

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

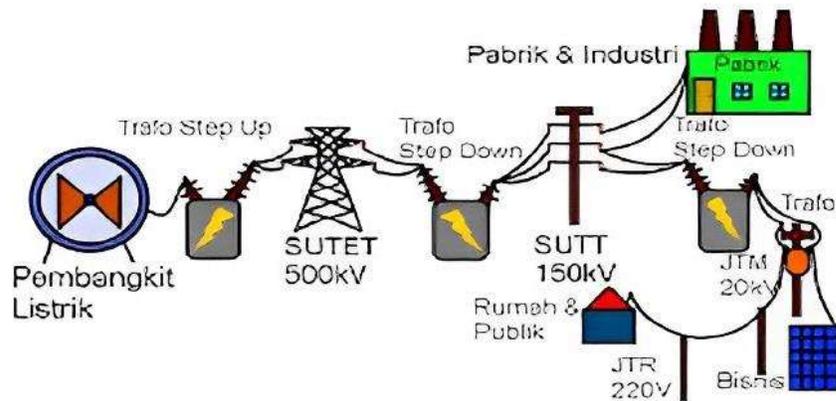
Energi listrik disalurkan melalui penyulang-penyulang yang berupa saluran udara atau saluran kabel tanah. Pada penyulang distribusi ini terdapat gardu-gardu distribusi. Gardu Distribusi berfungsi untuk menurunkan Tegangan Distribusi Primer menjadi Tegangan Rendah (JTR). Konsumen tenaga listrik disambung dari JTR melalui Saluran Rumah (SR). Dari SR, tenaga listrik masuk ke Alat Pembatas dan Pengukur (APP) terlebih dahulu sebelum memasuki instalasi rumah milik konsumen. APP berfungsi membatasi daya dan mengukur pemakaian tenaga listrik oleh konsumen.

Sistem Distribusi berfungsi sebagai pembagi atau penyalur tenaga listrik ke pelanggan, dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai dengan 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh

saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Jaringan distribusi merupakan saluran tahap akhir yang menyalurkan listrik dari jaringan transmisi menuju ke beban. Jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Sistem Jaringan distribusi primer disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) disebut juga tegangan menengah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi yang biasanya menggunakan tegangan distribusi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV. Jaringan distribusi primer atau JTM merupakan phasa-tiga sedangkan jaringan distribusi sekunder atau JTR merupakan phasa-tunggal dan phasa-tiga dengan empat kawat. Di Indonesia umumnya tegangan yang digunakan pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah adalah 380/220 volt, proses penyaluran sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Penyaluran_listrik

Gambar 2.1 Proses penyaluran sistem tenaga listrik

2.1.1. Sistem Operasi Jaringan Distribusi

Sistem operasi jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan, sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar ke konsumen. Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, sebagai berikut :

a. Gardu Induk (GI)

Gardu induk merupakan unit didalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Didalam Gardu Induk ini tegangan dari sistem transmisi 150kV – 500kV akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi 20kV.

b. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu distribusi. Namun

jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 550 kV, maka setelah masuk GI tegangan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan untuk distribusi). Sehingga jaringan ini disebut subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

c. Gardu Distribusi (GD)

Gardu Distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI atau dari jaringan subtransmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyulang primer atau langsung kepada konsumen.

d. Saluran Penyulang Utama

Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antar gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan GI dengan gardu transformator distribusi.

e. Transformator Distribusi

Transformator distribusi berada didalam gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 V. Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

f. Rangkaian Sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul simpul distribusi.

Gardu induk akan menerima daya dari jaringan transmisi kemudian menyalurkannya melalui jaringan distribusi primer menuju gardu distribusi. Sistem jaringan distribusi terdiri dari dua bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan menengah 20 kV. Tegangan tersebut kemudian diturunkan oleh transformator distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V untuk selanjutnya disalurkan kepada konsumen melalui jaringan distribusi sekunder.

2.2. Penyebab Gangguan

Gangguan dapat disebabkan oleh kegiatan isolasi diantara penghantar fasa dan juga antara tanah dengan penghantar. Kegagalan isolasi mengakibatkan efek dalam sistem yaitu arus lebih atau menyebabkan impedansi diantara konduktor fasa atau antar penghantar fasa serta antara penghantar fasa dengan tanah. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik antara lain :

a. Surja Petir

Kemungkinan terjadinya gangguan yang disebabkan oleh petir besar sekali, terutama pada musim hujan. Gangguan yang disebabkan oleh petir ini sangat berbahaya karena dapat merusak isolasi peralatan.

b. Surja Hubung

Surja hubung adalah kenaikan tegangan pada saat dilangsungkan pemutusan arus oleh PMT. Kenaikan tegangan yang disebabkan oleh adanya gangguan surja hubung ini dapat merusak isolasi peralatan.

c. Polusi Debu

Debu-debu yang menempel pada isolator merupakan konduktor yang dapat menyebabkan terjadinya loncatan bunga api yang pada akhirnya dapat menyebabkan gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

d. Adanya pohon-pohon yang tidak terawat

Pohon-pohon yang dekat dengan saluran transmisi dan distribusi bila tidak terawat dan rantingnya masuk ke daerah bebas saluran transmisi dan distribusi, hal ini dapat mengakibatkan terjadinya gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

e. Isolator yang rusak

Isolator yang rusak karena sambaran petir atau karena usia yang sudah tua bisa menyebabkan terjadinya gangguan hubung singkat antar fasa atau gangguan hubung singkat dari fasa ke tanah.

- f. Daun-daun/sampah yang menempel pada isolator

Daun-daun/sampah yang terbang terbawa angin dan kemudian menempel pada isolator akan mengakibatkan jarak bebas berkurang sehingga dapat mengakibatkan terjadinya loncatan bunga api. Hal ini bisa mengakibatkan terjadinya gangguan hubung singkat antar fasa atau gangguan hubung singkat dari fasa ke tanah.

Adapun penyebab lain dari munculnya gangguan pada jaringan distribusi disebabkan oleh:

- a. Kesalahan impulsif
- b. Kesalahan thermos
- c. Tegangan berlebih
- d. Material yang mengalami kerusakan
- e. Gangguan hubung singkat
- f. Putusnya konduktor

Gangguan dapat dibedakan menjadi dua kondisi data gangguan terjadi yaitu gangguan kondisi biasa atau normal dan juga pada saat tegangan lebih.

- a. Gangguan Terjadi pada kondisi tegangan normal

Penurunan isolasi dan hal-hal dari benda asing merupakan penyebab gangguan. Pemerosotan isolasi dapat terjadi karena polusi dan penuaan. Saat ini batas ketahanan isolasi tertinggi (high insulation level) sekitar 3-5 kali nilai tegangan nominalnya. Tapi dengan adanya pengotoran (pollution) pada isolator yang biasanya disebabkan oleh penumpukan debu pada daerah industri dan penumpukan garam karena angin yang

mengandung uap garam menyebabkan kekuatan isolasi akan menurun. Hal inilah yang menyebabkan penurunan resistansi dari isolator dapat menyebabkan kebocoran arus. Kebocoran arus yang kecil ini mempercepat kerusakan isolator. Selain itu pemuaian dan penyusutan yang berulang-ulang dapat juga menyebabkan kemerosotan resistansi dari isolator.

b. Gangguan Terjadi pada kondisi tegangan lebih

Sambaran petir merupakan salah satu gangguan yang terjadi pada kondisi ini. Surja tegangan yang luar biasa tinggi pada sistem tenaga listrik, dapat mencapai jutaan volt yang tidak dapat ditahan sistem proteksi atau khususnya bagian isolasi. Surja ini berjalan secepat kilat pada jaringan listrik, faktor yang membatasinya adalah impedansi dan resistansi dari saluran. Untuk mengatasi surja petir ini sehingga tidak mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan peralatan sistem tenaga lainnya, diperlukan suatu peralatan proteksi khusus untuk dapat mengatasi surja petir.

2.3. Akibat Dari Gangguan

Akibat sangat berpengaruh apa bila terjadi kebakaran yang bukan akan merusak peralatan saja tetapi bisa mengakibatkan kegagalan total pada system suatu kelistrikan. Berikut adalah dampak dari gangguan yang terjadi.

- a. Penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem daya sehingga dapat merugikan pelanggan atau mengganggu kerja peralatan listrik
- b. Bahaya kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh busur api listrik (arcing)
- c. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat pemanasan berlebih (over heating) dan akibat tekanan mekanis (alat pecah dan sebagainya).
- d. Terganggunya stabilitas sistem dan ini dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik
- e. Menyebabkan penurunan tegangan sehingga koil tegangan relay gagal bertahan

2.4. Klasifikasi Gangguan

Berdasarkan jenisnya:

- a. Gangguan hubung singkat tiga fasa
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa
- c. Gangguan hubung singkat dua fasa ketanah
- d. Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah

Berdasarkan waktu:

- a. Gangguan bersifat permanen
- b. Gangguan bersifat temporer

2.5. Jenis Gangguan

2.5.1. Ganggana HubungSingkat Tiga Fasa

Gangguan ini termasuk dalam gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap phasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

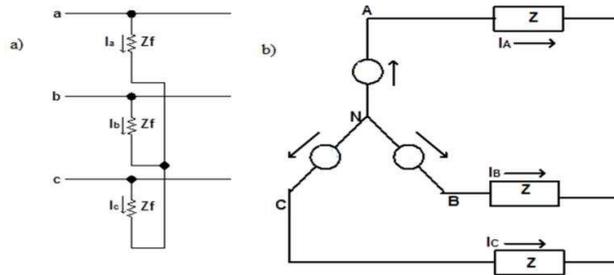
$$I_f = \frac{20.000/\sqrt{3}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I_f = \frac{11547}{\sqrt{Z_{1eq}^2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

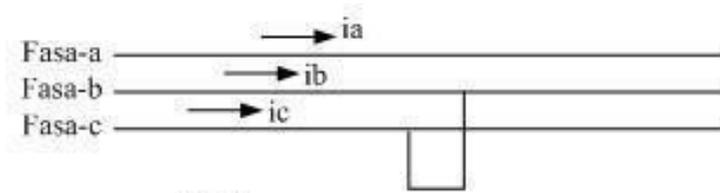
Z_{1eq} = impedansi ekivalen urutan positif

I_f = arus gangguan hubung singkat



Gambar 2.2 Ganggana Hubung Singkat Tiga Fasa
(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Penyaluran_listrik)

2.5.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa



Gambar 2. 3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Penyaluran_listrik)

$$I_2 \text{ fasa} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_3 \text{ fasa} \dots\dots\dots(2.3)$$

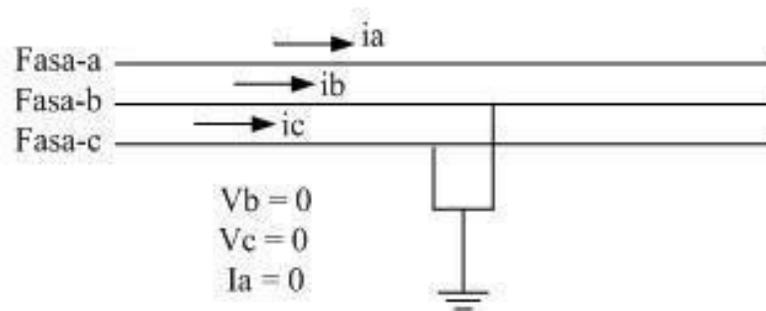
Dimana :

$I_2 \text{ fasa}$ = arus gangguan hubung singkat dua fasa

$I_3 \text{ fasa}$ = arus gangguan hubung singkat tiga fasa

Pada gangguan hubung singkat dua fasa, arus dalam saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

2.5.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah



Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah
(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Penyaluran_listrik)

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

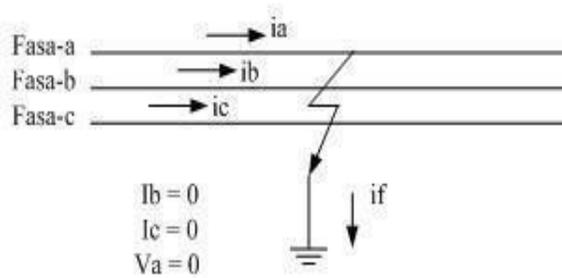
V_r = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 = impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 = impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

2.5.4. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



Gambar 2.5 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Penyaluran_listrik)

Gangguan ini adalah gangguan simetris sehingga memerlukan komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat adanya gangguan. Gangguan yang terjadi dianalisa melalui caranya yaitu menghubungkan singkat semua sumber tegangan sistem dan mengganti titik (*node*).

Gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum teradinya gangguan di titik gangguan tersebut, dengan menggunakan metode ini sistem ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpretasikan dengan menggunakan teori

komponen urutan positif negatif dan urutan nol

$$I_f = \frac{3 \times 20.000 / \sqrt{3}}{2 \times (Z_{1eq}) + (Z_{0eq})} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

I_f = arus gangguan hubung singkat

Z_{1e} = impedansi ekuivalen urutan positif

Z_{0eq} = impedansi ekuivalen urutan negatif

2.6. Durasi Gangguan

2.6.1. Gangguan Yang Bersifat Permanen

Sebelum dihilangkan penyebab gangguan ini maka akan bersifat permanen. Penyebab gangguan ini adalah kerusakan yang terjadi pada komponen yang mengharuskan untuk segera diperbaiki. Gangguan ini ditandai oleh pemutus tenaga yang aktif, cara menanganinya dilakukan oleh operator dengan cara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat dahan yang menimpa kawat phasa dan saluran udara serta adanya kawat yang putus.

2.6.2. Gangguan Yang Temporer Atau Sementara

Gangguan ini tidak terjadi begitu lama dan memungkinkan untuk bisa kembali normal. Dengan pemutus sementara saja bagian yang mengalami gangguan maka gangguan tersebut dapat hilang, lalu dilakukan penutupan kembali peralatan hubungannya. Gangguan ini jika terjadi terus menerus maka bisa mengakibatkan kerusakan permanen.

Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layang-layang.

2.7. Sistem Pentanahan

Sistem proteksi yang digunakan untuk mengamankan peralatan serta manusia apabila terjadi gangguan tanah kebocoran arus dan juga tegangan lebih pada jaringan. Dengan menggunakan sistem pentanahan juga dapat mengalirkan jika terjadinya tegangan lebih yang diakibatkan oleh sumbaran petir. Sistem pentanahan merupakan suatu sitem pengaman dalam jaringan distribusi yang langsung rangkaiannya ditanahkan dengan mentanahkan isolasi, terhambat atau bertahannya tegangan sistem karena terputusnya.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memahami persyaratan berikut ini :

- a. Membuatkan jalur impedansi rendah ke tanah sebagai pengaman personil dan peralatan dengan rangkaian yang efektif.
- b. Mampu melawan serta menyebarkan gangguan berulang juga arus dari surja hubung (*surge current*)
- c. Memakai bahan anti korosi serta berbagai kondisi kimiawi tanah. Untuk meyakinkan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Memakai sistem mekanik yang sangat kuat tetapi mudah dalam pelayanannya.

Tujuan dari sistem pentanahan dan *dounding* pengaman adalah sebagai berikut :

- a. Dapat mencegah perbedaan potensial antara bagian tertentu dari instalasi secara umum.
- b. Meneruskan arus gangguan menuju tanah untuk keamanan peralatan dan juga manusia.
- c. Mengantisipasi terjadinya bahaya sentuh tidak langsung yang dapat mengakibatkan tegangan kejut.

2.8. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Pertama kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan *primer* di G1 untuk berbagai jenis gangguan, lalu menghitung pada titik yang semakin jauh dari G1. Impedansi dasar pada rel daya tegangan tinggi meliputi impedansi sumber, impedansi transformator dan impedansi penyulang.

2.8.1 Impedansi Sumber

Harus melakukan perhitungan pada impedansi di bus 150 kv sebelum melakukan perhitungan pada impedansi sumber pada 20 kv.

Persamaan yang diperoleh adalah berikut ini :

$$Z_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Zs = Impedansi Sumber (Ω)

kV2 = Tegangan sisi primer transformator tenaga (kV)

MVA= Daya hubung singkat di bus 150 k (MVA)

Arus hubung singkat sisi 20 kv didapatkan dengan cara mengkonversi impedansi sumber di bus 150 kv ke sisi 20 kv, dengan persamaan :

$$Z_s(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times Z_s(\text{sisi } 150 \text{ kV}) \dots \dots \dots (2.7)$$

2.8.2 Impedansi Transformator

Persamaan dalam perhitungan impedansi transformator 20 kv adalah berikut ini :

$$X_t = Z\% \times \frac{kV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

Xt = Impedansi transformator tenaga (Ω)

Z% = Impedansi tranformator tenaga (Ω)

kV2 = Tegangan sisi sekunder transformator tenaga (kV)

MVA= Kapasitas daya transformator daya (MVA)

- Reaktansi urutan positif (X1)

Reaktansi urutan positif tercantum pada papan nama (*name plate*) pada transformator tenaga, nilainya mengacu pada kapasitas transformator tenaga yang dimana $X_{t1} = X_{t2}$.

- Reaktansi urutan nol

Reaktansi urutan nol didapatkan melalui data transformator, yaitu pada belitan delta sebagai belitan ketiga dalam transformtor. Untuk Belitan transformator tenaga dengan hubungan belitan YNyn0+d, dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t2} = X_{t1}$ Pada transformator tenaga dengan hubungan belitan Y YNyn0+d, 21 dengan kapasitas belitan delta (D), sepertiga dari kapasitas belitan Y, maka nilai $X_{t0} = 3xX_{t1}$ Untuk tranformator tenaga dengan hubungan belitan Yyn dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya. Maka besarnya XT0 berkisar antara 9 sampai dengan 14x XT1

2.8.3 Impedansi Penyulang

Besarnya impedansi penyulang bergantung pada besar impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung dimana nilai tersebut tergantung dari jenis penghantarnya yaitu dari bahan penghantar dari besar kecilnya penampang penghantar besar impedansi suatu penyulang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Z_1 = Kms \times R \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi penyulang

Kms = Panjang saluran penyulang

R = reaktansi/hambatan pada kabel(Ω)

Nilai impedansi penyulang akan berpengaruh terhadap besar nilai arus hubung singkat yang terjadi pada sistem tersebut.

2.8.4 Impedansi Ekuivalen

Perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan besar nilai impedansi positif ($Z1_{eq}$), negatif ($Z2_{eq}$), dan nol ($Z0_{eq}$), dari titik gangguan sampai ke sumber sesuai dengan urutan. Pada sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan $Z1_{eq}$ dan $Z2_{eq}$ diperoleh langsung dengan menjumlahkan impedansi-impedansi tersebut. Sedangkan untuk perhitungan $Z0_{eq}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan. Sehingga untuk impedansi ekuivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

- Urutan positif dan urutan negatif ($Z1_{eq} = Z2_{eq}$)

$$Z1_{eq} = Z2_{eq} = Zs1 + Zt1 + Z1_{penyulang} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

$Z1_{eq}$ = impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)

$Z2_{eq}$ = impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (ohm)

$Zs1$ = impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

$Zt1$ = Impedansi transformator tenaga urutan dari negatif (ohm)

$Z1$ = Impedansi urutan positif dari negatif penyulang(ohm)

- Urutan nol

$$Z_0 \text{ eq} = Z_{t0} + 3xRN + Z_0 \text{ penyulang} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$Z_0 \text{ eq}$ = impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)

Z_{t0} = impedansi transformator tenaga urutan nol (ohm)

RN = tambahan tanah transformator tenaga (ohm)

Z_0 = impedansi urutan nol penyulang (ohm)

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari hubung singkat tiga fasa, dua fasa atau satu fasa ke tanah.

2.9. ETAP 19.0.1

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

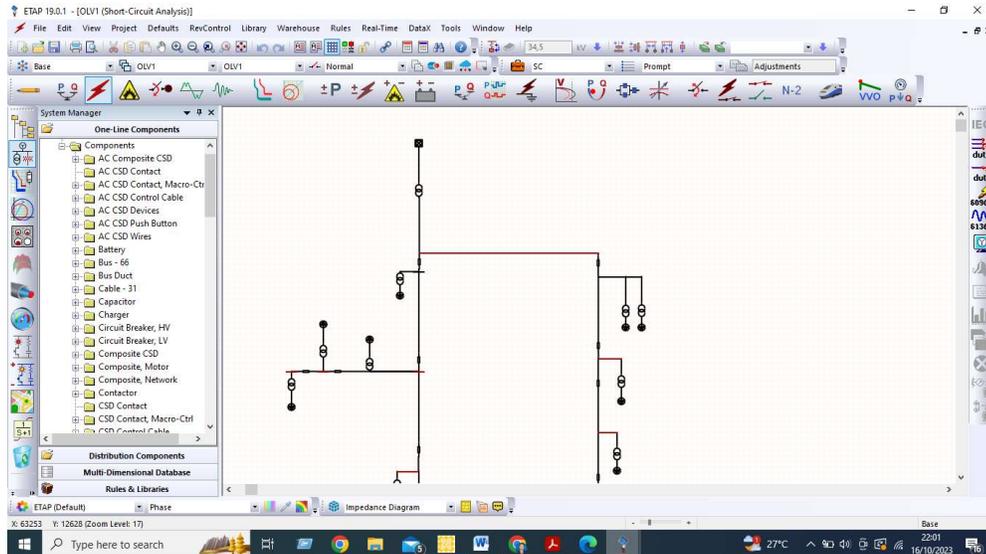
tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain :

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

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram salurantunggal (*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.

2.9.1 Tampilan Worksheet Software ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) adalah software yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik. Software ETAP dapat bekerja secara offline (untuk simulasi sistem tenaga listrik) maupun secara online yang bertujuan untuk menganalisis data secara real time (seperti SCADA). Software ETAP sangat bermanfaat dalam perencanaan sistem kelistrikan. Dalam ETAP, terdapat jenis-jenis elemen seperti elemen AC, *instrument* maupun elemen DC, sehingga tampilan layar dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6. dibawah ini.



Gambar 2. 6 Tampilan Worksheet ETAP

2.9.2 Hal Yang Perlu Diperhatikan Dalam Menggunakan ETAP

1) *Single Line Diagram (SLD)*

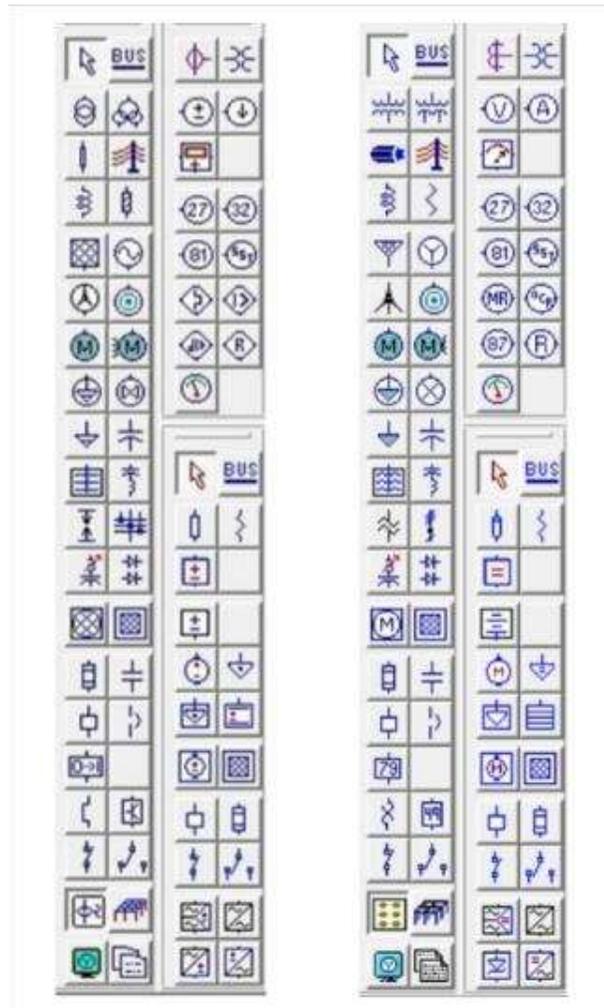
Merupakan representasi (penggambaran) sederhana hubungan antar komponen atau peralatan listrik yang membentuk suatu sistem tenaga listrik.

2) *Library*

informasi atau data mengenai semua komponen atau peralatan yang akan digunakan dalam suatu sistem tenaga listrik baik data elektrik maupun mekanis yang bertujuan untuk membantu dalam menentukan spesifikasi peralatan yang belum diketahui.

3) *Study Case*

Parameter yang berhubungan dengan metode studi yang dilakukan serta format hasil analisa, dapaan pada ditunjukkan pada Gambar 2.7. dibawah ini.



Gambar 2. 7 Menu Perintah dalam ETAP

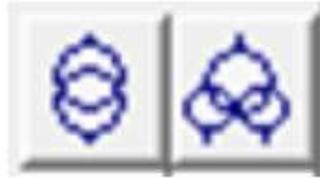
<https://www.anakteknik.co.id/>

2.9.3 Elemen AC Dalam ETAP

Berikut merupakan beberapa elemen AC dalam ETAP 19.0.1

dengan standar IEC sebagai berikut: (seperti pada Gambar 2.7)

1) Transformator



Gambar 2. 8 Elemen Transformator

Transformator adalah alat yang berfungsi untuk mentransformasikan (tegangan/arus) dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya pada tegangan AC (arus bolak-balik).

2) Generator



Gambar 2. 9 Elemen Generator (sumber- Idem)

Mesin listrik yang berfungsi untuk membangkitkan listrik dari sumber energi mekanik.

3) *Circuit Breaker* (Pemutus Rangkaian)

Peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Gambar sebelah kiri adalah *Circuit Breaker* untuk tegangan tinggi (High Voltage) sedangkan gambar

sebelah kanan adalah *Circuit Breaker* untuk tegangan rendah (*Low Voltage*). Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Elemen Circuit Breaker (sumber idem)

4) Beban

Gambar sebelah kiri adalah *Static Load* sedangkan gambar sebelah kanan adalah *Lumped Load*. *Static Load* adalah beban yang tidak banyak mengandung beban motor listrik sedangkan *Lumped Load* adalah gabungan antara *Static Load* dan *Motor Load*. (Gambar 2.11. dibawah ini)



Gambar 2. 11 Elemen Beban (sumber_idem)

5) Bus AC

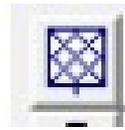
Tempat penyambung beberapa komponen sistem tenaga listrik seperti saluran transmisi, jaringan distribusi, *Power Grid*, dan generator (Gambar 2.12)



Gambar 2. 12 Elemen BUS AC (sumber_idem)

6) Power Grid

Sumber tegangan yang ideal yang mampu mensuplai daya dengan tegangan tetap sekalipun daya yang diserap cukup besar. Contoh dari Power Grid adalah Generator yang besar atau dari sebuah Gardu Induk (Gambar 2.13. Elemen Grid).



Gambar 2. 13 Elemen *Power Grid*

2.9.4 Toolbar Untuk Analisa Sistem Tenaga Listrik

Berikut merupakan penjelasan toolbar yang dapat digunakan untuk analisa pada ETAP 19.0.1 Power Station dengan urutan dari kiri ke kanan: (Gambar 2.14) dibawah ini.

1) Edit Menu



Gambar 2. 14 Elemen *Tool Bar* Analisa Sistem Tenaga Listrik (sumber idem)

2) *Load Flow Analysis* (Analisa Aliran Daya)



Gambar 2. 15 Menu Analisa Aliran Daya (sumber idem)

3) *Short Circuit Analysis* (Analisa Hubung Singkat)



Gambar 2. 16 Menu Analisa Hubung Singkat (sumber idem)

4) *Motor Starting Analysis*:



Gambar 2. 17 Menu *Motor Starting Analysis* (sumber idem)

5) *Harmonic Analysis*



Gambar 2. 18 Menu Analisa Harmonisa (sumber idem)

6) *Transient Stability Analysis* (Analisa Kestabilan Transien)

Analisa kestabilan transien yaitu suatu studi dan analisis respon sistem tenaga listrik terhadap gangguan seperti hilangnya pembangkitan dan perubahan beban mendadak dalam beberapa detik pertama setelah gangguan dan kemudian frekuensi mesin sinkron mengalami penyimpangan transien dari frekuensi sinkron. Tujuannya untuk memastikan sistem dapat kembali ke frekuensi sinkron setelah mengalami gangguan.



Gambar 2. 19 Menu Analisa Kestabilan Transien (sumber idem)

7) *Relay Coordination*



Gambar 2. 20 Menu Analisa *Relay Coordination* (sumber idem)

8) *DC Load Flow Analysis*



Gambar 2. 21 Menu Analisa *DC Load Flow Analysis* (sumber idem)

9) *DC Short Circuit Analysis*



Gambar 2. 22 Menu Analisa *DC Short Circuit Analysis* (sumber idem)

10) *Baterai Sizing*



Gambar 2. 23 Menu Analisa *Baterai Sizing* (sumber idem)

11) *Unbalanced Load Flow*



Gambar 2. 24 Menu Analisa *Unbalanced Load Flow* (sumber idem)

12) *Optimal Power Flow*



Gambar 2. 25 Menu Analisa *Optimal Power Flow* (sumber idem)

13. *Reliability Analysis*



Gambar 2. 26 Menu *Reliability Analysis* (sumber idem)

14. *Optimal Capacitor Placement*

Untuk analisa penempatan kapasitor secara optimal.



Gambar 2. 27 Menu Analisa *Optimal Capacitor Placement*
(sumber idem)