

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

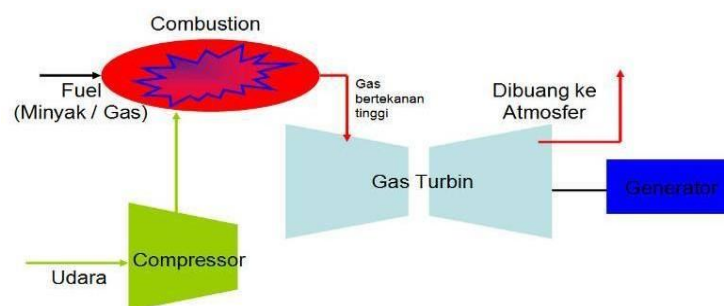
#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)<sup>5</sup>

##### 2.1.1 Pengertian

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan gas untuk memutar turbin dan generator. Turbin dan generator adalah dua benda dengan satu poros yang sama. Jadi, jika turbin berputar, secara otomatis generator pun ikut berputar. dan jika generator berputar, maka generator akan menghasilkan beda potensial pada medan magnetnya yang akan menghasilkan energi listrik.

##### 2.1.2 Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Gas

1. Kompresor Utama
2. Combustion Chamber
3. Turbin Gas (*gas turbine*)
4. Load Gear
5. Generator dan Exciter
6. Alat Bantu
7. Kontrol, Instrumentasi, dan Pengaman
8. Peralatan listrik, dll



**Gambar 2.1** Skema Pembangkit Listrik Tenaga Gas

<sup>5</sup> Djiteng Marsudi, *Pembangkit Energi Listrik*, Erlangga, 2011



### 2.1.3 Prinsip Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Prinsip kerja Pembangkit listrik tenaga gas adalah sebagai berikut. Mula-mula udara dimasukkan ke dalam kompresor dengan melalui air *filter*/ penyaring udara agar partikel debu tidak ikut masuk ke dalam kompresor tersebut. Pada kompresor, tekanan udara dinaikkan lalu dialirkan ke ruang bakar untuk dibakar bersama bahan bakar. Disini, penggunaan bahan bakar menentukan apakah bisa langsung dibakar dengan udara atau tidak. Jika menggunakan BBG, gas bisa langsung dicampur dengan udara untuk dibakar. Tapi jika menggunakan BBM harus dilakukan proses pengabutan dahulu pada burner baru dicampur udara dan dibakar. Pembakaran bahan bakar dan udara ini akan menghasilkan gas bersuhu dan bertekanan tinggi yang berenergi (*enthalpy*). Gas ini lalu disemprotkan ke turbin, hingga enthalpy gas diubah oleh turbin menjadi energi gerak yang memutar generator untuk menghasilkan listrik.

Setelah melalui turbin, sisa gas panas tersebut dibuang melalui cerobong/*stack*. Karena gas yang disemprotkan ke turbin bersuhu tinggi, maka pada saat yang sama dilakukan pendinginan turbin dengan udara pendingin dari lubang udara pada turbin. Untuk mencegah korosi akibat gas bersuhu tinggi ini, maka bahan bakar yang digunakan tidak boleh mengandung logam Potasium, Vanadium, dan Sodium yang melampaui 1 part per mill (ppm).

Turbin gas suatu PLTG berfungsi untuk mengubah energi yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi mekanis. Fluida kerja untuk memutar Turbin Gas adalah gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran.

Proses pembakaran memerlukan tiga unsur utama yaitu :

1. Bahan Bakar
2. Udara
3. Panas

Dalam proses pembakaran ini bahan bakar disuplai oleh pompa bahan bakar (fuel oil pump) apabila digunakan bahan bakar minyak, atau oleh kompresor gas



apabila menggunakan bahan bakar gas alam. Pada umumnya kompresor gas disediakan oleh pemasok gas tersebut. Udara untuk pembakaran diperoleh dari kompresor utama, sedangkan panas untuk awal pembakaran dihasilkan oleh ignitor (busi). Proses pembakaran dilaksanakan didalam *Combustion Chamber* (ruang bakar). Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar generator listrik, sehingga diperoleh energi listrik. Tentu saja untuk dapat berjalannya operasi PLTG dengan baik perlu dilengkapi dengan alat-alat bantu, kontrol, instrumentasi, proteksi, dan sebagainya.

## **2.2 Generator**

### **2.2.1 Pengertian Generator**

Generator listrik adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanik. Prinsip kerja dari generator listrik adalah induksi elektromagnetik. Berdasarkan jenis arus listriknya, generator dibagi menjadi generator arus searah dan generator arus bolak-balik. Perbedaan keduanya yaitu penggunaan komutator pada generator arus searah dan cincin selip pada generator arus bolak-balik. Proses kerja generator listrik dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tetapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tetapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apapun sumber energi mekanik yang lalu lalang.



### 2.2.2 Proteksi Generator

Proteksi terhadap suatu sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut terhadap kondisi abnormal dari sistem itu sendiri. Berikut adalah gangguan yang mungkin terjadi pada generator:

#### 1) Gangguan di luar generator

Adanya hubung pendek, mechanical stress pada gulungan stator. Jika mechanical stress sudah terdapat pada gulungan stator maka operasi selanjutnya akan memperparah kondisi gulungan, kenaikan temperature walaupun perlahan-lahan selama 10 detik akan menaikkan temperature ke kondisi yang membahayakan.

#### 2) *Thermal Loading*

Pembebanan yang berlebih pada generator akan mengakibatkan kenaikan temperatur gulungan stator (*overheating*) sampai isolasi menjadi rusak, sehingga usia pemakaiannya menjadi lebih pendek. Temperatur naik juga disebabkan oleh adanya kegagalan sistem pendingin.

#### 3) **Beban Tak Seimbang (*Unbalanced Loading*) = *Negative Phase Sequence***

Jika generator memikul beban tak seimbang terus menerus, atau arus yang diterimanya melebihi 10% dari rating arus, ini dapat menimbulkan bahaya pada rotor silinder dari generator.

#### 4) **Gangguan Belitan Stator**

Gangguan pada belitan stator akan mempengaruhi gulungan jangkar (armature). Dalam hal ini generator harus segera di shutdown. Yang termasuk gangguan stator adalah:

##### 1. Gangguan fase ke tanah

Gangguan ini umumnya terjadi di celah jangkar (*armature slot*)



2. Gangguan antar (inter) belitan stator

Hubung pendek antar belitan stator dalam satu coil dapat terjadi apabila stator terbuat dari multi turn coil.

5) **Gangguan Belitan Medan (*Field winding* atau Rotor)**

Gangguan rotor, termasuk gangguan antar gulungan rotor dan konduktor ke tanah umumnya disebabkan mekanikal atau temperature stress.

6) **Kehilangan Eksitasi (*Loss of Field*)**

Ini berakibat hilangnya sinkronisasi dan kecepatan naik sedikit. Penyebabnya karena terbukanya sakelar medan (*Field Circuit Breaker*). Kehilangan eksitasi dapat terjadi karena adanya hubung singkat atau circuit terbuka dalam circuit medan atau gangguan dalam AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

7) **Motoring of Generator (*Reverse Power*)**

Ini terjadi bila torsi penggerak (turbin gas) dikurangi sampai dibawah total kerugian (*losses*) generator atau di stop. Daya aktif (*active power*) akan ditarik dala jala-jala untuk mempertahankan sinkronisasi, dan generator bekerja sebagai rotor sinkron dengan turbin sebagai bebannya.

### 2.3 Dasar-Dasar Sistem Proteksi<sup>6</sup>

Sistem proteksi adalah pengaman listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, trafo tenaga, transmisi tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen). Jadi pada hakekatnya pengaman pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem

---

<sup>6</sup> Hazairin Samaulah, *Dasar-Dasar Proteksi Tenaga Listrik*, Universitas Sriwijaya, 2004



tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga.

Adapun macam-macam gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik seperti :

1. Gangguan beban lebih  
Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut.
2. Gangguan Hubung Singkat  
Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa), 2 fasa ketanah dan 1 fasa ketanah yang sifatnya bisa temporer atau permanen.
3. Gangguan tegangan lebih  
Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, seperti tegangan lebih karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik.
4. Ketidakstabilan  
Gangguan ini disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik atau lepasnya pembangkit, yang dapat menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron. Untuk mengurangi akibat-akibat negatif dari berbagai macam gangguan tersebut, maka diperlukan rele proteksi.

### **2.3.1 Daerah Sistem Proteksi**

Di dalam sistem proteksi tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/rele pengaman. Untuk mencapai hal ini, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah-daerah (zona) pengaman seperti berikut :

- a. Proteksi pada Generator
- b. Proteksi pada Transformator
- c. Proteksi pada Transmisi
- d. Proteksi pada Distribusi



Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

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

### 2.3.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan pada system tenaga agar dapat diandalkan kemampuan dari rele pengaman maka harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Peka (*Sensitive*)

Dikatakan sensitif yakni dapat mendeteksi gangguan yang sedini dan sekecil mungkin, sebelum menimbulkan kerusakan yang besar.

2. Keandalan (*Reliability*)

Dalam keadaan normal rele tidak bekerja. Berbulan-bulan atau bertahun-tahun suatu rele mungkin tidak perlu bekerja, tetapi harus pasti dapat bekerja bila diperlukan kalau terjadi gagal bekerjanya suatu rele dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah dari alat-alat yang diamankan, atau mengakibatkan berkerjanya rele lain sehingga daerah yang mengalami pemadaman (*black out*) lebih luas. Jadi susunan alat-alat pengaman itu harus dapat diandalkan baik relenya itu sendiri ataupun alat lain serta hubungan-hubungannya.

3. Kecepatan (*Speed*)

Kerja rele harus bekerja dengan cepat, makin cepat makin baik, ini berarti bahwa rele tidak hanya dapat memperkecil kerusakan akibat gangguan, tetapi juga dapat mempersempit daerah yang mengalami gangguan.



#### 4. Selektif (*Selective*)

Setiap rele harus bekerja sesuai dengan daerah pengamanannya, jadi rele tersebut harus dapat bekerja dengan benar untuk gangguan yang terjadi pada daerah pengamanannya tidak perlu bekerja.

#### 5. Ekonomis

Dengan pengeluaran biaya seminim mungkin dalam arti penempatan jenis rele terhadap peralatan listrik yang diamankan, sesuai dengan jenis gangguan yang ditimbulkannya dan tidak boleh merubah keandalan sistem.

Penempatan jenis rele sesuai peralatan yang diamankan oleh rele tersebut. Persyaratan ekonomis (jemjem Kurnaen: 1998), di sini sistem pengaman yang harganya lebih murah belum tentu lebih ekonomis. Perhitungan terhadap masalah ini perlu ditinjau dari segi aspek yang lebih luas, misalnya faktor risiko, pemeliharaan dan lain sebagainya.

### 2.4 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian *system* tenaga listrik dan segera secara otomatis memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari *system* yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan peralambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagai supaya masing-masing bagian *system* dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal





Gangguan dalam sistem tenaga listrik tidak dapat dihindarkan, akan tetapi dapat mengurangi atau membatasi akibat dari gangguan tersebut sekecil mungkin dan dalam waktu sesingkat mungkin dengan menggunakan rele proteksi.

## 2.5 Tujuan Rele Proteksi

Tujuan rele proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik adalah :

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

## 2.6 Klasifikasi Rele Proteksi

Rele – rele yang akan digunakan dalam sistem proteksi tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

### 2.6.1 Berdasarkan prinsip kerja

Rele proteksi ditinjau berdasarkan prinsip kerjanya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

#### 1. Rele Temperatur (*Thermal Relay*)

Rele jenis ini bekerja berdasarkan pengaruh panas, yaitu mendeteksi arus listrik dengan pertambahan temperatur yang ditimbulkan akibat arus yang melewatinya. Rele proteksi ini juga dapat bekerja karena ketidak seimbangan arus listrik yang menyebabkan kenaikan temperatur akibat komponen urutan negatif. Rele jenis ini sering dipakai untuk memproteksi peralatan sistem terhadap kehadiran arus yaitu dengan mendeteksi panas yang terjadi akibat arus lebih tersebut.



## 2. Rele Elektromagnetik (*Electromagnetic Relay*)

Rele jenis elektromagnetik ini dapat bekerja menggunakan sumber bolak – balik atau sumber arus searah sebagai penginduksi kumparan untuk membentuk magnet pada kumparan yang fungsinya untuk menggerakkan anak kontak untuk memutuskan rangkaian.

## 3. Rele Statis (*Static Relay*)

Rele proteksi jenis statis adalah rele proteksi yang bekerja dengan menggunakan komponen – komponen elektronik seperti : transistor, dioda dan thyristor.

### **2.6.2 Berdasarkan Besar Ukuran dan Fungsinya**

Sistem proteksi ditinjau berdasarkan besaran ukuran dan fungsinya dapat diklasifikasikan menjadi lima yaitu :

- a. Rele proteksi yang bekerja bila besar ukurannya turun sampai dibawah harga tertentu, rele jenis ini contohnya : rele tegangan kurang (*Under Voltage Relay*), rele frekuensi kurang (*Under Frekuensi Relay*).
- b. Rele proteksi yang akan bekerja bila besaran ukurnya melebihi harga tertentu, rele jenis ini contohnya : rele arus lebih (*Over Current Relay*), rele tegangan lebih (*Over Voltage Relay*).
- c. Rele Daya yaitu jenis rele berarah, rele ini akan bekerja bila arah daya mengalir ke suatu arah tertentu yang tidak dikehendaki.
- d. Rele proteksi jenis differensial yaitu jenis rele proteksi yang akan bekerja berdasarkan perbedaan tegangan atau perbedaan arus antar fasa.
- e. Rele jarak yaitu rele proteksi yang bekerjanya berdasarkan pada perbandingan harga tegangan dan arus. Jadi dapat dikatakan bahwa besaran yang dideteksi adalah impedansi.



## 2.7 Fungsi dan Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus, yang mana rele ini akan bekerja apabila terjadi arus yang melampaui batas tertentu yang telah ditetapkan yang disebut arus kerja atau arus setting rele.

Didalam distribusi, rele arus lebih ini sering juga disebut pengaman gangguan antar fasa yang dipergunakan untuk mengamankan sistem distribusi, jika ada gangguan hubung singkat 3 fasa atau 2 fasa. Pemasangan rele ini terdapat di *incoming feeder* (penyulang masuk), *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung.

Keuntungan dari penggunaan proteksi rele arus lebih ini antara lain :

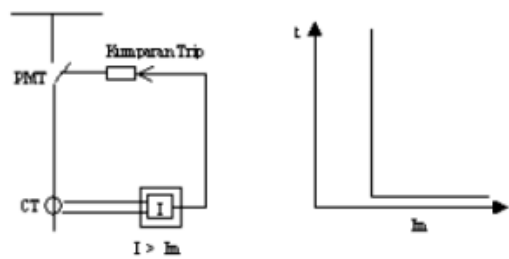
- a. Sederhana dan murah
- b. Mudah Penyetelan
- c. Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan cadangan
- d. Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa atau satu fasa ke tanah
- e. Pengaman cadangan untuk generator, trafo, dan saluran transmisi

### 2.7.1 Karakteristik Rele Arus Lebih

Rele arus lebih mempunyai bermacam-macam karakteristik seperti :

- a. Rele Arus Lebih Waktu Seketika

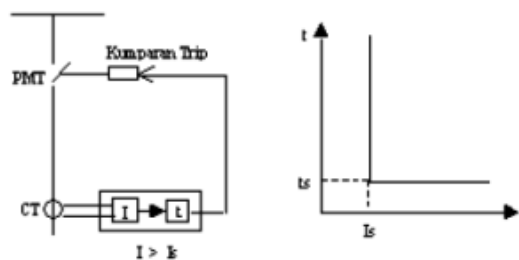
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya pick up sampai selesainya kerja rele sangat singkat (10~20 ms), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu atau waktu terbalik.



**Gambar 2.2** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

b. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja rele ini mulai pick up sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan rele.



**Gambar 2.3** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

c. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda.

Karakteristik waktu terbalik sesuai IEC 60255-3 dan BS 142 19666 adalah sebagai berikut :

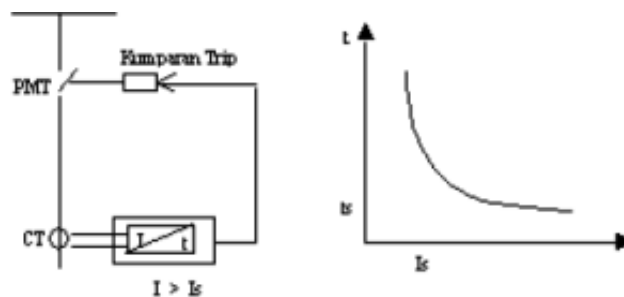
$$T = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} T_{ms} \text{ (detik)} \dots \dots \dots (2.1)$$



$$T_{ms} = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}{\beta} t \dots\dots\dots(2.2)$$

karakteristik waktunya dibedakan dalam beberapa kelompok :

1. Berbanding terbalik (*inverse*), dimana  $\alpha = 0,02$  dan  $\beta = 0,14$
2. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*), dimana  $\alpha = 1$  dan  $\beta = 13,2$
3. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*), dimana  $\alpha = 2$  dan  $\beta = 80$
4. Sangat sangat berbanding terbalik sekali (*Long Inverse*), dimana  $\alpha = 1$  dan  $\beta = 120$



**Gambar 2.4** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

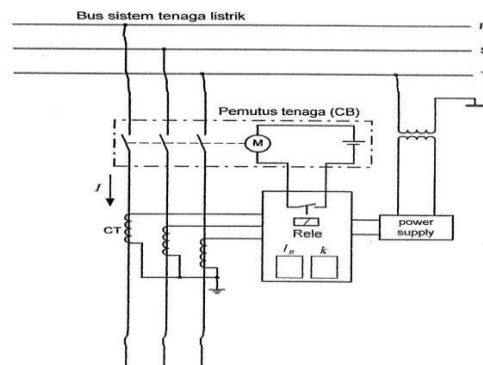
Setelan Rele dengan mempergunakan karakteristik waktu terbalik ini biasanya dipergunakan pada sistem distribusi tenaga listrik sebagai setelan rele yang terpasang di *incoming feeder*, *outgoing feeder*, atau rele yang terpasang di gardu hubung atau *recloser*, dimana penyetelan arus dan waktu pada rele arus lebih dan gangguan tanah di dasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang di setel pada sisi hilir sampai dengan sisi hulu (dari gardu hubung sampai gardu induk).

### 2.7.2 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Prinsip kerja rele arus lebih adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan rele, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat ataupun *overload* (beban lebih) dan kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya. Untuk prinsip kerja rele ini kita dapat lihat pada



gambar 2.5 dibawah ini :



**Gambar 2.5** Peralatan dan Hubungan Sistem Pengaman

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Pada kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada SUTM / SKTM dan pada trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus sekunder ( $I_r$ ) mengalir pada kumparan rele tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka rele tidak bekerja.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus beban ( $I_b$ ) akan naik dan menyebabkan arus sekunder ( $I_r$ ) naik juga, apabila arus sekunder ( $I_r$ ) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka rele akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

## 2.8 Koordinasi Rele dalam Sistem

Hampir semua peralatan seperti kabel, penghantar, trafo, dan generator memakai rela arus lebih. Untuk mendapatkan pengaman yang selektif didalam sistem, perlu diadakan koordinasi yang baik antara rele-rele pengaman dengan sistem.



Yang dimaksud selektif disini adalah apabila terjadi gangguan pada salah satu bagian sistem maka hanya pemutus tenaga yang paling dekat dengan bagian sistem yang terganggu saja, sehingga bagian sistem yang tidak mengalami gangguan akan tetap mengalirkan daya.

Adapun gangguan yang mungkin terjadi di dalam sistem pada jaringan adalah :

- a. Gangguan 3 fasa dan
- b. Gangguan 2 fasa

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti di atas pertama yang harus di hitung adalah :

1. Impedansi Sumber (Reaktansi) yang hal ini di dapat dari data hubung singkat di bus 150 kV yang ada pada Gardu Induk.
2. Menghitung Impedansi Transformator Tenaga
3. Menghitung Impedansi Penyulang

Kemudian setelah mendapatkan nilai dari ketiga hal di atas maka barulah dapat menghitung Impedansi Ekvivalen yang kita butuhkan untuk menghitung nilai dari gangguan hubung singkat tersebut.

### 2.8.1 Impedansi Sumber / Reaktansi

Beberapa perusahaan listrik memberikan data pada pelanggan untuk menetapkan pemutus rangkaian bagi instalasi industri atau sistem distribusi yang di hubungkan pada sistem pemakaian. Biasanya data tadi berupa daftar *megavoltampere* hubung singkat, dimana :

$$MVA = \sqrt{3} \times (KV) \times I_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas, maka di hasilkan :

$$X_{sc} = \frac{kV}{MVA} \dots\dots\dots (2.4)$$



Dimana :

$X_{sc}$  = Impedansi sumber

KV = Tegangan sisi primer trafo tenaga

MVA = Data hubung singkat di bus 70 kV

### 2.8.2 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah :

$$I = \frac{v}{z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1ek}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$I_{3fasa}$  = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa

$V_{ph}$  = Tegangan fasa - netral sistem 20 kV =  $\frac{2000}{\sqrt{3}}$  V

$Z_{1ek}$  = Impedansi ekivalen urutan positif

### 2.8.3 Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat dua fasa adalah :

$$I = \frac{v}{z} \dots\dots\dots(2.7)$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :





$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1ek} + Z_{2ek}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Karena  $Z_{1ek} = Z_{2ek}$ , maka:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1ek}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$I_{2fasa}$  = Arus gangguan hubung singkat dua fasa

$V_{ph-ph}$  = Tegangan fasa - fasa sistem 20 kV =  $\frac{20000}{\sqrt{3}}$  V

$Z_{1ek}$  = Impedansi urutan positif

Bila dalam sistem 3 fasa, ketiga fasanya di bebani dengan suatu impedansi Z maka pada sistem ini dua fasanya dibebani suatu impedansi Z pada masing-masing fasanya kemudian di hubungkan pada ujung yang lain sehingga membentuk sambungan beban dua fasa.

Pada gangguan hubung singkat 3 fasa dan gangguan hubung singkat 2 fasa juga di hitung untuk lokasi gangguan yan di asumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75%, 100% panjang feeder.

Gangguan-gangguan tersebut dihitung untuk lokasi gangguan yang terjadi dengan mensimulasikan gangguan yang terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% dari panjang feeder yang dalam hal ini di anggap nilai dari  $Z_{1ek}$  dan  $Z_{2ek}$ .

## 2.9 Koordinasi Rele Arus Lebih di *Feeder*/ Penyulang

### 2.9.1 Arus *Setting*

Untuk rele arus lebih dari jenis normal (standard) inverse nilai setelan relenya di feeder atau penyulang dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{set} = 1,05 \times I_{beban} \dots\dots\dots (2.10)$$



Dimana :

$I_{set}$  = Arus yang di setting

$I_{beban}$  = Arus beban

### 2.9.2 Setelan Waktu ( TMS )

Untuk menentukan nilai Tms yang akan di set kan pada rele arus lebih diambil, misal angka arus gangguan ( $I_{fault}$ ) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan 25% panjang feeder, dan waktu kerja rele arus lebih di feeder itu (sesuai keterangan waktu tercepat diatas) diambil selama 0,3 detik (standard PLN), maka nilai Tms yang akan diset kan pada rele arus lebih adalah :

$$Tms = \frac{t \left\{ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}}{0,14} \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk setelan waktu rele *Standard Inverse* dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus. Rumus ini bermacam-macam sesuai buatan pabrik pembuatan rele.

### 2.10 Pengenalan E T A P (*Electrical Transient Analysis Program*)<sup>7</sup>

Power Station 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 sub- sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektris yang khusus dan saling berhubungan. Dalam PowerStation, setiap plant harus menyediakan data base untuk keperluan itu.

ETAP Power Station dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load*

<sup>7</sup> Anton Firmansyah, *Modul Pelatihan ETAP*, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2019



*Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonisa*, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*.

Catatan

Pada Pembahasan ini hanya akan dibahas mengenai studi aliran daya (*Load Flow Analysis*) dan studi hubung singkat (*Short Circuit*)

ETAP Power Station 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 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 elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap 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.



### Catatan

Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisa akan sangat membantu hasil simulasi/analisa dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.

## **2.11 ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*)**

### **2.11.1 Tujuan Percobaan ETAP**

1. Mempelajari fungsi ETAP dalam sistem tenaga listrik
2. Mempelajari cara membuat diagram saluran tenaga listrik dengan menggunakan ETAP

### **2.11.2 Pengertian ETAP**

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.

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain :

- a. Analisa aliran daya
- b. Analisa hubung singkat
- c. *Arc Flash Analysis*
- d. Analisa kestabilan transien, dll.

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (*single line diagram*) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan



dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

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 2.6** Elemen standar ANSI

Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah :



a. Generator

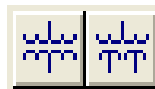
Merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.



**Gambar 2.7** Simbol Generator di ETAP

b. Transformator

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



**Gambar 2.8** 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 2.9** Simbol pemutus rangkaian di ETAP

d. Beban

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



**Gambar 2.10** Simbol beban statis di ETAP



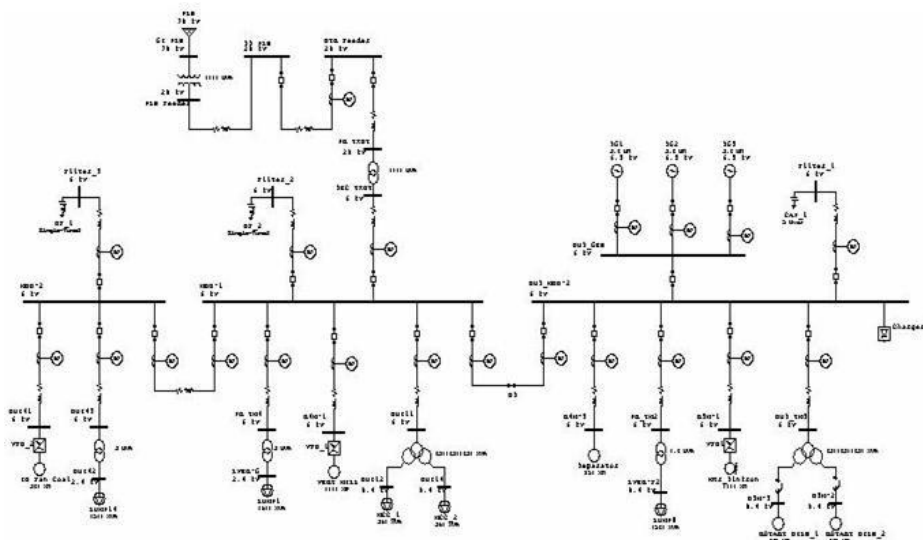
### 2.11.3 Cara Memulai ETAP Power Station

#### 1. Mempersiapkan Plant

Persiapan yang perlu dilakukan dalam analisa / desain dengan bantuan ETAP PowerStation adalah :

- *Single Line Diagram*
- Data peralatan baik elektrik maupun mekanis
- *Library* untuk mempermudah *editing* data

Misalkan akan dibuat plant dengan *single line diagram* pada Gambar 2.11 sebagai berikut:



**Gambar 2.11** *Single Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik PT. X

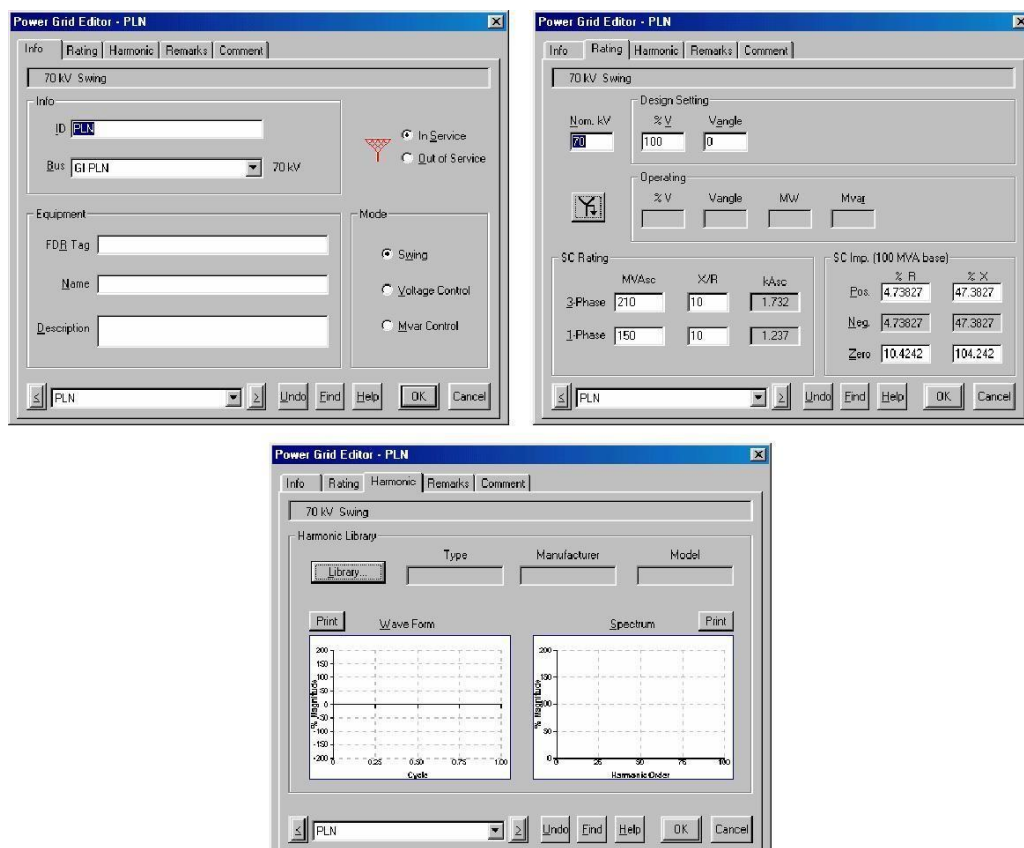
*Single Line Diagram* tersebut membutuhkan data peralatan sesuai dengandata peralatan baik elektrik maupun mekanis sebagai berikut :

#### ➤ *Power Grid*

Adalah suplai yang diambil oleh system sebagai sumber tegangan dalam hal iniadalah PLN dengan inputan data sebagai berikut :



- Nominal kV
- Kapasitas Daya dalam MVA
- Nilai X/R
- Mode Swing sebagai referensi



**Gambar 2.12** Power Grid Editor

➤ *Generator*

Adalah suplai yang diambil oleh system sebagai sumber tegangan yang tersedia sebagai back up jika ada gangguan dari PLN dengan inputan data sebagai berikut (lihat gambar 3) :

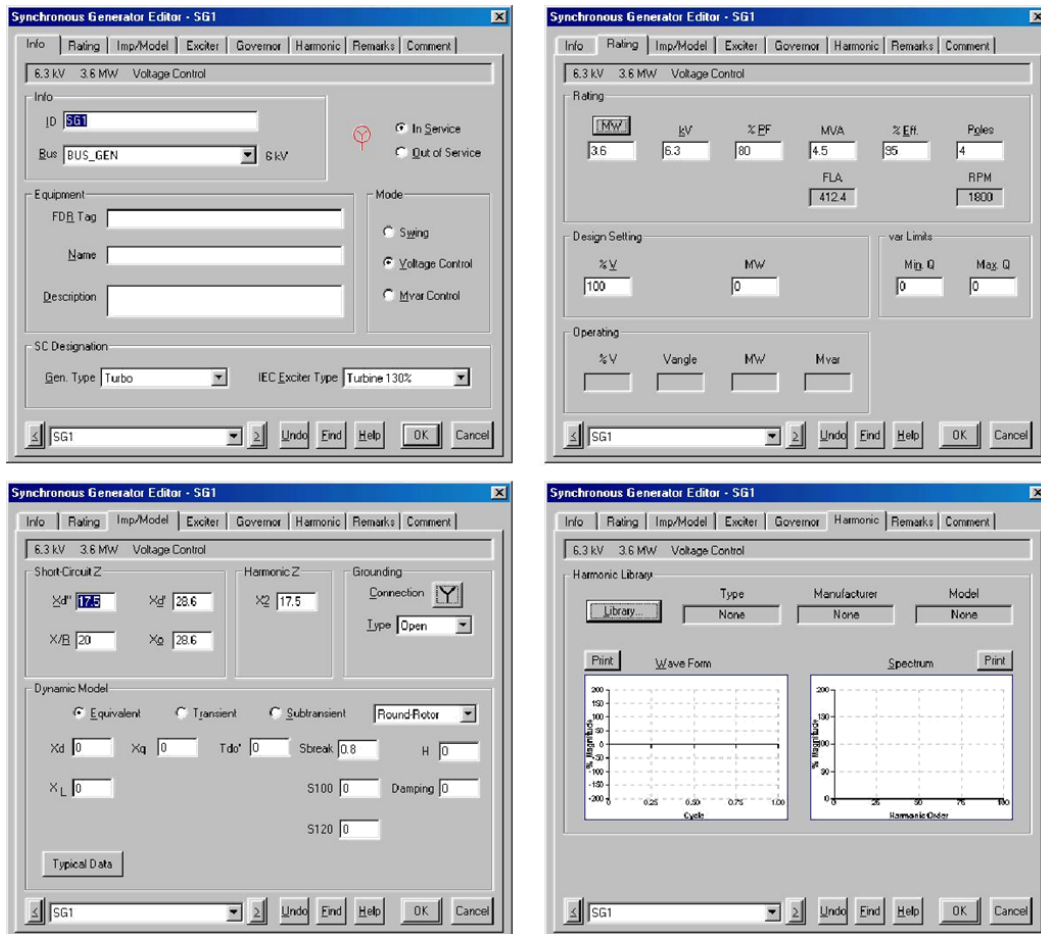
- Kapasitas Daya dalam MVA
- Nominal kV





- % Power Factor Nilai  $X_d'$ ,  $X_d''$ ,  $X_o$  dan  $X/R$
- Nilai  $X_2$  untuk studi harmonisa
- Hubungan grounding pada generator

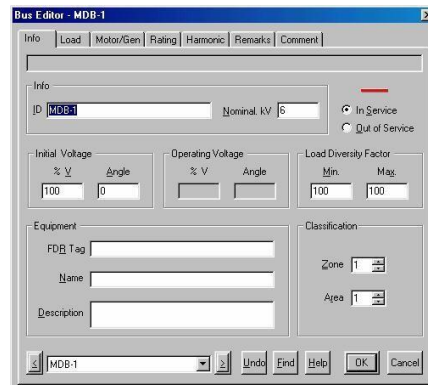
### Mode Voltage Control



Gambar 2.13 Synchronous Generator Editor

#### ➤ Bus

- ID Bus berupa nomor atau nama bus dari system
- Nominal kV adalah tegangan nominal pada bus

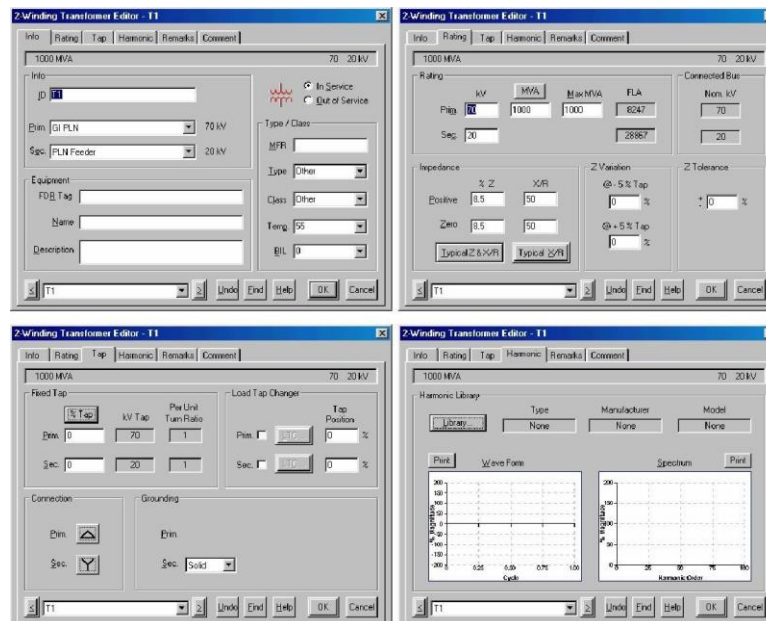


Gambar 2.14 Bus Editor

➤ *Transformator*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas transformator
- Rating kVA/MVA , max kVA/MVA
- Rating kV primer serta kV sekunder
- % Z, dan X/R
- Hubungan belitan

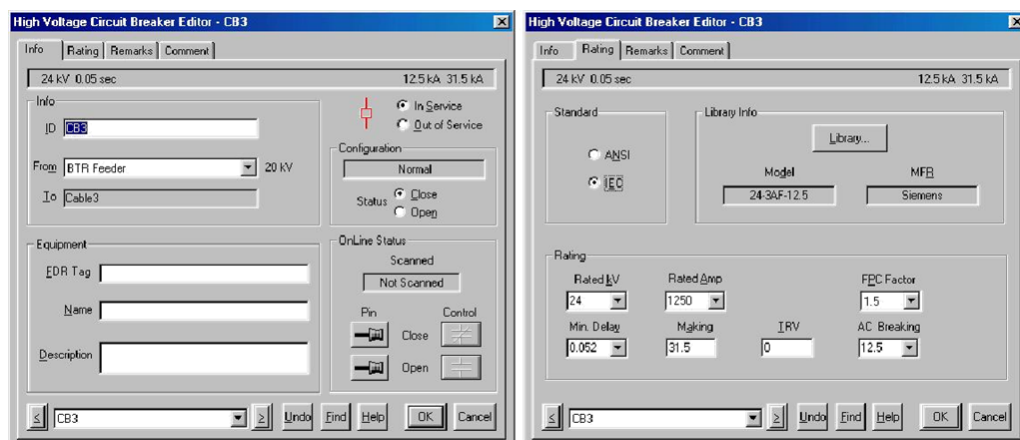


Gambar 2.15 Winding Transformer Editor



➤ *Circuit Breaker*

- Data yang diperlukan meliputi :
- ID yaitu identitas circuit breaker
- Standard yang digunakan ANSI atau IEC
- Nilai dari CB dari Library
- Rating kVA/MVA , max kVA/MVA sesuai library atau diberi nilai sendiri

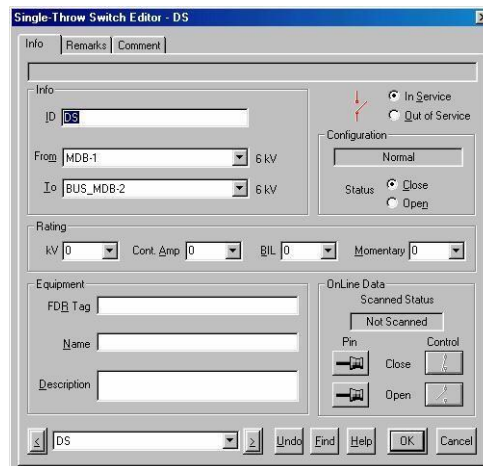


**Gambar 2.16** *High /voltage Circuit Breaker Editor*

➤ *Disconnect Switch*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas disconnect switch

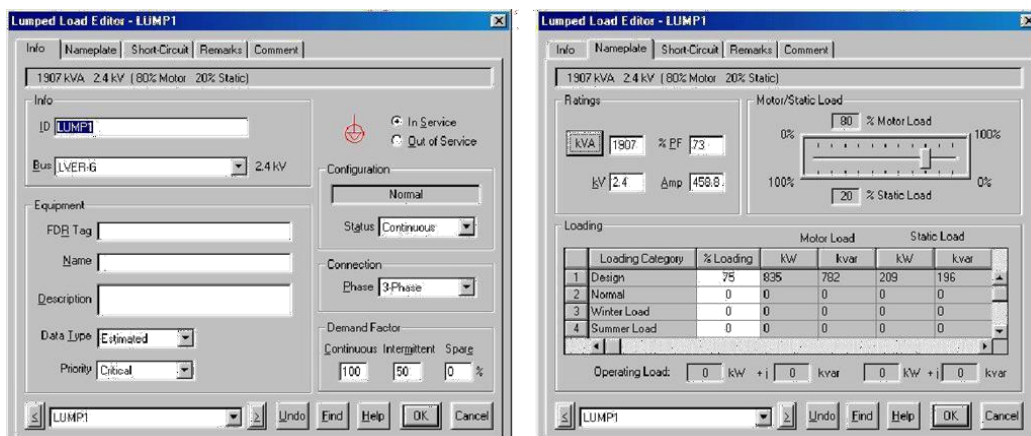


Gambar 2.17 DS Editor

➤ *Lumped Load*

Adalah motor atau beban yang terlumped, data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas lumped load
- Rating kVA dan kV
- Power faktor
- % loading yaitu persen pembebanan pada motor



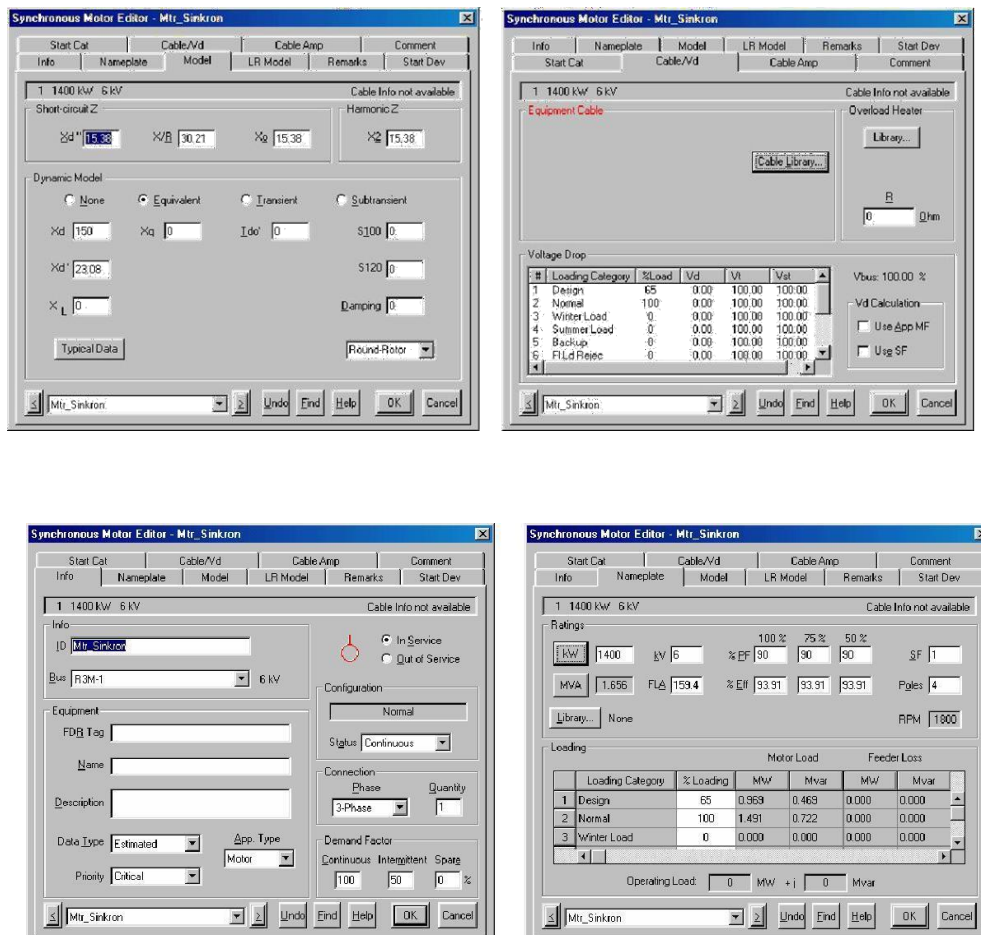
Gambar 2.18 Lumped Load Editor



➤ *Motor Sinkron*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas motor sinkron
- Rating kW/HP dan kV
- Power faktor dan efisiensi pada pembebanan 100%, 75% dan 50 %
- % loading yaitu persen pembebanan pada motor
- Data kabel motor jika ada
- Data impedansi untuk studi short circuit meliputi  $X_d''$ ,  $X/R$  dan  $X_o$
- Data impedansi untuk studi harmonisa meliputi  $X_2$



Gambar 2.19 Synchronous Motor Editor

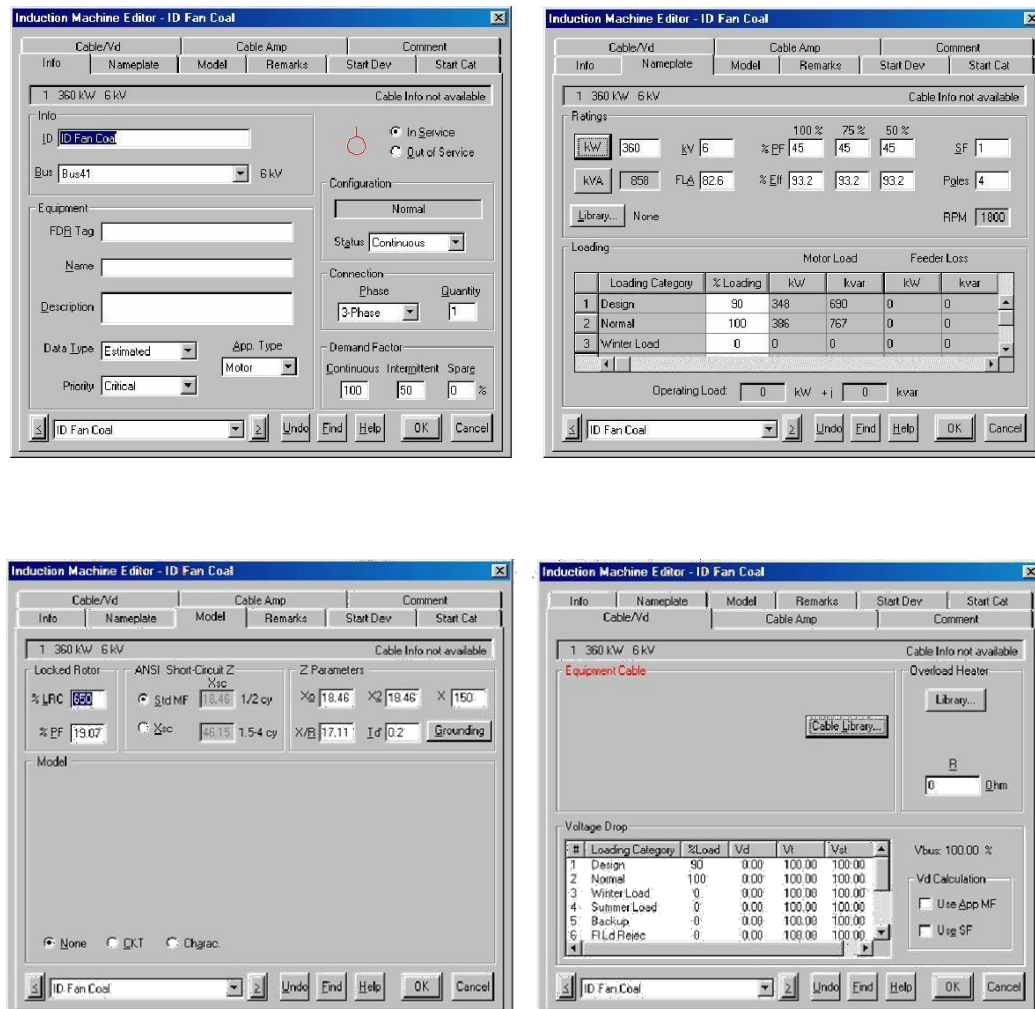


➤ *Motor Induksi*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas motor induksi
- Rating kW/HP dan kV
- Power faktor dan efisiensi pada pembebanan 100%, 75% dan 50 %
- % loading yaitu persen pembebanan pada motor
- Data kabel motor jika ada
- Data impedansi meliputi X, X2, Xo dan X/R

Hubungan belitan untuk grounding dari motor



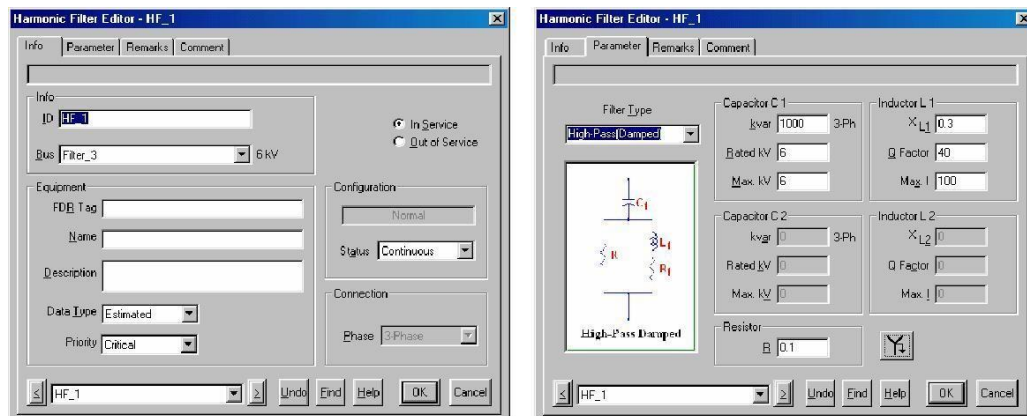
Gambar 2.20 Induction Machine Editor



➤ *High Filter*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas filter
- Type filter antara lain Filter By Pass, High Filter (dumped dan undumped) dan single tuned
- Nilai Capacitor meliputi kVAR, kV dan maksimum kV
- Nilai Induktor meliputi XL, Q Factor (=  $XL / RL$ ) dan Max. I (= Maksimum arus yang melalui induktor)



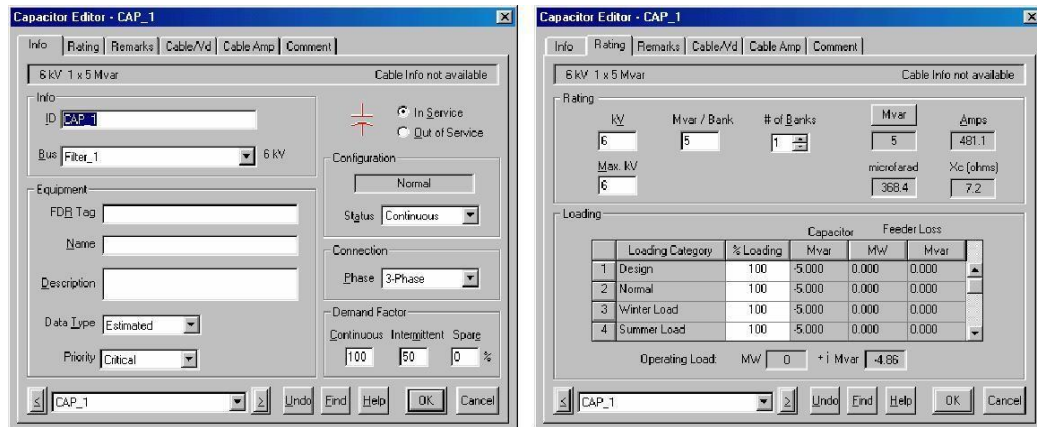
**Gambar 2.21** *Harmonic Filter Editor*

➤ *Capacitor*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas Capacitor
- Rating Capacitor meliputi kV, maksimum kV, kVAR, dan jumlah capacitor bank.
- % Load dari capacitor



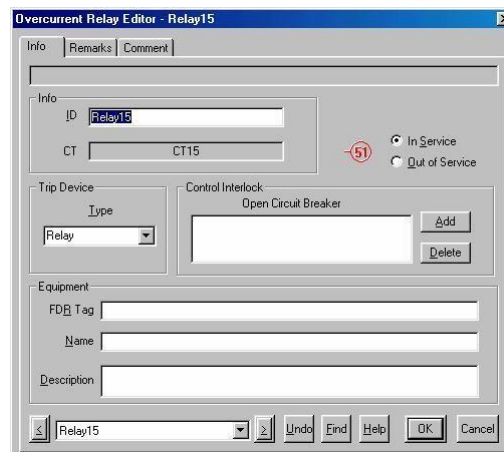


Gambar 2.22 Capacitor Editor

➤ *Over Current Relay*

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas *over current relay*
- *type* relay meliputi Relay, Motor Relay, dan MV Solid State type



Gambar 2.23 Over Current Relay Editor

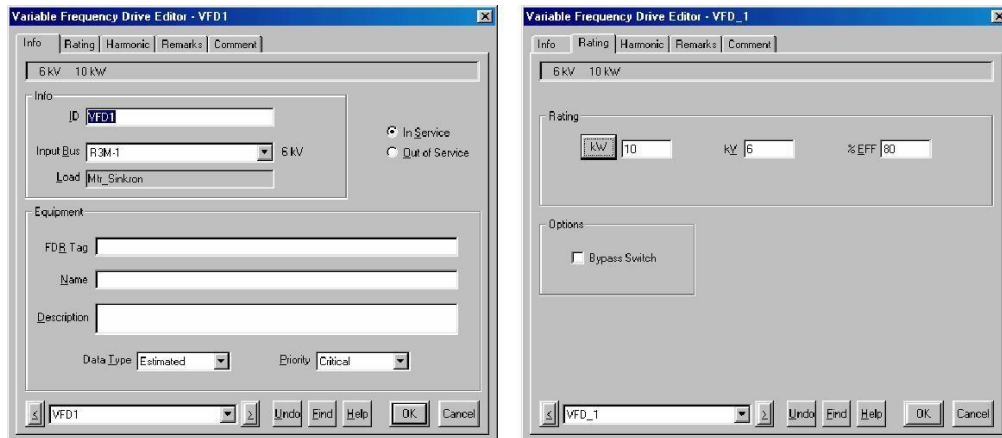
*Variable Frequency Drive (VFD)* Data Yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas *over current relay*
- Rating VFD meliputi HP/kW, kV dan % Effisiensi





\* rata – rata kapasitas VFD adalah 10 % dari motor yang didrive

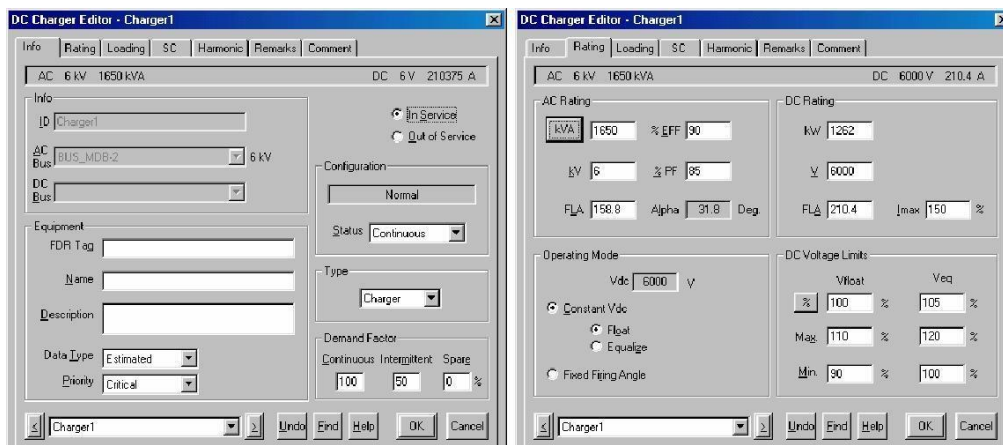


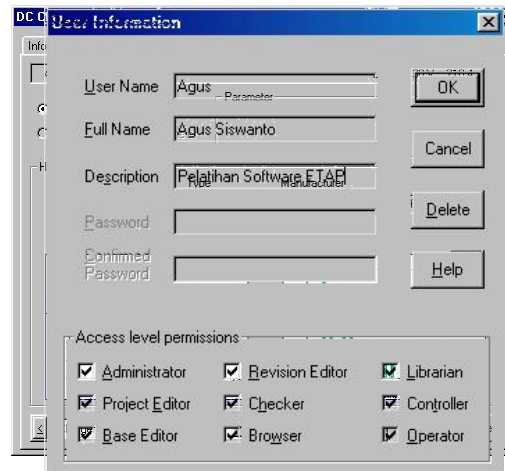
**Gambar 2.24** Variable Frequency Drive Editor

### ➤ Charger

Data yang diperlukan meliputi :

- ID yaitu identitas charger
- Rating AC meliputi kVA, kV, % Eff dan % power factor
- Rating DC meliputi kW, V, FLA (Full Load Ampere), dan I<sub>max</sub>

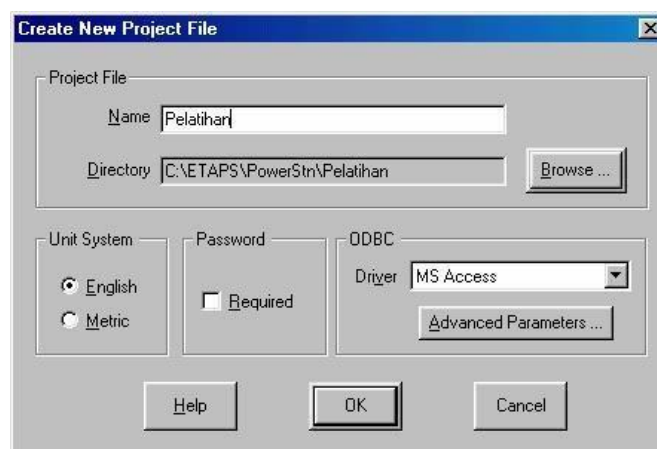




Gambar 2.5 DC Charger Editor

## 2. Membuat Proyek Baru

- Klik tombol *New* atau klik menu *File* lalu akan muncul kotak dialog sebagai berikut :



Gambar 2.26 Create New Project file

## 3. Membuat Proyek Baru

- Lalu ketik nama *file project* . Misalnya : Pelatihan. Lalu klik Ok atau tekan Enter.
- Akan muncul kotak dialog User Information yang berisi data pengguna software. Isikan nama anda dan deskripsi proyek anda.



Lalu klik Ok atau tekan Enter

- Anda telah membuat file proyek baru dan siap untuk menggambar one-line diagram di layar. Lalu buat One-line diagram seperti pada gambar dibawah dan isikan data peralatan.

#### **4. Menggambar *Single Line Diagram***

Menggambar single line diagram dilakukan dengan cara memilih simbol peralatan listrik pada menu bar disebelah kanan layar. Klik pada simbol, kemudian arahkan kursor pada media gambar. Untuk menempatkan peralatan pada media gambar, klik kursor pada media gambar.

Untuk mempercepat proses penyusunan single line diagram, semua komponen dapat secara langsung diletakkan pada media gambar. Untuk mengetahui kontinuitas antar komponen dapat di-cek dengan Continuity Check pada menu bar utama. Pemakaian Continuity Check dapat diketahui hasilnya dengan melihat warna komponen/branch. Warna hitam berarti telah terhubung, warna abu-abu berarti belum terhubung.

#### **Catatan**

Agar Continuity Check dapat bekerja, pasang satu sumber generator atau pensuplai daya sebagai swing agar dalam sistem terdapat satu referensi.

#### **5. Editing Data Peralatan**

- Bus
- Generator
- Cable
- Two Winding Transformator
- Induction Machine
- Static Load
- Circuit Breaker
- Fuse



### Catatan

Keterangan yang lebih detail mengenai parameter peralatan kebutuhan editing data pada PowerStation dapat dilihat pada modul editor, One Line Diagram.

Data Peralatan yang diperlukan oleh PowerStation untuk analisa sangat detail sehingga kadang membuat beberapa pengguna kesulitan dalam memperoleh data tersebut. Untuk mempermudah memasukkan data, maka harus diidentifikasi terlebih dahulu keperluan data. Sebagai contoh, analisa hubung singkat membutuhkan data yang lebih kompleks daripada analisa aliran daya. Jadi tidak perlu memasukkan semua parameter yang diminta pada menu editor komponen oleh ETAP PowerStation.

## **6. Melakukan Studi/Analisa**


Dengan ETAP PowerStation dapat dilakukan beberapa analisa pada sistem kelistrikan yang telah digambarkan dalam single line diagram. Studi-studi tersebut adalah :

- Load Flow Analysis (LF)
- Short Circuit Analysis (SC)
- Motor Starting Analysis (MS)
- Transient Stability Analysis (TS)
- Cable Ampacity Derating Analysis (CD)
- Power Plot Interface.

## **7. Menyimpan File Project (*Save Project*)**

- Masuk menu bar File, pilih Save atau click toolbar 

## **8. Membuka File Project (*Open Project*)**

- Masuk menu bar File, pilih Open File lalu tentukan direktori tempat menyimpan filenya (browse) atau click toolbar 



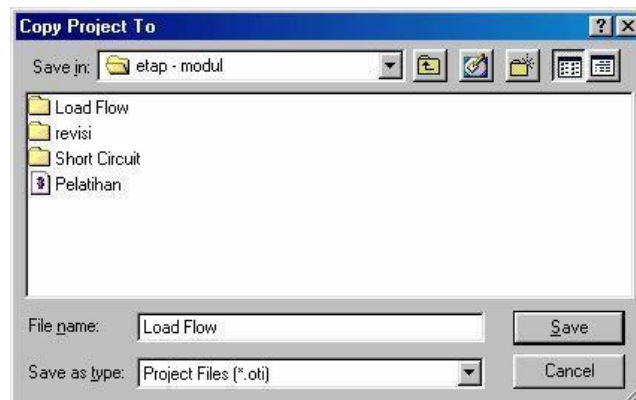
Pilih file yang dituju kemudian click open



**Gambar 2.27** Membuka File Project

## 9. *Mengcopy/ Menyalin File Project*

- Masuk menu bar File, pilih Copy Project To lalu tentukan direktori tempatmenyimpan filenya (browse)
- Beri nama File Project yang dicopy kemudian click Save



**Gambar 2.28** *Mengcopy/ Menyalin*

## 10. File Project Menutup Project (*Close Project*)

- Klik menu File lalu klik Close Project atau kill toolbar Close .



## 11. Keluar dari Program (Exit Program)

Klik menu File lalu klik Exit untuk keluar dari program ETAP

### 2.11.4 Koordinasi Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dituntut keandalannya setinggi mungkin dengan meminimalisis kemungkinan terjadinya gangguan. Dari segi sirkuit listrik, gangguan tersebut umumnya berupa hubung singkat (*short circuit*) akibat dari kegagalan isolasi. Hubung singkat menyebabkan arus yang mengalir besarnya berlipat kali arus normal dan mungkin pula disertai timbulnya busur api listrik (*arcing*). Keduanya akan merusak peralatan listrik yang bersangkutan apabila terlambat dihentikan. Arus hubung singkat yang besar juga membahayakan setiap peralatan yang dilaluinya.

Adalah menjadi tugas rele untuk mengetahui (mendeteksi) adanya gangguan tersebut lalu memerintahkan peralatan pemutus (*circuit breaker*) untuk mengisolasi peralatan yang mengalami gangguan secara cepat. Pada percobaan ini akan disimulasikan koordinasi proteksi dengan menggunakan rele arus lebih dari sistem distribusi yang sederhana.

#### ➤ Rele Arus Lebih

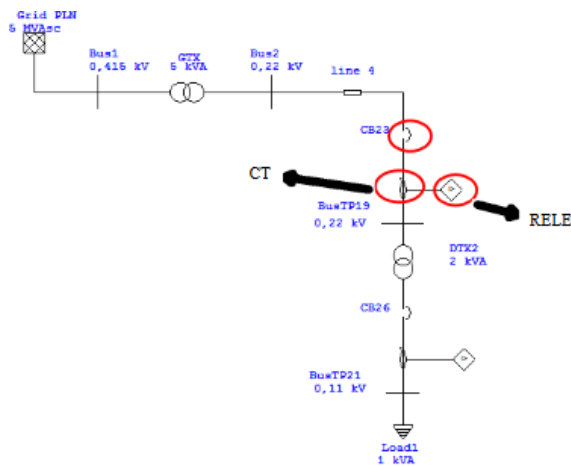
Rele arus lebih (*over current relay*) sangat banyak digunakan untuk proteksi arus lebih pada jaringan distribusi primer di ujung awal feeder tegangan menengah (TM), dan juga digunakan sebagai proteksi terhadap arus lebih pada gangguantanah. Rele ini memerlukan masukan berupa arus dari saluran yang diproteksi yang diperoleh melalui trafo arus (CT). Elemen perbandingan (*comparator*) di dalam relay membandingkan arus initerhadap sebuah nilai batas/nilai setting, dimana relay akan bekerja (*trip*) kalau arus masukannya melampaui nilai setting tersebut.



Dibutuhkan tenggang waktu yang berbeda-beda, sejak arus lebih itu mulai terdeteksi sampai saatnya relay harus trip. Ada yang harus dengan tundaan waktu (delayed trip), tergantung pada:

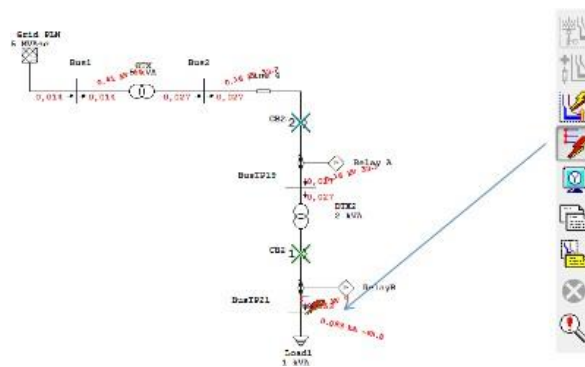
1. Besar arus gangguan yang terdeteksi
2. Lokasi relay atau posisi relay tersebut terhadap relay lainnya.

### ➤ SLD Koordinasi Proteksi

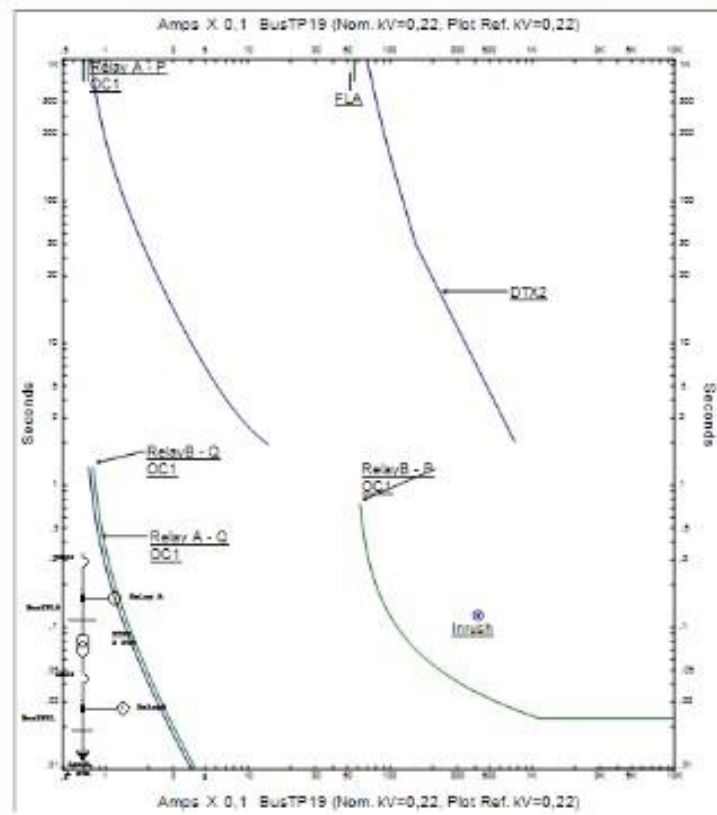


Gambar 2.29 SLD Koordinasi Proteksi

### ➤ Menjalankan Simulasi Koordinasi Proteksi



Gambar 2.30 Menjalankan Simulasi Koordinasi Proteksi



**Gambar 2.31** Grafik Kerja dari Proteksi