

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 :

Aji Setiyawan (2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Wonosobo Menggunakan Software Aplikasi ETAP. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa untuk arus hubung singkat, panjangnya jarak berpengaruh terhadap nilai arus hubung singkat. Semakin panjang jarak maka semakin kecil pula nilai arus hubung singkat yang terjadi pada titik tersebut begitu pula sebaliknya.

Yugi Supanggah (2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Rele OCR Pada Sistem Kelistrikan *Plant 8* PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk. Dari penelitian ini disimpulkan pada *plant 8* memiliki 2 *feeder* yang masing-masing *feeder* menggunakan pengaman proteksi OCR (*Overcurrent Relay*) untuk mengamankan beberapa *subfeeder* yang sebagian besar dari bebannya adalah motor induksi. Hasil simulasi yang Yugi lakukan menunjukkan bahwa koordinasi proteksi yang baik adalah *relay* yang terletak paling dekat dengan gangguan akan bekerja terlebih dahulu dan *relay incomingnya* menjadi *backup*.

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 Koordinasi OCR-Recloser Penyulang Kaliwungu 03 dilakukan oleh Nugroho Agus Darmanto, dkk (2006). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jangkauan *relay* sangat dipengaruhi besar kecilnya arus hubung singkat, sedangkan besar arus hubung singkat dipengaruhi jumlah pembangkit yang masuk ke sistem jaringan, kapasitas dan impedansi trafo dan titik gangguan atau panjang jaringan.

Azanto Putro Kurniawan (2016) juga melakukan penelitian bahwa untuk menentukan setting *relay* harus diketahui terlebih dahulu arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada titik terdekat dengan *relay*. Kemudian menentukan peralatan *relay* yang memiliki kemampuan untuk mengatasi gangguan sesuai kapasitas proteksi. Semakin jauh letak proteksi maka arus gangguan hubung singkat semakin kecil serta waktu *relay* pengaman semakin cepat.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik adalah sistem proteksi yang diterapkan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator jaringan dan peralatan listrik lainnya terhadap kondisi abnormal. Kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron, dan lain-lain.

2.2.1.1 Tujuan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Berikut adalah tujuan dari sistem proteksi tenaga listrik.

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
2. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
4. Meminimalisir bahaya bagi manusia.

2.2.1.2 Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik yang baik adalah sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlingkungannya. 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 3 macam, yaitu :

a. *Depenbility*

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*

Security adalah tingkat kepastian pengamanan untuk tidak mengalami kesalahan dalam bekerja. Salah bekerja adalah kondisi dimana pengamanan bekerja pada kondisi yang tidak seharusnya untuk bekerja, misalnya bekerja ketika terjadi gangguan di luar daerah proteksinya, bekerja ketika tidak terjadi gangguan sama sekali, bekerja terlalu cepat, dan bekerja terlalu lambat.

c. *Availability*

Availability adalah perbandingan antara waktu pada saat pengamanan dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

3. Kecepatan (*Speed*)

Semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan kehilangan sinkronisasi dengan sistem. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dalam masa mendatang waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan *relay* dengan kecepatan yang sangat tinggi (*very high speed relaying*).

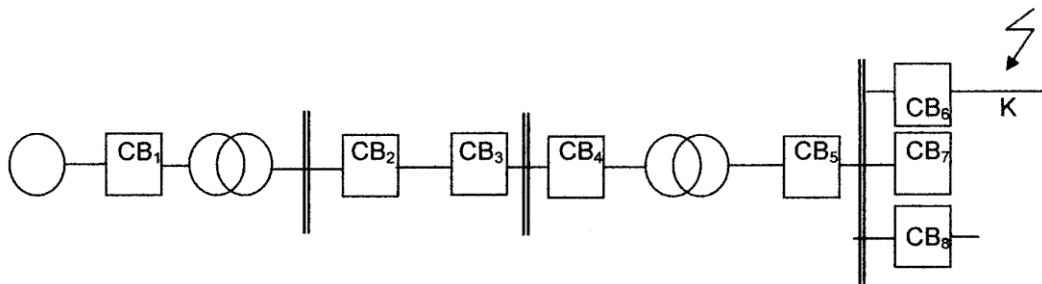
Fungsi dari kecepatan pada sistem proteksi tenaga listrik adalah sebagai berikut:

- a. Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- b. Mempertahankan kestabilan sistem.

- c. Membatasi ionasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan memperbesar kemungkinan berhasilnya penutup balik PMT (*reclosing*) dan mempersingkat *dead time* (interval waktu antara buka dan tutup).

4. Selektifitas dan Diskriminatif

Selektifitas adalah kemampuan sistem proteksi untuk dapat memisahkan daerah yang terganggu sekecil mungkin, yaitu daerah yang hanya terjadi gangguan 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 dan akibatnya gangguan dapat diminimalisir menjadi sekecil mungkin. Selektifitas dan diskriminatif pada suatu sistem proteksi dapat tercapai dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*), peningkatan setting arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya. Selain itu, selektifitas dan diskriminatif dapat tercapai dengan melakukan pemilihan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting *relay* yang terkoordinasi dengan baik.



Gambar 2.1. Contoh sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan di titik K

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

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.

5. Ekonomis

Aspek ekonomis hampir selalu berhubungan dengan aspek teknis. Sistem proteksi yang baik adalah sistem proteksi yang mempertimbangkan aspek ekonomis tanpa mengesampingkan kinerja peralatan proteksi yang digunakan. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital.

2.2.1.3 Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik pasti memiliki gangguan yang biasa terjadi ketika sistem bekerja. Jenis gangguan yang biasa terjadi dalam sistem tenaga listrik diantaranya sebagai berikut:

1. Gangguan Akibat Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Gangguan tegangan lebih adalah jenis gangguan yang disebabkan tegangan pada sistem tenaga listrik bernilai lebih dari tegangan yang seharusnya. Gangguan tegangan lebih dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Gangguan Tegangan Lebih dengan *Power* Frekuensi

Jenis gangguan ini disebabkan oleh pembangkit yang kehilangan beban, over speed pada generator saat bekerja, dan gangguan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

b. Gangguan Tegangan Lebih *Transient*

Jenis gangguan ini disebabkan oleh surja petir atau surja hubung yang mengakibatkan nilai tegangan lebih dari tegangan yang seharusnya.

2. Gangguan Akibat Beban Lebih (*Over Load*)

Gangguan beban lebih adalah jenis gangguan yang diakibatkan adanya kenaikan arus yang mengalir pada sistem yang disebabkan oleh beban berlebih. Gangguan ini tidak boleh dibiarkan secara terus-menerus, karena dapat merusak peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik.

3. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah jenis gangguan yang disebabkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Ditinjau dari waktu berlangsungnya, gangguan hubung singkat terdiri dari dua macam, yaitu:

a. Gangguan Hubung Singkat Permanen

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

b. Gangguan Hubung Singkat Temporer

Gangguan hubung singkat temporer atau sementara adalah gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh alam, seperti sambaran petir, pohon disekitar jaringan distribusi listrik, ataupun keadaan tiupan angin yang kencang pada jaringan distribusi listrik.

Dampak gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi yakni diantaranya dapat mengakibatkan:

- a. Turun tegangan pada sistem jaringan, atau bahkan pada daerah-daerah tertentu, tegangan hilang sama sekali.
- b. Terjadi pengaruh mekanis yang dinamis pada komponen instalasi listrik seperti kumparan trafo, isolator, dan lain-lain.
- c. Dapat menimbulkan pengaruh thermis yang cukup tinggi untuk menaikkan suhu komponen-komponen instalasi listrik, hingga dapat merusak komponen instalasi listrik termasuk komponen proteksinya.

- d. Dapat mengganggu kontinuitas jalannya sistem jaringan, karena adanya pemutus tenaga yang terangsang serta bekerja sehingga memungkinkan adanya pemadaman listrik.

4. Gangguan Frekuensi Jatuh

Gangguan frekuensi jatuh adalah gangguan yang menyebabkan frekuensi pada sistem bernilai lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang seharusnya. Gangguan ini disebabkan karena lepasnya pembangkit ketika sedang beroperasi. Hal ini dikarenakan adanya gangguan di sisi pembangkit.

2.2.1.4 Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

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

1. Faktor Manusia (*Human Error*)

Di dalam proses kerja dari sistem tenaga listrik, banyak melibatkan semua aspek, khususnya manusia. *Human Error* disebabkan kesalahan atau kelalaian manusia dalam penanganan proses kerja dari sistem. Hal ini dikarenakan manusia dalam proses penanganan sistem, bekerja tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

2. Faktor Internal

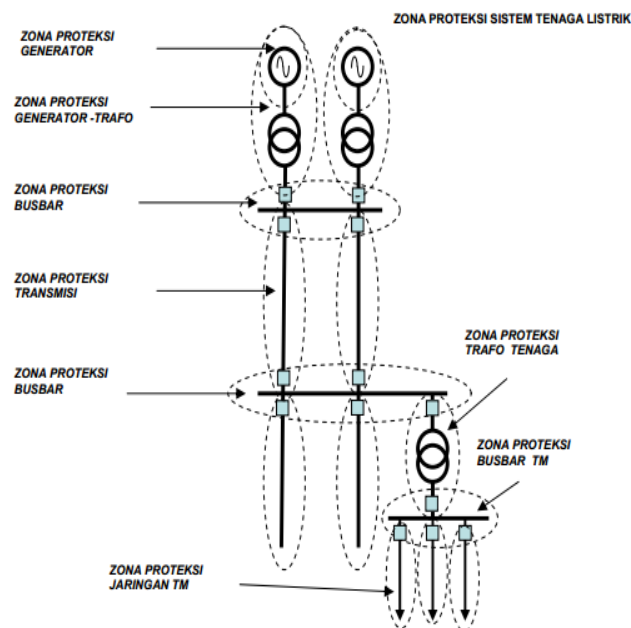
Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai komponen sudah lama (tua/sudah tidak layak pakai), kondisi komponen yang sudah aus, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitivitas rele pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik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

2.2.2 Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Untuk mendapatkan sistem pengaman yang cukup baik di dalam sistem tenaga listrik, sistem tenaga tersebut dibagi dalam beberapa daerah pengamanan yakni dengan pemutusan sub-sistem seminimum mungkin. Hal ini dilakukan agar memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi pada sebuah jaringan listrik yang mengalami gangguan. Zona ini biasanya dibatasi oleh pemutus tenaga (*circuit breaker*) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan.



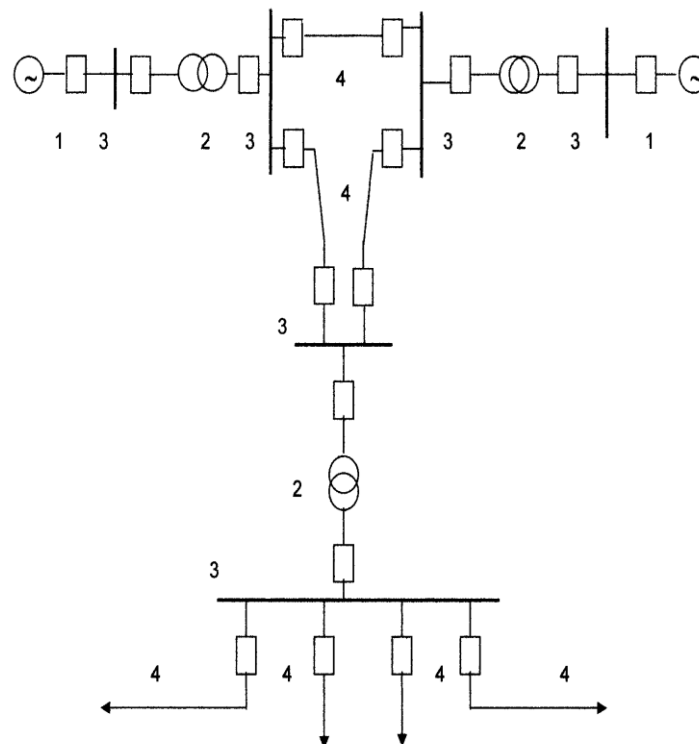
Gambar 2.2 Zona proteksi pada komponen jaringan

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

Adapun pembagian zonanya yakni :

1. Generator
2. Transformator Daya
3. Bus-bar
4. Transmisi, Sub-Transmisi dan Distribusi
5. Beban

Pembagian ke lima daerah pengamanan diatas dilaksanakan secara saling meliputi (*over laping*), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram satu garis dengan daerah-daerah pengamannya

(Sumber: Alawiy, 2006. *Proteksi sistem tenaga listrik seri relay elektromagnetis*)

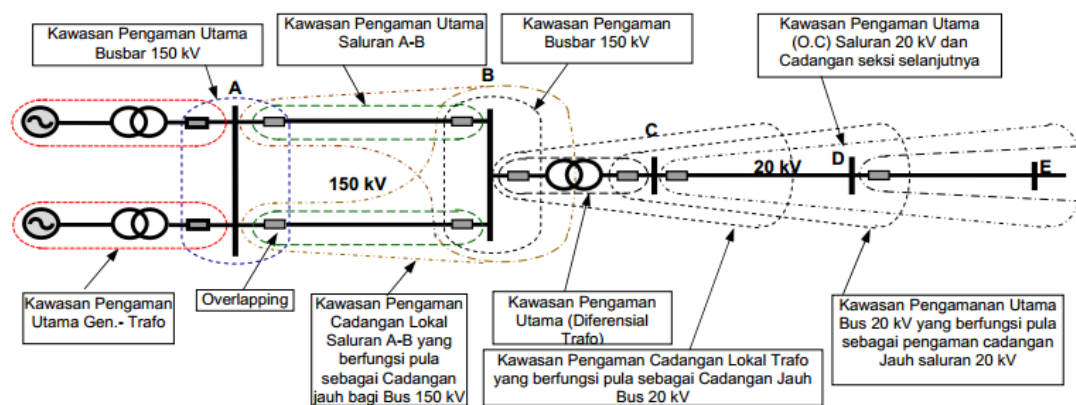
Yang dimaksud dengan *over lapping* adalah suatu pengamanan berfungsi saling menutupi apabila terjadi gangguan. Hal ini diperlukan untuk menghindari kemungkinan daerah yang tidak teramankan. Jadi ketika suatu sebab *relay* pengaman gagal dalam menjalankan tugasnya, maka harus ada *relay* pengaman kedua untuk menggantikan fungsi *relay* yang gagal tadi. *Relay* pengaman kedua ini disebut *back-up relay*.

1. Zona Proteksi Utama (*Main Protection*)

Zona utama terdiri atas peralatan utama yang harus beroperasi untuk zona yang di proteksinya.

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.



Gambar 2.4 Zona proteksi pendukung

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

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.

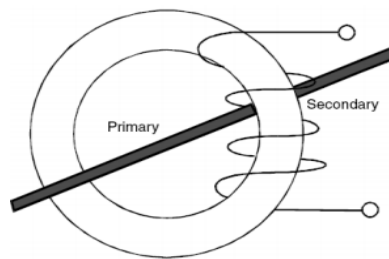
2.2.3 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

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

2.2.3.1 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Trafo arus atau *Current transformer* (CT) adalah jenis trafo instrumen yang digunakan untuk mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil. Trafo ini banyak digunakan untuk keperluan pengukuran dan perlindungan. Komponen utama CT adalah kumparan induktif. Unjuk kerja CT akan dipengaruhi oleh aliran arus atau beban yang terhubung padanya. Jika arus yang mengalir tidak sefase dengan tegangan, maka dikatakan faktor dayanya tidak sama dengan 1.0. Faktor daya dapat mengikut atau mendahului dan kerugian yang diserap oleh trafo tidaklah tetap.

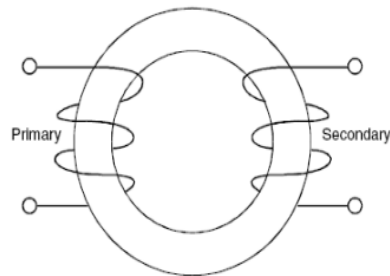
CT di gunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin di lakukan secara langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini di sebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT di tandai oleh *current transformer ratio* (CT) yang merupakan perbandingan antara arus yang di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



Gambar 2.5. Tipe *bar primary*

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

Konstruksinya mampu menahan arus hubung singkat yang cukup tinggi sehingga memiliki faktor termis dan dinamis arus hubung singkat yang tinggi.



Gambar 2.6. Tipe *wound primary*

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

Biasa digunakan untuk pengukuran pada arus rendah, burden yang besar, atau pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi.

2.2.3.2 *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.

2.2.3.3 Jenis Rele Proteksi

Rele adalah suatu alat yang dapat memberikan indikasi suatu kondisi abnormal jika diberi energi oleh besaran-besaran sistem yang tepat. Pada prinsipnya, ketika kontak-kontak rele menutup, maka rangkaian pemutus (*breaker*) akan membuka/menutupkan sistem sehingga gangguan dapat diisolir. Berikut adalah klasifikasi rele berdasarkan fungsinya:

1. *Overcurrent relay*

Overcurrent relay adalah suatu *relay* 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.

2. *Differential Relay*

Differential Relay prinsip kerjanya berdasarkan hukum *kirchoff*, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Rele ini dirancang untuk mendeteksi perbedaan serta membandingkan antara arus yang masuk dan keluar di zona proteksinya.

3. *Directional Relay*

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

4. *Ground Fault Relay*

Ground Fault Relay adalah rele yang bekerja untuk mendeteksi adanya gangguan pada komponen jaringan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

5. *Distance Relay*

Distance Relay yaitu rele yang 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.

2.2.3.4 Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Circuit Breaker (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan.

Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolik, 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.

2.2.3.5 DC System Power Supply

DC System Power Supply merupakan pencatu daya cadangan yang terdiri dari *Battery* dan *Charger*. *Charger* berfungsi sebagai peralatan yang mengubah tegangan AC ke DC dan *Battery* berfungsi sebagai penyimpan daya cadangan. Sebagai peralatan proteksi, DC System Power Supply merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung, maka DC System Power Supply akan bekerja yang menyebabkan CB membuka. *Charger* adalah sumber utama dari DC system power supply, karena charger adalah alat untuk merubah AC power menjadi DC power (*rectifier*).

2.2.4 Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik yang baik adalah proteksi yang memiliki peralatan yang bekerja dengan baik untuk meminimalisir gangguan yang terjadi. Perlengkapan utama yang umum digunakan pada sistem proteksi adalah sebagai berikut:

2.2.4.1 Penutup Balik Otomatis (PBO, Automatic Circuit Recloser)

Penutup balik adalah alat pengaman arus lebih yang diatur waktu untuk memutuskan dan menutup kembali secara otomatis, terutama untuk membebaskan dari gangguan yang bersifat temporer (sementara), sering juga disebut dengan *recloser*. *Recloser* dilengkapi dengan sarana indikasi arus lebih, pengatur waktu operasi, serta penutupan kembali secara otomatis. Desain dari *recloser* memungkinkan untuk dapat membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/*lock out*, sesuai pemrogramannya setelah melalui beberapa kali operasi buka tutup. Pada gangguan yang bersifat sementara, *recloser* akan membuka dan menutup kembali bila gangguan telah hilang. Jika gangguannya bersifat tetap/ *permanent*, maka *recloser* akan

membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/*lock out*. Apabila gangguan telah dihilangkan, maka *recloser* dapat ditutup kembali.

2.2.4.2 Pengaman Lebur (FCO, *Fuse Cut Off*)

Fuse adalah suatu peralatan proteksi kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebihan yang mengalir dan memutuskan rangkaian dengan meleburannya elemen *sekring*. Peleburan ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen yang terjadi pada suatu jaringan. Peleburan dirancang akan melebur/meleleh pada waktu tertentu dan nilai arus gangguan tertentu.

2.2.4.3 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 pengindr

2.2.4.4 Rele Proteksi

Relai Proteksi adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi tidak normal pada suatu sistem tenaga listrik. Relai proteksi dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima. Besaran-besaran tersebut adalah arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi dan lain sebagainya.

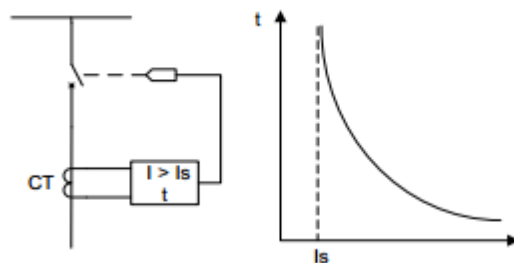
2.2.5 Proteksi *Overcurrent Relay* (OCR)

Relay arus lebih adalah suatu *relay* 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.

Pada pengaturan waktu *relay* ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengamanan. Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka *relay* jenis ini termasuk *relay* 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 ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengamanan beban lebih. Berdasarkan karakteristiknya, OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. *OCR Invers Time*

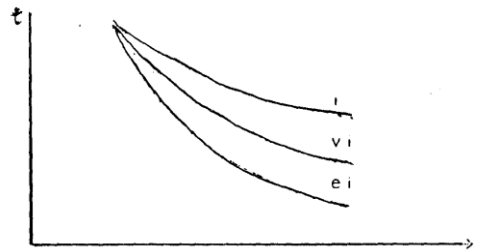
OCR *invers* adalah rele dimana waktu tundanya memiliki karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka waktu kerja rele akan semakin singkat atau cepat. Nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.



Gambar 2.7. Karakteristik OCR *invers*

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

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini bermacam-macam, akan tetapi kesemuanya itu dapat digolongkan menjadi 3 golongan yakni berbanding terbalik biasa (*inverse*), sangat berbanding terbalik (*very inverse*), sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*).

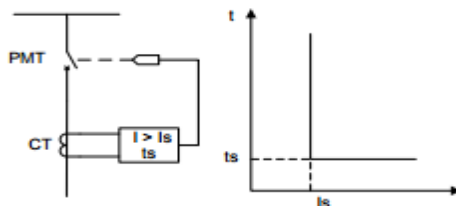


Gambar 2.8 Golongan OCR Invers

(Sumber: Alawiy, 2006. *Proteksi sistem tenaga listrik seri relay elektromagnetis*)

2. OCR Definite Time

Definite Time adalah jenis relay arus lebih dimana jangka waktu relay mulai pick-up sampai selesainya kerja relay dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus setting maka waktu kerja relay ditentukan oleh waktu settingnya).



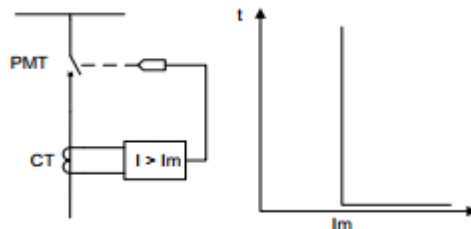
Gambar 2.9 Karakteristik OCR *definite time*

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

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. OCR *Instantaneous Time*

Instantaneous Time 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. jenis *relay* arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja *relay* yaitu mulai saat *relay* mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja *relay* sangat singkat yakni sekitar 20-100 mili detik tanpa adanya penundaan waktu. Dibawah ini adalah grafik karakteristiknya.



Gambar 2.10 Karakteristik OCR *instantaneous time*

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

2.2.6 *Setting Overcurrent Relay (OCR)*

Agar OCR bekerja dengan baik, OCR di *setting* terlebih dahulu dengan dilakukan beberapa tahapan. Berikut tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan *setting* OCR.

2.2.6.1 Perhitungan 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:

$$Z = \sqrt{R^2 + jX^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: Z = Impedansi Kabel
R = Resistansi Kabel
X = Reaktansi Kabel

2. Transformator

Data yang diperlukan untuk perhitungan impedansi pada sebuah transformator dapat dilihat pada spesifikasi trafo yang digunakan. Perhitungan impedansi trafo dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$Z_{trafo} = Z\% \times \frac{Vp^2}{P} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan: Ztrafo = Impedansi Trafo (Ω)
Z% = Persentase impedansi trafo (%)
Vp = 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 :

a. Feeder

$$Z_s = \frac{V^2}{P_{SC}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan: Z_s = Impedansi Sumber (Ω)
 V_p = Tegangan (V)
 P_{sc} = Daya Hubung Singkat (VA_{sc})

Apabila daya hubung singkat belum diketahui, dapat dicari dengan rumus:

$$P_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan: P_{sc} = Daya Hubung Singkat (VA_{sc})
 I_{sc} = Arus Hubung Singkat (A)
 V = Tegangan (V)

b. Generator

Pada perhitungan impedansi generator nilai yang dipakai adalah harga reaktansi subtransient (X''_d). Langkah pertama untuk mencari nilai reaktansi subtransient adalah dengan mencari nilai impedansi pada 100%, yaitu menggunakan persamaan:

$$X_g \text{ (pada 100\%)} = \frac{V^2}{MVA}$$

Dimana:

X_g = Reaktansi Generator (Ω)
 V^2 = Tegangan Pembangkitan Generator (KV)
MVA = Kapasitas Daya Pembangkitan Generator (MVA)

Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_g^1 = X_g^2$) dihitung menggunakan persamaan:

$$X_g = \%X''_d \times X_g \text{ (pada 100\%)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

X_g = Reaktansi Generator (Ω)
 $\%X''_d$ = Presentase Reaktansi Sub Transient pada spesifikasi (%)

Sedangkan untuk nilai resistansi dari generator, diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_g = \frac{X''d}{X/R} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

R_g = Resistansi dari generator (Ω)

X/R = Rasio X/R, 20 untuk kapasitas generator ≥ 100 MVA. 14,29 untuk kapasitas generator ≤ 100 MVA dan 6,67 untuk semua generator yang memiliki tegangan ≤ 1 KV.

$$Z = \sqrt{R^2 + jX^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

Z = Impedansi Generator

R = Resistansi Generator

X = Reaktansi Generator

2.2.6.2 Perhitungan Arus Nominal Beban

Penghitungan arus beban penuh ini bergantung pada besaran nilai beban yang terpasang pada suatu instalasi listrik. Untuk besaran nilai yang dibutuhkan dalam hitungan terdapat pada data *sheet* beban yang digunakan. Perhitungan arus nominal beban dapat dilakukan dengan dua cara:

1. Jika Diketahui Daya Semu Beban

$$I \text{ nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2.8)$$

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

V = Tegangan pada beban dengan satuan (V)

2. Jika Diketahui Daya Aktif Beban

$$I \text{ nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{eff} \cdot \text{pf}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan: P = Daya Aktif beban dengan satuan (Watt)
V = Tegangan (V)
eff = Efisiensi Motor
pf = Faktor Daya Faktor

2.2.6.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

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:

$$I_{sc} \text{ (primer)} = \frac{V_p}{\sqrt{3} \times (\Sigma Z_{kabel} + Z_{trafo} + Z_{sumber})} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_{sc} \text{ (sekunder)} = I_{sc} \text{ (primer)} \times \frac{V_p}{V_s} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan: Vp = Tegangan pada sisi primer (V)
Vs = Tegangan pada sisi sekunder (V)
ΣZkabel = Jumlah Impedansi Kabel (Ω)
Ztrafo = Impedansi Trafo (Ω)
Zsumber = Impedansi Sumber (Ω)
Isc (Primer) = Arus Hubung Singkat Sisi Primer (A)
Isc (Sekunder) = Arus Hubung Singkat Sisi Sekunder (A)

2.2.6.4 Perhitungan Nilai Pickup Lowset

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

$$I_{sc} \text{ (primer)} = 1.2 \times I_{nominal} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{rasio CT} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Keterangan: Iset (primer) = Arus *pickup lowset* primer (A)
 Iset (sekunder) = Arus *pickup lowset* sekunder (A)
 Inominal = Arus beban penuh (A)

2.2.6.5 Perhitungan 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:

$$T_{ms} = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set} (primer)} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Keterangan: Tms = *Time Dial / Time Multiple Setting*
 t = Waktu trip (s)
 Isc = Arus hubung singkat bus (A)
 Iset (primer) = Arus *pickup lowset* primer (A)

Nilai α dan β dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik Rele Arus Lebih

Tipe Kurva	α	β
<i>Standart Inverse</i>	0.02	0.14
<i>Very Inverse</i>	1.00	13.50
<i>Extremely Inverse</i>	2.00	80.00

(Sumber: Yugi Supanggah, 2017)

2.2.6.6 Perhitungan 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)

Rele yang dipasang pada bagian ini adalah rele seketika yang letaknya dekat dengan beban yang terpasang karena rele ini difungsikan sebagai pengaman utama. Jadi, tanpa tunda waktu rele ini langsung bekerja memerintahkan PMT untuk memutus arus gangguan yang terjadi di sekitar beban. Untuk menghitung nilai arus *pickup* yakni:

$$I_{set} = 6 \times I_{nominal} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \dots\dots\dots (2.15)$$

2. Pada Pengaman *Backup*

Perhitungan nilai arus *pick up* pada pengaman *backup* digunakan ketika masih terjadi gangguan atau kebocoran arus pada rele pengaman utama. Perhitungannya yakni:

$$I_{set} = 4 \times I_{nominal} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \dots\dots\dots (2.16)$$

3. Pada Sumber

Perhitungan nilai arus *pick up* ini difungsikan jika terjadi gangguan di sekitar sumber. Perhitungannya yakni:

$$I_{set} = 1.25 \times \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} \times V_p} \times \frac{V_s}{V_p} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \dots\dots\dots (2.17)$$

- Keterangan:
- Iset = Arus *pickup high set* (A)
 - Inominal = Arus beban penuh (A)
 - rCT = *Ratio Current Transformer*
 - Psc = *Daya Short Circuit* (MVA_{sc})
 - Vp = Tegangan kerja sisi primer trafo (V)
 - Vs = Tegangan sisi kerja sekunder trafo (V)