

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang dapat dijadikan sebagai bahan rujukan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Hariansyah, S.T., M.T & Sofyan Rasiman (2011) melakukan penelitian terhadap Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat Pada *Incoming* 20 kV Transformator 3 Gardu Induk Cibinong. Yang mana berdasarkan analisa yang dilakukan permasalahan yang terjadi jika ada gangguan hubung singkat pada salah satu penyulang *Over Current Relay* (OCR) pada penyulang yang terganggu kadang berfungsi dengan baik, kadang tidak dapat berfungsi, sehingga menyebabkan *Circuit Breaker* (CB) utama pada *incoming* Transformator 3 *trip*, hal ini merupakan hal yang tidak dikehendaki karena tujuh penyulang yang tidak mengalami gangguan ikut terganggu. Sehingga perlu dianalisa besarnya arus gangguan hubung singkat pada tiap-tiap penyulang. Metode yang dilakukan Analisa data-data transformator 3, data Trafo Arus (CT), data-data kabel pada tiap-tiap penyulang, kemudian data tersebut diolah hingga dapat digunakan untuk menganalisa arus gangguan hubung singkat. Analisa arus gangguan hubung singkat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu menggunakan analisa secara matematis dan menggunakan aplikasi microsoft Program Excel.

Evril Nursukma Kartinisari, I.G.N Satriyadi Hernanda dan Dimas Anton Asfani (2014) dalam jurnalnya yang berjudul Analisis Pengaruh Kegagalan Proteksi dan Koordinasi *Relay* Terhadap Indeks Keandalan Subsistem Transmisi 150kV Di Surabaya Selatan, menjelaskan bahwa sistem tenaga harus bisa menyalurkan tenaga listrik meskipun gangguan terjadi. Kegagalan dari sistem proteksi merupakan salah satu penyebab padamnya suatu aliran listrik. Maka untuk menjaga kontinuitas daya, setting dari *Relay* harus tepat. Pada penelitian ini membahas tentang algoritma berbasis simulasi Monte Carlo untuk mendapatkan nilai indeks keandalan dari koordinasi *Relay* arus lebih yang berbeda beda berdasarkan pada pengaturan waktu pada masing-masing *Relay* arus lebih. Indeks

keandalan yang digunakan antara lain SAIFI, SAIDI, CAIDI. Metode Monte Carlo ini merupakan suatu prosedur simulasi untuk memperoleh indeks keandalan dengan menggunakan pembangkitan bilangan acak dan disimulasikan melalui program yang disusun di Matlab. Hasil yang diperoleh dari simulasi Monte Carlo, yaitu penentuan gangguan pada suatu line untuk mengetahui *Relay* arus lebih yang bekerja kemudian menentukan indeks keandalan pada konsumen yang parameternya berasal dari jumlah laju kegagalan dan laju perbaikan dari line dan transformator. Pada sistem yang terhubung secara ring, hasil running simulasi ETAP hanya menghitung kegagalan pada transformator saja dan hasil SAIFI 0,013 dan SAIDI 0,1819. Sedangkan pada simulasi Monte Carlo dengan menentukan gangguan pada line dengan pembangkitan bilangan acak pada iterasi ke 2000 diperoleh nilai SAIFI 0,0139 dan SAIDI 0.8032.

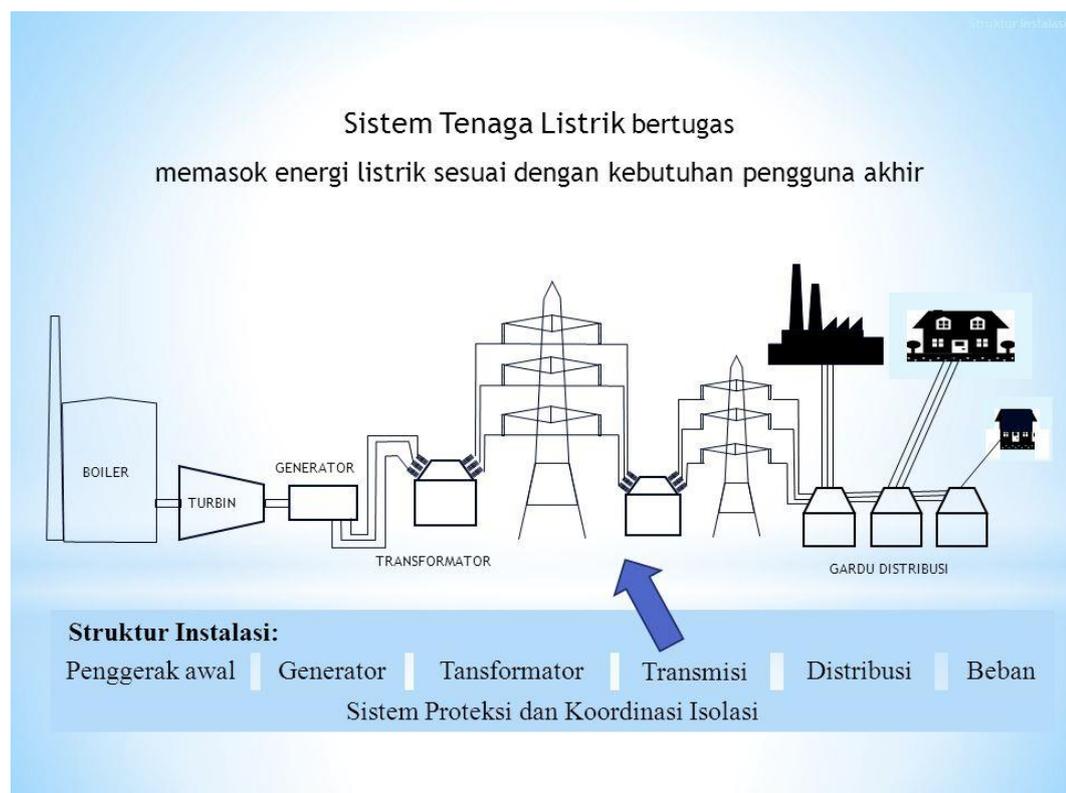
Ahmad Djailani (2018) dengan judul Analisis Koordinasi Proteksi Penyulang 20 kV dan Proteksi Pelanggan Khusus Tegangan Menengah Pada Gardu Induk Bantul telah dilakukan penelitian dengan membandingkan nilai *setting relay* yang ada di Gardu Induk Bantul dengan nilai *setting relay* yang dihitung secara manual, hasil yang didapatkan tidak terlalu signifikan sehingga dengan menggunakan *setting relay* saat ini gangguan-gangguan yang terjadi di Gardu Induk Bantul masih dapat teratasi dan masih layak digunakan.

Khalik Al Ridha (2016) melakukan penelitian terhadap Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) dan Gangguan Tanah (GFR) pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru. Dari penelitian ini diketahui bahwa hasil perhitungan dan data yang ada dilapangan tidak terdapat selisih yang jauh sehingga peralatan proteksinya bisa dibilang sudah baik. Dengan menggunakan metode perhitungan dan perbandingan didapatkan beberapa kondisi pada setting relay ocr dan gfr disisi *incoming* yang sebaiknya direset ulang karena nilai setting yang digunakan sudah tidak sesuai lagi. Nilai setting yang ada dilapangan memiliki waktu kerja yang terlalu lama sehingga dikhawatirkan ketika terjadi gangguan disisi *incoming* relay tersebut terlambat untuk memutuskan gangguan.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan suatu komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban, yang dihubung-hubungkan sehingga membentuk suatu sistem.



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik

2.2.1.1. Komponen-komponen Sistem Tenaga Listrik

A. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang fungsinya membangkitkan energi dengan mengubah sumber energy lain menjadi energi listrik. Sumber energi dapat berupa air, angin, surya, bahan bakar minyak, batu bara dan lain-lain. Dari setiap pembangkit mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda-beda, sehingga penggunaannya pun disesuaikan dengan

kepentingannya. Biasanya pembangkit tenaga listrik digolongkan berdasarkan prinsip kerja dan sumber energi yang digunakan.



Gambar 2.2 Contoh Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit non termis

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Termis

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

Komponen-komponen Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik juga memiliki beberapa komponen pokok yang berperan penting guna menghasilkan energi listrik yang memenuhi kebutuhan pelanggan, yaitu:

1. Penggerak mula, yang mana fungsinya adalah menghasilkan energi gerak dari putaran poros yang digunakan untuk memutar generator.
2. Generator yang berfungsi sebagai pengubah energi gerak menjadi energi listrik yang siap dikirimkan ke pusat beban.
3. Gardu induk yang berfungsi sebagai pengatur pengiriman energi dan penyesuaian level tegangan.

B. Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai dengan pusat beban. Yang mana fungsinya sebagai pengirim energi listrik dari pembangkit ke pusat beban.



Gambar 2.3 Contoh Saluran Transmisi

Macam-macam saluran transmisi yang digunakan, yaitu:

1. Saluran Udara, yang terdiri dari kawat atau konduktor tanpa isolasi yang digantung dengan ketinggian tertentu pada tower dengan isolator.
2. Saluran Bawah Tanah yang ditanamkan dibawah permukaan tanah dengan kedalaman tertentu.

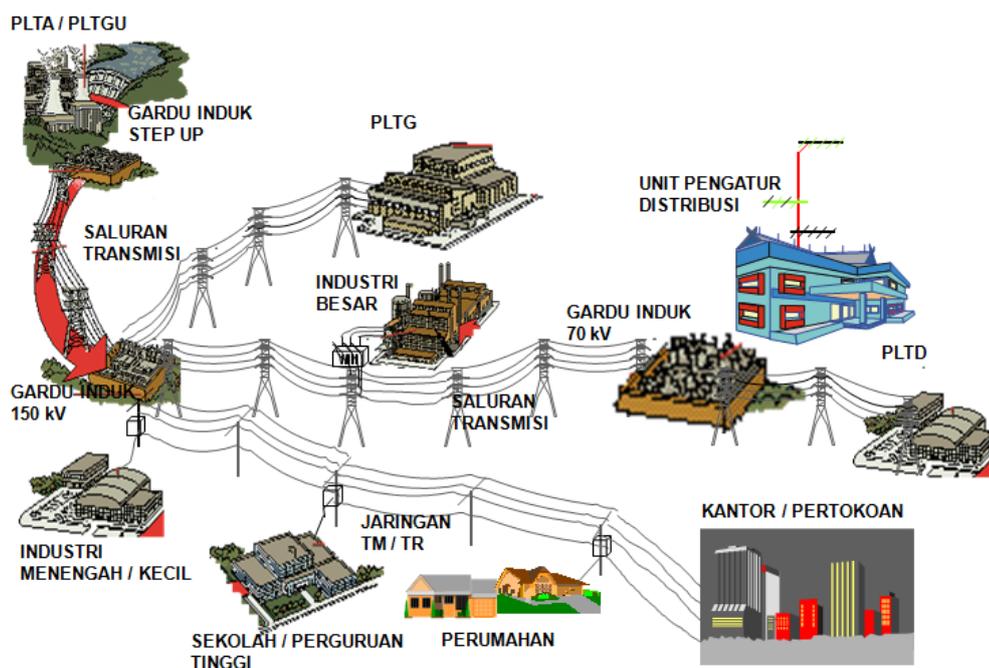
- Saluran Bawah Laut yang terdiri dari konduktor berisolasi yang diletakkan di dasar laut.

Saluran transmisi digunakan untuk mengirimkan daya listrik yang jaraknya relatif jauh. Saluran yang banyak digunakan adalah saluran udara, karena lebih ekonomis. Dari biaya pembangunan saluran udara lebih murah karena tidak menggunakan konduktor berisolasi. Biasanya saluran bawah tanah dan saluran bawah laut digunakan untuk penyaluran antar pulau yang tidak dapat dijangkau dengan saluran udara.

C. Saluran Distribusi

Saluran distribusi adalah sebuah saluran yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke pelanggan melalui media konduktor. Yang mana saluran ini memiliki beberapa fungsi, yaitu:

- Membagi atau menyalurkan tegangan listrik ke beberapa tempat /pelanggan.
- Bagian dari sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat beban (pelanggan) dilayani melalui saluran distribusi (jaringan distribusi).



Gambar 2.4. Saluran Distribusi

Ruang lingkup yang dicakup saluran distribusi atau jaringan distribusi sendiri, yaitu:

1. Saluran Utama Tegangan Menengah (SUTM) yang terdiri dari: Tiang dan peralatan perlengkapannya, termasuk peralatan proteksi dan pemutus.
2. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) yang terdiri dari: Kabel tanah, indoor dan outdoor termination dll.
3. Gardu Transformator yang terdiri dari: Transformator, arrester, kabel-kabel, pipa pelindung dll.
4. Saluran Utama Tegangan Rendah dan Saluran Kabel Tegangan Rendah yang komponennya sama dengan SUTM dan SKTM namun berbeda dimensi/ukurannya.

Adapun klasifikasi saluran distribusi yang didasari oleh besar kecil nilai tegangan yang digunakan, yaitu:

1. Saluran distribusi primer yang mana terletak pada sisi primer trafo distribusi yaitu antara titik sekunder transformator gardu induk dengan titik primer transformator distribusi. Saluran ini termasuk tegangan menengah 20 kV. Pada jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan bisa disebut jaringan distribusi.
2. Saluran distribusi sekunder yang terletak pada sisi sekunder transformator distribusi yaitu pada titik sekunder dengan titik cabang menuju beban.

Jaringan yang digunakan pada sistem distribusi terdiri dari:

1. Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan saluran yang hanya memiliki satu saluran (*line*) dan tidak memiliki alternative saluran lainnya, atau dari titik sumber ditarik secara radial dan kemudian dicabang-cabang menuju titik-titik beban yang dilayani. Bentuk saluran ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan.

Kelebihan dan kekurangan dari saluran distribusi radial ini, yaitu:

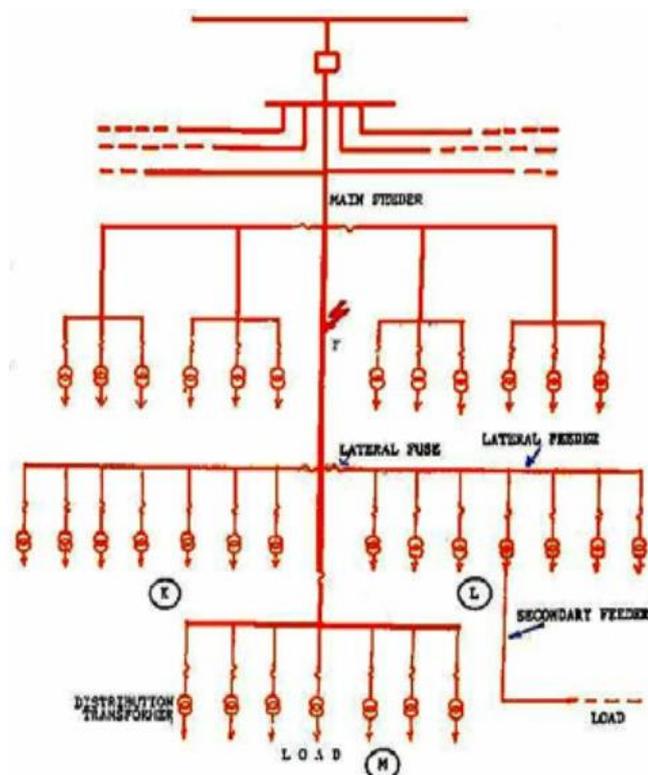
- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasi yang relatif murah.

- c. Namun kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya relatif besar.
- d. Kontinuitas dari pelayanan dayanya tidak terjamin, sebab titik sumber dan titik beban hanya ada satu saluran (*line*) sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka tidak ada yang *back-up* saluran tersebut.

Bentuk jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa modifikasi, antara lain:

- a. Jaringan Radial tipe Pohon (*Tree*)

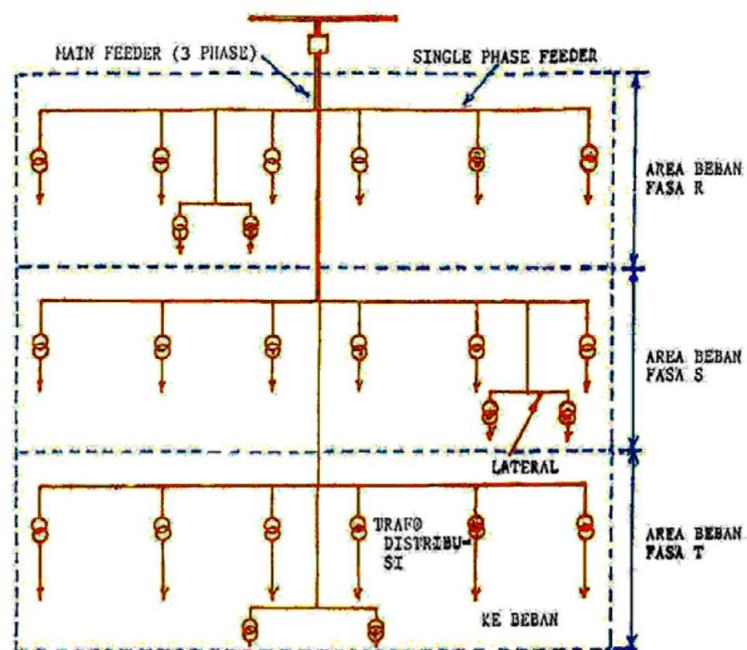
Bentuk jaringan radial dari tipe pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar yang mana satu saluran utama ditarik berdasarkan kebutuhannya, yang selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (*lateral penyulang*) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran. Ukuran penyulang utama memiliki saluran yang paling besar kemudian penyulang lateral yang lebih kecil dari penyulang utama dan sub lateral yang memiliki saluran terkecil.



Gambar 2.5. Saluran Radial tipe Pohon (*tree*).

b. Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

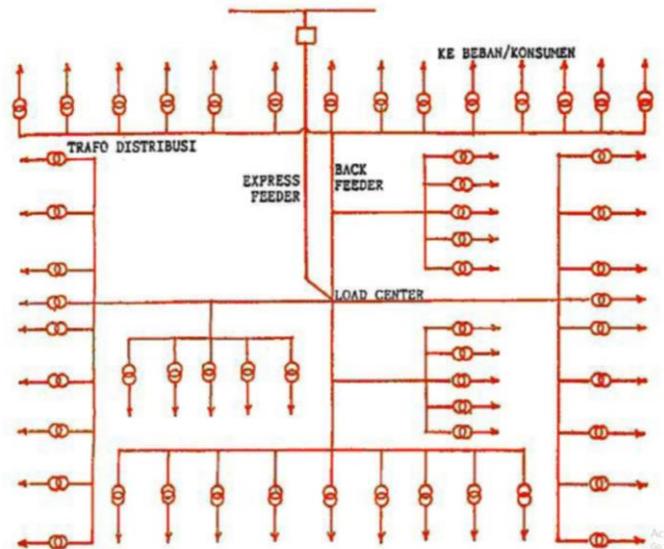
Jaringan tipe ini merupakan modifikasi dari jaringan radial dengan tambahan *tie* dan *switch* pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi pelanggan, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak tergantung pelayanan bagi penyulang yang bersangkutan dengan penyulang sekitar. Dengan demikian penyulang yang mengalami gangguan dapat dilokalisir, dan bagian penyulang lainnya yang “sehat” segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas *switch* yang terhubung ke titik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang disekitarnya.



Gambar 2.6. Saluran Radial tipe *Tie* dan *Switch*

c. Jaringan Radial dengan tipe Pusat Beban

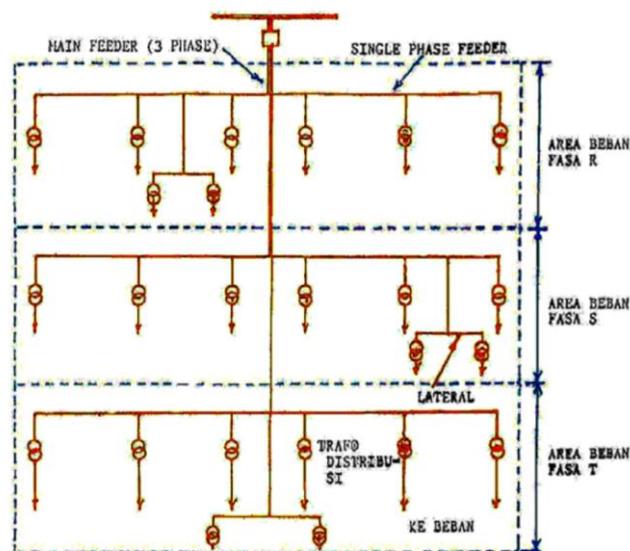
Jaringan bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut “*express feeder*” langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan “*back feeder*” secara radial.



Gambar 2.7. Saluran Radial tipe Pusat Beban.

d. Jaringan Radial dengan tipe Phase Area

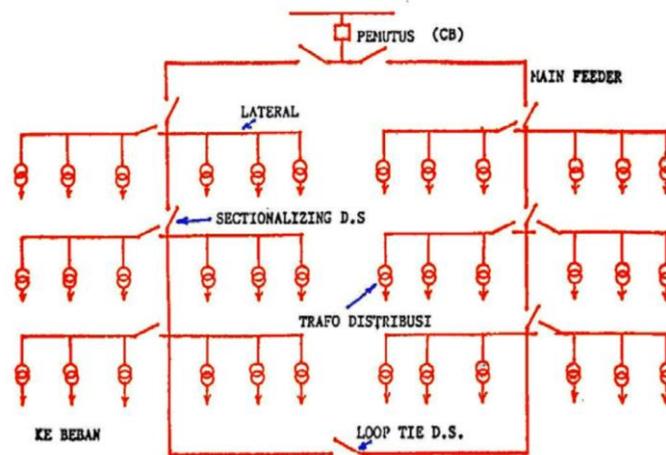
Saluran Radial pada tipe ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas untuk melayani daerah yang berbeda. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang (simetris) bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum tetap pembagian bebannya. Karena itu tipe ini hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan ataupun pembagian bebannya dapat diatur secara merata dan simetris pada setiap fasanya.



Gambar 2.8. Saluran Radial tipe Phase Area

2. Saluran Distribusi Ring (*Loop*)

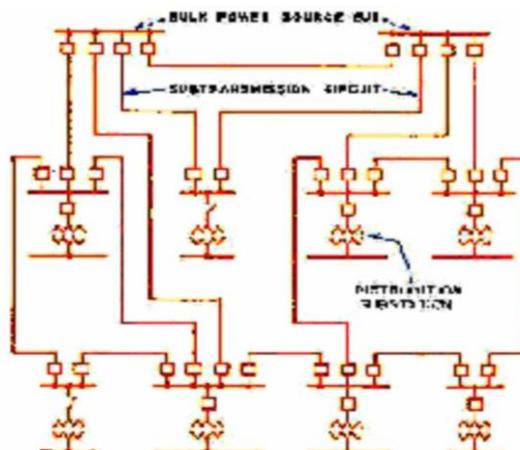
Saluran tipe ini memiliki dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber. Saluran tipe ini merupakan bentuk tertutup, atau juga disebut bentuk jaringan “*loop*”. Susunan rangkaian penyulang bentuk ring/*loop*, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanannya lebih terjamin, serta kualitas dayanya lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.9. Saluran Distribusi Ring “*Loop*”

3. Saluran Distribusi Jaring-jaring (*Net*)

Saluran distribusi jaringan-jaringan ini merupakan gabungan dari beberapa saluran mesh, dimana terdapat lebih dari satu sumber sehingga berbentuk saluran interkoneksi. Saluran berbentuk jaring-jaring, kombinasi antara radial dan loop.



Gambar 2.10. Saluran Distribusi Jaring-jaring (*Net*)

Titik beban ini memiliki lebih banyak alternatif saluran, sehingga ketika salah satu saluran terjadi gangguan, dengan segera dapat *diback-up* dengan saluran yang lainnya. Dengan demikian kontinuitas saluran daya sangat terjamin.

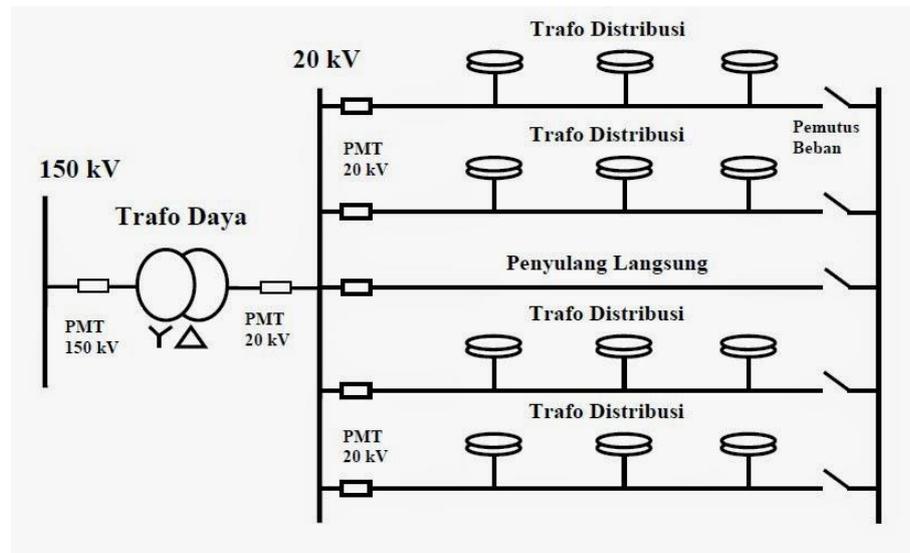
Spesifikasi dari saluran distribusi jaring-jaring ini adalah :

1. Kontinuitas penyaluran daya terjamin.
2. Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran sangat kecil.
3. Lebih fleksibel dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban dari pada bentuk lain.
4. Namun dalam perencanaannya terbilang rumit
5. Memerlukan biaya investasi yang besar
6. Diperlukan tenaga-tenaga yang terampil dalam pengoperasiannya.

Dengan spesifikasi yang ada bentuk ini cocok untuk melayani daerah beban yang memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan sebagainya. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan jaring-jaring ini disebut juga jaringan “interkoneksi”.

4. Saluran Distribusi Spindel

Selain dari bentuk-bentuk dasar yang sudah ada dikembangkan juga bentuk-bentuk modifikasi, yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk yang populer adalah bentuk spindel, yang biasanya terdiri dari maksimal 6 saluran pada keadaan terbebani, dan satu saluran dalam keadaan kerja tanpa beban.



Gambar 2.11. Saluran Distribusi Spindel

Fungsi dari penyulang langsung (*express feeder*) dalam hal ini selain sebagai cadangan ketika terjadi gangguan pada salah satu saluran yang bekerja, juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi yang bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal memang penyulang langsung ini sengaja dioperasikan tanpa beban.

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik dapat ditinjau dari hal-hal berikut ini:

1. Kontinuitas Pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun karena hal-hal yang direncanakan. Biasanya, kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman, misalnya: instalasi militer, pusat pelayanan komunikasi, rumah sakit, dll.
2. Kualitas Daya yang baik, antara lain meliputi: kapasitas daya yang memenuhi, tegangan yang selalu konstan dan nominal, dan frekuensi yang selalu konstan (untuk sistem AC).
3. Perluasan dan Penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang.
4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban. Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya fokus pada kebutuhan beban sesaat, tetapi perlu diperhatikan pula secara teliti mengenai pengembangan beban

yang harus dilayani, bukan hanya dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi juga dalam hal perluasan daerah beban yang harus dilayani.

5. Kondisi dan Situasi Lingkungan. Faktor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk menentukan tipe sistem distribusi mana yang sesuai untuk lingkungan tersebut, misalnya tentang konduktornya, konfigurasi, tata letaknya, dsb. Termasuk pertimbangan segi estetika (keindahan) nya.
6. Pertimbangan Ekonomis. Faktor ini menyangkut perhitungan untung rugi ditinjau dari segi ekonomis, baik secara komersil maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

D. Gardu Induk

Gardu induk adalah sejumlah peralatan pemutus dan penghubung aliran arus dan transformator penaik/penurun tegangan yang dipasang antar dua komponen sistem tenaga listrik lainnya. Secara garis besar pada sistem tenaga listrik gardu induk dapat dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu gardu induk pembangkit dan gardu induk distribusi.

Gardu induk dapat dibedakan berdasarkan fungsi dan lokasi penempatannya, yaitu:

1. Berdasarkan Fungsi Tegangannya

- a. Gardu Induk Transmisi

Gardu induk transmisi adalah gardu induk yang dayanya didapatkan dari satuan transmisi atau sub-transmisi yang kemudian disalurkan ke daerah beban (industry, kota dan sebagainya) melalui saluran primer/transmisi. Gardu induk transmisi yang ada di Indonesia adalah tegangan tinggi sebesar 150 kV dan tegangan tinggi 30 kV.

- b. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi adalah gardu induk yang dayanya didapatkan dari gardu induk transmisi yang sudah diturunkan tegangannya melalui trafo tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, dan 6 kV) yang kemudian akan diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan pelanggan.

2. Berdasarkan Penempatannya

a. Gardu Induk Jenis Pasang Luar (*Outdoor Substation*)

Gardu induk jenis pasang luar ini terdiri dari peralatan tinggi pasang luar, misalnya Transformator, peralatan penghubung (*Switch Gear*) yang mempunyai alat control pasang dalam seperti meja penghubung (*Switch Board*).



Gambar 2.12. Gardu Induk Jenis Pasang Luar

Pada umumnya gardu induk jenis pasang luar ini banyak dipergunakan karena biaya konstruksinya yang murah serta pendinginannya lebih mudah namun memerlukan lahan yang luas.

b. Gardu Induk Jenis Pasang Dalam (*Indoor Substation*)

Gardu induk jenis pasang dalam dimana peralatannya dipasang didalam gedung atau diruang tertutup, meskipun ada sebagian kecil peralatannya yang terpasang diluar.



Gambar 2.13. Gardu Induk Jenis Pasang Dalam

Secara garis besar gardu induk ini digunakan dipusat kota, biasa digunakan untuk menghindari kebakaran ataupun gangguan suara. Namun untuk biaya konstruksinya terbilang sangat mahal.

c. Gardu Induk Setengah Pasang Luar (*Combine Outdoor Substation*)

Gardu induk jenis ini dapat juga dikatakan gardu induk setengah pasang dalam yang mana sebagian dari peralatannya terdapat di dalam ruangan dan di luar ruangan.



Gambar 2.14. Gardu Induk Pasang Setengah Luar

Gardu induk jenis ini bermacam-macam bentuknya dengan berbagai pertimbangan yang sangat ekonomi serta untuk mencegah kontaminasi garam.

d. Gardu Induk Jenis Pasang Bawah Tanah (*Under Ground Substation*).

Gardu induk jenis ini sebagian besar berada di pusat kota yang disebabkan oleh tanah yang tidak memadai. Biasanya alat pendinginnya terletak diatas tanah.

e. Gardu Induk Jenis Mobil (*Mobile Substation*)

Gardu induk mobil dimana peralatannya ditempatkan diatas *Trailer*. Biasanya gardu ini digunakan ketika terjadi gangguan disalah satu gardu lainnya guna mencegah terjadinya beban lebih dan juga biasanya digunakan pada pemakaian sementara di lokasi pembangunan tenaga listrik. Gardu ini tidak dapat dikatakan gardu utama melainkan sebagai gardu cadangan (sebagai penghubung yang dapat berpindah-pindah).

Pada sebuah gardu induk tentunya terdapat peralatan yang penting guna terbentuknya suatu sistem gardu induk, peralatan-peralatan di gardu induk tersebut antara lain:

1. Transformator utama yang berfungsi untuk menaikkan/menurunkan tegangan.
2. Peralatan penghunbung yang berfungsi sebagai pemutus arus dan pemisah arus.
3. Panel hubung dan trafo pengukuran seperti trafo arus dan trafo tegangan.
4. Peralatan perlindungan contohnya seperti arester dan pentanahan.
5. Bangunan Sipil seperti tower, ruang kontrol dan ruang staf.

E. Transformator

Transformator atau trafo adalah sebuah peralatan statis yang rangkaian magnetik dan belitannya terdiri dari 2 atau lebih, secara induksi elektromagnetik, menntransformasikan daya (arus dan tegangan) system AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2011). Trafo sendiri

menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum hokum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi pengubah tegangan listrik bolak-balik agar memperoleh tegangan yang diinginkan (lebih besar atau lebih kecil).

Trafo tenaga adalah suatu peralatan yang fungsinya sebagai penyalur tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Sedangkan trafo tegangan yang berfungsi sebagai penaik tegangan disebut trafo *step up* dan trafo untuk penurun tegangan disebut trafo *step down*.

Ada 2 jenis transformator yang digunakan, yaitu:

1. Transformator Tegangan (Trafo PT)

Trafo tegangan adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo satu fasa *step down* yang mentransformasi tegangan pada jaringan tegangan tinggi ke tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, relay, dan alat sinkronisasi.

Pada penggunaan tegangan di atas 1 kV trafo PT ini digantikan oleh CVT. *Capacitive Voltage Transformer (CVT)* atau Transformator Tegangan Kapasitif adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator satu fasa *step down*. CVT dipilih karena dapat lebih ekonomis untuk membuat pembagi tegangan kapasitif daripada membuat transformator dengan belitan tegangan tinggi.

2. Transformator Arus (Trafo CT)

Trafo arus adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi atau tegangan menengah. Disamping untuk pengukuran arus, trafo CT juga digunakan untuk pengukuran daya dan energy, pengukuran jarak jauh, dan *Relay* pengaman.

Dalam menentukan besaran transformator yang cocok untuk digunakan pada sebuah jaringan maka dibutuhkan persamaan matematis seperti dibawah ini:

$$\text{Daya Nyata} = \frac{\text{Daya Aktif (p)}}{\cos \phi (\varphi)}$$

$$\text{Kapabilitas Trafo} = \frac{\text{Daya Nyata (S)}}{\text{Efisiensi Trafo}} \times \text{demand factor}$$

Pada inti besi dan kumparan-kumparan trafo akan mengalami panas yang disebabkan oleh rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga, jika panas tersebut mengalami kenaikan suhu yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan isolasi yang terdapat pada transformator. Untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut, trafo membutuhkan alat atau sebuah sistem pendingin yang fungsinya untuk menyalurkan panas keluar dari trafo tersebut.

Media-media yang bisa dipakai pada sistem pendingin pada trafo ini adalah, sebagai berikut:

1. Udara/Gas
2. Minyak
3. Air

Dan untuk cara pengalirannya (sirkulasi) dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Alamiah (Natural)
2. Tekanan/Paksaan

2.2.2. Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengisolir, memisah dan memutus saluran listrik jika terjadi gangguan pada suatu saluran. Sistem proteksi juga bisa disebut sebagai sistem pengaman saluran, yang mana pengaman tersebut dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Pengaman Utama

Pengaman utama merupakan pengaman yang berperan sangat penting dalam menjaga instrumen yang akan dilindungi, dan dia merupakan sistem proteksi utama. Yang mana pengaman utama dituntut untuk bekerja secara cepat ketika terjadinya suatu gangguan pada sistem kelistrikan, karena apabila terjadi keterlambatan pada saat pemutusan dapat berakibat fatal yang mana bisa merusak keseluruhan dari komponen-komponen yang mendapat gangguan.

2. Pengaman cadangan

Sedangkan pengaman cadangan merupakan pengaman yang disiapkan setelah pengaman utama yang mana bekerja ketika terjadi kegagalan pada pengaman utama, pengaman cadangan dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

- a. *Local Back-Up* yang mana pengaman cadangan diletakkan pada satu tempat dengan pengaman utama.
- b. *Remote Back-Up* pengaman yang diletakkan ditempat yang berbeda dari pengaman utama.

Adapun fungsi dari sistem proteksi ini sendiri, yaitu:

1. Untuk menghindari dan mengurangi kerusakan pada peralatan listrik akibat terjadinya gangguan. Semakin cepat sistem proteksi bekerja terhadap gangguan maka semakin kecil pula terjadinya kerusakan peralatan listrik.
2. Untuk memberikan pelayanan listrik yang andal pada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
3. Untuk mengamankan manusia maupun makhluk hidup lainnya terhadap bahaya yang akan ditimbulkan ketika terjadi gangguan.

2.2.2.1. Komponen-komponen sistem proteksi

A. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga/daya (PMT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pemutus hubungan antara sisi sumber tenaga listrik dan sisi beban yang bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan ataupun secara manual ketika dilakukannya perawatan.

B. *Circuit Breaker* (CB)

Circuit Breaker atau CB adalah peralatan pemutus tenaga yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik pada kondisi terhubung beban secara langsung dan aman, baik ketika kondisi normal maupun pada saat terjadinya gangguan. Berdasarkan media pemutus/pemadam busa api, terdapat 4 jenis *circuit breaker*, yaitu *Air Circuit Breaker* (ACB) yang menggunakan media udara, *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) dengan media vakum, *Gas Circuit Breaker* (GCB) dengan media gas SF₆ dan *Oil Circuit Breaker* (OCB) yang menggunakan media berupa minyak.

Peralatan pemutus daya memiliki syarat khusus yang harus dipenuhi agar dapat menjadi peralatan pemutus daya yang dapat bekerja dengan baik atau handal. Peralatan mampu menyalurkan arus maksimum secara kontinu, serta mampu memutus jaringan dalam keadaan berbeban ataupun dalam keadaan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya tersebut, dan juga dapat memutuskan arus hubung singkat secara cepat.

C. Penutup Balik Otomatis (*Automatical Circuit Recloser*)

Penutup balik otomatis atau yang biasa disebut *Recloser* adalah alat pengaman arus lebih yang waktunya dapat diatur secara otomatis kapan harus memutus dan menutup kembali, terutama untuk menghindari dari gangguan yang bersifat *temporer* (sementara). *Recloser* sendiri dilengkapi dengan indikasi arus lebih, pengatur waktu operasi, serta penutup otomatis. *Recloser* didesain agar dapat membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/*lock out*, sesuai dengan pemrogramannya setelah melalui beberapa kali operasi buka tutup. Jika gangguan bersifat permanen *recloser* akan membuka kontak kontaknya secara tetap dan terkunci/*lock out*. Apabila gangguan telah hilang maka *recloser* dapat ditutup kembali.

D. Relay Proteksi

Relay proteksi merupakan suatu piranti, baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk mendeteksi suatu kondisi ketika terjadi keabnormalan pada peralatan listrik yang dapat membahayakan atau tidak diinginkan, jika terdeteksi bahaya maka *relay* proteksi harus memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar saluran yang terjadi gangguan dapat dipisahkan dari sistem yang tidak mengalami gangguan secepat mungkin.

Relay proteksi yang terdapat pada sistem proteksi merupakan komponen utama yang dapat mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada suatu sistem, *relay* akan bekerja otomatis dengan memberikan sinyal pada CB untuk memutuskan saluran dari gangguan sebelum masuk kekomponen-komponen lain. *Relay* memiliki beberapa standar keandalan yang dapat menjadi pemutus yang baik, diantaranya adalah :

1. Sensitivitas

Kemampuan dimana *relay* dapat mengambil tindakan/memutuskan secara cepat ketika adanya sinyal gangguan pada sebuah saluran/jaringan.

2. Selektivitas

Pengkoordinasian yang baik pada sistem yang mana ketika terjadi gangguan *relay* dapat memutuskan bagian yang diperlukan saja sehingga tidak memutuskan keseluruhan dari jaringan.

3. Keamanan

Kemampuan yang mana *relay* hanya bekerja ketika terjadinya gangguan saja, sehingga jika tidak adanya gangguan *relay* tidak akan bekerja/siaga.

4. Kecepatan

Kecepatan pemutusan dari *relay* bekerja sangat baik yang mana saat terjadinya gangguan pada sistem *relay* akan memerintahkan pemutus untuk memutuskan saluran sehingga tidak terdapat kerusakan pada komponen yang lain.

Dengan syarat keandalan pada *relay*, maka *relay* dituntut untuk bekerja sangat baik sebagai pemutus disaat terjadinya gangguan dan tetap siaga ketika keadaan normal. *Relay* pengamanan mengetahui gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan cara mengukur atau membandingkan besaran yang telah ditentukan besarannya, seperti arus, tegangan, daya, sudut fasa, dan lain sebagainya sesuai besaran yang telah ditentukan.

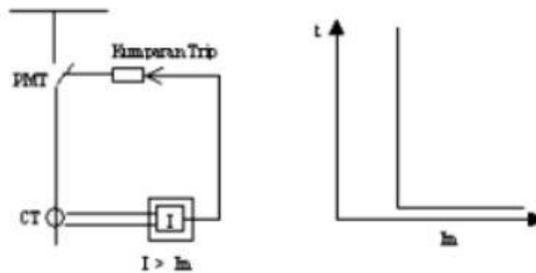
Pada prinsipnya, *relay* proteksi memiliki 3 fungsi utama, yaitu:

1. Merasakan adanya ketidak normalan/gangguan yang terjadi pada sebuah sistem jaringan.
2. Mengukur besarnya gangguan yang terjadi.
3. Memerintahkan pemutus tenaga untuk mengambil tindakan ketika terjadinya gangguan sehingga gangguan tidak meluas.

Jenis-jenis *relay* berdasarkan karakteristik waktu, yaitu:

1. *Relay* Arus Lebih (*instanneous relay*)

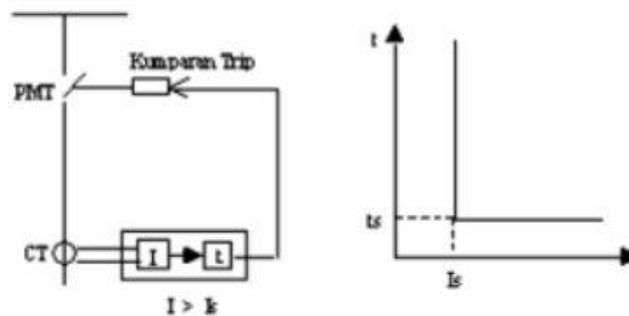
Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) yang mana ketika arus yang mengalir lebih dari nilai *settingnya*, maka *Relay* akan bekerja seketika dalam waktu beberapa mili detik (10-20 ms). *Relay* bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi gangguan.



Gambar 2.15. Instaneous *Relay*

2. *Relay* Arus Lebih Tertentu (*definite time relay*)

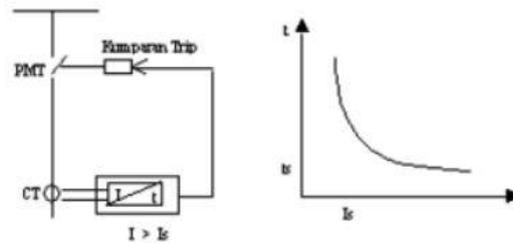
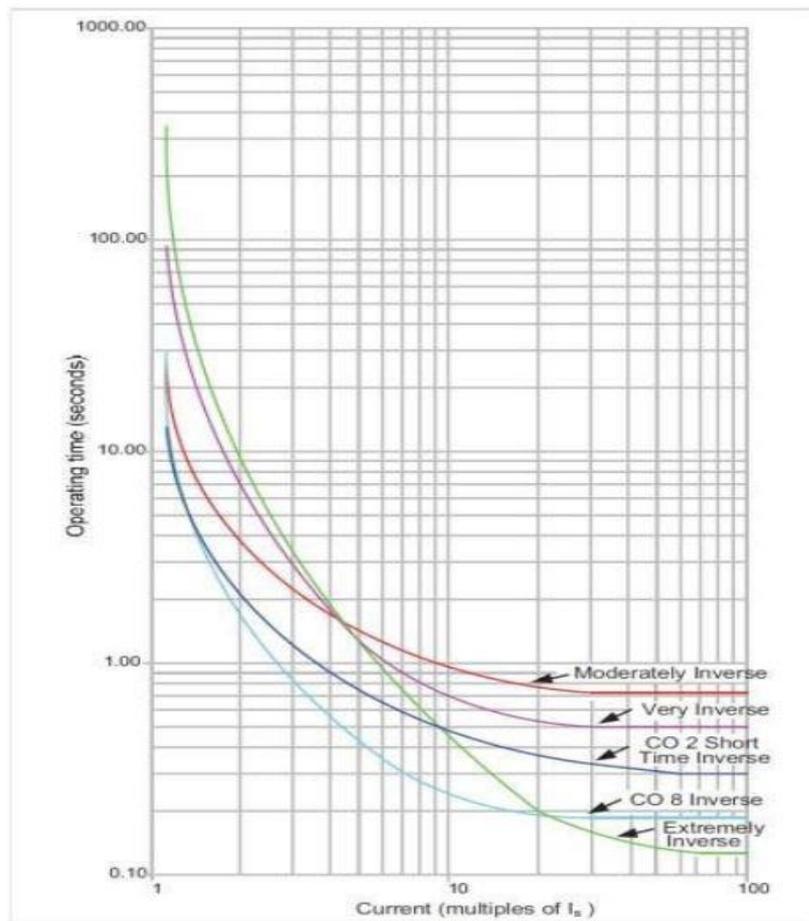
Relay ini akan bekerja dan memberikan perintah ke PMT ketika terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus melebihi nilai *settingnya* (I_s), dan jangka waktu kerja *Relay* mulai *pick-up* sampai kerja *Relay* diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus gangguan yang dilewati.



Gambar 2.16. *Definite Time Relay*

3. *Relay* Arus Terbalik (*inverse time relay*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja *Relay* akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja *Relay*.

Gambar 2.17. *Inverse Time Relay*Gambar 2.18. Karakteristik *Inverse Time Relay*

E. Proteksi Transformator/Trafo pada Gardu Induk

Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian yang baik/normal sekaligus untuk mengamankan bagian lainnya yang tidak mengalami gangguan sehingga tidak mengakibatkan kerugian yang lebih besar. Proteksi pada trafo tenaga umumnya menggunakan *Relay Diferensial* dan *Restricted Earth Fault (REF)* sebagai proteksi utamanya. Sedangkan untuk proteksi cadangannya menggunakan *Relay Arus Lebih*

(OCR) dan *Relay* Gangguan ke Tanah (GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SBEF) umumnya hanya digunakan pada trafo dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Pada umumnya skema dari proteksi disesuaikan dengan kebutuhan. Proteksi internal terdapat di dalam trafo terdiri dari: *Relay Bucholtz* sebagai proteksi utama, *Relay Tekanan Lebih/Suden Pressure*, *Relay Jansen*, dan *Relay Thermal* sebagai proteksi *back-up*. Sedangkan proteksi eksternalnya terdapat diruang panel yang terdiri dari: *Relay Diferensial* sebagai proteksi utama, *Relay Restricted Earth Fault* (REF), dan *Relay Arus Lebih* (OCR) atau *Relay Gangguan ke Tanah* (GFR) sebagai proteksi *back-up*.

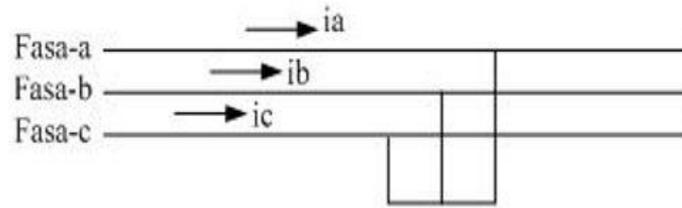
2.2.3. Hubung Singkat

Hubung singkat adalah gangguan yang terjadi ketika penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan saling terhubung secara langsung tidak melalui media (resistor/baban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar) pada sebuah saluran. Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran 3 fasa. Meskipun komponen peralatan listrik selalu diisolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun hal ini tidak dapat dihindarkan karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab lainnya, maka kekuatan dari isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang. Hal ini akan sangat mudah terjadinya gangguan hubung singkat.

Adapun beberapa gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fasa, yaitu:

1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa ini termasuk jenis gangguan simetris, yang mana arus maupun tegangan dari setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini hanya dapat dianalisis dengan menggunakan komponen positif saja.



Gambar 2.19. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Persamaan matematis gangguan hubung singkat 3 fasa seperti dibawah ini:

$$I_A = \frac{V_f}{Z_1}$$

Keterangan:

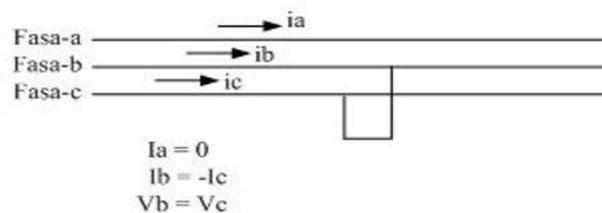
I_A = Arus pada Fasa A.

V_f = Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Pada gangguan hubung singkat 2 fasa yang mana 1 fasa saling terhubung dengan 1 fasa lainnya, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan terhubung ketanah.



Gambar 2.20. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Persamaan matematis gangguan hubung singkat 2 fasa:

$$I_{a1} = \frac{V_1}{Z_1 + Z_2}$$

Keterangan:

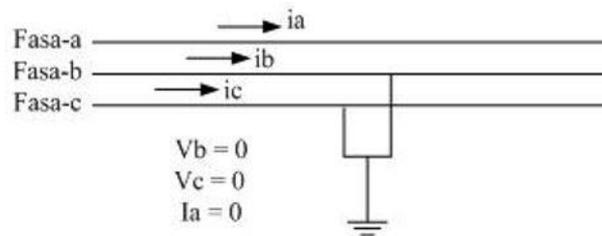
V_f = Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan.

3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah.

Pada gangguan 2 fasa ke tanah terjadi ketika 2 buah fasa terhubung dengan tanah/ground.



Gambar 2.21. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Persamaan matematis untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}}$$

Ketengaran:

V_f = Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.

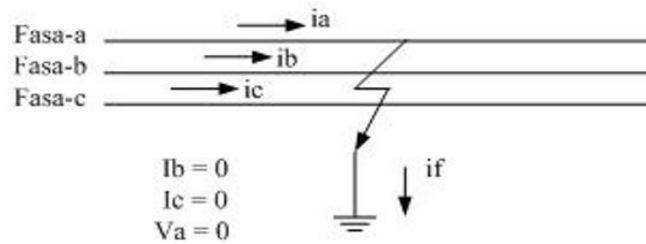
Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

$Z_1 - Z_2$ = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan.

4. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisis tegangan dan arus saat terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisis dengan menghubungkan-singkat semua sumber tegangan pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadi gangguan dititik tersebut.

Melalui metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.



Gambar 2.22. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Persamaan matematis gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, yaitu:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

Keterangan:

V_f = Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 = Impedansi urutan nol

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negative

2.2.4. Setting Relay dan Perhitungan

Untuk mendapatkan kehandalan yang baik *relay* harus disetting terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal tersebut dilakukan agar dapat disesuaikan dengan kondisi saluran yang ada pada sebuah sistem ataupun kondisi dari komponen-komponen lain yang terpasang pada sistem tersebut.

2.2.4.1. Over Current Relay (OCR)

Over Current Relay (OCR) atau yang biasa disebut *Relay Arus Lebih* digunakan untuk mendeteksi adanya arus lebih pada sebuah saluran/sistem, hanya dapat mendeteksi besar arus, bekerjanya lambat, dan konstruksi sederhana dengan harga relatif murah. Oleh karena itu proteksi ini digunakan pada sistem yang sederhana, dimana pelepasan gangguan dengan waktu lambat tidak mengganggu stabilitas sistem. Proteksi arus lebih banyak digunakan pada sistem distribusi primer dan sebagian pengamanan gangguan tanah.

Prinsip kerja dari *relay* arus lebih sendiri menggunakan cara pembacaan input besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting arus yang ada,

apabila nilai arus yang terbaca pada *Relay* melebihi nilai setting, maka *Relay* akan mengirimkan perintah *trip* (lepas) kepada PMT atau *circuit breaker* (CB) setelah waktu tunda yang diterapkan pada setting.

Sebagai contoh perbandingan arus dari prinsip kerja ocr dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1. Cara kerja *relay* pada nilai *setting*

Hasil Ukur	Nilai Setting	Keterangan	Perintah <i>Relay</i>
2000 A	2400 A	Tidak	Tetap On ke PMT
2600 A	2400 A	Melebihi	Trip ke PMT/CB

Cara kerja pada tabel 2.1 dapat diuraikan sebagai berikut:

Pada kondisi normal arus beban yang mengalir pada STUM/SKTM dan pada trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder, arus mengalir pada kumparan *Relay* namun karena arus yang masuk lebih kecil dari nilai setting *Relay* maka *Relay* tidak akan bekerja atau tetap siaga.

Pada saat terjadinya gangguan/hubung singkat nilai arus akan naik menyebabkan arus sekunder juga naik, ketika arus beban naik melebihi nilai setting yang diterapkan pada *Relay*, maka *Relay* akan bekerja dengan memberikan perintah trip ke PMT/CB sehingga saluran yang terganggu akan dipisahkan dari saluran yang lain.

2.2.4.2. Setting *Relay* Arus Lebih (OCR)

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan parameter arus yang besar dan terjadi dalam waktu yang sangat cepat, yang disebabkan oleh beberapa gangguan seperti hubung singkat. Untuk melakukan setting pada *relay* OCR terdapat beberapa tahapan yaitu, mencari data teknik trafo/spesifikasi trafo yang digunakan, mencari impedansi sumber dari teknik trafo, mencari impedansi penyulang pada setiap jarak tertentu, mencari arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa, menentukan setting waktu kerja *Relay* diambil dari sampel proteksi arus hubung singkat.

Rumus dasar yang digunakan adalah hukum Ohm

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

I = Arus hubung singkat

V = Tegangan sumber

Z = Impedansi dari sumber ke titik gangguan, impedansi ekuivalen.

Dari ketiga jenis gangguan, memiliki perbedaan persamaan yaitu terdapat pada :

1. Untuk gangguan hubung singkat 3 fasa (pu) menggunakan persamaan

$$I_{3fasa}(pu) = \frac{V_{ps}}{Z_{1eq}} = \frac{E_a}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

2. Untuk gangguan hubung singkat fasa ke fasa impedansi yang digunakan merupakan impedansi urutan positif dan negatif, nilai ekuivalen $Z_1 + Z_2$, dan tegangannya adalah E fasa-fasa.

$$I_{2fasa}(pu) = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{E_a}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

3. Untuk gangguan 1 fasa ke tanah impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif, urutan negatif, dan impedansi urutan nol, yang mana nilai ekuivalen $Z_1 + Z_2 + Z_0$, dan tegangannya adalah E fasa.

$$I_{1fasa-tanah}(pu) = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times E_a}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

Dengan :

$I_{3fasa}(pu)$ = Arus hubung singkat 3 fasa dalam pu (Per Unit).

$I_{2fasa}(pu)$ = Arus hubung singkat 2 fasa dalam pu (Per Unit).

$I_{1fasa-tanah}(pu)$ = Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dalam pu (Per Unit).

E_a = Tegangan fasa, fasa-fasa $\sqrt{3}$ dalam volt.

Z_1 = Impedansi urutan Positif rangkaian dalam Ω .

Z_2 = Impedansi urutan Negatif rangkaian dalam Ω .

Z_0 = Impedansi urutan Nol rangkaian dalam Ω .

E_q = Equivalent.

2.2.4.3. Ground Fault Relay (GFR)

Salah satu *Relay* hubung singkat yang dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) atau *Relay* Gangguan Tanah pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama

dengan *Relay* arus lebih (OCR) namun kegunaannya berbeda, bila *Relay* OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah, adapun perbedaannya terletak pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR yang biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR hanya memiliki 1 sensor arus (satu fasa).

Relay hubung tanah di trafo pada dasarnya menggunakan *Relay* arus lebih seperti yang digunakan pada hubung singkat antar fasa. Yang mana bila terjadi ketidak seimbangan arus atau terjadi gangguan fasa ke tanah, sehingga *Relay* di netral trafo akan bekerja.

Prinsip kerja dari *Relay* itu sendiri, yaitu:

Pada kondisi beban normal seimbang I_r , I_s , I_t sama besarnya, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan *Relay* hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidak seimbangan arus ketika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka timbul urutan nol pada kawat netral, sehingga *Relay* hubung tanah akan bekerja.

2.2.4.4. Setting Relay Hubung Tanah (GFR)

Pada setting *Relay* hubung tanah (GFR) untuk selektifitas dengan proteksi utama, fungsi high set tidak diaktifkan. Umumnya, *Relay* hubung tanah diset 10%-30% dari kemampuan arus nominal peralatan terkecil, tetapi harus tetap dipastikan bahwa *Relay* tersebut masih dapat bekerja pada arus hubung singkat 1 fasa ke tanah minimum. Namun, standard ini tidak dapat diterapkan pada selurus konfigurasi jaringan, sehingga perlu disesuaikan kembali dengan kondisi dilapangan. Untuk mensetting *Relay* pada sisi primer dan sekunder trafo tenaga harus terlebih dahulu menghitung nilai arus nominal trafo tenaga. Setting arus nominal untuk *Relay* baik sisi sekunder maupun primer trafo tenaga adalah sebagai berikut:

$$I_{set}(\text{prim}) = 0,2 \times I \text{ nominal trafo}$$

Nilai tersebut merupakan nilai primer, untuk mendapatkan nilai sekundernya maka harus dilakukan konversi ke sisi sekundernya agar dapat di setkan pada *Relay*. Cara mengkonversikannya harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder trafo tenaga.

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{set}(\text{prim}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

2.2.4.5. Perhitungan TMS

Pengaturan *Time Multiple Setting* (TMS) dan setelan waktu kerja *Relay* pada jaringan distribusi menggunakan standard *Invers*, yang dihitung menggunakan rumus waktu Vs arus, dalam hal ini juga diambil persamaan arus waktu dari standard *British*, sebagai berikut :

$$TMS = \frac{t_{set} \left[\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}} \right]^k - 1 \right]}{0,14}$$

Dimana:

t = Waktu trip/waktu kerja *Relay* (detik)

TMS = *Time Multiple Setting* (tanpa satuan)

I_{hs} = Besarnya arus gangguan hubung singkat (Ampere)

I_{set} = Besarnya arus setting sisi primer (Ampere)

K = Konstanta.

Perlu diketahui bahwa besarnya nilai konstanta berbeda-beda bergantung pada jenis yang dipakai pada *Relay*. Besar nilai konstanta dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2. Tetapan Nilai Karakteristik *Invers Time Relay*

Karakteristik	K	α
Standard Invers	0.14	0.02
Very Invers	13.5	1.00
Extremely Invers	80.0	2.00
Long Time Invers	120.0	1.00

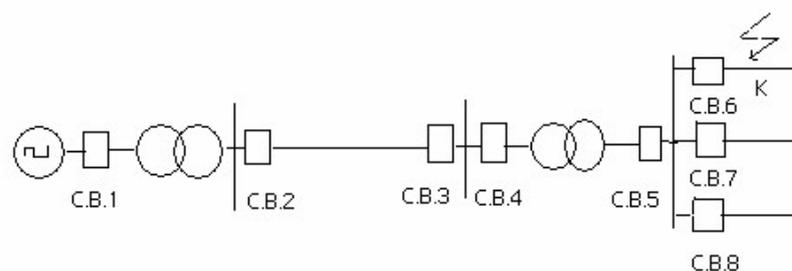
2.2.5. Koordinasi Proteksi

Koordinasi *Relay* proteksi merupakan koordinasi dari waktu kerjanya. Terdapat 2 tipe waktu kerja yang digunakan pada saat ini yaitu IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*) dan DT (*Definite Time*). Dari kedua tipe tersebut memiliki kegunaannya masing-masing. Umumnya IDMT digunakan untuk arus gangguan yang relative kecil (*low set*), sedangkan DT digunakan untuk arus gangguan yang besar (*high set*). Perbedaan dari keduanya terletak pada waktu kerja *Relay* terhadap

besar arus gangguan yang dirasakan *Relay* tersebut, pada IDMT fungsi waktu kerja terhadap besar arus gangguan digambarkan dalam bentuk invers, sedangkan DT waktu kerjanya tidak berpengaruh pada besar kecilnya arus gangguan. Pada dasarnya prinsip utama dari koordinasi sendiri adalah:

1. Peralatan pengaman pada sisi beban (hilir) harus dapat menghilangkan gangguan tetap atau sementara yang terjadi pada saluran, sebelum peralatan pengaman yang berada di sisi sumber (hulu) beroperasi untuk memutuskan saluran sesaat atau membuka terus.
2. Pemadaman terjadi akibat adanya gangguan tetap yang harus dibatasi sampai sekecil mungkin.

Sistem proteksi yang baik harus dapat memilih bagian mana yang akan diisolir terlebih dahulu ketika *Relay* mendeteksi adanya gangguan yang membahayakan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan bagian mana yang mengalami gangguan dan yang pada keadaan normal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal terjadi didalam atau diluar daerah proteksinya. Dengan demikian, tindakan yang diambil akan tepat dan akibatnya gangguan dapat diminimalisir sekecil mungkin.



Gambar 2.23. Koordinasi Proteksi

Dalam sistem tenaga listrik pada gambar 2.23. di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka C.B.6 yang akan bekerja sedangkan C.B yang lainnya tidak diperbolehkan untuk bekerja namun tetap dalam keadaan terjaga. Ketika ada gangguan dimana saja yang terlebih dahulu mengambil tindakan adalah C.B yang terdekat dari titik gangguan, sedangkan C.B lainnya menjadi *back-up* dari/pengaman cadangan, semakin jauh letak gangguan dari hulu, maka arus

gangguan akan semakin kecil, maka *Relay* di hulu akan bekerja lebih lama dari pada *Relay* yang ada didepannya ketika terjadi gangguan disisi hilir.

2.2.6. Analisis Menggunakan Software ETAP

2.2.6.1. Definisi ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* guna mensimulasikan sistem tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time*. Fitur yang terdapat didalamnya juga bermacam-macam yang dapat digunakan untuk menganalisis pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi hingga sistem distribusinya. ETAP yang awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat sekarang sudah dikembangkan hingga menjadi sistem monitor manajemen energy secara *real time*, simulasi, control, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat suatu proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pertahanan untuk berbagai analisis, seperti aliran daya, hubung singkat (*short circuit*), *starting motor*, *transient stability*, koordinasi proteksi *Relay* hingga harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit secara langsung dari diagram satu garis dan jalur sistem pertahanan. Untuk kemudahan dalam perhitungan hasil analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

ETAP *Power Station* dapat memudahkan untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line* diagram atau diagram satu garis. Perangkat lunak ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utamanya, yaitu:

1. *Virtual Reality* Operasi

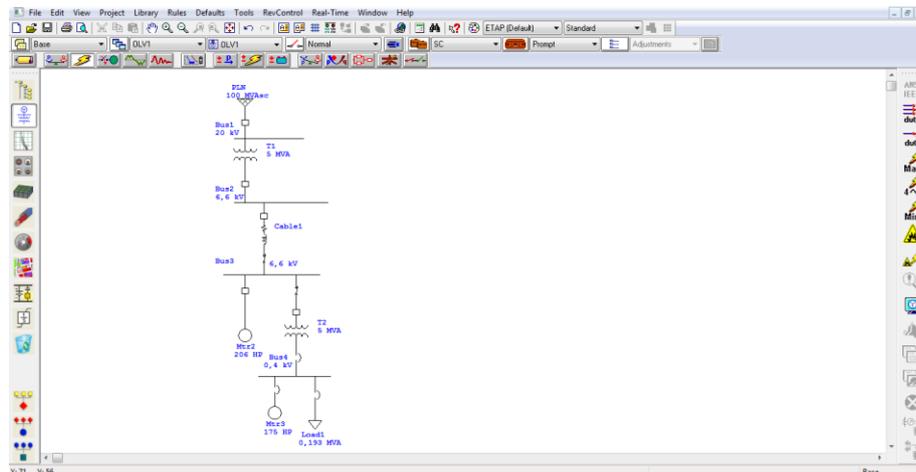
Sistem operasional yang ada pada program ini sangat mirip dengan sistem operasi yang ada pada *realnya*. Misalkan, ketika membuka atau menutup sebuah *circuit breaker*, mendapatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem yang ditunjukkan pada gambar diagram satu garis dengan warna abu-abu.

2. *Total Integration* Data

Etap *Power Station* menggabungkan informasi sistem *electrical*, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan kedalam database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya tetapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang dilewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data dari suatu kabel dapat digunakan untuk menganalisis aliran beban (*load flow analysis*) dan analisis hubung singkat (*short circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik *roating*.

3. *Simplicity in Data Entry*

Etap *Power Station* memiliki data yang *detail* pada setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses *entry* data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah disesuaikan dengan data yang berada dilapangan untuk berbagai jenis analisis atau desain.



Gambar 2.24. Desain *software* ETAP *Power Station*

Etap *Power Station* dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisis seperti *Load Flow* (aliran daya), *Unbalanced Load Flow* (aliran beban tidak seimbang), *Short Circuit* (hubung singkat), *Motor Starting*, harmonisa, *Transient Stability*, *Protective Device Coordination*, *Cable Derating*, dll.

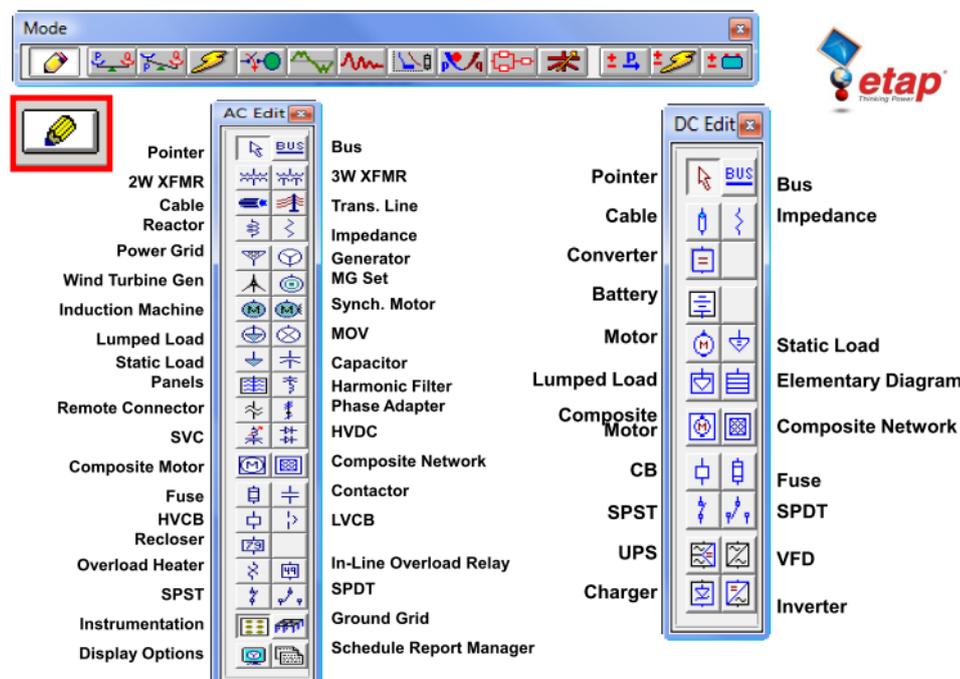
Etap *Power Station* juga menyediakan fasilitas *library* yang dapat mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat

ditambahkan dengan informasi peralatan bila diperlukan. Beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam bekerja dengan Etap *Power Station* adalah:

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

2.2.6.2. Elemen-Elemen Sistem Tenaga Listrik Pada ETAP *Power Station*

Pada suatu sistem tenaga listrik terdiri dari berbagai sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain, Data Generator, Transformator, Data *Load* (Beban), Pemutus Rangkaian, Bus/Busbar, Kawat penghantar.



Gambar 2.25. Elemen-elemen pada *software ETAP Power Station*

Program analisis aliran daya pada *software* Etap dapat menghitung tegangan pada setiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode penghitung aliran daya ini dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada Etap ada tiga, yaitu *Newton Rapson*, *Fast-Decouple* dan *Gauss Sedel* seperti yang telah diuraikan sebelumnya.



Gambar 2.26. *Toolbar Unbalanced Load Flow* di *ETAP Power Station*

Keterangan:

Gambar dari kiri ke kanan menunjukkan Tools aliran daya, yaitu:

1. *Run Unbalanced Load Flow* adalah icon toolbar aliran daya yang dapat menampilkan hasil perhitungan aliran daya dari sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram sat ugaris.
2. *Fault Insertion Open Phase A* adalah icon untuk membuat beban tak seimbang.
3. *Display Option* adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
4. *Alert View* adalah icon untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
5. *Report Manager* adalah icon untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk *report* yang dapat dicetak.