

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik

Pembangkit tenaga listrik ialah suatu alat/peralatan yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi potensial menjadi tenaga mekanik, selanjutnya menjadi tenaga listrik. Istilah lain yang dipakai untuk menyebut pembangkit tenaga listrik ialah pusat tenaga listrik. Untuk mendapatkan energi listrik dapat memanfaatkan bermacam-macam sumber energi, misalnya tenaga air, tenaga angin, bahan bakar fosil, dan bahan bakar nuklir. Dengan memakai sumber energi tersebut diperoleh tenaga untuk menggerakkan turbin yang akan mengaktifkan generator listrik. Energi listrik yang dihasilkan harus diubah menjadi tegangan yang sesuai untuk transmisi. Setelah proses ini, arus listrik dialirkan melalui jaringan kabel transmisi ke daerah yang memerlukan. Pada proses pembangkitan tenaga listrik telah terjadi proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Siklus Pendistribusian Tenaga Listrik

Pada pembangkit listrik terdapat beberapa komponen penting didalamnya, Salah satunya adalah Gardu Induk yang memiliki fungsi untuk mentransformasikan tenaga listrik, untuk mengatur aliran listrik dan sebagai media pelayanan terhadap pendistribusian tenaga listrik.

2.2. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan simpul di dalam sistem tenaga listrik, yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait.

Gardu Induk biasanya disingkat dengan GI adalah suatu instalasi yang terdiri dari rel daya, peralatan hubung bagi, transformator daya bersama perlengkapan-perengkapannya (misal peralatan ukur, pengaman dll.), yang merupakan bagian dari suatu sistem tenaga listrik.

Gardu induk dapat diklasifikasikan atas tiga hal, yaitu Gardu Induk berdasarkan Tegangan, Gardu Induk berdasarkan penempatan peralatan, Gardu Induk berdasarkan isolasinya, dan Gardu induk berdasarkan rel nya.

2.3. Transformator

2.3.1. Pengertian Transformator

Transformator adalah perangkat listrik pasif yang mentransfer energi listrik dari satu rangkaian listrik ke yang lain, atau beberapa [rangkaiannya](#). Arus yang bervariasi dalam setiap kumparan transformator menghasilkan [fluks magnet](#) yang bervariasi dalam inti transformator, yang menginduksi [gaya gerak listrik](#) yang bervariasi pada kumparan lain yang melilit pada inti yang sama. Energi listrik dapat ditransfer antara kumparan yang terpisah tanpa koneksi logam (konduktif) antara kedua sirkuit. [Hukum](#)

[induksi Faraday](#), ditemukan pada tahun 1831, menjelaskan efek tegangan yang diinduksi dalam setiap kumparan karena perubahan fluks magnet yang dikelilingi oleh kumparan.

Transformer paling umum digunakan untuk meningkatkan tegangan [AC](#) rendah pada arus tinggi (transformator step-up) atau mengurangi voltase AC tinggi pada arus rendah (transformator step-down) dalam aplikasi tenaga listrik, dan untuk menyambungkan tahapan sirkuit pemrosesan sinyal. Transformer juga dapat digunakan untuk isolasi, di mana tegangan sama dengan tegangan keluar, dengan kumparan terpisah tidak terikat secara elektrik satu sama lain.

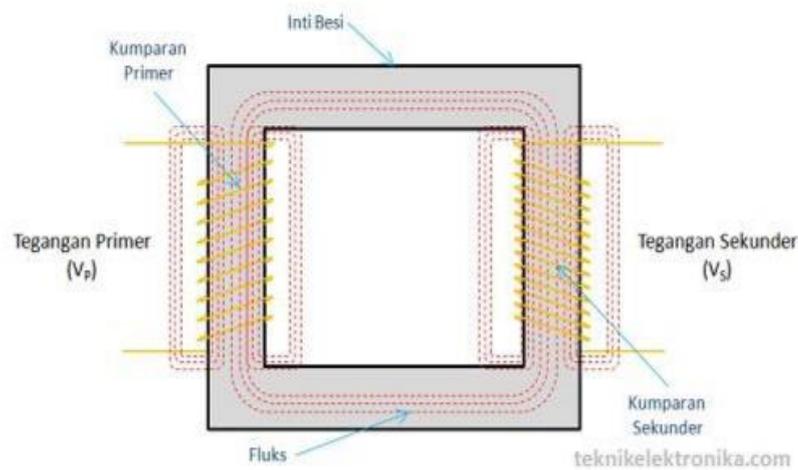
2.3.2. Fungsi Transformator

Transformator memiliki fungsi yang sangat penting, selain memindahkan tenaga listrik, transformator juga memiliki fungsi lainnya seperti dibawah ini:

1. Transformator digunakan untuk menentukan frekuensi radio dan juga vidio
2. Transformator digunakan unuk menaikkan tegangan listrik. Beberapa barang elektronik yang memanfaatkan tegangan transformator untuk menaikkan tegangan listrik adalah komputer, lemari es hingga televisi. Biasanya fungsi transformator ini lebih banyak dimiliki oleh transformator step up. Jumlah lilitan skundernya lebih banyak karena fungsinya untuk menaikkan tegangan.
3. Transformator juga banyak dimanfaatkan untuk menurunkan tegangan listrik, biasanya transformator untuk menurunkan tegangan ini seringkali disebut transformator step down. Jumlah lilitannya lebih sedikit sementara lilitan primernya lebih banyak biasanya transformator step down seringkali digunakan untuk menggerakkan motor atau mesin induksi

2.3.3. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (mutual inductance).

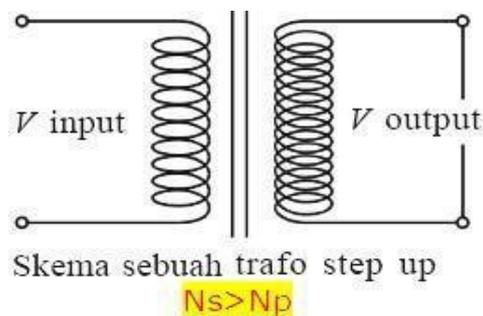


Gambar 2.2 Prinsip kerja transformator

2.3.4. Jenis- jenis Transformator

1) Jenis trafo berdasarkan level tegangan

a. Transformator Step Up

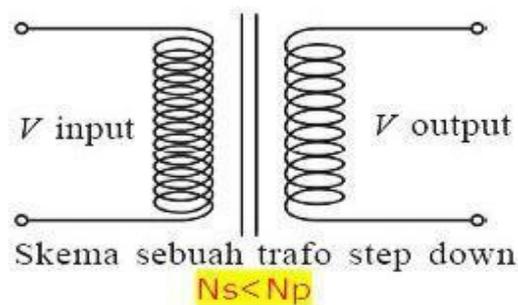


Gambar 2.3 Transformator Step- Up

Transformator step up merupakan trafo yang berfungsi menaikkan tegangan. Trafo ini memiliki ciri yaitu jumlah lilitan

pada kumparan primer lebih sedikit dibanding lilitan pada kumparan sekunder ($N_p < N_s$). Jadi elektromagnetik pada kumparan sekunder lebih besar. Pada pembangkit listrik, trafo ini digunakan untuk menaikkan tegangan yang keluar dari generator. Tujuannya agar saat ditransmisikan ke jaringan listrik, listrik tidak kehilangan banyak daya.

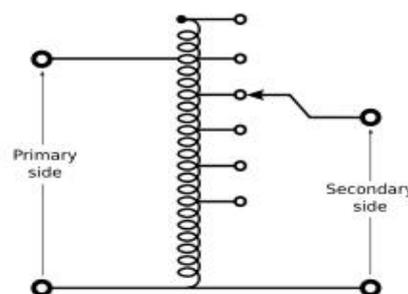
b. Transformator Step Down



Gambar 2.4 Transformator Step- Down

Transformator step down berfungsi untuk menurunkan tegangan. Kebalikan dari trafo step up, trafo step down memiliki lilitan primer yang lebih banyak dibanding lilitan sekundernya ($N_p > N_s$). Pada sistem distribusi listrik, trafo ini digunakan untuk menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah yaitu 220 v agar dapat digunakan oleh masyarakat.

c. Auto Transformer



Gambar 2.5 Autotransformator

Auto transformers berbeda dengan trafo biasanya karena hanya memiliki satu kumparan saja. Kumparan tunggal tersebut menjadi kumparan primer sekaligus kumparan sekunder. Semua

trafo memiliki ujung lilitan yang tetap, tetapi tidak untuk trafo ini, auto transformer menyediakan lebih banyak pilihan karena ujung lilitan dapat diambil (disadap) dari tengah-tengah lilitan sebagai jalan keluarnya tegangan

2.4. Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

Kegunaan sistem proteksi tenaga listrik, antara lain untuk :

- a). Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- b). Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- c). Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- d). Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
- e). Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

2.5. Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi pengamanan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1) Keterandalan (Reliability)

Pada kondisi normal (tidak ada gangguan) relay tidak bekerja. Jika terjadi gangguan maka relay tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan. Kegagalan kerja relay dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Relay tidak boleh salah kerja, artinya relay yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relay pengamanan ditentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, dan perawatannya.

2) Selektivitas (Selectivity)

Selektivitas berarti relay harus mempunyai daya beda (discrimination), sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian relay bertugas mengamankan peralatan. Relay mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian yang terganggu. Bagian yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan masih. Jika terjadi pemutusan hanya terbatas pada daerah yang terganggu.

3) Sensitivitas (Sensitivity)

Relay harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relay harus dapat bekerja pada awalnya terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberi keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian, relay juga harus stabil.

4) Kecepatan Kerja

Relay pengamanan harus dapat bekerja dengan cepat. Jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun demikian, relay tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 ms). Disamping itu, waktu kerja relay tidak

boleh melampaui waktu penyelesaian kritis (critical clearing time). Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja relay pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah relay salah kerja karena transient akibat surja petir.

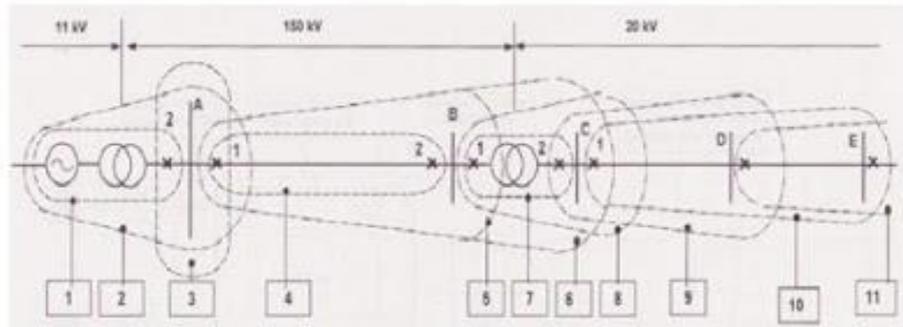
5) Ekonomis

Satu hal yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas, selektivitas dan kecepatan kerja relay hendaknya tidak menyebabkan harga relay tersebut menjadi mahal.

2.6. Pembagian Daerah Proteksi

Di dalam sistem proteksi tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/relay pengaman. Setiap daerah proteksi pada umumnya terdiri atas satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Misalnya generator, busbar, transformator, transmisi, dan lain-lain. Agar seluruh sistem tenaga listrik dapat diamankan, maka harus ada daerah yang tumpang-tindih (overlap). Artinya ada elemen sistem yang diamankan oleh dua daerah pengamanan. Setiap daerah pengaman dijaga oleh relay yang sesuai dengan karakteristik peralatan yang diamankan. Pada umumnya yang menjadi batas pengamanan antar daerah pengamanan adalah trafo arus yang mencatu ke rele.

Suatu sistem tenaga listrik dibagi kedalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT (Pemutus Tenaga). Tiap seksi memiliki relay pengaman dan memiliki daerah pengamanan (Zone of Protection). Bila terjadi gangguan, maka relay akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar dibawah ini akan menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi.



Gambar 2.6 Pembagian Daerah Proteksi

Keterangan :

1. Overall Diifferential Relay

Berfungsi Sebagai Pengaman utama Pada Generator – Trafo

2. Over Current Relay

Berfungsi Sebagai Pengaman cadangan local Generator – Trafo dan juga Sebagai Pengaman cadangan jauh pada Busbar A

3. Pengaman Bus

Merupakan Pengaman utama pada Busbar A

4. Distance Relay Zone I dan PLC di A1

Merupakan Pengaman utama pada saluran A-B

5. Distance Relay Zone II di A1

Berfungsi Sebagai Pengaman utama Busbar B dan Juga Pengaman cadangan jauh sebagian Trafo di B

6. Distance Relay Zone III di A1

Berfungsi Sebagai Pengaman cadangan jauh Trafo di B sampai ke Busbar C

7. Diifferential Trafo

Berfungsi Sebagai Pengaman utama pada Transformator

8. Over Current Relay di sisi 150 KV

Berfungsi Sebagai Pengaman cadangan local Trafo Dan Juga Sebagai Pengaman cadangan jauh Bus C

9. Over Current Relay di sisi 20 KV

Berfungsi Sebagai Pengaman utama Pada Busbar C dan Juga Sebagai Pengaman cadangan jauh saluran C-D

10. Over Current Relay di C1

Berfungsi Sebagai Pengaman utama pada saluran C-D Dan Juga Sebagai Pengaman cadangan jauh saluran D-E

11. Over Current Relay di D

Berfungsi Sebagai Pengaman utama pada saluran D-E Serta Pengaman cadangan jauh pada seksi berikutnya.

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen system daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian system yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (overlap), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman.

2.7. Pengelompokkan Sistem Proteksi

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi dibedakan menjadi :

1. Proteksi pada Generator
2. Proteksi pada Transformator

3. Proteksi pada Transmisi
4. Proteksi pada Distribusi

2.8. Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi:

1. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
2. Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan atau kegagalan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
3. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu, sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan

2.9. Peralatan-Peralatan Sistem Proteksi

Untuk mengamankan dari adanya gangguan, dilakukan dengan memasang peralatan-peralatan sistem proteksi. Sedangkan untuk menghilangkan gangguan dengan cepat oleh sistem perlindungannya, diperlukan sistem operasi yang cepat dan benar. Suatu sistem proteksi/pengaman terdiri dari komponen alat-alat utama meliputi:

- Pemutus Tenaga
- Transformator Arus
- Transformator tegangan
- Pemisah
- Arester
- Rele Proteksi

2.9.1. Pemutus Tenaga (PMT)

Berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian pada saat berbeban (pada kondisi arus beban normal atau pada saat terjadi arus gangguan). Pada waktu menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi tegangan recovery yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api, oleh karena itu sakelar pemutus dilengkapi dengan media peredam busur api

tersebut, seperti media udara dan gas SF₆. Jenis-jenis PMT berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, terbagi menjadi empat jenis, yaitu: sakelar PMT minyak, sakelar PMT udara hembus, sakelar PMT vakum dan sakelar dengan gas SF₆. Selain itu PMT dapat memutus arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri

2.9.2. Current Transformer (Transformator Arus)

Transformator Arus (Current Transformator atau CT) merupakan suatu peralatan instalasi listrik yang berfungsi untuk dapat melakukan pengukuran besaran arus listrik pada sistem instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang memiliki berskala besar dengan melakukan transformasi ataupun perubahan arus dari besaran arus yang besar (tidak dapat diukur dengan alat ukur) menjadi besaran arus yang kecil secara lebih akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Berdasarkan fungsinya, trafo arus (CT) dibedakan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu:

1) Trafo Arus Pengukuran

Trafo Arus untuk Pengukuran memiliki beberapa Ciri – Ciri diantaranya adalah sebagai berikut :

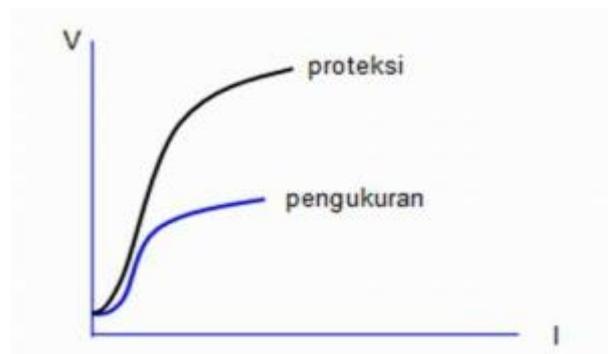
- Transformator arus atau CT yang dipakai untuk pengukuran metering menggunakan trafo yang memiliki nilai ketelitian tinggi pada daerah kerja atau daerah pengenalnya sebesar 5% hingga 120% dari nilai arus nominalnya yang tergantung dari kelas serta tingkat kejenuhan yang relatif rendah apabila dibandingkan dengan trafo arus untuk proteksi.
- Untuk pemakaian transformator arus pengukuran untuk penunjukan amperemeter, watt meter, varh meter, dan cos ϕ meter.
- Trafo arus untuk pengukuran dirancang agar lebih cepat jenuh dibandingkan dengan trafo arus proteksi sehingga

konstruksinya memiliki luas penampang intik yang lebih kecil, seperti gambar berikut ini:

2) Trafo Arus Proteksi

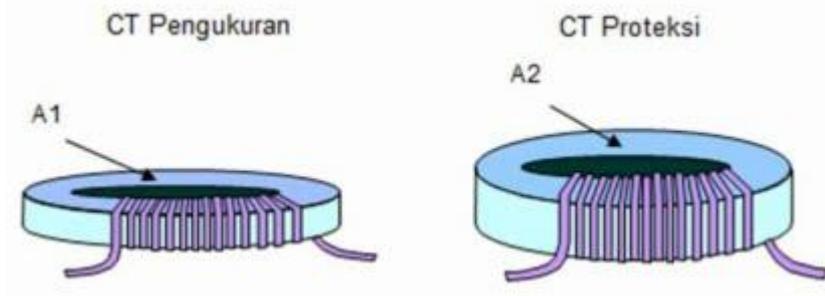
Trafo Arus untuk Proteksi memiliki beberapa Ciri – Ciri diantaranya adalah :

- Trafo arus kelas proteksi memiliki ketelitian yang tinggi pada saat terjadi gangguan yang dimana jika arus yang mengalir beberapa kali melewati dari arus pengenalnya serta tingkat kejenuhan cukup tinggi.
- Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR) relay beban lebih, relay differensial, relay daya, dan relay jarak.
- Perbedaan mendasar trafo arus pengukuran dan proteksi adalah pada titik saturasinya seperti pada kurva saturasi seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.7 Grafik Karakteristik Trafo Pengukuran dan Proteksi

- Trafo arus untuk pengukuran dirancang agar lebih cepat jenuh dibandingkan trafo arus proteksi sehingga konstruksinya memiliki luas penampang inti yang lebih kecil.



Gambar 2.8 Konstruksi Trafo CT

2.9.3. Trafo Tegangan

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk peralatan indikator, alat ukur / meter dan relai.

Trafo Tegangan Memiliki Fungsi diantaranya adalah :

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
 - Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder (100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5;1;3)

Jenis Trafo Tegangan

2.9.4. Pemisah (PMS)

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban. Selain itu PMS berfungsi untuk mengamankan dari arus tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau induksi tegangan dari penghantar atau kabel lainnya. Hal ini perlu untuk keamanan bagi orang-orang yang bekerja pada

peralatan instalasi. Sebutan lain dari PMS adalah Disconnecting Switch (DS)

2.9.5. Arrester

Arrester ialah sebuah alat yang dipasang di suatu instalasi listrik yang berfungsi agar dapat melindungi berbagai macam peralatan listrik yang ada diinstalasi tersebut, pada saat terjadinya lonjakan tegangan (Over voltage) yang dimana melebihi batas toleransi yang dimana diperbolehkan.

Arrester berfungsi untuk menjaga kestabilan dari tegangan listrik di jaringan listrik PLN yang pada umumnya ada tinggi di atas tanah misalnya sutet dan transformator listrik.

Cara kerja dari arrester yang dipasang digardu induk didalam suatu sistem kelistrikan misalnya saja transformator listrik yakni cara kerja dari lightning arrester ialah sama, dimana *prinsip kerja arrester* bisa membuang kelebihan dari tegangan listrik kedalam bumi. Didalam keadaan normal, arrester bisa berfungsi sebagai sebuah isolator listrik. Prinsip dari kerja arrester katup ataupun cara kerja dari lightning arrester bisa dijelaskan dengan sederhana. Disaat petir menyambar ke jaringan listrik, tegangan listrik bisa melonjak besar. Hal ini bisa membuat dua logam dalam arrester bisa bekerja saling terhubung serta menyalurkan arus listrik yakni sebagai konduktor. Tapi fungsi konduktor ini tak bisa mengenai sistem kelistrikan yang sudah ada dikarenakan salah satu kutub itu bisa meneruskan kedalam tempat pembumian. Pembuatan tempat dari pembumian harus bagus dan nilai tahanan yang kecil sehingganya tak mengganggu kinerja arrester. Dengan adanya tegangan kejut ataupun *surge* tak akan merusak sebuah peralatan listrik, serta tanpa memutuskan arus listrik sekalipun.

2.9.6. Rele Proteksi

Rele/Relay proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu

sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

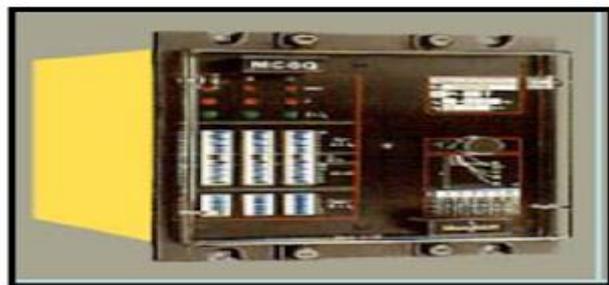
Relay Proteksi Terbagi menjadi beberapa jenis sesuai kegunaannya pada jaringan Sistem Tenaga Listrik, diantaranya adalah :

1) Relay Jarak (Distance Relay)

Relay jarak atau distance relay digunakan sebagai pengaman utama (main protection) pada suatu sistem transmisi, baik SUTT maupun SUTET, dan sebagai cadangan atau backup untuk seksi didepan. Relay jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z), dan transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan pengamanan yaitu Zone-1, Zone-2, dan Zone-3, serta dilengkapi juga dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif didalam daerah pengamanannya.

2) Relay Arus Lebih (OverCurrent Relay)

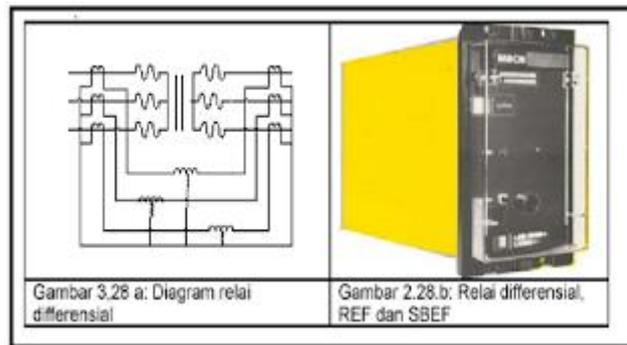
Relay arus lebih merupakan relay pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada pengaman transformator tenaga. Relay ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa-fasa.



Gambar 2.9 Bentuk Fisik dari Relay Arus Lebih

3) Relay Differensial

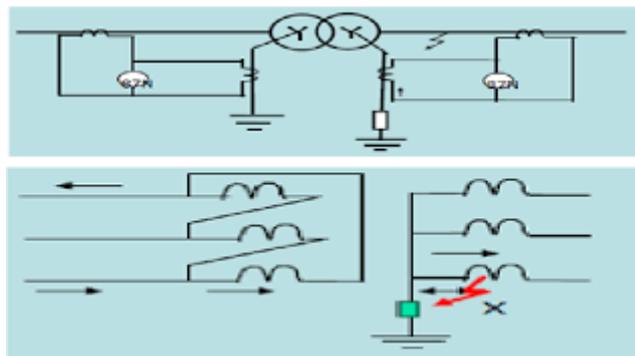
Relay Differensial pada prinsipnya adalah sama saja dengan relay arus lebih hanya saja lebih peka karena harus bekerja terhadap arus yang kecil. Perbedaan dengan relay arus lebih terletak pada rangkaian listrik yang bertugas mendeteksi arus.



**Gambar 2.10 Contoh Relai Differensial REF dan SBEF
Serta Diagram Relai Differensial**

4) Relay Gangguan Tanah Terbatas (Restricted Earth Fault)

Relay gangguan tanah terbatas ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap tanah didalam daerah pengaman transformator khususnya untuk gangguan didekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh relay differential, yang disambung ke instalasi trafo arus (CT) dikedua sisi.



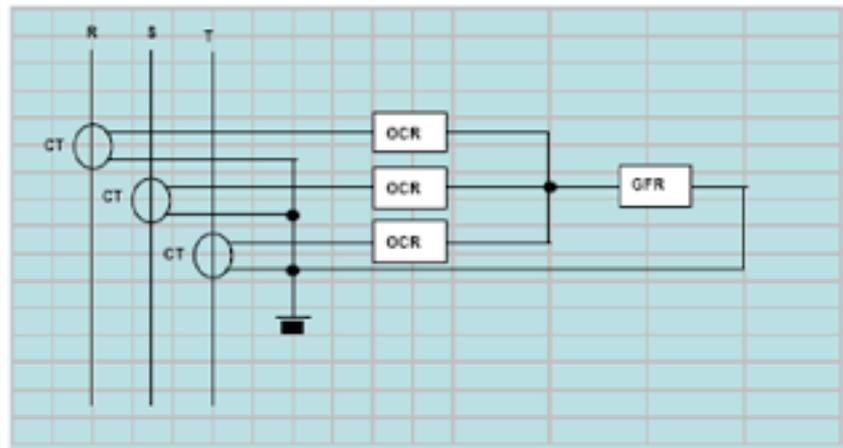
Gambar 2.11 Single diagram Relay Gangguan Tanah Terbatas

5) Directional Comparison Relay

Directional Comparison Relay merupakan relay penghantar yang prinsip kerjanya membandingkan arah gangguan, jika kedua relay pada penghantar merasakan gangguan di depannya maka relay akan bekerja. Cara kerjanya ada yang menggunakan directional impedans, directional current dan superimposed

6) Relay Hubung Tanah (Ground Fault Relay)

Relay hubung tanah merupakan relay Pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan Tegangan tinggi, Tegangan menengah juga pada pengaman Transformator tenaga.



Gambar 2.12 Diagram Pengaman arus lebih dengan 3 OCR + GFR

7) Relay Bucholtz

Relay Bucholtz berfungsi untuk mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan (bunga) api dan pemanasan setempat dalam minyak transformator. Penggunaan relay deteksi gas (Bucholtz) pada Transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan Transformator seperti : arcing, partial discharge, over heating yang umumnya menghasilkan gas



Gambar 2.13 Bentuk Fisik dari Relay Bucholtz

8) Relay Jansen

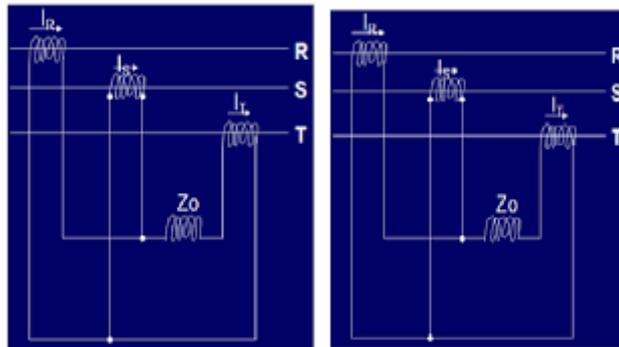
Relay Jansen berfungsi untuk mengamankan pengubah tap (tap changer) dari transformator. Untuk mengamankan ruang diverter switch apabila terjadi gangguan pada sistem tap changer, digunakan pengamanan yang biasa disebut :Relay Jansen (bucholznya Tap changer) Jenis dan tipe relay jansen bermacam-macam bergantung pada merk Trafo: misalnya RS 1000,LF 15,LF 30. Relay jansen dipasang antara tangki tap changer dengan konservator minyak tap changer.



Gambar 2.14 Bentuk Fisik dari Relay Jensen

9) Relay Zero Sequence Current

Relay zero sequence current memiliki konstruksi dan prinsip kerja seperti relay arus lebih, hanya rangkaian arusnya yang bertugas mendeteksi arus zero sequence yang berbeda. Juga karena arus zero sequence ini ordenya lebih kecil maka relay arus zero sequence ini juga harus lebih peka dari relay arus lebih. Dalam keadaan normal maka arus dalam setiap fasa I_R , I_S , dan I_T sama besarnya (Simetris) masing-masing berbeda fasa 120° , sehingga arus melewati kumparan $Z_0 = 0$. tetapi apabila ada gangguan hubung tanah maka keadaan arus setiap fasa tidak simetris lagi dan mengalirkan komponen arus urutan nol lewat kumparan Z_0 sehingga relay arus zero Sequence bekerja.



Gambar 2.15 Rangkaian Arus Relay Zero Sequence Current dan Diagram Vektornya

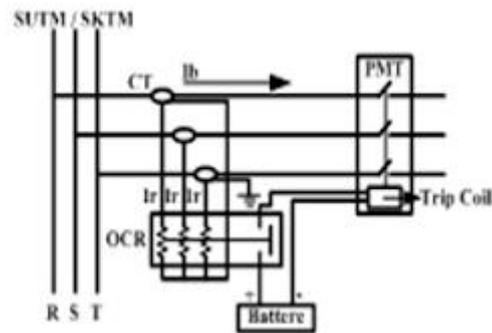
10) Relay Tekanan Lebih

Relay Tekanan Lebih ini berfungsi mengamankan tekanan lebih pada transformator, dipasang pada transformator tenaga dan bekerja dengan menggunakan membrane. Tekanan lebih terjadi karena adanya flash over atau hubung singkat yang timbul pada belitan transformator tenaga yang terendam minyak, lalu berakibat decomposisi dan evaporasi minyak, sehingga menimbulkan tekanan lebih pada tangki transformator.



Gambar 2.16 Bentuk Fisik dari Relay Tekan Lebih

2.10. Over Current Relay (OCR)/ Rele Arus Lebih

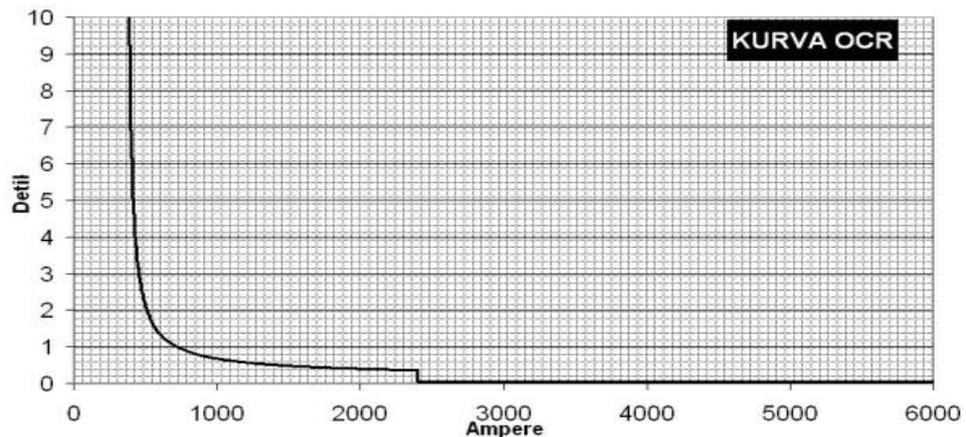


Gambar 2.17 Diagram Pengawatan OCR

Rele OCR adalah jenis relay yang berfungsi sebagai pengaman peralatan dari gangguan dipasang sebagai alat proteksi motor, trafo, penghantar transmisi, dan penyulang OCR atau relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. *Over Current Relay* (OCR) ini berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat. Selain itu *Over Current Relay* (OCR) juga berfungsi untuk mengamankan transformator dari arus yang melebihi dari arus yang dibolehkan lewat dari transformator tersebut.

Rele ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai setting, maka rele akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.

Waktu kerja rele OCR maupun GFR tergantung nilai setting dan karakteristik waktunya. Elemen tunda waktu pada rele ini pada 2, yaitu elemen low set dan elemen high set. elemen low set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang relatif kecil, sedangkan elemen high set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar.



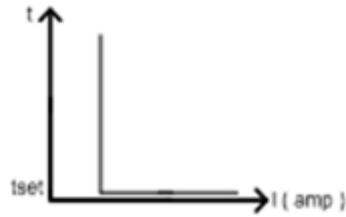
Grafik 2.1 Grafik Karakteristik Waktu Tunda Rele OCR

Berdasarkan Kurva Karakteristik diatas, elemen low set disetting dengan menggunakan karakteristik inverse. Sedangkan elemen high set menggunakan karakteristik definite. Pembantuan kurva waktu tunda rele dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar (dalam grafik di atas ketika terjadi gangguan dengan arus > 2400A) maka rele akan segera memerintahkan Pemutus tenaga (PMT) untuk trip.

Rele OCR dibedakan menjadi beberapa jenis, Rele OCR dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan karakteristik waktu pemutusan rele tersebut diantaranya adalah :

1) Relay waktu seketika (Instantaneous relay)

Adalah *Over Current Relay* (OCR) yang bekerja tanpa waktu tunda. Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu kerja mulai pick up sampai kerja sangat singkat tanpa penundaan waktu (20 – 60 mdet). Karena rela ini tanpa perlambatan, maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus. Adapun jangkauan relai ini karena bekerjanya seketika atau tanpa perlambatan waktu, supaya selektif maka tidak boleh menjangkau pada keadaan arus gangguan maksimum.



Grafik 2.2 Karakteristik Instantaneous

2) Relay arus lebih waktu tertentu (Definite time relay)

Adalah *Over Current Relay (OCR)* yang waktu kerjanya tidak tergantung dari arus gangguan. Relai ini memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu relai ini mulai pick up sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung besarnya arus

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

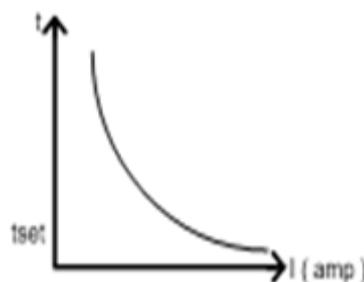


Grafik 2.3 Karakteristik Definite Time

3) Relay arus lebih waktu terbalik (Inverse Relay)

Adalah *Over Current Relay* (OCR) yang waktunya kerjanya tergantung dari arus gangguan. Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu relai ini mulai pick up sampai kerja waktunya diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus.

Sifat atau karakteristik dari relai inverse adalah relai baru akan bekerja bila yang mengalir pada relai tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan. Dan lamanya waktu relai bekerja untuk memberikan komando tripping adalah paling lambat sesuai dengan waktu setting (T_s) yang dipilih. Pada relai ini waktu bekerjanya (T_{tripp}) tidak sama dengan waktu setting (T_s). Karena sangat tergantung dengan besarnya arus yang mengerjakan relai tersebut, sehingga makin besar arus yang mengerjakan relai tersebut maka makin cepat waktu kerja (T_{trip}) dari relai tersebut.



Grafik 2.4 Karakteristik Inverse

2.11. Perhitungan Nilai Overcurrent Relay (OCR)

Perhitungan Nilai Overcurrent Relay dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai yang digunakan untuk melakukan setting pada peralatan dan juga berfungsi sebagai pembanding dengan nilai yang terpasang pada peralatan di perusahaan dan bisa juga berfungsi sebagai nilai yang digunakan pada peralatan pada Simulasi Software Electric Seperti ETAP, Matlab, dsb.

Perhitungan Nilai Overcurrent Relay ini berupa perhitungan Arus Nominal pada Transformator Daya, Perhitungan Arus Penyettingan Pada OverCurrent Relay Serta menghitung Waktu Trip pada Overcurrent Relay.

2.11.1. Perhitungan Arus Nominal Trafo

Untuk melakukan perhitungan Arus Nominal Trafo harus terlebih dahulu mengetahui daya yang terpasang pada Trafo dan juga Tegangan yang terukur pada sisi sekunder maupun primer trafo.

Rumus Perhitungan Arus Nominal Trafo adalah sebagai berikut :

$$I_N = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

I_N = Arus Nominal yang mengalir pada trafo (A)

S = Daya Yang Terpasang pada Trafo (KVA)

V = Tegangan pada Sisi Primer Maupun Sekunder Trafo (KV)

2.11.2. Perhitungan Arus Gangguan Trafo

Relay akan bekerja apabila terjadi gangguan lebih pada trafo. Besarnya arus gangguan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang berdasarkan data setting relay yang terdapat dalam *Manual Book* sebagai berikut :

$$I_{Fault} = I_N \text{ Trafo} \times \text{Impedansi Trafo} (Z) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

I_{Fault} = Arus Gangguan Pada Trafo (A)

I_N = Arus Nominal Trafo (A)

Z = Impedansi Transformator

2.11.3. Perhitungan Arus Setting Trafo

Perhitungan Arus Setting pada Trafo adalah dengan cara membagi nilai faktor keamanan relay serta faktor arus Kembali dari relay invers time.

Dimana Rumus Perhitungan Arus Setting adalah sebagai berikut :

Sisi Primer

$$I_{setting(ampere)} = \frac{Kfk}{Kd} \times I_N \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$I_{Setting}$ = Arus Penyetelan (A)

I_N = Arus Nominal yang mengalir pada Trafo (A)

Kfk = Faktor Keamanan Relay dengan rentan (1,0 – 1,2)

Kd = Faktor Arus Kembali 1,0 (Invers Time)

Sisi Sekunder

$$I_{Setting} = I_{SekunderCT} \times \frac{1}{Rasio CT}$$

Dimana :

$I_{Setting}$ = Arus Setting Pada Trafo (A)

$I_{Sekunder}$ = Arus Pada Sisi Sekunder Trafo CT

Rasio CT = Rasio Perbandingan Sisi Primer dan Sekunder CT

Dan Apabila ingin mengubahnya menjadi bentuk persen maka dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{Setting} (\%) = \frac{I_{setting}(A)}{I_{nominal}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$I_{Setting}(\%)$ = Arus Penyetelan (%)

$I_{Setting} (A)$ = Arus Penyetelan (A)

$I_{Nominal}$ = Arus Nominal pada Trafo (A)

2.11.4. Perhitungan Waktu Trip Pada Relay

Untuk Penyetelan waktu trip pada Relay disini menggunakan beberapa parameter dalam menentukan nilainya, Salah satunya adalah nilai TMS. Nilai TMS (Time Multiple Setting) bisa didapatkan dengan cara mengkalikan Nilai K factor dengan 0,01

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menentukan nilai Trip pada Relay, yaitu :

$$T_s = \frac{K}{\left[\frac{I_f}{I_s}\right]^{0,02-1}} \times TMS \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

T_s = Waktu Trip (s)

k,a = Konstanta Standar IEC

I_s = Arus Setting (A)

TMS = *Time Multiple Setting*

K faktor = Nilai Referensi Waktu

2.12. ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, ETAP (Electric Transient and Analysis Program) PowerStation 12.6.0 merupakan aplikasi yang sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. Etap merepresentasikan kondisi dengan mensimulasikan sistem tenaga listrik.

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.18 Icon Bar Elemen – Elemen pada ETAP 16.0.0

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Aplikasi ini sering digunakan karena memiliki keunggulan-keunggulan dari segi fitur yang tentunya dibutuhkan bagi mereka yang bergelut didalam dunia kelistrikan. Adapun beberapa fitur yang bisa digunakan dengan aplikasi ETAP diantaranya adalah :

1. Mampu menganalisa aliran daya
2. Mampu menganalisa hubung singkat
3. Menganalisa *Arc flash*
4. Simulasi starting motor
5. Melakukan koordinasi sistem proteksi
6. Melakukan kestabilan transien,
dan masih banyak lagi keunggulan lainnya.

Selain itu, Aplikasi ETAP sering digunakan oleh mahasiswa teknik Elektro untuk menggambar Single Line Diagram (SLD) pada suatu pembangkit dan melakukan simulasi gangguan terhadap kemungkinan gangguan terhadap sistem kelistrikan pembangkit tersebut, serta dapat merencanakan desain sistem proteksi yang digunakan dalam meminimalisir gangguan yang akan terjadi