



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi adalah perlindungan atau isolasi pada bagian yang memungkinkan akan terjadi gangguan atau bahaya. Sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi pengaruh-pengaruhnya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian yang lainnya, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan.

Sistem proteksi merupakan suatu sistem yang terdiri dari suatu peralatan proteksi, transformator pengukuran, pengawatan, rangkaian tripping, catu daya, dan sistem komunikasi bila tersedia.

2.1.2. Fungsi sistem Proteksi

Fungsi dari sistem proteksi adalah sebagai berikut :

- Meminimalisir kerusakan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akibat gangguan.
- Mencegah kerusakan yang terjadi pada peralatan sistem tenaga listrik akibat gangguan.
- Mempersempit daerah gangguan, sehingga gangguan tidak meluas ke daerah yang lain.
- Memberikan pelayanan tenaga listrik yang optimal dengan kualitas dan keandalan kepada konsumen.

Melindungi manusia dari sistem tenaga listrik dan objek yang berada pada daerah tersebut terhadap gangguan sistem tenaga listrik.



2.1.3. Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hamper seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistem distribusi tenaga listrik semakin besar arus gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut. Untuk melepaskan atau menghentikan saat terjadi gangguan maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujaun untuk melepaskan atau membuka sistem yang sedang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam.

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisir daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan suplai listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen serta memperkecil bahaya terhadap pengguna listrik.

2.1.4. Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah :

- Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan).
- Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Persyaratan yang terpenting dari sistem proteksi, yaitu :

➤ **Kepekaan (Sensitivity)**

Pada prinsipnya relai harus peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberkan deviasi yang minimum.

Untuk relai arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relai itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.



Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo daya, relai yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tersebut diatas hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat besar dan mahal.

Sebagai pengaman gangguan arus lebih pada saluran distribusi, rele yang kurang peka menyebabkan akan banyak terjadi gangguan pada saluran transmisi di Gardu Induk. Akibatnya, busur api akan timbul berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka relai hubung-singkat (OCR) yang akan bekerja.

Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya, jika terlalu peka relai akan terlalu sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau resikonya dapat diabaikan atau dapat diterima.

➤ **Keandalan (Reliability)**

• **Dependability**

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (Keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan istilah lain yakni dependability-nya harus tinggi.

• **Security**

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah dalam memproteksi mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan kata lain security-nya harus tinggi.

• **Availability**

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



Dengan relai elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tidak diketahui segera, baru diketahui dan diperbaiki atau digandi. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit skunder arus, dan sirkit skunder tegangan yang akan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya terjadi. Jadi availability dan keadalannya tinggi.

➤ **Selectifitas (Selectivity)**

Pengamanan harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedamikian termasuk disebut pengaman yang selektif.

Jadi relai harus dapat membedakan, apakah:

- Gangguan terletak dikawasan pengamanan utamya dimana ia harus bekerja dengan cepat.
- Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
- Gangguannya diluar daerah pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana relai tersebut tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relai-relai yang didalam sistem terletak secara seri, dikoordinir dengan mengatur peningkatan waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah relai dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting relai yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator dan busbar pada sistem tegangan ekstra tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengamanan yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitive terhadap gangguan diluar kawasannya, sehinggannya sangat slektif, tetapi tidak



bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya, sebagai contoh pengamanan differensial.

➤ **Kecepatan (Speed)**

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembahasan sistem dari gangguan adalah waktu jarak sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu Penting Untuk :

- Menghindari kerusakan secara thermos pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kestabilan sistem.
- Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan mempersingkat dead timenya (interval waktu antara buka dan tutup).
- Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengamanan terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya.

➤ **Ekonomis**

Pada perencanaan sistem proteksi tidak lepas dari faktor ekonomis. Rele yang digunakan harus ekonomis akan tetapi tidak mengesampingkan empat hal yang sangat vital seperti diatas tersebut. Pada sistem proteksi mempunyai dua hal yang perlu diperhatikan yaitu proteksi utama dan proteksi bantu. Pada proteksi utama berfungsi untuk membebaskan sistem pada gangguan yang perlu diproteksi secepat mungkin. Pada proteksi pembantu bekerja ketika proteksi utama tidak mampu bekerja melindungi daerah selanjutnya dengan melambatnya waktu yang lebih lama pada rele/rele utama.



2.1.5 Pembagian Tugas dalam Sistem Proteksi

Sistem proteksi memiliki pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

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

2.2 Pengertian Kubikel

Kubikel ialah suatu perlengkapan atau peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik, Kubikel istilah umum yang mencakup peralatan switching dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi dan peralatan pengatur. Peralatan tersebut dirakit dan saling terkait dengan perlengkapan, selungkup dan penyangga. Sesuai IEC 298 : 1990 didespesifikasikan sebagai perlengkapan hubung bagi dan kontrol berselungkup logam rakitan pabrik untuk arus bolak-balik dengan tegangan pengenal diatas 1 kV sampai dengan dan termasuk 35 kV, untuk pasangan dalam dan pasangan luar, dan untuk frekuensi sampai 50 Hz.

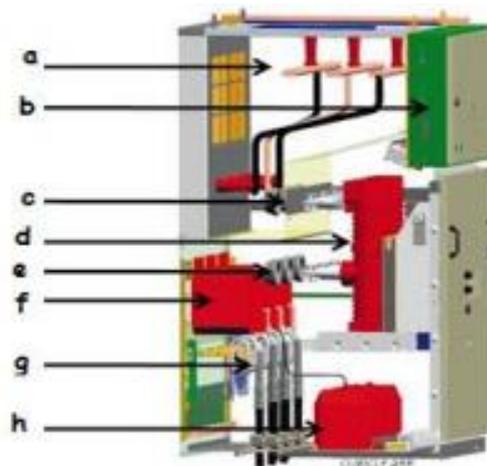
2.2.1 Kubikel Tegangan Menengah

Kubikel Tegangan Menengah adalah seperangkat panel hubung bagi dengan tegangan kerja 20.000 Volt yang dipasang pada Gardu Induk dan Gardu Distribusi/Gardu Hubung yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol dan pengaman sistem penyaluran tenaga listrik tegangan menengah.



Gambar 2.1 Kubikel Tegangan Menengah

Dibawah ini bagian – bagian dari Kubikel Tegangan Menengah ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2.2 Peralatan dalam kubikel 20kV

Keterangan :

- a. Kompartemen Busbar
- b. Kompartemen Lemari Kontrol
- c. Pemisah Rel
- d. Pemutus Tenaga (PMT)
- e. Pemisah Kabel
- f. Kompartemen Kabel
- g. Trafo Arus
- h. Trafo Tegangan



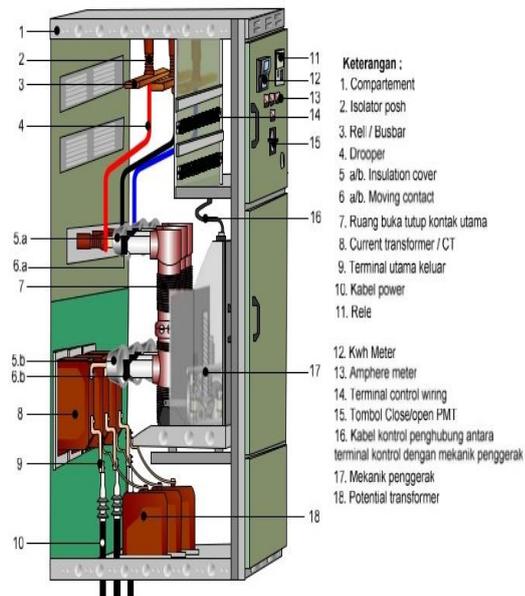
2.2.2 Jenis Kubikel

Berdasarkan fungsi atau penempatan- nya, kubikel 20 kV di Gardu Induk antara lain :

- a. Kubikel Incoming
- b. Kubikel Outgoing
- c. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS)
- d. Kubikel Kopel (bus kopling)
- e. Kubikel PT / LA
- f. Kubikel Bus Riser / Bus Tie (Inter-face)

- **Kubikel Incoming**

Berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke rel tegangan menengah.



Gambar 2.3 Bagian Kubikel Incoming GIS Kota Timur



- **Kubikel Outgoing**

Berfungsi sebagai penghubung / penyalur dari rel ke beban.



Gambar 2.4 Kubikel Outgoing di GIS Kota Timur

- **Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS)**

Berfungsi sebagai penghubung dari rel ke beban pemakaian sendiri GI.



Gambar 2.5 Kubikel Pemakaian Sendiri di GIS Kota Timur

- **Kubikel Kopel (Bus Kopling)**

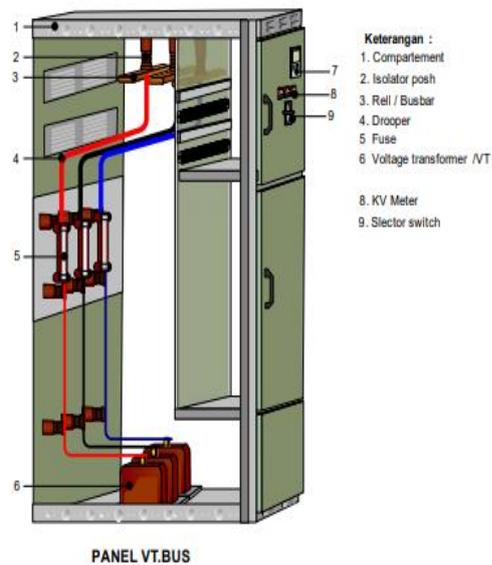
Berfungsi sebagai penghubung antara rel 1 dengan rel 2.



Gambar 2.6 Kubikel Kopel (Bus Kopling) di GIS Kota Timur

- **Kubikel PT**

Berfungsi sebagai sarana pengukuran dan pengaman.



Gambar 2.7 Kubikel PT di GIS Kota Timur

- **Kubikel Bus Riser / Bus Tie (Interface)**

Berfungsi sebagai penghubung antar Kubikel.



Gambar 2.8 Kubikel Bus Riser / Bus Tie (Interface) di GIS Kota Timur

2.2.3 Fungsi Kubikel

- Mengendalikan sirkuit yang dilakukan oleh saklar utama
- Melindungi sirkuit yang dilakukan oleh fase/pelebur
- Membagi sirkuit dilakukan oleh pembagian jurusan/kelompok (busbar)

2.3 Rele Arus Lebih

Rele Arus Lebih adalah *rele* yang akan bekerja apa bila terjadi gangguan hubung singkat antara fasa. Rele Arus Lebih (OCR) adalah suatu *rele* yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga *rele* ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih.

Rele Arus Lebih (OCR) ini berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan arus hubung singkat atau dapat pula dikatakan bahwa *rele* ini berfungsi merasakan adanya arus lebih dan kemudian memberi perintah/isyarat kepada PMT untuk membuka rangkaian apabila terjadi gangguan hubung singkat sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.

Selain itu Rele Arus Lebih (OCR) juga berfungsi untuk mengamankan transformator dari arus yang melebihi dari arus yang dibolehkan lewat dari transformator tersebut. Umumnya rele arus lebih digunakan pada jaringan tegangan menengah atau saluran transmisi, jaringan sub-radial, pengaman untuk motor-



motor tegangan menengah yang kecil, pengaman cadangan (untuk transformator daya, generator, motor yang besar, jaringan transmisi tegangan tinggi).



Gambar 2.9 Rele Arus Lebih (OCR)

Bila dilengkapi dengan rele arah dapat digunakan sebagai pengaman saluran transmisi sirkuit ganda dan pengaman gangguan tanah sampai tegangan ekstra tinggi, hanya disini yang membedakan adalah fungsi dari *rele* tersebut. Yang dimaksud fungsi disini adalah :

- Berfungsi sebagai pengaman utama (Main Protection) sebagai pengaman utama SUTM / SKTM bertujuan untuk :
- Mencegah kerusakan SUTM / SKTM dari gangguan hubung singkat.
- Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman sekecil mungkin).
- Berfungsi sebagai pengaman cadangan (Back-up Protection).

Sebagai pengaman cadangan trafo atau SUTT bertujuan sama dengan diatas.

Yaitu mencegah kerusakan trafo atau SUTT dari gangguan hubung singkat dan membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin, hanya bekerja apabila pengaman utama di peralatan tersebut tidak bekerja. Selain itu Rele Arus Lebih (OCR) dijadikan pengaman cadangan karena untuk mengkoordinasi sulit untuk mendapatkan selektifitas yang baik.

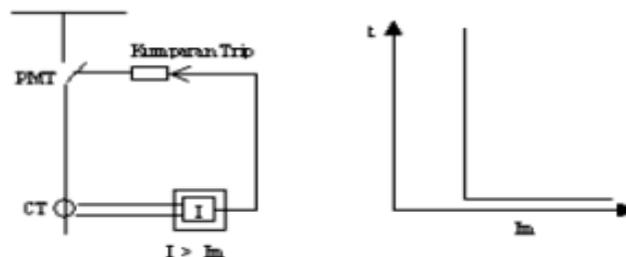
2.3.1 Jenis Rele Berdasarkan Karakteristik Waktu

Menurut karakteristik waktu kerjanya rele pengaman arus lebih terbagi atas beberapa jenis yaitu :



i. Rele Arus Lebih Waktu Seketika / *Instantaneous Time*

Adalah Rele Arus Lebih (OCR) yang bekerja tanpa waktu tunda. Rele 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 rele ini tanpa perlambatan, Maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus. Adapun jangkauan rele ini karena bekerjanya seketika atau tanpa perlambatan waktu, supaya selektif maka tidak boleh menjangkau pada keadaan arus gangguan maksimum. Rele ini bekerja secara seketika atau tanpa ada waktu tunda. Apabila arus yang mengalir melebihi dari nilai setingnya, maka *rele* akan bekerja dalam waktu yang sangat cepat.



Gambar 2.10. Rele Arus Lebih Waktu Seketika

ii. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik / *Inverse Time*

Adalah Rele Arus Lebih (OCR) yang waktunya kerjanya tergantung dari arus gangguan. Rele ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu rele ini mulai pick up sampai kerja waktunya diperpanjang berbanding terbaillk dengan besarnya arus.

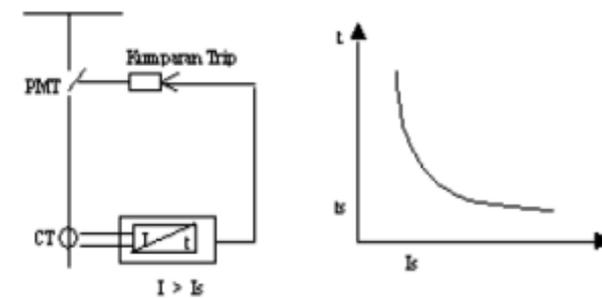
Sifat atau karakteristik dari rele inverse adalah *rele* baru akan bekerja bila yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan. Dan lamanya waktu rele bekerja untuk memberikan komando trpping adalah paling lambat sesuai dengan waktu setting (T_s) yang dipilih.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



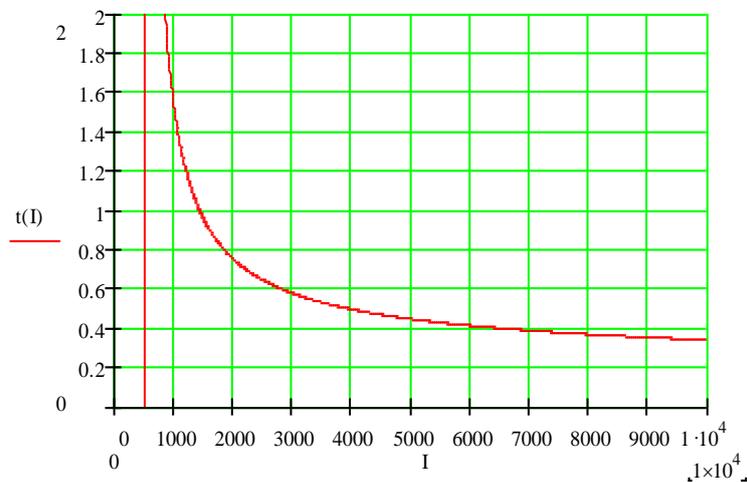
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda sesuai dengan karakteristik inverse yang dipilih. Cara kerja rele ini adalah semakin besar arus gangguan makin cepat waktu kerja rele tersebut.

Beberapa jenis karakteristik Rele ini adalah :

- Long Time Inverse
- Standard Inverse
- Very Inverse
- Extremely Inverse



Gambar 2.11 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

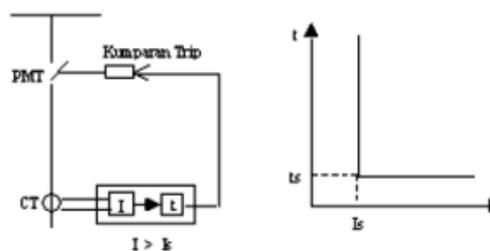


Gambar 2.12 Karakteristik Relay inverse

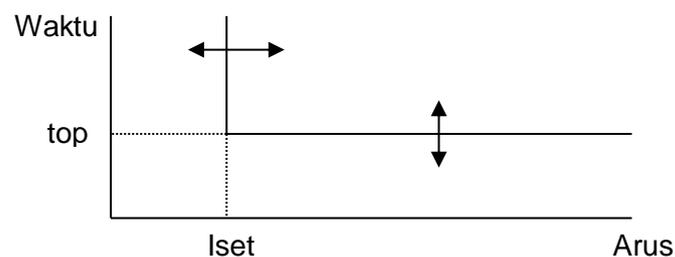


iii. Rele Arus Lebih dengan Waktu Tertentu / *Definite Time*

Adalah Rele Arus Lebih (OCR) yang waktu kerjanya tidak tergantung dari arus gangguan. Rele ini memberikan perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu rele ini mulai pick up sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung besarnya arus. Sifat atau karakteristik dari rele definite adalah rele baru akan bekerja bila yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan. Dan lamanya selang waktu rele bekerja untuk memberikan komando tripping adalah 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. Jika Jangka waktu mulainya rele bekerja samapai selesainya rele bekerja mempunyai sifat-sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele pick-up, dan kemudian sifat-sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar.



Gambar 2.13 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu



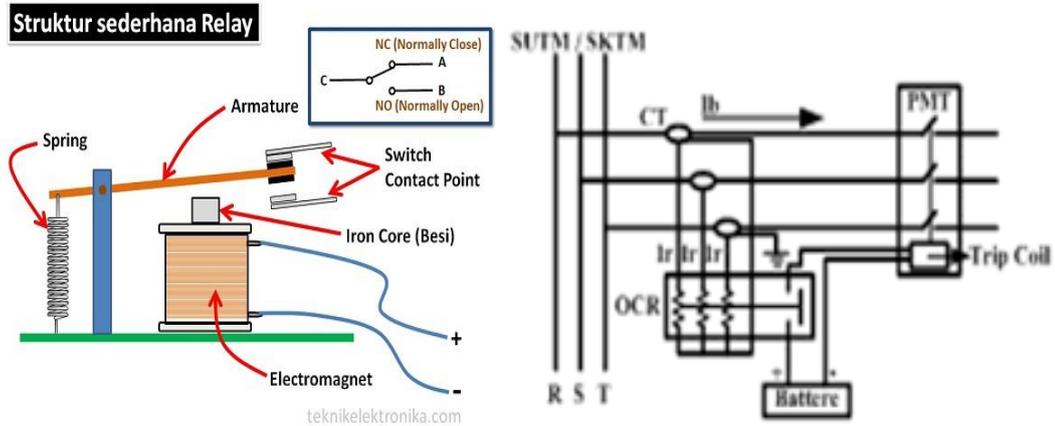
Gambar 2.14 Karakteristik *Definite time* OCR

2.3.2 Prinsip Kerja Rele OCR

Prinsip kerja Rele OCR yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* ke PMT



sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 2.15 Prinsip kerja Rele OCR

2.3.3 Tipe Rele Arus Lebih

Rele arus lebih mempunyai beberapa tipe yaitu :

- Pengaman arus lebih kecepatan tinggi (High Speed Over Current Protection).
 - Pengaman arus lebih waktu inverse minimum (Inverse minimum time over current protection).
 - Pengaman arus lebih searah (direktional over current protection)
- Pengaman arus lebih sudah termasuk pengaman arus hubung singkat. Hubung singkat dapat terjadi antara fasa dengan fasa ketanah. Hubung singkat pada umumnya 5 sampai 20 kali arus beban penuh. Oleh karena itu kecepatan mengatasi suatu gangguan sangatlah dibutuhkan dalam suatu sisten pengaman.

2.3.4 Keuntungan dan Kerugian Rele OCR

- Pengaman yang menggunakan Over Current Rele (OCR) mempunyai beberapa keuntungan yaitu :
 - Dapat mengamankan arus lebih yang terjadi karena hubung singkat atau beban lebih.
 - Penyetelannya mudah untuk jaringan radial.
 - Pengamannya sederhana.



- Dapat sebagai pengaman utama dan berfungsi juga sebagai pengaman cadangan.
- Harganya relatif murah.
- Adapun beberapa kerugian/kekurangan pengaman dengan menggunakan Over Current Rele (OCR) adalah:
 - Untuk jaringan dengan sirkuit ganda tanpa dilengkapi dengan Rele arah tidak dapat selektif.
 - Untuk jaringan yang interkoneksi tidak dapat sebagai pengaman utama, karena sukar untuk dapat selektif bila tidak dilengkapi dengan *Rele* arah.

2.3.5 Penyetelan Rele OCR

- **Setting Arus OCR**

Penyetelan OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga harus dihitung terlebih dahulu dihitung arus nominal transformator daya. Arus nominal transformator daya menggunakan persamaan :

$$I_{\text{nom}} = \frac{MVA}{kV \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

I_{nom} = Arus Nominal Trafo Daya (A)

MVA = Kapasitas Trafo Daya (MVA)

kV = Tegangan (kV)

Maka, nilai arus setting pada sisi primer dapat dihitung setelah mendapatkan arus nominal trafo dengan persamaan berikut :

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,0 - 1,2 \times I_{\text{nom}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$I_{\text{set (primer)}}$ = Arus Setting Sisi Primer (A)

I_{nom} = Arus Nominal Trafo Daya (A)

Nilai yang didapatkan dari persamaan tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder setting arus pada OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan kemampuan peralatan terkecil pada komponen, yaitu rasio trafo arus (CT). Berikut ini persamaan untuk mencari nilai arus setting sisi sekunder :



$$I_{set (sekunder)} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{rasio CT} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$I_{set (sekunder)}$ = Arus Setting Sisi Sekunder (A)

$I_{set (primer)}$ = Arus Setting Sisi Primer (A)

Rasio CT = Rasio CT (A)

• **Setting Waktu Rele OCR**

Untuk menentukan nilai setelan waktu (tms), rumus yang digunakan Untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam berdasarkan dengan desain pabrik pembuatan rele. Berdasarkan standar IEC 60255, pada tabel berikut terdapat konstanta yang digunakan berdasarkan karakteristik rele.

Tabel 1.1 Karakteristik Rele OCR Invers

Karakteristik	K	α
Standard Inverse	0.14	0.02
Very Inverse	13.5	1.0
Extremely Inverse	80.0	2.0
Long Time Inverse	120.0	1.0

Setelan waktu kerja standard inverse didapat dengan menggunakan kurva waktu dan arus. Secara matematis untuk menentukan nilai setting TMS Over Current Rele (OCR) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$tms = \frac{t \times \left(\frac{I_{fault}}{I_{set primer}}\right)^\alpha - 1}{\beta} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk t = waktu disetting 0,12 detik untuk sisi 150 kV, 0,7 detik untuk sisi Incoming, dan 0,3 detik untuk sisi Outgoing.

Nilai yang didapat dari TMS dapat menentukan waktu trip rele dengan persamaan :

$$t = \frac{tms \times \beta}{\left(\frac{I_{f 3 fasa}}{I_{set primer}}\right)^\alpha - 1} \dots\dots\dots (2.5)$$



Keterangan :

t	= Waktu Trip Rele (S)
tms	= Factor Pengali terhadap Waktu (TMS)
I_{fault}	= Arus Gangguan (A)
I_{set}	= Arus Setting (A)
t_{set}	= Waktu Setting (S)
α	= 0,02 Konstanta
β	= 0,14 Konstanta

2.4 Software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)

PowerStation adalah software untuk power system yang bekerja berdasarkan plant (project). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat - alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data motor, data kabel dll. Sebuah plant terdiri dari subsistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam PowerStation, setiap plant harus menyediakan data base untuk keperluan itu.

ETAP adalah software yang dapat melakukan pemodelan / perencanaan dan gambaran sistem kelistrikan yang ada di suatu industri ataupun wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa. Analisa yang dapat dilakukan pada ETAP antara lain:

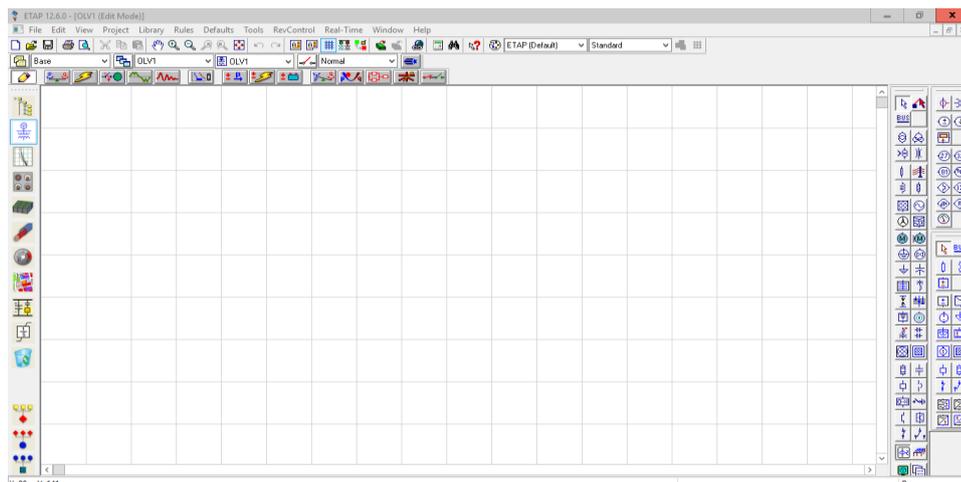
- Load Flow Analysis
- Unbalanced Load Flow Analysis
- Short Circuit Analysis
- Motor Acceleration Analysis
- Harmonic Analysis
- Transient Analysis



ETAP awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (on line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis.

ETAP power station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai tiga konsep utama:

1. Virtual reality operasi
2. Total integration data
3. Simplicity in data entry



Gambar 2.16 Gambar Kerja Editor pada ETAP 12.6.0

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP power station adalah:

- One line diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.



- Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- Study case, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.



Gambar 2.17 Elemen standar ANSI

Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah :

- Generator

Merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.





Gambar 2.18 Simbol Generator di ETAP

b. Transformator

Berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan dengan rasio tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik.



Gambar 2.19 Simbol Transformator di ETAP

c. Pemutus Rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek.



Gambar 2.20 Simbol Pemutus Rangkaian di ETAP

d. Beban

Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis.



Gambar 2.21 Simbol beban statis di ETAP