan proteksi utama dan remote *backup* yaitu peralatan pendukung yang lokasinya berada pada zona bersebelahan dengan peralatan proteksi utama.



(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

**Gambar 2.3.** Zona proteksi pendukung

Gambar diatas menunjukkan zona jaringan yang menjadi kawasan masing masing rele yang dipasang. Sebuah jaringan listrik memiliki kehandalan tinggi apabila dapat menyeleksi gangguan sesuai dengan wilayah pengamannya.

### **2.2.3. Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Jaringan listrik yang baik adalah jaringan yang memiliki perlengkapan dan peralatan yang cukup lengkap dari sisi peralatan konstruksi maupun peralatan proteksi. Perlengkapan utama yang umum digunakan adalah sebagai berikut.

#### **2.2.3.1. Penutup Balik Otomatis (PBO, *Automatic Circuit Recloser*)**

*Recloser* adalah pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kotak kontrol elektronik (*Electronic Control Box recloser*), Kotak kontrol ini merupakan alat pelengkap pada *recloser* agar dapat mengendalikan cara pelepasan atau pemutusan tenaga pada suatu jaringan. Dari dalam kotak kontrol inilah pengaturan(*setting*) *recloser* dapat ditentukan.

Alat pengaman ini bekerja secara otomatis guna mengamankan suatu sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Cara bekerjanya adalah untuk menutup balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada sebuah gangguan temporer, *recloser* akan membuka dan akan menutup kembali setelah gangguan yang terjadi pada jaringan hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka dan menutup balik sebanyak *setting* yang telah ditentukan maka *recloser* akan tetap membuka pada osisi terakhirnya.

### **2.2.3.2. Saklar Seksi Otomatis (SSO)**

SSO adalah saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik dan mekanik sebagai pengaman seksi jaringan kelistrikan level menengah. Saklar ini bekerja dengan dikoordinasikan pada perangkat pengaman lain khususnya pada PBO agar dapat mengisolir jaringan yang mengalami gangguan. SSO membuka pada saat jaringan tidak bertegangan tetapi harus mampu menutup jaringan yang bertegangan secara hubung singkat. Saklar ini juga telah dilengkapi dengan alat pengatur tegangan dan transformator tegangan sebagai sumber tenaga gerak dan pengindra.

### **2.2.3.3. Pengaman lebur( *Fuse Cut Off*, FCO)**

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus tenaga saat terjadi gangguan pada suatu jaringan. Pengaman ini memutuskan tenaga dengan cara meleburkan elemen/komponen khusus yang telah dirancang dan disesuaikan dengan memanfaatkan *thermal* atau peningkatan suhu elemen yang diakibatkan oleh arus gangguan. Peleburan ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen yang terjadi pada suatu jaringan. Peleburan dirancang akan melebur/meleleh pada waktu tertentu dan nilai arus gangguan tertentu.

### **2.2.3.4. Rele Proteksi**

Rele adalah alat yang mengamankan sistem tenaga listrik dengan cara mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada jaringan. Apabila terjadi gangguan maka rele akan memberikan perintah pada pemutus tenaga untuk memutuskan arus

yang menyebabkan gangguan tersebut. Rele pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan jaringan listrik dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima misalnya besaran tegangan, arus, daya, frekuensi dan lainnya.

#### **2.2.4. Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Berikut ini adalah komponen-komponen ketenagaan yang umum untuk digunakan pada suatu sistem proteksi:

##### **2.2.4.1. *Potential Transformer***

*Potensial Transformer* adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan setting relay. Dalam sistem tenaga listrik dikenal berbagai macam tipe dan konstruksi dari trafo sesuai dengan aplikasinya. Untuk aplikasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik khususnya rele, trafo digunakan untuk mengatur besaran kuantitas sistem (arus atau tegangan) dan mentransformasikan ke level yang lebih rendah sebagai input pengukuran untuk rele. Trafo ini dikenal dengan sebutan *instrument transformer* yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus.

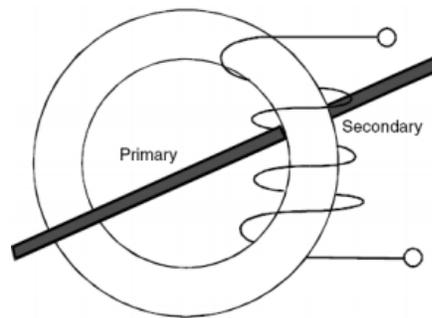
Trafo tegangan yang digunakan untuk peralatan proteksi mempunyai prinsip yang sama dengan trafo daya pada sistem tenaga listrik. Perbedaan utama antara potensial transformator dan trafo tegangan adalah potensial trafo memiliki rating daya yang sangat kecil, dengan tegangan tinggi di sisi primer dan tegangan rendah di sisi

sekundernya yaitu berkisar antara 100-120 Volt rms. Trafo tersebut digunakan untuk memberikan *sample* pengukuran tegangan sistem ke peralatan proteksi. *Potential trafo* berfungsi untuk memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran atau proteksi dan dapat mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.

#### **2.2.4.2. Current Transformer**

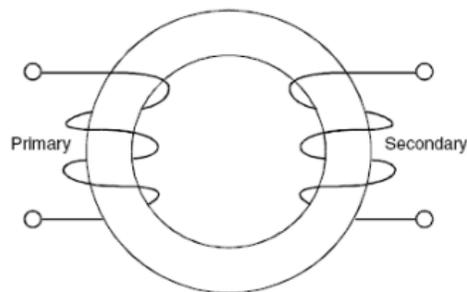
Untuk mendapatkan besaran arus yang proporsional dengan arus sistem kontrol, proteksi dan peralatan instrument lainnya maka umumnya digunakan *current transformer*. *Current Transformer* adalah peralatan yang digunakan untuk mentransformasikan level arus pada jaringan, dari level yang memiliki nilai arus besar menjadi arus yang bernilai rendah.

CT di gunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin di lakukan secara langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini di sebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT di tandai oleh *current transformer ratio* (CT) yang merupakan perbandingan antara arus yang di lewatkan oleh sisi primer dengan arus yang di lewatkan oleh sisi sekunder. Berdasarkan dari konstruksi belitan primer rafo arus memiliki dua(2) tipe yaitu *bar primary* dan *wound primary*.



(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

**Gambar 2.4.** Tipe *bar primary*



(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

**Gambar 2.5.** Tipe *wound primary*

### 2.2.4.3. Jenis Rele Proteksi

Rele adalah suatu alat yang apabila diberi energi oleh besaran besaran sistem yang tepat dapat memberikan indikasi suatu kondisi abnormal. Apabila kontak kontak rele menutup, maka rangkaian breaker akan membuka/mentriapkan pemutus tenaga yang terkait sehingga dapat mengisolir bagian yang terganggu dari sistem. Rele dapat dikelompokkan berdasarkan dari fungsinya. Berikut ini adalah klasifikasi rele :

1. *Overcurrent Relay*

Rele yang bekerja apabila arus yang terdeteksi oleh rele melebihi pengaturan yang telah ditetapkan batas ambangnya.

2. *Differential Relay*

Rele ini dirancang untuk mendeteksi perbedaan serta membandingkan antara arus yang masuk dan keluar di zona proteksinya. Rele ini akan bekerja apabila arus yang masuk tidak sama dengan arus yang keluar.

3. *Directional Relay*

Rele ini dirancang untuk mengidentifikasi perbedaan fasa antara fasa satu dengan yang lain. Rele ini akan bekerja ketika terjadi gangguan daya balik.

4. *Distance Relay*

Rele ini biasanya digunakan untuk proteksi pada saluran transmisi karena rele jarak dapat mengukur impedansi untuk mencapai titik tertentu. Rele ini bekerja dengan mendeteksi adanya gangguan hubung singkat yang terjadi antara lokasi rele dan batas jangkauannya yang telah ditentukan.

5. *Ground Fault Relay*

Rele ini bekerja untuk mendeteksi adanya gangguan pada komponen jaringan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

#### **2.2.4.4. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)**

Pemutus Tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan

kapasitas ratingnya. CB mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus beban dan arus gangguan hubung singkat pada tegangan tinggi dalam waktu yang relative cepat.

Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolis, tekanan pneumatic atau dari kombinasi diantaranya. Pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api sehingga digunakan beberapa bahan isolator seperti minyak , udara,gas , dan lain sebagainya.

#### **2.2.4.5. DC System Power Supply**

Suplai DC merupakan peralatan penunjang yang memberikan suplai daya ke sistem rele yang pada umumnya memerlukan input daya DC. Penggunaan sistem suplai DC bertujuan untuk menjaga kontinuitas perlindungan dari peralatan proteksi terhadap sistem meskipun suplai utama terputus. Terdapat komponen *charger* pada suplai DC . *Charger* adalah sumber utama pada suplai DC dengan mengubah listrik AC menjadi DC. Suplai DC ini biasanya menggunakan baterai yang terhubung ke perangkat rele melalui rangkaian suplai daya. Jenis baterai yang biasanya digunakan pada sistem proteksi adalah :

1. *Lead Acid Type*

Tipe ini berupa baterai elemen basah, dimana zat elektrolit baterainya merupakan cairan. Baterai ini memerlukan perawatan yang lebih intensif.

2. *Nickle Cadium Type*

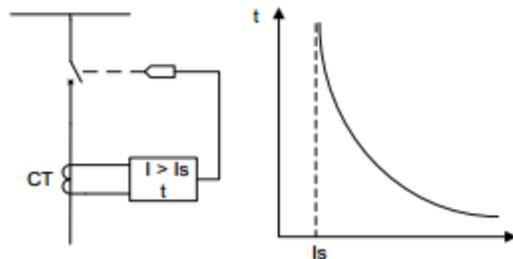
Baterai ini menggunakan elemen kering, dimana zat elektrolitnya berupa pasta kering sehingga tidak dibutuhkan perawatan intensif.

### 2.2.5. Proteksi *Overcurrent Relay* (OCR)

Relay arus lebih atau OCR adalah rele yang melindungi sistem dari gangguan arus lebih dimana waktu kerjanya tergantung dari arus gangguan dan waktu. Rele ini akan memberikan perintah kepada PMT ( pemutus tenaga ) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya berdasarkan perbandingan arus *setting* pada rele terhadap arus primer pada jaringan. Jika arus primer lebih kecil dari arus setting maka rele tidak akan bekerja. Sebaliknya bila arus primer melebihi arus setting maka rele akan bekerja/ beroperasi. OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis karakteristik yaitu :

#### 1. *Invers time*

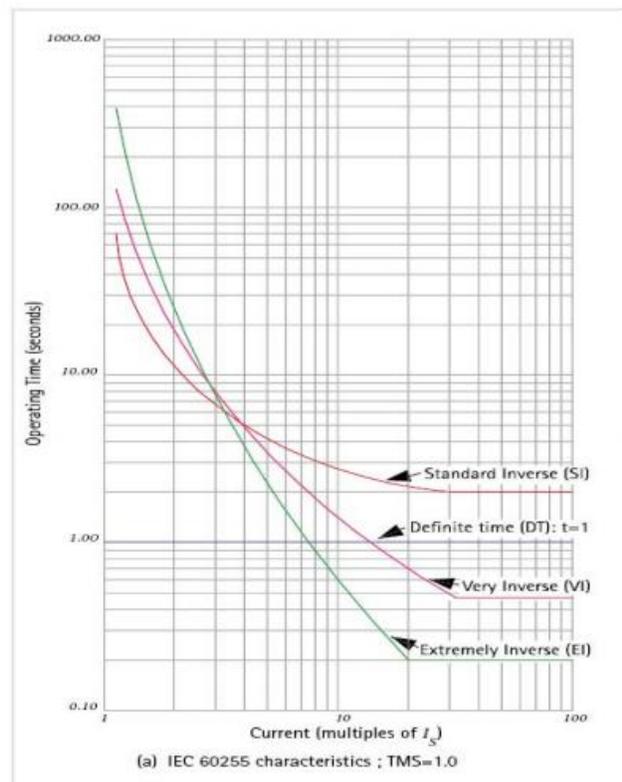
OCR Invers adalah rele dimana waktu tundanya memiliki karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka waktu kerja rele akan semakin singkat atau cepat. Nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.



(Sumber: <https://core.ac.uk/download/pdf/11724842.pdf>)

**Gambar 2.6.** Karakteristik OCR invers

Rele invers dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe karakteristik yaitu *standard invers*, *very invers*, *extreamely invers*, *longtime invers*. Berikut ini adalah grafik hubung karakteristik invers,



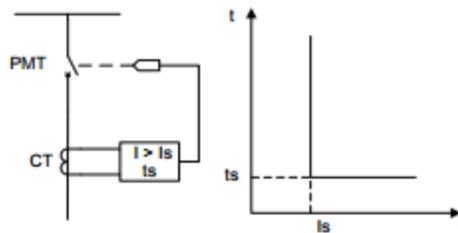
(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

**Gambar 2.7.** Tipe karakteristik OCR invers

## 2. *Definite time*

OCR tipe ini bekerja tidak tergantung pada nilai arus gangguan. Rele ini memberikan perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan bila besar

gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu rele ini mulai pickup sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung pada besarnya arus. Berikut ini adalah grafik hubung OCR *definite time*,



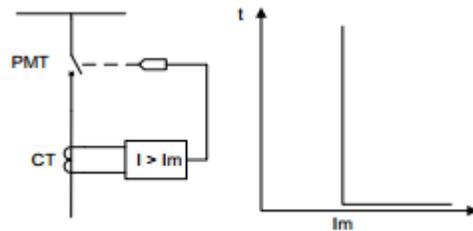
(Sumber: <https://core.ac.uk/download/pdf/11724842.pdf>)

**Gambar 2.8.** Karakteristik OCR *definite time*

Sifat atau karakteristik dari rele definite adalah rele baru akan bekerja bila arus yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting ( $I_s$ ) yang telah ditentukan. Dan lamanya selang waktu rele bekerja untuk memberikan komando tripping sesuai dengan waktu setting ( $T_s$ ) yang diinginkan. Pada rele ini waktu bekerjanya ( $T_{tripping} = T_s$ ) tetap konstan, tidak dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengerjakan rele tersebut.

### 3. *Instantaneous time*

Karakteristik OCR ini bekerja tanpa tunda waktu. Rele ini akan memberikan perintah pada PMT untuk memutuskan jaringan yang mengalami gangguan bila besarnya arus gangguan melebihi arus pengaturannya, dan jangka waktu kerja tanpa penundaan. dibawah ini adalah grafik karakteristiknya,



(Sumber: <https://core.ac.uk/download/pdf/11724842.pdf>)

**Gambar 2.9.** Karakteristik OCR *instantaneous time*

Dikarenakan rele ini tanpa penundaan waktu, maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas yang tinggi didasari pada tingkat beda arusnya.

### 2.2.6. Pengaturan *Overcurrent Relay* (OCR)

Terdapat beberapa tahapan untuk pengaturan proteksi rele OCR (*Over Current Relay*). Berikut adalah tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan setting rele:

#### 2.2.6.1. Penghitungan Impedansi

##### 1. Kabel

Perhitungan impedansi kabel bergantung pada besaran nilai tahanan yang telah ditetapkan oleh data sheet pabrik. Dimana nilai tersebut ditentukan dari jenis penghantar yang digunakan. Dengan persamaan rumus :

$$Z = \sqrt{R^2 + jX^2}$$

Keterangan : Z= Impedansi kabel

R= Resistansi kabel

X= Reaktansi kabel

## 2. Transformator

Komponen hitung yang diperlukan dapat dilihat pada spesifikasi trafo yang digunakan. Perhitungan impedansi trafo dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_{trafo} = Z\% \times \frac{V_p^2}{P}$$

Keterangan :  $Z_{trafo}$  = Impedansi transformer ( $\Omega$ )

$Z\%$  = Persentase impedansi transformer (%)

$V_p$  = Tegangan pada sisi primer trafo (V)

$P$  = Kapasitas daya maksimal trafo (VA)

## 3. Sumber

Pada sisi sumber juga terdapat nilai impedansi. Berikut adalah rumus yang dapat menentukan besaran nilainya :

$$Z_s = \frac{V^2}{P_{sc}}$$

Keterangan :  $Z_s$  = Impedansi Sumber ( $\Omega$ )

$V_p$  = Tegangan (V)

$P_{sc}$  = Daya hubung singkat (VA<sub>sc</sub>)

### 2.2.6.2. Penghitungan Arus Nominal Beban (*Full Load Ampere*)

Penghitungan arus beban penuh ini bergantung pada besaran nilai beban yang terpasang pada suatu instalasi listrik. Untuk mengetahuinya dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Diketahui Daya Semu beban

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Keterangan : S = Daya Semu beban dengan satuan (VA)

V = Tegangan pada beban dengan satuan (V)

2. Diketahui Daya Aktif Beban

$$I_{\text{nominal}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{eff} \cdot \text{pf}}$$

Keterangan : P = Daya Aktif beban dengan satuan (Watt)

V = Tegangan pada beban dengan satuan (V)

eff = Efisiensi Motor

pf = Faktor Daya Motor

Untuk besaran nilai yang dibutuhkan dalam hitungan terdapat pada data sheet beban yang digunakan.

### 2.2.6.3. Penghitungan Arus Hubung Singkat Bus (*Short Circuit Current Bus*)

Nilai arus hubung singkat ini akan menjadi salah satu komponen hitungan pada saat perhitungan *time dial* pada OCR. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung arus hubung singkat :

$$I_{sc}(\text{primer}) = \frac{V_p}{\sqrt{3} \times (\sum Z_{\text{kabel}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{sumber}})}$$

$$I_{sc}(\text{sekunder}) = I_{sc}(\text{primer}) \times \frac{V_p}{V_s}$$

|              |                           |   |
|--------------|---------------------------|---|
| Keterangan : | $V_p$                     | = Tegangan pada sisi primer (V)         |
|              | $V_s$                     | = Tegangan pada pada sisi sekunder (V)  |
|              | $\sum Z_{\text{kabel}}$   | = Jumlah Impedansi kabel ( $\Omega$ )   |
|              | $Z_{\text{trafo}}$        | = Impedansi trafo ( $\Omega$ )          |
|              | $Z_{\text{sumber}}$       | = Impedansi sumber ( $\Omega$ )         |
|              | $I_{sc}(\text{primer})$   | = Arus hubung singkat sisi primer (A)   |
|              | $I_{sc}(\text{sekunder})$ | = Arus hubung singkat sisi sekunder (A) |

### 2.2.6.4. Penghitungan Nilai *Pickup Lowset*

Dari standart British BS 142-1983 *range* penyetelan Iset adalah 1.05-1.3 kali arus nominal. Mengacu dari standart tersebut maka perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut :

$$I_{set}(\text{primer}) = 1.2 \times I_{\text{nominal}}$$

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{set}(\text{primer}) \times r_{CT}$$

Keterangan :

- $I_{set}(\text{primer})$  = Arus pickup lowset primer (A)
- $I_{set}(\text{sekunder})$  = Arus pickup lowset sekunder (A)
- $I_{\text{nominal}}$  = Arus beban penuh (A)
- $r_{CT}$  = *Ratio Current Transformer*

#### 2.2.6.5. Penghitungan Nilai *Time Dial Lowset*

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaannya sebagai berikut yang sesuai dengan standart BS 142 dan IEC 60225-3 :

$$T_{ms} = \frac{t \times \left[ \left[ \frac{I_{sc}}{I_{set}(\text{primer})} \right]^{\alpha} - 1 \right]}{\beta}$$

Keterangan :

- $T_{ms}$  = *Time dial / Time multiple setting*
- $t$  = waktu trip (s)
- $I_{sc}$  = Arus hubung singkat bus (A)
- $I_{set}(\text{primer})$  = Arus pickup lowset primer (A)

Nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik Rele Arus Lebih

| Tipe Kurva               | $\beta$ | $\alpha$ |
|--------------------------|---------|----------|
| <i>Standart Inverse</i>  | 0.14    | 0.02     |
| <i>Very Inverse</i>      | 13.50   | 1.00     |
| <i>Extremely Inverse</i> | 80.00   | 2.00     |

(Sumber : Muhammad Iqbal, 2015)

Untuk Jaringan yang memiliki lebih dari satu rele pada feeder yang sama maka harus diberikan grading time agar tidak terjadi trip pada rele secara bersamaan. Standar IEEE Std 242-2001 menyebutkan bahwa nilai grading time sebesar 0.2-0.4 detik. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Kesalahan kerja rele
- b. Waktu pembukaan PMT sampai hilang bunga api
- c. Faktor keamanan

#### 2.2.6.6. Penghitungan Nilai *High Set Rele Seketika*

Sebuah rele arus lebih juga dilengkapi dengan elemen setelan seketika. Penggunaan rele ini dapat menanggulangi gangguan yang cepat dan dapat membantu dalam mengurangi resiko kerusakan peralatan. Berikut ini adalah cara perhitungan untuk mendapatkan nilai arus pickup pada rele seketika :

1. Pada pengaman utama ( terdekat dengan beban)

$$I_{set} = 6 \times I_{nominal} \times rCT$$

2. Pada pengaman backup

$$I_{set} = 4 \times I_{nominal} \times r_{CT}$$

3. Pada Sumber

$$I_{set} = 1.25 \times \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} \times V_p} \times \frac{V_s}{V_p} \times r_{CT}$$

|              |               |  |
|--------------|---------------|--|
| Keterangan : | $I_{set}$     | = Arus pickup high set (A)               |
|              | $I_{nominal}$ | = Arus beban penuh (A)                   |
|              | $r_{CT}$      | = <i>Ratio Current Transformer</i>       |
|              | $P_{sc}$      | = Daya Short Circuit (MVAsc)             |
|              | $V_p$         | = Tegangan kerja sisi Primer Trafo (V)   |
|              | $V_s$         | = Tegangan kerja sisi sekunder Trafo (V) |