

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem adalah semua unsur yang secara teratur saling berhubungan dan bekerja sama sehingga menghasilkan sesuatu. Jadi yang dimaksud dengan Sistem Tenaga Listrik adalah beberapa unsur perangkat peralatan yang terdiri dari pembangkitan, transmisi, distribusi dan pelanggan, yang satu dengan yang lainnya berhubungan dan saling bekerja sama sehingga menghasilkan tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik terdiri dari empat unsur, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan pemakaian tenaga listrik (beban). Energi listrik dibangkitkan di pusat tenaga listrik (seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTN, PLTD) dan disalurkan melalui jarak yang cukup jauh ke pusat-pusat pemakaian tenaga listrik. Dikarenakan jarak antara pusat pembangkit dengan beban jauh, maka kerugian dapat timbul pada saluaran transmisi. Untuk mengurangi kerugian-kerugian dalam sistem tenaga listrik, maka tegangan yang keluar dari pembangkit dinaikkan menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi (tegangan transmisi).

Tegangan generator biasanya berupa tegangan menengah (TM). Di gardu induk (GI) penaik tegangan melalui transformator tegangan dinaikkan menjadi tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET) untuk disalurkan ke transmisi.

Tegangan transmisi yang masih digunakan di Indonesia adalah 70 kV dan 150 kV dan juga 500 kV untuk TET nya . Sedangkan untuk tegangan menengah 20 kV digunakan pada jaringan distribusi.

Transmisi :

- GI, Saluran Udara dan Kabel
- 70kV, 150kV, 275kV, 500kV (TET)

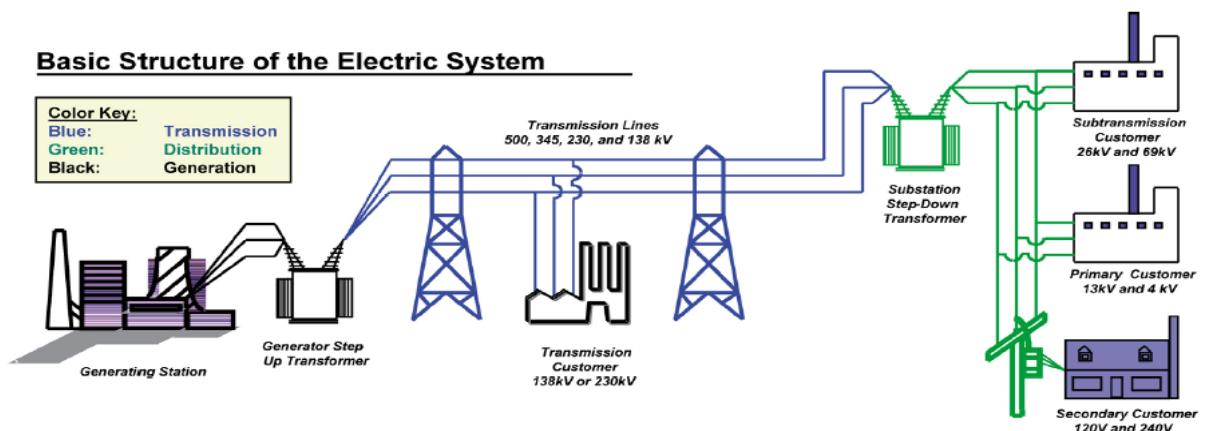
Pembangkit :

- PLTU,PLTP, PLTA dll

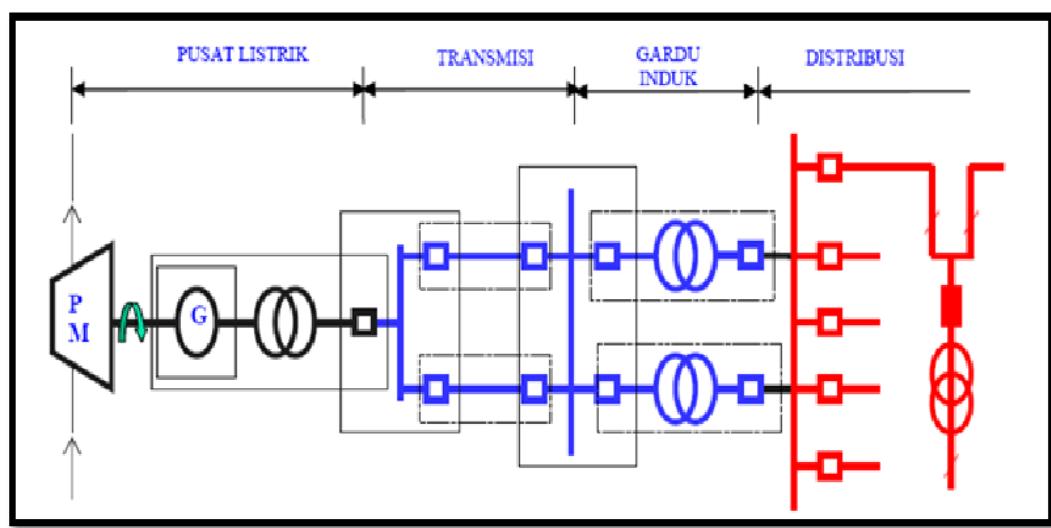
Distribusi :

- JTM,JTR , Gardu Distribusi
- 20kV, 380/220V

Berikut adalah gambaran dari suatu sistem tenaga listrik dimulai dari pembangkit , transmisi, distribusi :



Gambar 2.1. Struktur Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.2. One Line Diagram Sistem Tenaga Listrik

2.2. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem yang ideal adalah sistem yang beroperasi terus menerus tanpa ada interupsi. Didalam sistem tenaga listrik ada beberapa jenis gangguan yang dapat terjadi baik itu disebabkan oleh faktor alam maupun faktor lainnya yang menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi tidak stabil (mengalami gangguan)

Penyebab Gangguan :

- a. Gangguan karena kesalahan manusia ; kelalaian pada operasi dan pemeliharaan sistem.
- b. Gangguan dari dalam ; gangguan yang berasal dari peralatan, gagal berfungsi karena faktor usia, kerusakan komponen/isolasi dll
- c. Gangguan dari luar : gangguan yang berasal dari alam seperti kondisi cuaca, gempa bumi, petir dan banjir, binatang : tikus, burung, kelelawar, ular dsb

2.3. Jenis Gangguan

Gangguan bila ditinjau dari sifat dan penyebabnya

- a. Beban lebih
- b. Hubung singkat
- c. Tegangan lebih
- d. Gangguan stabilitas

2.3.1. Beban Lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

Penyebab :

- a. Pasokan dari pembangkit kurang dari kebutuhan beban
- b. Salah satu komponen pada sistem terganggu (keluar dari sistem) sehingga komponen lainnya mengalami beban lebih.

Ciri ciri beban lebih :

- a. Terjadinya arus lebih yang menimbulkan pemanasan yang merusak isolasi peralatan tsb

2.3.2. Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam

hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

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

Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya.

Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain:

1. Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Berkurangnya stabilitas daya system tersebut.

3. Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan bekerjanya CB yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

Semua komponen dari peralatan listrik selalu di isolasi terhadap tanah disamping itu antar fasa juga diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara , gas (SF6) atau kombinasi nya

Contoh :

- a) Lilitan generator atau motor menggunakan bahan isolasi kertas atau mica
- b) Trafo diisolasi dengan kertas dan minyak trafo
- c) Kabel disolasi dengan kertas yang di impregnated dengan minyak atau isolasi dengan bahan jenis polyethilen
- d) Bagian bertegangan pada pemutus beban (PMT atau CB) disolasi terhadap metal kiosk atau pun fase lainnya dengan SF6

Penyebab : kerusakan isolasi karena umur, kualitas yang kurang baik,sebab mekanis, tegangan lebih, binatang, benang layangan, dahan pohon.

Kerusakan isolasi dan terjadinya loncatan bunga api didikuti busur api sehingga terjadi hubung singkat dan akan mengalir arus hubung singkat yang besar dan tegangannya sangat turun

2.3.3. Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih diakibatkan karena adanya kelainan pada sistem.

Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena :

1. Tegangan lebih dengan power frekwensi, misal : pembangkit kehilangan beban yang diakibatkan adanya gangguan pada sisi jaringan, sehingga over

speed pada generator. Tegangan lebih ini dapat juga terjadi adanya gangguan pada pengatur tegangan secara otomatis (Automatic Voltage Regulator) yang terpasang pada generator.

2. Tegangan lebih Transient Karena adanya petir yang mengenai peralatan listrik disebut surja petir atau saat pemutus (PMT) terbuka Karena adanya gangguan listrik yang menimbulkan kenaikan tegangan disebut surja hubung

Berikut ini adalah penyebab yang akan menimbulkan tegangan lebih :

- a) Gelombang tegangan tinggi dari petir (surja petir) yang mengenai peralatan
- b) Surja hubung : membuka atau menutupnya kontak pada pemutus beban umumnya pada sistem TT atau TET dapat menimbulkan tegangan transien yang tinggi dan ini dapat menimbulkan kerusakan isolasi peralatan
- c) Pengaruh Piranti : pada sistem TT bila tanpa beban atau beban kecil , karena adanya beban kapasitif penghantar maka tegangan diujung saluran akan lebih tinggi dari pada tegangan sisi pengirimnya
- d) Gangguan pada alat pengatur tegangan otomatis : pada pelepasan beban yang cukup besar akan terjadi tegangan lebih, pengatur tegangan otomatis segera mengembalikan tegangan peralatan ke keadaan normal.

2.3.4. Gangguan Stabilitas

Generator yang tersambung pada sistem (tersambung paralel) bekerja secara serempak untuk mensuplai kebutuhan beban sistem. Apabila terjadi perubahan beban besar yang mendadak , terjadi hubung singkat yang terlalu lama maka akan terjadi ayunan putaran rotor sebagian dari generator pada sistem tersebut (lebih cepat atau lebih lambat dari putaran sinkron. Hal ini mengakibatkan sebagian

generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih dan hal ini berayun (bergantian), gangguan ini disebut gangguan stabilitas.

Umumnya terjadi pada sistem TT dan ET yang besar seperti sistem Jawa bali.

Mengatasinya : melepas generator dari sistem atau mengalokasir gangguan HS secepat mungkin karena dapat membahayakan generator dan sistem

2.4. Cara Mengurangi Pengaruh Gangguan

- a) Mengurangi akibat gangguan
 - i. Membatasi arus HS seperti penggunaan pentahanan dengan kumparan peterson
 - ii. Memakai peralatan yang sanggup menghadapi aus HS
- b) Memisahkan bagian sistem yang terganggu secepatnya dengan memakai pengaman lebur atau dengan relai pengaman dan Pemutus beban dengan kapasitas pemutusan yang memadai
- c) Merencanakan agar bagian sistem yang terganggu harus dipisahkan dari sistem yang tidak terganggu misal :
- d) Stabilitas sistem agar dipertahankan selama terjadi gangguan dengan memakai pengatur tegangan otomatis yang cepat dan karakteristik kestabilan generator yang memadai serta menggunakan relai pengaman yg bekerja cepat
- e) Membuat data /pengamatan gangguan yang sistematis dan effektif seperti fault recorder untuk memngambil langkah langkah pencegahan lebih lanjut

2.5. Sistem Proteksi

Gangguan pada pusat pembangkit listrik dapat terjadi kapan saja, untuk itu diperlukan sistem proteksi, yang berfungsi selain mengamankan peralatan pada pusat pembangkit juga untuk melokalisir dampak dari gangguan. Alat pendekripsi gangguan adalah rele, yang selanjutnya memberi perintah kepada trip coil untuk membuka pemutus tenaga (PMT).

Persyaratan utama sistem proteksi yaitu kepekaan (*sensitivity*), keandalan (*reliability*), selektif (*selectivity*), kecepatan (*speed*).

1. Kepekaan (*sensitivity*), pada prinsipnya sistem proteksi harus cukup peka sehingga dapat mendekripsi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangannya.
2. Keandalan (*reliability*), keandalan adalah istilah kuantitatif. Kebanyakan dinyatakan sebagai kemungkinan terjadinya kegagalan, merupakan ukuran tingkat sistem perlindungan tersebut terhadap fungsi-fungsinya, yaitu dapat dipercaya bekerja sesuai dengan apa yang diinginkan dan dijamin aman yaitu terhindar dari operasi yang tidak diperlukan.
3. Selektif (*selectivity*), kualitas sistem proteksi ditentukan oleh dapat atau tidaknya membedakan antara dua kondisi, yaitu kondisi harus beroperasi, dan kondisi harus tidak beroperasi. Sistem proteksi harus mampu mengenal gangguan dan mentripkan PMT seminimal mungkin.

Untuk itu rele - rele yang didalam sistem terletak secara seri, dikoordinasikan dengan mengatur peningkatan waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading), atau gabungan dari keduanya. Untuk itulah rele dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan

karakteristik rele yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting rele yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

4. Kecepatan (*speed*), untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya

2.6. Pengaman Utama dan Pengaman Cadangan

Dalam suatu proteksi di suatu sistem tenaga listrik terdapat dua klasifikasi kerja pengaman yaitu suatu proteksi yang bekerja sebagai pengaman utama maupun proteksi yang bekerja sebagai pengaman cadangan yang saling berkoordinasi satu sama lain untuk mengisolir suatu gangguan. Pengaman utama bekerja bila titik gangguan berada dekat dengannya, dan bila pengaman utama mengalami suatu kegagalan maka disitulah pengaman cadangan bekerja.

- a) Pengaman utama bekerja jika terjadi gangguan
 - i. Waktu kerja relay : 20-40 ms
 - ii. Waktu kerja Pemutus beban : 40-60 ms
- b) Pengaman cadangan (back up) akan bekerja jika pengaman cadangan gagal bekerja.
- c) Pengaman utama dapat menjadi pengaman cadangan pada seksi berikutnya

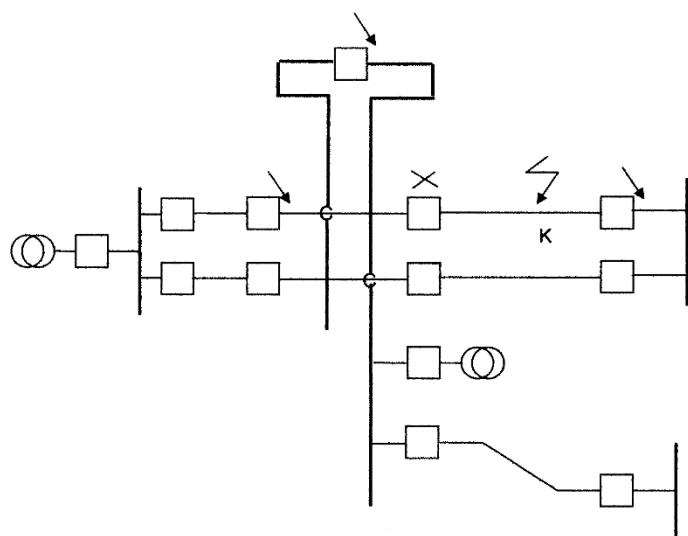
Berikut ini adalah gambar yang akan menjelaskan suatu prinsip kerja dari hubungan antara pengaman utama dengan pengaman cadangan.

Pada dasarnya dibagi menjadi dua prinsip yaitu prinsip lokal back up dan prinsip remote back up.

1. Prinsip lokal back up yaitu apabila terjadi suatu gangguan di suatu jaringan dan pengaman utama gagal maka pengaman cadangan yang berada dekat dengan gangguan baik itu pengaman di penyulang yang terdapat gangguan maupun pengaman di ujung yang dekat dengan penyulang yang terganggu akan bekerja/trip
2. Prinsip remote back up yaitu apabila suatu gangguan di suatu jaringan dan pengaman utama gagal maka pengaman cadangan yang berada di semua area yang dekat dengan penyulang yang mengalami gangguan akan bekerja/trip. Hal ini sangat disayangkan karena akan menyebabkan penyaluran menjadi banyak padam karena hampir semua pengaman bekerja.

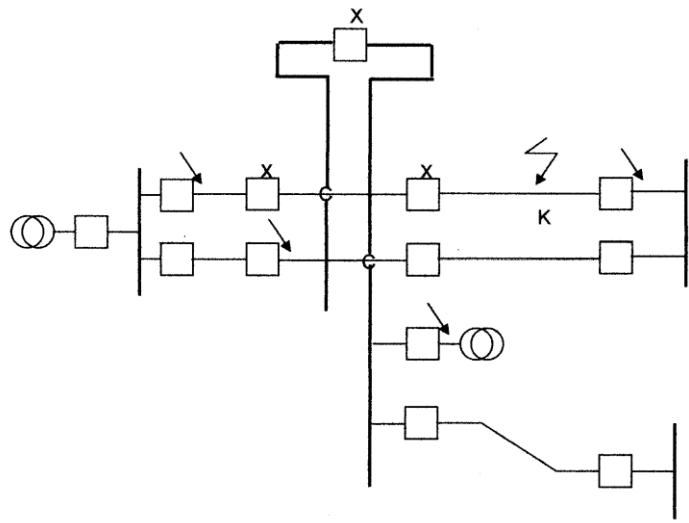
Dibawah ini skema gambar dari kedua prinsip tersebut diatas :

Prinsip lokal back up :



Gambar 2.3. Prinsip Local Back-up

Prinsip remote back up :



Gambar 2.4. Prinsip Remote Back-up

Keterangan : X = CB gagal trip

\ = CB trip

2.7. Kegagalan Sistem Proteksi

Suatu sistem proteksi bisa saja mengalami kegagalan, hal ini dikarenakan sebagai berikut :

- a) Kegagalan pada relay sendiri
- b) Kegagalan supplai arus dan atau tegangan ke relay ; dapat disebabkan kerusakan CT atau PT , rangkaian supplai ke relay
- c) Kegagalan sistem supply arus searah (DC) untuk tripping pemutus beban, bisa disebabkan battery lemah dll.
- d) Kegagalan membuka PMT
 - i. Gangguan Mekanis
 - ii. Gagal memutus arus

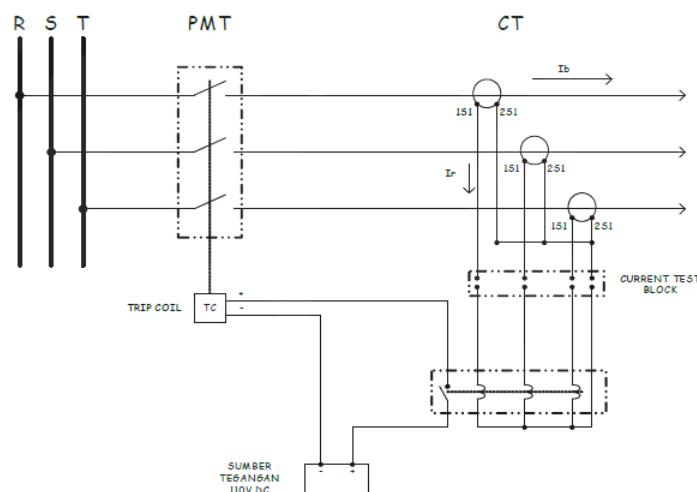
2.8. Daerah Pengamanan (Protective Zone)

Setiap sistem proteksi memiliki daerah pengamanannya berikut keterangannya :

- a) Setiap daerah pengamanan umumnya terdiri dari satu atau lebih elemen STL
- b) Koordinasi sistem proteksi yang tidak tumpang tindih
- c) Pemisah antara 2 daerah pengamanan adalah pemutus beban (circuit Breaker).
- d) Kondisi tumpang tindih lebih baik daripada tidak ada daerah yang diamankan

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

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). Rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan gangguan singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman transformator.



Gambar 2.5. Diagram Pengawatan Rele Arus Lebih (OCR)

Sistem proteksi transformator tenaga menggunakan rele arus lebih / OCR dan rele gangguan tanah / GFR sebagai proteksi cadangan (*back up protection*). Rele arus lebih / OCR merupakan relay yang bekerja ketika arusnya melebihi ambang batas setelan yang telah ditentukan sebelumnya.

Berdasarkan karakteristik kerjanya rele arus lebih dikelompokkan :

1. Rele sesaat (Instantaneous relay), rele yang bekerja secara langsung atau tanpa waktu tunda berdasarkan perbedaan tingkat arus gangguan pada lokasi yang berbeda.

2. Rele arus lebih waktu pasti (definite independent time)

Rele yang bekerja berdasarkan waktu tunda yang telah ditentukan sebelumnya dan tidak tergantung pada perbedaan besarnya arus.

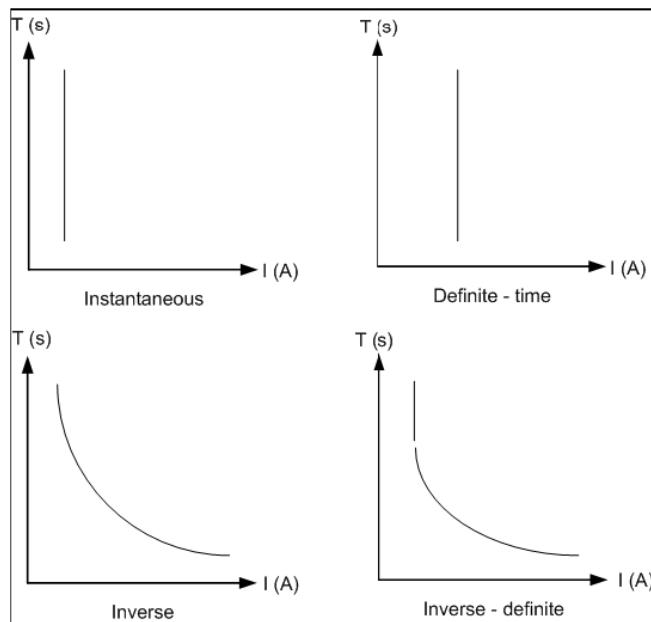
3. Rele waktu terbalik (inverse time)

Rele yang bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur oleh rele. Rele ini mempunyai karakteristik kerja yang dipengaruhi baik oleh waktu maupun arus.

4. Inverse Definite Time Relay

Rele ini mempunyai karakteristik kerja berdasarkan kombinasi antara rele invers dan rele definite. Relay ini akan bekerja secara definite bila arus gangguannya besar dan bekerja secara inverse jika arus gangguannya kecil.

Berikut adalah gambar kurva hubungan antara arus (I) dan waktu (T) dari keempat karakteristik dari over current relay (OCR) :



Gambar 2.6. Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih

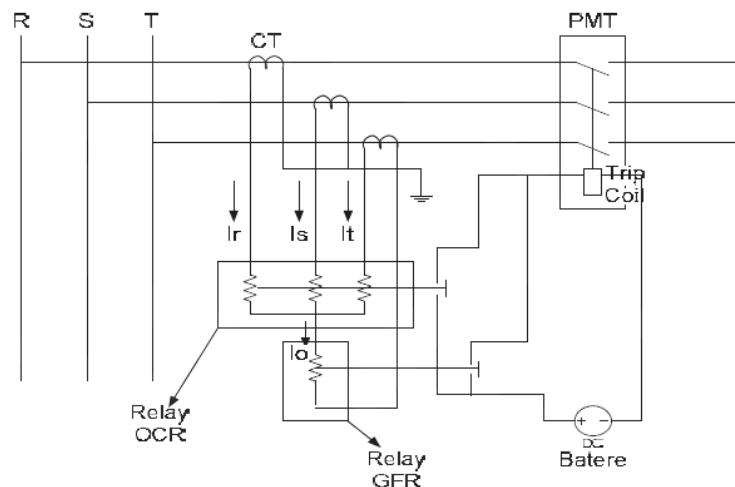
Sebagai alat proteksi maka penggunaan rele harus memenuhi persyaratan proteksi yaitu : cepat, selektif, serta handal. Rele harus disetting sedemikian rupa sehingga dapat bekerja secepat mungkin dan meminimalkan bagian dari sistem yang harus padam. Hal ini diterapkan dengan cara mengatur waktu kerja rele agar bekerja lambat ketika terjadi arus gangguan kecil, dan bekerja semakin cepat apabila arus gangguan semakin besar, hal ini disebut karakteristik inverse. Karakteristik inverse dibagi menjadi 4 :

1. Karakteristik standard inverse (SI)
2. Karakteristik very inverse (VI)
3. Karakteristik extreme inverse (EI)
4. Karakteristik long time inverse (LTI)

2.8.2. Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay / GFR*)

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya.

Bila rele OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat fasa ke tanah. Pada kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga rele hubung tanah akan bekerja.



Gambar 2.7. Diagram Pengawatan Rele Gangguan Tanah (GFR)

2.9. ETAP (Electric Transient and Analysis Program)

ETAP (Electric Transient and Analysis 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. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasiitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). 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: aiiran 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 single line diagram.

2.9.1. Virtual Reality Operation

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan utnuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

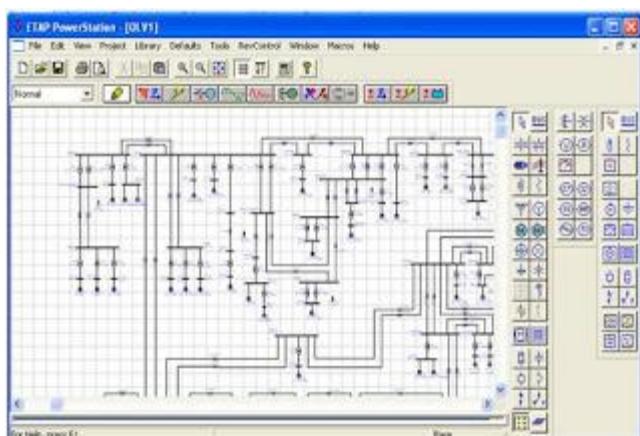
2.9.2. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen subuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisik nya, tapi juga memberikan informasi

melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short-circuit analysis) -yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi- serta perhitungan ampacity derating suatu kabel -yang memerlukan data fisik routing-.

2.9.3. Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.



Gambar 2.8. Single Line Diagram Dalam Aplikasi ETAP

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonica, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah:

1. One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
4. Study Case, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.10. Perhitungan Arus Hubung Singkat (I_{sc})

Hubungan Singkat (Short Circuit) dapat menyebabkan kerusakan serius pada komponen dan peralatan dalam sistem distribusi daya. Perhitungan dan analisa yang mendalam perlu dilakukan untuk mengetahui kemungkinan besarnya arus hubungan singkat yang dapat timbul pada sebuah sistem distribusi sehingga dapat dilakukan pencegahan melalui pengaturan setting pada alat proteksi arus lebih dan juga pemilihan peralatan atau komponen listrik yang akan digunakan dengan menyesuaikan rating ketahanannya terhadap arus hubungan singkat disesuaikan dengan hasil analisa dan perhitungan Arus Hubungan Singkat.

Rumus dasar yang digunakan untuk arus hubung singkat adalah hukum ohm :

Keterangan :

Isc = Arus hubung singkat

E = Tegangan fasa

Zsc = Impedansi hubung singkat

Untuk menghitung impedansi hubung singkatnya yaitu :

$$Z_{sc} = R + jX \dots \quad (2.2)$$

Keterangan :

R = Tahanan sistem

X = Reaktansi sistem

Karena dalam penelitian ini hanya menggunakan gangguan 3 fasa saja maka impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif (Z_{pos}). Perbedaannya antara gangguan 2 fasa dan gangguan satu fasa ketanah adalah penggunaan perhitungan impedansinya yaitu untuk gangguan 2 fasa yaitu impedansi urutan positif (Z_{pos}) + impedansi urutan negatif (Z_{neg}) dan untuk gangguan 1 fasa ketanah yaitu impedansi urutan posotif (Z_{pos}) + impedansi urutan negatif (Z_{neg}) + impedansi nol (Z_0)

2.11. Perhitungan Inverse Time Relay

setelan proteksi dengan mempergunakan karakteristik inverse time relay adalah karakteristik yang grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana makin besar arus makin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka pemutus (PMT/CB).

Karakteristik inverse sesuai IEC 60255-3 dan BS 142 1966 adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{\beta}{((I_{sc}/I_{set})^{\alpha}-1)} \times TMS \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

$$TMS = \frac{((I_{sc}/I_{set})^{\alpha}-1)}{\beta} \times t \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

Keterangan :

t = Waktu tripnya relay (detik)

I_{sc} = Arus gangguan hubung singkat (Amp atau pu), pada sistem distribusi tenaga listrik. (Amp)

I_{set} = Arus setting yang dimasukkan ke relay (Amp)

TMS = Time Multiplier Setting, nilai ini yang disetkan ke relay sebagai konstanta

Nilai besaran untuk faktor α dan β tergantung pada kurva arus terhadap waktu, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Nilai besaran faktor α dan β

Nama Kurva	α	β
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,2
Extremely Inverse	2	80
Long Inverse	1	120

Untuk I_{set} menggunakan rumus yaitu sebagai berikut :

$$I_{set} = 120\% \times I_{in\ Trafo} \dots \quad (2.5)$$

Keterangan :

I_{set} = Arus setting yang dimasukkan ke relay (Amp)

I_n Trafo = Arus nominal Transformer (Amp)