

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan penelitian (Adhi Warsito, 2013) yang menganalisis tentang efek pemasangan PT (*Potential Transformer*) terhadap perubahan besarnya nilai arus gangguan yang mungkin terjadi dan imbasnya pada koordinasi setting proteksi dari reli arus lebih (*Overcurrent Relay*) pada sebuah jaringan distribusi 20 kV. Studi kasus pertama dan kedua menganalisis efek adanya penempatan PT terhadap arus gangguan dan koordinasi setting proteksi, sedangkan studi kasus ketiga menganalisis efek perbedaan lokasi penempatan PT terhadap arus gangguan dan koordinasi setting proteksi.

Dalam penempatan PT (*Potential Transformer*) pada jaringan distribusi akan mengakibatkan perubahan aliran arus beban dan arus gangguan yang mengharuskan adanya evaluasi setting koordinasi proteksi jaringan dengan peralatan proteksi dan PT (*Potential Transformer*) tersebut.

(Kasmir, 2011) salah satu penyebab terjadinya kenaikan arus adalah gangguan hubung singkat yang membuat arus melebihi nilai maksimum dari penghantar atau peralatan-peralatan listrik lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara perhitungan setting arus dan waktu pada relay arus lebih dan akan membuat simulasi koordinasi relay arus lebih dengan sebuah program simulator. Adapun simulator tersebut adalah *software ETAP* versi 6.0.

Dari penelitian yang dilakukan oleh penulis (Kasmir), menyimpulkan berdasarkan prinsip kerja relay arus lebih akan berkerja apabila relay tersebut merasakan besar arus yang melebihi setting arus dari relay tersebut, maka relay akan bekerja dengan memerintahkan CB untuk trip. Dan dari hasil pengoperasian simulasi saat tidak terjadi gangguan, besar arus pada masing-masing penyulang yang keluar tidak melebihi batas arus maksimum dan tidak melebihi batas setting relay arus lebih baik itu dari PLN dan settingan manual.

(Alfian Rachmatu T, 2011) kontinuitas dan keandalan merupakan faktor yang sangat dibutuhkan dalam sistem kelistrikan industri. Koordinasi sistem proteksi berperan sangat penting untuk menjamin kontinuitas dan keandalan sistem penyaluran tenaga listrik. Untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan di industri, maka sensitifitas peralatan pengaman perlu di tingkatkan. Hal ini dilakukan dengan evaluasi setting dan koordinasi rele pengaman arus lebih dengan menggambarkan kurva karakteristiknya.

Dari hasil analisis, diketahui bahwa terdapat beberapa kesalahan pada setting *existing* rele arus lebih sehingga perlu dilakukan *resetting* relai. Berdasarkan analisis *resetting* relai ini dapat diketahui bahwa koordinasi relai pengaman arus lebih pada sistem kelistrikan di PT. Asahimas Flat Glass Tbk, telah sesuai dengan *standard* pengaman yang ada, sehingga sensitifitas peralatan pengaman dapat ditingkatkan dan kontinuitas suplai daya tetap terjaga.

(Rudianto Putra P, 2011) dalam perancangan sistem kelistrikan PT. Semen Gresik Pabrik Tuban IV di perlukan sebuah koordinasi pengaman untuk melindungi sistem tersebut dari bahaya listrik yang mungkin timbul sehingga dapat mengganggu kontinuitas kerja dari peralatan-peralatan listrik. Analisa dilakukan dengan menggunakan software ERAP 7.0.0 untuk mengetahui settingan relay pengaman yang tepat dengan menggambarkan kurva karakteristik relay pengaman dan pemilihan peralatan proteksi sesuai dengan kebutuhan dan budget yang telah di anggarkan sehingga keandalan sistem saat proses produksi semen tetap terjaga dan optimal.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, ada beberapa kesimpulan yang dihasilkan berdasarkan penelitiannya, seperti rekomendasi akan pemilihan penggunaan pengaman relay overcurrent dan relay ground fault yang terpasang pada PT. Semen Gresik Pabrik Tuban IV.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi merupakan sistem pengamanan yang berguna untuk menghindari peralatan dari kerusakan yang ditimbulkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Sehingga apabila terjadi gangguan terhadap peralatan listrik tersebut dapat diamankan dengan baik agar tidak terjadi kerusakan ataupun memengaruhi sistem kelistrikan yang lainnya.

Pada sistem proteksi, untuk mengamankan atau menghindari peralatan dari kerusakan sistem proteksi harus memiliki peralatan proteksi yang handal dan dipercaya dapat mengamankan peralatan listrik yang digunakan sehingga pelayanan tenaga listrik berjalan kontinyu serta aman. Keadaan ini melindungi konsumen agar proses produksi atau kegiatan yang berlangsung tidak terhambat dan merugikan baik sisi ekonomi maupun peralatan.

Pada industri dan gedung-gedung biasaya mengambil pemakaian dari tegangan menengah. Pada jaringan tegangan menengah sering banyak terjadi gangguan yang cukup beresiko terhadap peralatan listrik yang digunakan.

Dengan pemasangan sistem proteksi pada sistem tenaga listrik diharapkan gangguan yang terjadi di setiap sistem tenaga listrik dapat diatasi dan menghindari kerusakan pada peralatan listrik.

Sistem proteksi berfungsi sebagai pemisah bagian sistem yang terganggu sehingga sistem yang lainnua terus beroperasi atau dapat diamankan. Cara kerja dari proteksi ialah :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau kadaan abnormal lainnya pada sistem yang dimankan.
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu.
- c. Memberikan sinyal kepada operator adanya gangguan dan lokasi gangguan.

Untuk pengamanan bagian peralatan utama yang penting digunakan sistem proteksi yang terdiri dari beberapa peralatan proteksi yang komponen-komponen terpentingnya adalah :

- a. Reley Proteksi, sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya.
- b. Pemutus Beban (PMS), sebagai pemutus arus beban.
- c. Pemutus Tenaga (PMT), sebagai pemutus arus gangguan di dalam sirkuit tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu.
- d. Trafo Arus dan Trafo Tenaga, sebagai penerus arus dan tegangan pada sirkuit tenaga sekunder.
- e. Baterai (Aki), sebagai sumber tenaga untuk relay proteksi dan control PMT.

2.2.2. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi biasanya merupakan gangguan-gangguan yang terkait dengan saluran penghantar dan peralatan-peralatan gardu induk distribusi seperti trafo distribusi, kawat pentanahan dan sebagainya. Seperti pada sistem tenaga umumnya, maka gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dapat dikategorikan sebagai berikut :

A. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat atau short circuit merupakan gangguan yang terjadi akibat fasa dengan fasa atau pun fasa dengan netral saling berhubungan tanpa adanya hambatan. Sehingga arus yang terjadi pada saat gangguan hubung singkat mengalami arus yang bernilai besar dan tegangan pada saat gangguan sebesar 0 volt. Dalam gangguan hubung singkat dikenal istilah arus hubung singkat maksimum dan minimum. Yang mana arus hubung singkat maksimum dan minimum ini berguna untuk menentukan setting dari pengaman saat terjadi hubung singkat.

Arus hubung singkat maksimum merupakan penentuan nilai hubung singkat yang terkait dengan hubung singkat yang terjadi pada bagian input terminak (sumber) peralatan switching. Ini di definisikan dalam kA untuk 1 atau 3 detik dan digunakan untuk menentukan karakteristik

ketahanan peralatan terhadap kenaikan temperature akibat hubung singkat tersebut.

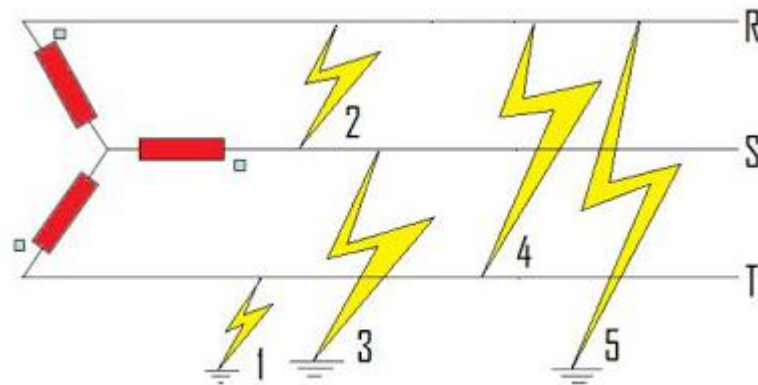
Sedangkan arus hubung singkat minimum, merupakan penentuan nilai hubung singkat dengan kejadian hubung singkat di ujung suatu jaringan (kearah beban). Dengan mengetahui nilai hubung singkat ketahanan alat dan pengaturan besarnya nilai proteksi untuk kejadian hubung singkat.

Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu :

- 1) Gangguan Asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada beberapa fasa menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :
 - Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
 - Gangguan hubung singkat dua fasa.
 - Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.
- 2) Gangguan Simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari :
 - Gangguan hubung singkat tiga fasa.
 - Gangguan hubung sigkat tiga fasa ke tanah.

Kedua kelompok gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetri. Gangguan asimetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.



Gambar 1. Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik
<https://ezkhelenergy.blogspot.co.id/2011/11/gangguan-pada-sistem-tenaga-listrik.html>

Keterangan :

1. Hubung singkat 1 fasa ke tanah (fasa T dengan tanah)
2. Hubung singkat 2 fasa atau fasa ke fasa (fasa R dengan fasa S)
3. Hubung singkat 3 fasa ke tanah (fasa S dengan tanah)
4. Hubung singkat 4 fasa ke fasa (fasa R dengan fasa T)
5. Hubung singkat 5 fasa ke tanah (fasa R dengan tanah)

B. Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Beban lebih mungkin tidak tepat disebut sebagai gangguan. Namun karena beban lebih adalah suatu keadaan abnormal yang apabila dibiarkan terus berlangsung dapat membahayakan peralatan.

Beban lebih dapat terjadi pada trafo atau pada saluran karena beban yang dipasoknya terus meningkat, atau karena adanya maneuver atau perubahan aliran beban di jaringan setelah adanya gangguan. Beban lebih dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan yang selanjutnya panas yang berlebihan itu dapat mempercepat proses penuaan atau memperpendak umur peralatan listrik.

C. Gangguan Tegangan Lebih

Dalam keadaan operasi, suatu sistem tenaga sering mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terputusnya pelayanan daya ke pelanggan. Gangguan tersebut lebih sering terjadi pada jaringan distribusi. Terjadinya gangguan disebabkan oleh peningkatan tegangan pada hantaran distribusi, yang dikenal dengan tegangan lebih, yang besar tegangan itu melampaui tingkat ketahanan isolasi dari hantaran distribusi. Dengan demikian terjadi hubung singkat. Tegangan lebih ini antara lain disebabkan oleh :

- Sambaran petir pada hantaran distribusi, baik merupakan sambaran langsung ataupun tidak langsung.
- Surja hubung.

2.2.3. Penyebab Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (interferes) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban.

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam antara lain :

- Tegangan dan arus normal.
- Pemasangan yang kurang baik.
 - Pemasangan sambungan/terminasi tidak baik
 - Selama proses pemasangan kabel tidak sempurna ujung kabel tidak ditutup sehingga air dapat masuk ke kabel.
 - Penggelaran kabel tidak mengikuti cara yang benar sehingga umur kabel tidak lama ataupun tidak seperti yang diharapkan.
 - Pemasangan kabel tidak mengikuti aturan, misalnya peletakkan kabel berdekatan, sehingga timbul panas.
- Umur peralatan.

- Beban lebih.
- Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain :

- Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
- Pengaruh cuaca. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).
- Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bisa dilihat dari lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu :

- a. Gangguan Transient (temporer), merupakan gangguan yang dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan ini apabila tidak dapat hilang dengan segera juga akan berubah menjadi gangguan permanen.
- b. Gangguan permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan pemadaman atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

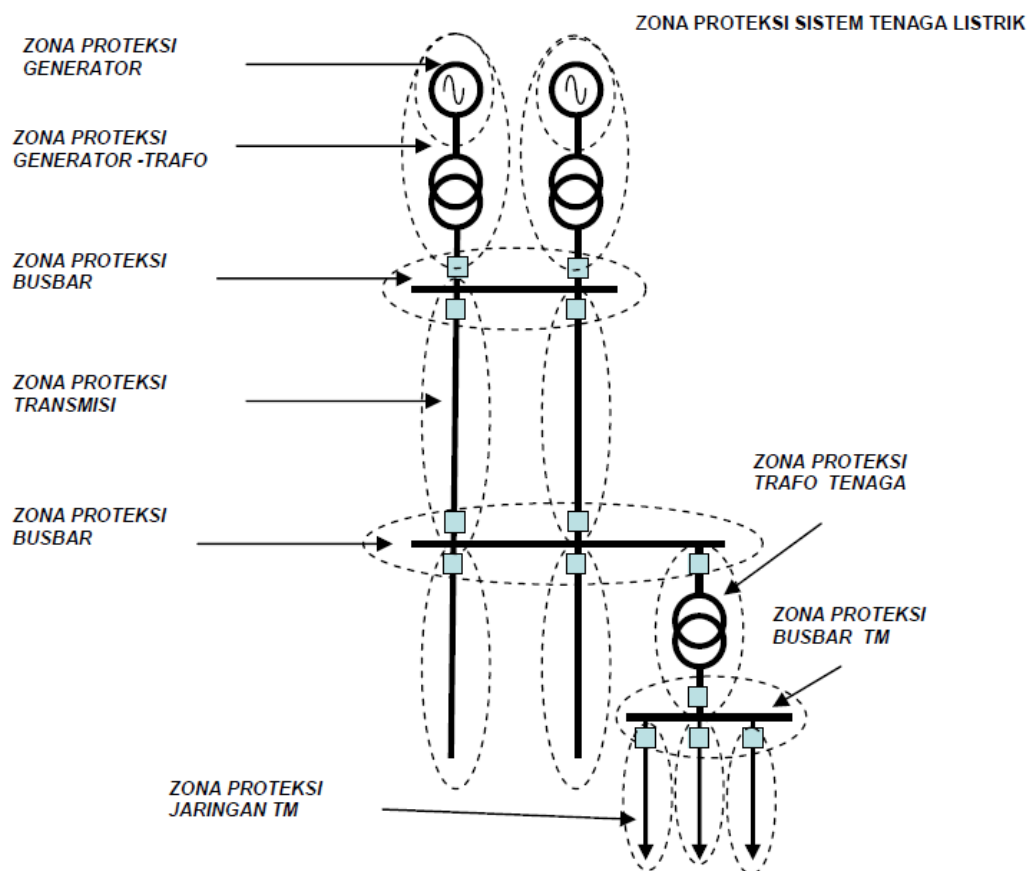
Untuk gangguan yang bersifat sementara arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relay pengamanannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut

mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperature yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.2.4. Zona Proteksi

Zona proteksi merupakan wilayah dalam menentukan tiap bagian-bagian sistem tenaga listrik mana yang harus dilakukan pengamanan dari gangguan hubung singkat atau short circuit bisa terjadi. Zona proteksi tersebut dibentuk untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi, dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang diisolasi (mengalami pemutusan). Zona proteksi ini biasanya dibatasi dengan PMT (CB) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antara zona proteksi yang mengalami gangguan jika menerima instruksi dari relay.



Gambar 2. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik
<http://www.wandynotes.com/2012/08/sistem-proteksi.html>

Dalam penerapan *overlapping* pada zona proteksi listrik terdapat 2 istilah zona yang digunakan dalam proteksi. Istilah itu ialah zona proteksi utama (*Main Protection*) dan Zona proteksi pendukung (*Backup Protection*). Zona proteksi utama atau *Main Protection* ialah zona utama yang terdiri atas peralatan pengaman utama yang harus beroperasi untuk zona yang diproteksinya. Sedangkan zona proteksi pendukung atau *Backup Protection* ialah zona yang diperlukan untuk mengantisipasi kegagalan peralatan pada zona proteksi utama. Diadakannya *backup protection* ini berguna untuk meningkatkan kehandalan sistem proteksi. Zona proteksi ini terdiri atas *lokal backup* dan *remote backup*.

2.2.5. Prinsip Kerja Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan suatu jaringan sistem yang berfungsi sebagai pengaman mesin-mesin listrik dan pengaman jaringan sistem tenaga listrik itu sendiri apabila terjadi gangguan atau kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik. Secara umum sistem proteksi sangat diperlukan karena fungsinya yang berguna untuk mengamankan dan menetralsir gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik (jaringan transmisi, jaringan distribusi, atau pun pada pembangkit).

Sistem proteksi bekerja dengan cara mengkoordinasikan setiap komponen-komponen proteksi yang terdapat pada zona proteksi, seperti mengkoordinasikan dengan tegangan sistem tegangan tinggi (GI, transmisi, dan pembangkit). Selain itu, sistem proteksi ini bekerja untuk mengamankan peralatan dari kerusakan dan gangguan yang diakibatkan kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik. Pengamanan yang dilakukan ialah dengan cara mengaktifkan komponen-komponen proteksi seperti relay proteksi untuk memberikan sebuah sinyal atau tanda terjadinya suatu gangguan pada bagian sistem tenaga listrik atau pada peralatan listrik dan yang kemudian akan memberikan perintah ke pada *Circuit Breaker* (CB) atau Fuse untuk memutuskan aliran arus yang mengalir.

Dalam prinsip kerja sistem proteksi, dikenal juga dengan istilah *overlapping*. Yaitu dimana dalam satu daerah proteksi terdapat komponen proteksi yang terpasang secara bersamaan atau tumpang tindih. Adanya *overlapping* ini berguna untuk menunjang berkejanya sistem proteksi dalam mengamankan dan menetralsir gangguan yang terjadi apabila salah satu dari komponen proteksi tidak bekerja maka ada komponen proteksi yang lain yang dapat meng *back-up* untuk mengamankan mesin-mesin listrik tersebut.

2.2.6. Persyaratan Sistem Proteksi

Dalam menentukan penerapan sistem proteksi yang baik dan agar dapat melindungi peralatan listrik dari gangguan-gangguan listrik, maka terdapat persyaratan sistem proteksi sebagai berikut ;

a. Kepekaan (*Sensitivity*)

Pada prinsipnya relay harus cukup sensitif atau peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengaman meskipun dalam kondisi sensor atau ransangan yang minimum.

b. Keandalan (*Reability*)

Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja atau tidak berfungsi dengan baik. Keandalan terdiri dari 3 aspek yaitu :

- *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya).

- *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja.

- *Availability*

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

c. Selektivitas (*Selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu yang menjadi kawasan pengamanan utamanya.

d. Kecepatan (*Speed*)

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem yang lain atau secepat mungkin untuk menetralkan gangguan yang ada agar tidak meluas.

2.2.7. Peralatan Sistem Proteksi

Sistem proteksi pada jaringan distribusi didukung oleh beberapa peralatan utama. Peralatan utama inilah yang berfungsi mengatasi gangguan dan mengisolasi bagian jaringan yang terganggu dari bagian yang masih dapat beroperasi dengan baik. Peralatan utama sistem proteksi ini terdiri atas :

2.2.7.1. Instrumen Pengukuran

Instrumen pengukuran adalah peralatan proteksi yang berfungsi melakukan pembacaan besaran arus dan tegangan kemudian meneruskan informasi ini ke relay proteksi. Jika besaran arus dan tegangan pada jaringan melewati setelan yang telah dipasang pada relai dimana menandakan terjadinya gangguan, maka relay atau circuit breaker akan segera memutus dan mengisolasi jaringan yang mengalami gangguan tersebut. Adapun instrumen pengukuran ini terdiri atas :

a. *Transformer Current (CT)*

Transformer Current (CT) merupakan trafo yang dipergunakan untuk mentransformasikan arus atau menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengamanan. Kumputan primernya dihubungkan secara seri dengan beban yang akan diukur atau dikendalikan. Beban inilah yang menentukan besarnya arus yang

mengalir ke trafo tersebut. Keumpanan sekunder dibebani impedansi konstan dengan syarat tertentu. Fluks inti dan arus yang mengalir pada rangkaian sekunder akan tergantung pada arus primer. Trafo tersebut juga dengan trafo seri.

Transformator Current (CT) memiliki beberapa fungsi seperti :

- Memberikan sinyal ke relay yang proposional dengan besar arus yang mengalir pada peralatan yang dilindungi.
- Mengurangi besar arus terukur ke level yang dapat ditangani peralatan proteksi.
- Mengisolasi sisi tegangan rendah peralatan proteksi dari sisi tegangan tinggi.

b. Transformator Tegangan (VT)

Trafo tegangan (VT) adalah peralatan yang mentransformasikan tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indicator, alat ukur/meter dan untuk relai proteksi sistem tenaga listrik.

Trafo tegangan didesain untuk pemakaian pada beban resistansi tinggi karena itu tidak pernah dihubungkan singkat pada sisi sekundernya. Tidak seperti pada trafo arus, sisi sekunder trafo tegangan dapat diproteksi dengan fuse.

Fungsi dari trafo tegangan (VT) adalah sebagai berikut :

- Mentransformasikan tegangan tinggi ke rendah yang sesuai kebutuhan relay.
- Mengisolasi peralatan proteksi dari sistem tegangan tinggi.
- Menentukan rating tegangan untuk relay.

2.2.7.2. Peralatan Pemutus Rangkaian

Peralatan pemutus rangkaian adalah peralatan proteksi yang berfungsi mengisolasi jaringan yang mengalami gangguan. Peralatan pemutus rangkaian ini pun terdiri atas :

a. Relay

Relay adalah alat yang memproteksi sistem tenaga listrik dengan cara mendeteksi gangguan yang terjadi pada saluran tenaga listrik, jika terjadi gangguan maka relay akan memberikan signal kepada rangkaian proteksi seperti *Circuit Breaker* (CB) dan Fuse untuk memutuskan arus yang menyebabkan gangguan tersebut.

b. *Circuit Breaker* (CB)

Circuit Breaker (CB) merupakan pengaman arus lebih yang bekerja membuka dan memutus rangkaian secara non-otomatis dan memutus rangkaian secara otomatis ketika arus yang mengalir di rangkaian melebihi rating arus yang telah ditentukan tanpa menimbulkan kerusakan pada peralatan (CB dan rangkaian) pada saat terjadi gangguan.

Fungsi *circuit breaker* (CB) :

- Memutus rangkaian jika terjadi gangguan pada saluran yang diproteksi.
- Mencegah terjadinya busur api atau flashover pada saat pemutus rangkaian.
- Dapat berfungsi sebagai sakelar sekaligus pengaman arus lebih dan *overload*.

c. Fuse

Fuse adalah alat yang memproteksi sistem tenaga listrik dengan cara mendeteksi gangguan yang terjadi pada saluran berdasarkan seting nilai tertentu, jika terjadi gangguan yang melewati batas seting yang ditentukan maka fuse akan secara langsung memutuskan arus yang menyebabkan gangguan tersebut dengan mekanisme meleburnya elemen fuse yang menghubungkan sistem tersebut.

Fungsi fuse :

- Memutus rangkaian jika terjadi gangguan hubung singkat pada saluran yang diproteksi.
- Mengisolasi saluran yang mengalami gangguan dari saluran yang beroperasi normal.
- Tidak dapat berfungsi sebagai sakelar maupun pengaman *overload* kecuali didesain khusus (tipe dual element).

2.2.8. Relay Proteksi

Relay proteksi adalah suatu alat yang berfungsi mendeteksi gangguan, yang kemudian memberi perintah kepada trip coil, yaitu kumparan yang apabila akan menggerakkan pembuka pemutus tenaga (PMT) atau mengetriapkan, PMT akan membebaskan tegangan dari bagian instalasi yang terganggu, dimana berarti gangguan hubung singkat yang terjadi yang dapat merusak peralatan telah menghilang.

Relay proteksi merupakan komponen utama sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan, untuk itu relay proteksi harus memenuhi beberapa persyaratan keandalan (reability) dalam memproteksi bagian yang mengalami gangguan. Berikut adalah beberapa syarat keandalan pada relay proteksi :

- a. Sensitivitas
- b. Selektivitas
- c. Keamanan
- d. Kecepatan

Bagian relay pengaman terdiri atas beberapa bagian atau elemen seperti :

- a. Bagian perasa (*Senseing Element*)

Pada bagian ini besaran ukur yang dirasakan akan diteruskan kebagian pembanding.

- b. Bagian pembanding (*Comparing Element*)

Pada bagian ini akan menentukan apakah besaran ukur yang dirasakan pada keadaan normal atau sudah pada keadaan tidak normal. Bila

keadaan tidak normal, maka relay akan mengetripping pemutus tenaga atau signal kebagian control.

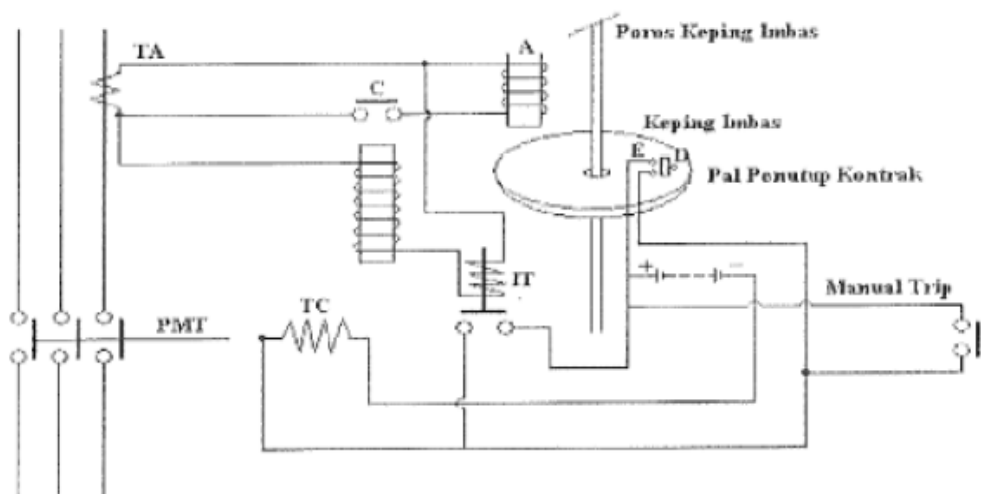
c. Bagian pengendali

Bagian ini pembuka pemutus tenaga atau signal akan diatur dan dilakukan.

Relay dalam bekerjanya menggunakan besaran listrik yang dihubungkan dengan sistem tenaga listrik yaitu trafo arus atau trafo tegangan.

2.2.8.1. Prinsip Kerja Relay

Pada nilai tertentu sesuai penyetelan dari relay, kontak C menutup, lalu arus mengalir ke kumparan imbas A sehingga keeping imbas berputas menggerakkan pal D dan mengontak kontak E, sehingga trip coil (TC) mendapat arus dan mengetripping PMT. Untuk waktu tunda dari relay dilakukan dengan menyetal jarak antara pal D ke kontak E. Pada nilai arus tertentu yang relative besar sesuai penyetelan dari relay, kumparan instantaneous trip (IT) menutup kontakannya sehingga trip coil (TC) langsung bekerja mengetripping PMT. Peristiwa ini disebut relay secara instantaneous. Kontak manual trip digunakan untuk mengetripping PMT secara manual.



Gambar 4. Prinsip Kerja Relay Proteksi

Keterangan :

- A : Kumparan Imbas
- TA : Transformator Arus
- C : Elektromagnet untuk menutup Kontak C
- D : Pal penutup kontak yang terlangkap pada keping imbas dan berputar bersama keping imbas

2.2.9. Relay Arus Lebih

Relay arus lebih (*Overcurrent Relay*) merupakan salah satu relay proteksi yang digunakan untuk mengamankan jaringan distribusi dan sub-transmisi. Selain itu, berguna untuk mengamankan alat-alat listrik seperti trafo dan generator.

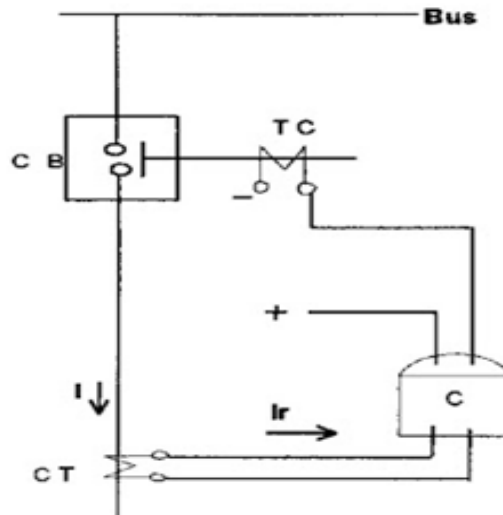
Pada jaringan distribusi dan sub-transmisi relay arus lebih ini merupakan pengaman utama dalam melindungi jaringan distribusi dan sub-transmisi sistem radial apabila terjadi gangguan seperti antar fasa atau lebih dikenal dengan short circuit. Sedangkan pada alat-alat listrik seperti trafo daya, generator, dan sub transmisi relay arus lebih di fungsikan sebagai proteksi utama maupun back up.

Relay arus lebih ini berkerja dengan cara membaca besaran arus yang kemudian akan membandingkan arus tersebut dengan nilai settingan arus, apabila nilai arua yang diterbaca oleh relay melebihi nilai setting, maka relai akan mengirim perintah tri (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.

Berdasarkan standar IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi waktu kerja relay berkisar antara 0.3 – 0.4 detik untuk relay analog dan 0.2 – 0.4 detik untuk relay digital. Hal ini bertujuan untuk memastikan zona back-up dapat bekerja ketika zona primer gagal dan menghindari terjadinya trip secara bersamaan.

Relay arus lebih bekerja berdasarkan besaran arus masukan, dan apabila besarannya arus melebihi suatu nilai *setting* tertentu yang telah diatur (I_s) maka relay akan memberikan sinyal dan perintah terhadap pemutus tegangan

(PMT) atau *circuit breaker* (CB). Untuk lebih memahami prinsip kerja relay arus lebih dapat dilihat gambar skema kerja relay arus lebih berikut.



Gambar 5. Skema Kerja Relay Arus Lebih
(<http://anak-elektro-ustj.blogspot.co.id/2013/04/relay-proteksi-generator.html>)

Keterangan :

CB : *Circuit Breaker*

TC : *Trip Coil CB*

I : Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT : Transformator Arus

Ir : Arus yang mengalir pada relay

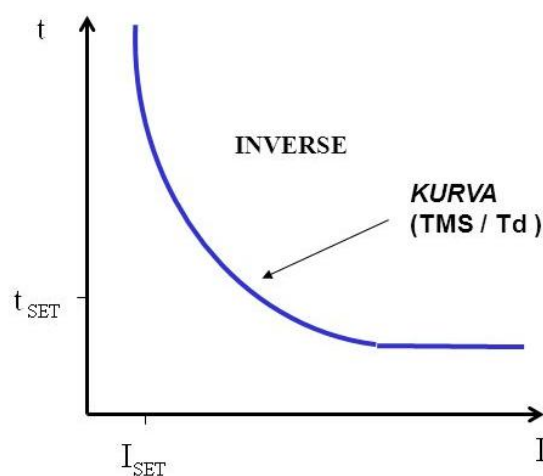
C : Relay arus lebih

Ip : Arus *pick-up* dari relay

2.2.9.1. Relay Arus Lebih Waktu Invers

Relay ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan yang terjadi maka relay akan beroperasi semakin cepat dan begitu pula sebaliknya. Prinsip kerja ini juga dijelaskan dalam kurva TCC (*Time Current Curve*) yang mana berskala *time dial*.

Standar IEC 60255-3 dan IEEE Standar 242-2001 menjelaskan bahwa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradient kurvanya adalah *standard inverse*, *very inverse*, *ultra inverse*, dan *extremely inverse*. Ketika arus semakin besar akan menyebabkan waktu operasi berjalan lambat seakan mendekati waktu minimumnya. Karakteristik kurva relay arus lebih invers dapat dilihat pada gambar.



Gambar 6. Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Invers
(<http://slideplayer.info/slide/3637080/>)

2.2.9.2. Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

Relay arus lebih jenis ini diatur berdasarkan *level* arus yang mengalir. Dengan relay ini gangguan terdekat akan langsung diputus sesuai dengan time delay setting yang ditentukan. Ketika arus yang melebihi *pick up set point* akan diputus dalam waktu yang bersamaan.

2.2.9.3. Relay Arus Lebih Waktu Instan

Untuk relay jenis ini bekerja tanpa adanya penundaan waktu. Waktu tercepat bekerjanya relay ini adalah 0.1 detik atau pada umumnya kurang dari 0.08 detik. Ketika arus gangguan hubung singkat yang ditentukan terjadi, relay akan bekerja berdasarkan arus tersebut dan membuka

pemutus dalam waktu yang cepat yaitu 0.08 detik. Karakteristik relay arus lebih waktu instan dapat dilihat pada gambar.

Saat ini penggunaan relay memiliki kurva invers dan kurva instan, sehingga kurva karakteristiknya merupakan gabungan dari kurva instan dan invers. Kombinasi relay arus waktu instan dan invers dapat dilihat pada gambar.

2.2.10. Penyetelan Relay Arus Lebih

Dalam penyetelan (setting) relay arus lebih ini dibutuhkan studi aliran daya terlebih dahulu, untuk studi ini dasar pilar dalam melakukan perencanaan, pengoperasian, penjadwalan yang ekonomis, dan perpindahan daya antara peralatan sistem kelistrikan. Setelah melakukan studi aliran daya, langkah berikutnya adalah melakukan studi hubung singkat pada suatu titik sehingga didapatkan nilai arus yang nantinya akan mengisi salah satu nilai dari parameter relay.

2.2.10.1. Penyetelan Relay Arus Lebih Waktu Invers

Untuk penyetelan waktu invers ini membutuhkan nilai parameter overcurrent dan time dial setting dalam menentukan waktu operasi relay. Sesuai standar British BS-142 batas nilai yang ditentukan adalah 1.05 – 1.3 FLA peralatan sesuai dengan persamaan berikut.

$$1.05 \times FLA < I_{set} < 1.3 \times FLA$$

Dimana FLA adalah arus beban penuh pada peralatan. Untuk time dial setting dari masing-masing kurva invers relay didapatkan dari persamaan berikut.

$$td = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

Dimana t_d adalah waktu operasi, k adalah koefisien invers 1, T adalah time dial, β adalah koefisien invers 3, I adalah nilai arus, I_{set} adalah arus pickup, dan α adalah koefisien invers 2. Seluruh nilai koefisien untuk relay dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1.1. Koefisien Relay Invers

Karakteristik	K	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02	2.97
<i>Very Inverse</i>	13.5	1.0	1.5
<i>Extremely Inverse</i>	80.0	2.0	0.808
<i>Long Time Inverse</i>	120.0	1.0	1

2.2.10.2. Penyetelan Relay Arus Lebih Waktu Instan

Untuk penyetelan waktu instan membutuhkan nilai parameter dari studi hubung singkat untuk menentukan arus dan tegangan maksimum serta minimum pada titik tertentu arus dan tegangan maksimum serta minimum pada titik tertentu dari sistem kelistrikan untuk mengatasi gangguan yang terjadi. Nilai dari studi hubung singkat ini menggunakan I_{sc} min dimana nilai I_{sc} min adalah nilai hubung singkat 3 fasa 30 cycle. Sehingga nilai pick up point didapat dari persamaan berikut.

$$1.6 \times FLA < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$$

Nilai 0.8 adalah factor keamanan dari sistem proteksi untuk estimasi apabila terjadi gangguan yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum.

2.2.11. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Suatu koordinasi sistem kelistrikan yang baik adalah koordinasi yang bekerja secara berurutan sehingga tidak terjadi tumpang tindih antar relay. Untuk itu dibutuhkan adanya time delay antara relay pengaman utama dengan

relay pengaman cadangan. *Time delay* ini sering dikenal dengan *grading time*. Berdasarkan standar IEEE 242 dapat dilihat *time delay* sebagai berikut.

Waktu buka pemutus : 0.006 – 0.1 sekon (3-5 cycle)

Overtravel relay : 0.1 sekon

Faktor keamanan : 0.12 – 0.22 sekon

Untuk relay digital berbasis *microprosesor*, maka *overtravel* diabaikan.

