BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Rizki Tirta Nugraha (2014), alumni Univesitas Brawijaya dengan penelitiannya "Analisa rugi daya sistem distribusi dengan peningkatan injeksi jumlah pembangkit tersebar". Dalam penelitiannya, Rizki melakukan analisis tentang penerapan pembangkit tersebar di salah satu penyulang (*feeder*) GI Turen kota Malang dengan menggunakan skenario lokasi bus dan daya pembangkit tersebar yang akan diinjeksikan.

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan perubahan level tegangan dari -10% menjadi -1% atau dari 0.90 p.u. menjadi 0.99 p.u. Dampak lain yang terjadi adalah turunnya losses pada saat sebelum diinjeksi dengan pembangkit tersebar sebesar 4.37% menjadi 1.05% daya aktif (P) dan 10.98% menjadi 1.98% daya reaktif (Q).

Nolky Jonal Hontong (2015), alumni Universitas Sam Ratulangi Manado telah melakukan penelitiannya yaitu "Analisa Rugi-rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu" penelitian tersebut bertujuan menganalisis jatuh tegangan pada jaringan distribusi PT PLN kota Palu dengan menggunakan rumus jatuh tegangan.

Dari hasil penelitiannya diperoleh penyulang Anggrek dan Penyulang Matahari memiliki nilai jatuh tegangan sebesar 25,65% dan 14,98%, menurutnya hal ini disebabkan konduktor yang digunakan telah mencapai batas kemampuan konduktor.

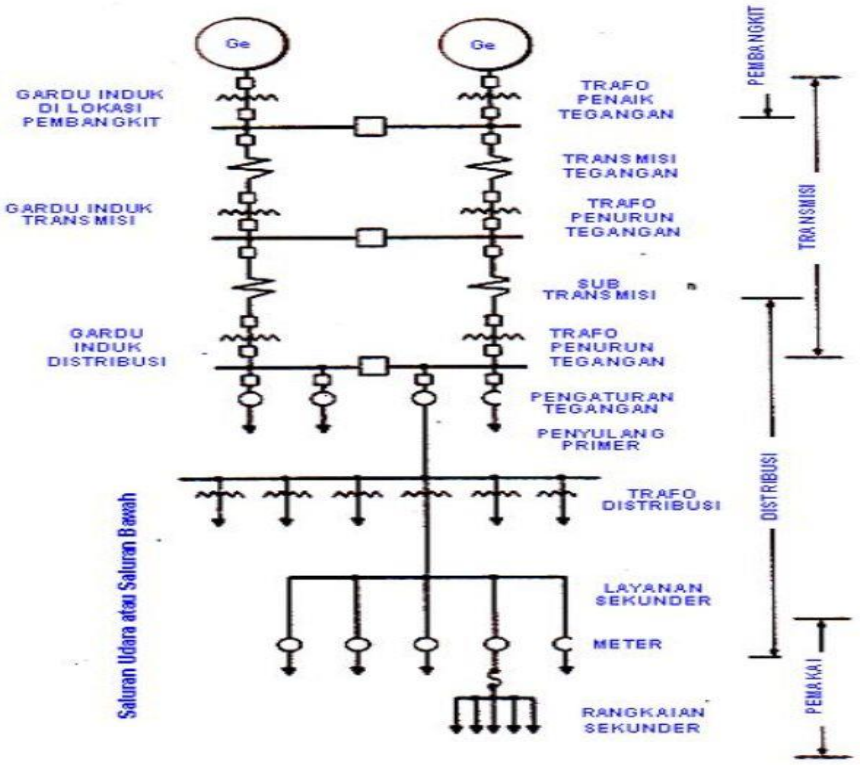
2.2. Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.2.1.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai

dengan kebutuhan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat dijelaskan pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik (dunia-listrik.blogspot.co.id.25/5/2016)

Pembangkit tenaga listrik merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lainnya seperti: air, batu bara, panas bumi, dll. Level tegangan sistem pembangkitan ini biasanya disesuaikan dengan spesifikasi generatornya, tegangan yang dihasilkan merupakan tegangan menengah (TM), yaitu antara 6 sampai dengan 24 kV.

Transmisi merupakan sistem yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi. Untuk meminimalisir rugi-rugi daya pada sistem ini, tegangan yang akan dikirim dinaikkan dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi 150 kV atau tegangan ekstra tinggi 500 kV. Saluran transmisi terdiri dari saluran udara, saluran bawah tanah (*underground cable*) dan saluran bawah laut (*submarine cable*).

Jaringan distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen (pabrik, industri, perumahan dan sebagainya). Listrik yang yang berasal dari saluran transmisi dengan tegangan tinggi atau ekstra tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah pada gardu induk dan tegangan rendah pada trafo distribusi (Suripto S.2016).

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.2.2.1 Pengertian Sistem Distribusi Tenaga listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik juga dapat didefinisikan sebagai semua bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar (*big power source*) dengan rangkaian pelayanan pada konsumen (Suhadi dkk. 2008). Sumber daya besar tersebut dapat berupa:

1. Pusat pembangkit tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan jaringan distribusi.
2. Gardu induk, yaitu gardu yang disuplai dari pusat pembangkit tenaga listrik melalui jaringan transmisi dan sub transmisi. Salah satu fungsi dari gardu induk adalah menyuplai tenaga listrik ke gardu distribusi melalui jaringan distribusi.
3. Gardu distribusi, merupakan gardu yang disuplai dari gardu induk melalui jaringan distribusi. Salah satu fungsi dari gardu distribusi adalah sebagai penyuplai tenaga listrik kepada konsumen yang letakknya jauh dari gardu induk maupun pusat pembangkit tenaga listrik.

Adapun fungsi utama dari sistem distribusi adalah menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya (pembangkit) ke pelanggan atau konsumen, baik buruk suatu jaringan distribusi dapat dinilai dari bermacam-macam faktor, antara lain mengenai hal-hal sebagai berikut:

1. Regulasi Tegangan
2. Kontinyuitas Pelayanan
3. Efisiensi
4. Fleksibilitas

5. Harga Sistem

Dari 5 faktor diatas, masalah-masalah yang dihadapi dalam suatu sistem jaringan distribusi adalah bagaimana menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dengan cara sebaik mungkin untuk saat tertentu dan juga untuk masa yang akan datang. Sistem distribusi tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap pelayanan (*interruption*) pada sistem tidak boleh terlalu lama.
2. Gangguan terhadap pelayanan tidak boleh terlalu sering.
3. Sistem bersifat fleksibel (mudah dalam menyesuaikan diri dengan keadaan yang terjadi, seperti perubahan beban dan lainya yang tidak menelan biaya yang tinggi).
4. Regulasi tegangan tidak terlampau besar.
5. Biaya sistem operasional harus seminimal mungkin.

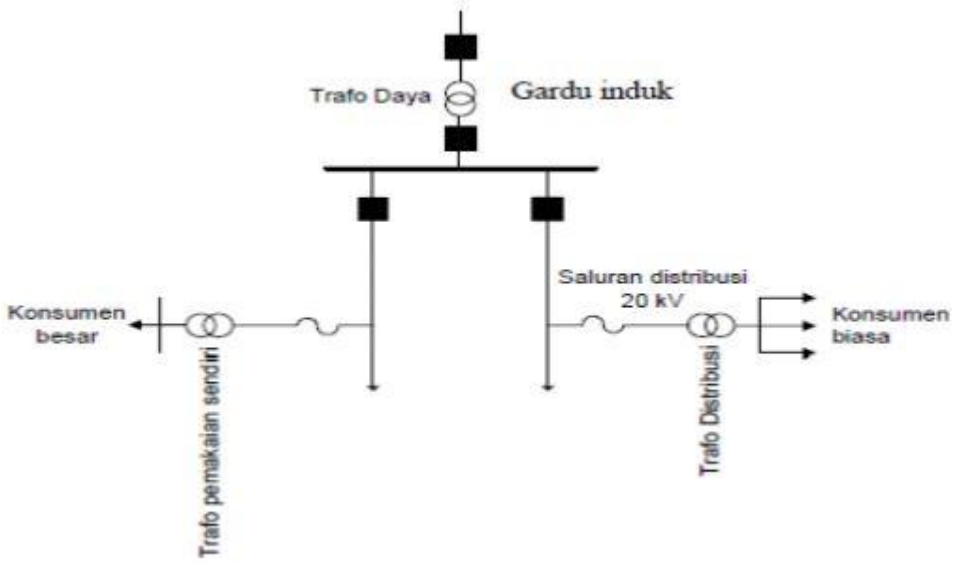
Bagian-bagian dari sistem jaringan distribusi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari dua bagian besar, yaitu sebagai berikut:

1. Jaringan distribusi primer

   Jaringan distribusi primer, yaitu terletak diantara sisi sekunder trafo *substation* (gardu induk) sampai dengan sisi primer trafo distribusi. Pada umumnya saluran distribusi primer mempunyai nilai tegangan menengah sebesar 6 dan 20 kV. Jaringan distribusi primer pada umumnya mempunyai 5 jenis jaringan yaitu sistem radial, sistem lingkar (loop), sistem hantaran hubung (*tie lie*), sistem *spindel* dan sistem *cluster*.
2. Jaringan distribusi sekunder

   Jaringan distribusi sekunder, yaitu terletak pada sisi sekunder trafo distribusi sampai titik cabang menuju beban. Level tegangan yang digunakan pada umumnya yaitu 380/220 V.

Sistem jaringan distribusi primer dan sekunder seperti pada gambar 2.2 merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang pada umumnya daya yang sampai ke titik-titik beban lebih kecil dari pada daya yang dibangkitkan. Hal ini disebabkan karena adanya rugi-rugi daya sepanjang jaringan yang disebabkan pemakaian beban konsumen, panjang saluran yang dipakai dan luas penampang penghantar. Rugi-rugi daya ini akan berbeda pada tiap-tiap penyulang, tergantung dari besarnya pemakaian beban dan luasnya daerah pelayanan dari masing-masing penyulang. Dari rugi-rugi daya inilah yang akan mempengaruhi nilai efisiensi penyaluran untuk menentukan besar energi listrik yang sampai ke konsumen.



Gambar 2.2 Skema sistem penyaluran tenaga listrik

2.2.2.2 Parameter-Parameter Saluran Distribusi

Dalam penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai ke konsumen melalui suatu sistem yang panjang, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi besaran tenaga listrik yang diterima.

1. Resistansi Saluran

   Nilai tahanan saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor, suhu, dan efek kulit (*skin effect*). Tahanan merupakan sebab

utama timbulnya susut tegangan pada saluran transmisi. Dikenal dua macam tahanan, yaitu tahanan arus searah dan tahanan arus bolak-balik.

2. Reaktansi Saluran

   Dalam hal arus bolak–balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah–ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi.

3. Induktansi Saluran

   Suatu penghantar yang membawa arus menghasilkan suatu medan magnetik di sekeliling penghantar. Fluks magnetik saluran merupakan lingkaran konsentris tertutup dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan. Dengan penunjukan ibu jari sebagai arah arus, jari tangan kanan yang melingkari titik kawat sebagai arah medan magnetik.

2.2.3 Faktor Daya

Faktor daya atau biasa disebut dengan cos φ didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif dengan daya semu. Factor daya dirumuskan sebagai berikut:

$$Faktor\ daya = \frac{P}{S} = \frac{V.I.cos\varphi}{V.I} \quad \text{..... (2.1)}$$

Faktor daya menentukan nilai guna dari daya yang dapat dipakai/digunakan. Faktor daya yang optimal adalah sama dengan satu. Faktor daya *lagging* maupun *leading* bersifat memperkecil nilai guna tersebut. Umumnya pemakaian tenaga di industry sebagian besar bersifat *lagging*.

(a) (b)

Beban bersifat kapasitif (*leading*) Beban bersifat induktif (*lagging*)

Gambar 2.3 Aljabar Fasor

Daya listrik adalah laju hantaran energi listrik yang mengalir pada suatu penghantar. Daya listrik dapat dibagi menjadi tiga, yaitu daya semu (S), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q).

1. Daya Semu

   Daya Semu (S) merupakan hasil perkalian tegangan dan arus yang melalui pengahantar.

   $S_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V \times I$ ..... (2.2)

   $S_{1\emptyset} = V \times I$ ..... (2.3)

   Dimana:

   S = Daya semu (VA)
   V = Tegangan (Volt)
   I = Arus yang mengalir (Ampere)

2. Daya Aktif

   Daya aktif atau daya nyata (P) adalah daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan/mengoperasikan mesin-mesin listrik atau peralatan listrik lainnya.

   $P_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V \times I \times cos\varphi$ ..... (2.4)

   $P_{1\emptyset} = V \times I \times cos\varphi$ ..... (2.5)

Dimana:

P = Daya aktif (Watt/W)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

Cosφ = faktor daya

3. Daya Reaktif

Daya reaktif (Q) merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar tersebut, dimana daya ini berguna untuk pembentukan medan magnet.

$Q_{3\emptyset} = \sqrt{3} \times V \times I \times sin\varphi$ ..... (2.6)

$Q_{1\emptyset} = V \times I \times sin\varphi$ ..... (2.7)

Dimana:

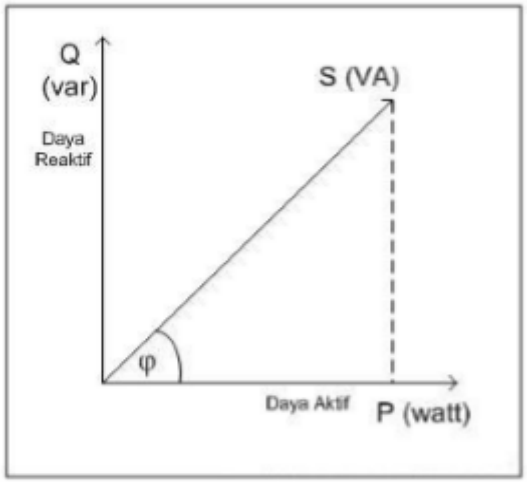
Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

Sinφ = faktor daya

Dari penjelasan ketiga daya diatas, maka terbentuklah suatu hubungan antara daya aktif, reaktif dan semu, atau biasa dikenal dengan istilah segitiga daya.



Gambar 2.3 Segitiga Daya

2.2.4 Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

2.2.4.1 Pengertian Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.

Jatuh tegangan juga didefinisikan sebagai selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan pada suatu jaringan (Asy'ari H., 2011). Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus. Pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admintansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Berdasarkan pengerrtian diatas, jatuh tegangan pada suatu saluran dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = V_s - V_r \quad \text{..... (2.8)}$$

Dimana:

ΔV = drop tegangan (V)

Vs = tegangan kirim (V)

Vr = tegangan terima (V)

Dari persamaan diatas, maka dapat di ketahui nilai jatuh tegangan relatif atau biasa dikenal dengan *Voltage* Regulation (VR) dengan persamaan:

$$VR = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad \text{..... (2.9)}$$

Perhitungan Jatuh tegangan praktis pada saluran distribusi tanpa beban induksi menurut PLN dapat digunakan persamaan-persamaan berikut (Wibowo R. dkk. 2010):

1. Sistem Fasa Tunggal, cos $\varphi \approx 1$
   - Jatuh Tegangan (%)

   Untuk beban P, panjang L; Δu (%) Besarnya penampang saluran, q (mm^2)

$$q = \frac{2L \times I \times 100}{V \times \Delta_V \times \sigma} \ [mm^2] \quad \text{atau} \quad q = \frac{2L \times P \times 100}{V^2 \times \Delta_u \times \sigma} \ [mm^2] \ldots\ldots\ldots (2.10)$$

- Jatuh Tegangan (Volt)

$$q = \frac{L \times P \times 2}{V \times \Delta_V \times \sigma} \ [mm^2] \quad \text{atau} \quad \Delta_V = \frac{L \times I \times 2}{\Delta V \times \sigma} \ [\text{Volt}] \ldots\ldots\ldots (2.11)$$

2. Sistem Fasa Tiga , cos $\varphi \approx 1$

$$q = \frac{1{,}73 \times L \times I \times \cos\varphi}{\Delta_V \times \sigma} \ [mm^2] \quad \text{atau} \quad \Delta_V = \frac{1{,}73 \times L \times I \times \cos\varphi}{q \times \sigma} \ [\text{Volt}] \ldots. (2.12)$$

Bila diketahui besarnya beban P dalam Watt, maka:

$$q = \frac{L \times P}{V \times \Delta_V \times \sigma} \ [mm^2] \ldots\ldots\ldots (2.13)$$

Dimana:

P = beban dalam [Watt]
V = tegangan antara 2 saluran [Volt]
q = penampang saluran [mm2]
ΔV = jatuh tegangan [volt]
Δu = jatuh tegangan [%]
L = panjang saluran (bukan panjang penghantar) [meter sirkuit]
I = arus beban [A]
σ = konduktivitas bahan penghantar Cu = 56; Alumunium = 32,7

2.2.4.2 Perbaikan Tegangan

Dalam penyediaan tenaga listrik, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Meminimalisir jatuh tegangan merupakan salah upaya penyedia energi listrik menjaga strandar pelayanannya kepada konsumen. Perbaikan tegangan pada jaringan distribusi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Trafo pengubah tap

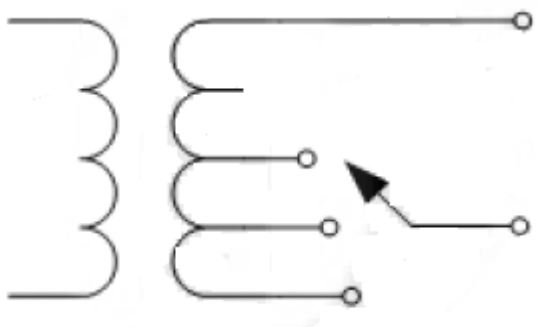
Perbaikan tegangan dapat dilakukan dengan metode pengaturan tegangan berupa penggunaan trafo pengubah tap. Trafo pengubah tap berfungsi untuk

mengatur rasio lilitan primer dan sekunder trafo. Dengan demikian memungkinkan untuk mengatur tegangan keluaran trafo.

Trafo pengubah tap dapat digunakan digardu induk maupun gardu distribusi tergantung dari perbaikan tegangan yang diinginkan. Proses perubahan tap trafo itu sediri ada dua jenis, yaitu perubahan tap trafo positif dan negative. Pada umumnya nilai perubahan tap trafo menggunakan ukuran persen (%) dan ukurannya berfariasi antara ± 10% sampai ± 15% tergantung dari trafo yang digunakan. Perubahan tap positif akan meningkatkan jumlah lilitan di sisi sekunder. Trafo pengubah tap biasanya telah memiliki ukuran tap sendiri tergantung dari pabrik yang memproduksinya. Sehingga pengaturan tegangan dengan menggunakan trafo pengubah tap sifatnya terbatas dan tergantung dari jenis trafo pengubah tap yang digunakan. Semakin banyak level perubahan tap yang dimiliki oleh suatu trafo semakin banyak pula proses pengaturan tegangan yang dilakukan.

Jenis trafo pengubah tap itu sendiri mempunyai dua macam yaitu *off-load tap changing transformer* dan *under-load tap changing transformer*(ULTC). Trafo jenis ULTC dapat digunakan secara bervariasi setiap hari, setiap jam, bahkan setiap menit tergantung kondisi sistem tanpa harus menimbulkan interupsi terhadap suplai daya listrik.

Gambar 2.4. Merupakan skema trafo pengubah tap, dimana pengubah tap trafo berada pada sisi sekunder.



Gambar 2.4 Skema trafo pengubah tap

Sistem kerja pada trafo pengubah tap itu sendiri dapat dilakukan secara manual dan otomatis. Perubahan tap secara manual dianggap kurang efisien sebab masih membutuhkan peran manusia untuk mengubah posisi tap trafo setiap terjadi penurunan nilai tegangan yang cukup signifikan. Pengaturan tap trafo secara otomatis dapat dilakukan dengan menggunakan *Line drop compensation* (LDC). Perubahan tegangan yang terdeteksi akan diumpan balik ke pengatur tegangan otomatis yang kemudian akan memerintahkan motor listrik pengubah tap trafo untuk memindahkan posisi tap trafo ke posisi yang sesuai untuk mengembalikan tegangan keluaran trafo yang konstan.

Sedangkan jika dilakukan secara manual, dapat dilakukan dengan mengatur posisi tap trafo sisi sekunder sesuai dengan yang diinginkan. Jika ingin menaikkan tegangan trafo maka dilakukan pengubahan tap yang akan menambahkan jumlah lilitan sekunder (tap positif). Sedangkan untuk kondisi sebaliknya dilakukan dengan melakukan pengubahan tap trafo yang akan mengurangi jumlah lillitan sekunder (tap negatif). Dengan demikian nilai tegangan di sisi sekunder trafo akan mengalami penurunan.

2. Bank Kapasitor (*Capasitor Shunt*)

Bank kapasitor digunakan secara luas pada sistem distribusi untuk perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan feeder. Pada saluran transmisi, kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi rugi-rugi daya reaktif (I^2X) dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh.

Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Dengan melakukan pemasangan kapasitor bank, beban akan mendapatkan suplai daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan kapasitor bank, akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi akan dapat dikurangi.

Pengaturan tegangan dengan mengggunakan kapasitor bank, selain dapat memperbaiki nilai tegangan juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Sebab

dengan memasang kapasitor bank, akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban. Dengan berkurangnya nilai daya reaktif yang diserap oleh beban, akan meningkatkan nilai faktor daya.

Kapasitor bank dengan *switch* mekanik (MSC_S) dipasang di gardu utama pada area beban. Proses *switching* sering dilakukan secara manual dengan *relay* tegangan untuk melindungi *switch* ketika tegangan melebihi batasnya. Untuk stabilitas tegangan, kapasitor bank berguna untuk mendorong generator terdekat beroperasi dengan faktor daya mendekati satu.

3. Penggantian penghantar saluran

Penggantian penghantar saluran dapat dilakukan dengan mempertimbangkan luas penampang dan jenis bahan yang di gunakan untuk meminimalisir nilai tahanan penghantar. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik impedansi penghantar pada jaringan distribusi yang biasa digunakan berdasarkan ukuran luas penampang:

Tabel 2.1 Karakteristik Kabel Penghantar Pada Jaringan Distribusi

Luas Penampang (mm^2)	**Impedansi (Ohm/Kms)**	**KHA (A)**
XLPE 240	0.098 + j0.133	553
AAAC 240	0.1344 + j0.3158	585
AAAC 150	0.2162 + j0.3305	425
AAAC 70	0.4608 + j0.3572	210
AAAC 50	0.6452 + j0.3678	155

2.2.5 Rugi Daya (*Power Losses*)

2.2.5.1 Pengertian Rugi daya listrik

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik

dari sumber daya listrik utama ke suatu beban, Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya dan tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan.

1. Rugi-rugi saluran

   Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya.

   Panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan. Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter lain yang dapat diubah adalah luas penampang penghantar yang digunakan, dimana semakin besar luas penampang penghantar yang digunakan akan mengurangi resistansi saluran. Akan tetapi dalam pengubahan luas penampang harus memperhatikan faktor efisiensinya.

2. Rugi-rugi transformator

   Dalam unjuk kerjanya, trafo memiliki rugi-rugi yang harus diperhatikan. Rugi-rugi tersebut adalah sebagai berikut:

   - Rugi-rugi Tembaga (I^2R)

     Rugi-rugi tembaga merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya tahanan resistif yang dimiliki oleh tembaga yang digunakan pada bagian lilitan trafo, baik pada bagian primer maupun sekunder trafo.
   - Eddy Curent (arus eddy)

     Rugi-rugi arus eddy merupakan rugi-rugi panas yang terjadi pada bagian inti trafo. Perubahan fluks menyebabkan induksi tegangan pada bagian

inti besi trafo dengan cara yang sama seperti kawat yang mengelilinginya. Tegangann tersebut menyebabkan arus berputar pada bagian inti trafo. Arus eddy akan mengalir pada bagian inti trafo yang bersifat resistif. Arus eddy akan mendisipasikan energi kedalam inti besi trafo yang kemudian akan menimbulkan panas.

- Rugi-rugi Hysterisis

  Rugi-rugi histerisis merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan pengaturan daerah magnetik pada bagian inti trafo. Dalam pengaturan daerah magnetik tersebut dibutuhkan energi. Akibatnya akan menimbulkan rugi-rugi terhadap daya yang melalui trafo. Rugi-rugi tersebut menimbulkan panas pada bagian inti trafo.
- Fluks bocor

  Fluks bocor merupakan fluks yang terdapat pada bagian primer maupun sekunder trafo yang lepas dari bagian inti dan kemudian begerak melalui salah satu lilitan trafo. Fluks lepas tersebut akan menimbulkan *self-inductance* pada lilitan primer dan sekunder trafo.

2.2.5.2 Strategi Penurunan Rugi-rugi

Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi besar rugi-rugi baik secara langsung maupun tidak langsung dan didalam usaha untuk menurunkan rugi-rugi maka semua faktor tersebut harus mendapatkan perhatian dan dapat dikendalikan.

Ada beberapa macam strategi yang digunakan untuk mengurangi nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi, yaitu:

1. Melakukan penggantian penghantar saluran

   Penggantian Penghantar saluran yang tepat sesuai dengan keadaan sistem dapat dapat menekan nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar. Pemilihan jenis penghantar, luas penampang, mempengaruhi nilai resistansi pada penghantar saluran. Namun dalam pemilihan jenis dan luas penampang tetap harus memperhatikan faktor ekonomis.

2. Pemasangan Kapasitor

   Pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi berfungsi untuk memperbaiki faktor daya. Faktor daya menggambarkan sudut phasa antara daya aktif (P) dengan daya semu (S). Faktor daya yang rendah akan bersifat merugikan karena mengakibatkan arus beban yang tinggi. Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif sehingga akan mengurangi jumlah daya reaktif dan daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas.

3. Perawatan Sambungan

   Pemeliharaan rutin sambungan pada saluran dapat menekan nilai rugi-gugi daya pada jaringan, dikarenakan sambungan yang tidak baik dapat mengakibatkan *loss contact* dan menaikkan nilai R pada penghantar sehingga rugi I^2R menjadi lebih besar. Sambungan kawat yang tidak rapat sehingga terdapat celah udara yang seharusnya kedap udara, sehingga dapat menyebabkan alat cepat rusak. Sambungan yang tidak baik juga dapat disebabkan ranting pohon atau layang-layang yang menempel pada pada penghantar.

4. Rekonfigurasi jaringan

   Rekonfigurasi jaringan yaitu mengatur ulang konnfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup switch yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya. Biasanya dilakukan di feeder dengan beban yang besar dengan mengendalikan aliran beban pada masing-masing feeder dengan cara mensuplai daya dari feeder terdekat.

2.2.6 Energi Terbarukan (*Renewable Energy*)

2.2.6.1 Pengertian Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan (Wikipedia.10/08/2016).

2.2.6.2 Jenis-Jenis Energi Terbarukan

Teknologi energi terbarukan dapat menggunakan satu atau beberapa sumber energi terbarukan. Adapun sumber energi terbarukan dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. ***Bioenergy*:** adalah bentuk energi terbarukan yang berasal dari biomassa untuk menghasilkan listrik dan panas atau untuk menghasilkan bahan bakar cair untuk transportasi. Biomassa adalah bahan organik dari makhluk hidup tumbuhan atau hewan. Biomassa dapat tersedia dalam berbagai bentuk seperti produk pertanian, produk kehutanan, dan kota dan limbah lainnya.

   Panas dapat digunakan untuk mengubah biomassa secara kimiawi menjadi bahan bakar minyak yang dapat dibakar seperti minyak tanah untuk membangkitkan listrik. Biomassa juga dapat langsung dibakar untuk menghasilkan uap untuk pembangkitan listrik atau proses manufaktur. Dalam sistem pembangkit, turbin biasanya menangkap uap dan generator mengubahnya menjadi listrik. Di industri kayu dan kertas, serpihan kayu terkadang langsung dimasukkan ke boiler untuk menghasilkan uap untuk proses manufaktur atau menghangatkan ruangan. Beberapa sistem pembangkit berbahan bakar batubara menggunakan biomassa sebagai sumber energi tambahan dalam boiler efisiensi tinggi untuk mengurangi emisi.

   Gas juga dapat dihasilkan dari biomassa untuk membangkitkan listrik. Sistem gasifikasi menggunakan temperatur tinggi untuk mengubah biomassa menjadi gas (campuran dari hidrogen, CO dan metana). Bahan bakar gas menggerakkan turbin yang sangat mirip dengan mesin jet, tetapi untuk membangkitkan listrik bukan memutar baling-baling jet. Biomassa yang membusuk di tanah juga menghasilkan gas metana yang dapat dibakar dalam boiler untuk memproduksi uap untuk pembangkitan listrik atau untuk proses industri.
2. ***Ocean Energy*:** adalah semua energi terbarukan yang berasal dari laut. Ada 2 jenis *Ocean energy* yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yaitu: energi mekanik dari pasang surut gelombang laut dan energi panas dari sinar matahari (OTEC). *Ocean energy* dapat diklasifikasikan menjadi 3 system yaitu:
   - **Energi gelombang laut (*wave energy*)** yaitu energi kinetik yang memanfaatkan beda tinggi gelombang laut dan salah satu bentuk

energi yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui parameter gelombangnya, yaitu tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode waktunya.

- **Energi pasang surut (*tidal energy*)** yaitu energi kinetik dari pemanfaatan beda ketinggian pasang permukaan laut antara saat pasang dan surut.
- **Energi panas laut (*Ocean Thermal Energy Conversion*/OTEC)** yaitu pembangkit listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur air laut di permukaan dan air laut dalam, dengan selisih temperatur minimal 20 ^{0}C.

3. ***Geothermal Energy*:** adalah energi panas yang terdapat dan terbentuk didalam kerak bumi. Energi panas bumi cukup ekonomis dan ramah lingkungan, namun terbatas hanya pada dekat area perbatasan lapisan tektonik. Pada umumnya system pembangkit listrik tenaga panas bumi sama halnya dengan pembangkit listrik batu bara menggunakan *steam turbine* untuk menghasilkan putaran yang diteruskan ke generator untuk menghasilkan listrik.
4. ***Solar Energy*:** adalah energi yang berasal dari matahari. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang paling menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya yang sangat besar. *Solar cell* atau sel surya adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi arus listrik. Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan photon.
5. ***Hydropower*:** adalah sumber energi terbarukan yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan tenaga listrik. Sistem pembangkit ini menghasilkan listrik ketika tekanan yang dihasilkan dari energi kinetik air memutar turbin yang dihubungkan ke generator.

6. ***Wind energy*****:** adalah energi terbarukan yang mengandalkan arus angin. Angin yang dihasilkan oleh mekanisme kompleks yang melibatkan rotasi bumi, kapasitas panas dari matahari, efek pendinginan dari lautan dan es di kutub, gradien suhu antara darat dan laut, dan efek fisik gunung dan hambatan lain. Energi angin dapat dikonversikan ke bentuk energi lainnya menggunakan turbin angin. Turbin angin mengubah kekuatan angin menjadi torsi (kekuatan rotasi), yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik untuk menghasilkan listrik. Output pembangkit listrik tenaga angin pada umumnya dari beberapa turbin angin dihubungkan melalui titik koneksi pusat sebelum dihubungkan ke jaringan listrik.

2.2.7 Pembangkit Listrik Terdistribusi (*Distributed Generation*)

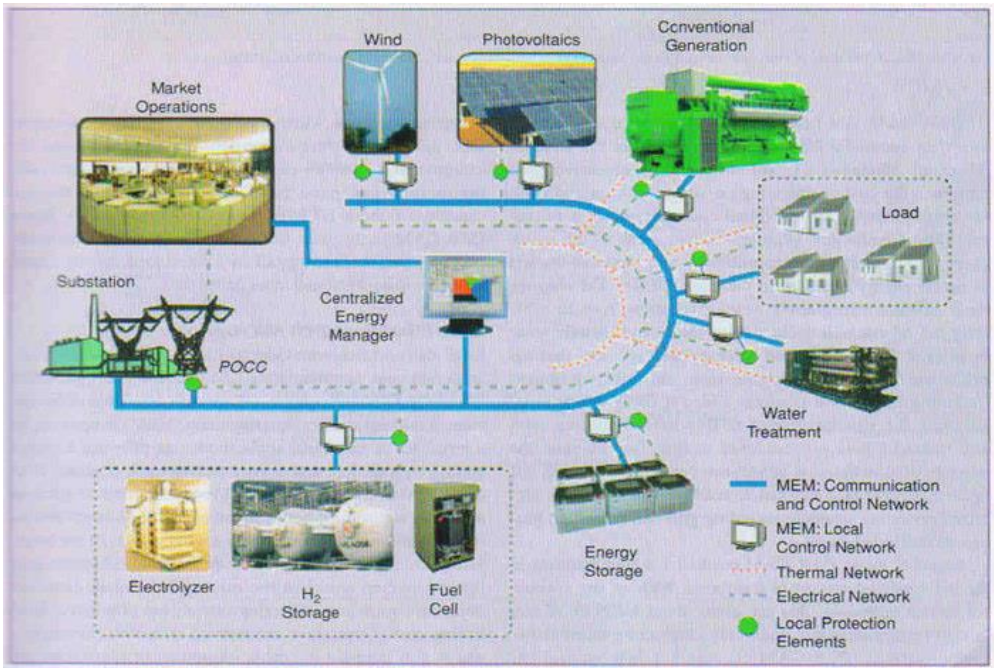
2.2.7.1 Pengertian *Distributed Generation*

Distributed Generation (DG) atau biasa dikenal dengan *Distributed energy, on-site generation (OSG), Distributed power, district/decentralized energy* memiliki beberapa pengertian menurut beberapa instansi dan ahli adalah sebagai berikut:

1. *Distributed power generation* adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi atau transmisi milik utility. (*Distributed Power Coalition of America*/DPCA)
2. *Distributed Generation* adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (on-site), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi. (*International Energy Agency*/ IEA)
3. *Distributed Generation* sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*/IEEE)

4. *Distributed Generation* adalah sumber energi listrik yang secara langsung terhubung ke jaringan distribusi atau ke meteran konsumen. (Ackerman T., dkk. 2000)

Semua definisi di atas menunjukkan bahwa DG merupakan pembangkit yang dihubungkan langsung ke jaringan distribusi pelanggan, tidak seperti pembangkit listrik terpusat dimana jarak antara pembangkit dan beban yang jauh, sehingga daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik harus dikirim melalui saluran transmisi. Konfigurasi sistem pembangkit terdistribusi terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.5 Skema Pembangkit Listrik Terdistribusi (Sumber: GE Research)

DG dapat dikelompokkan berdasarkan besar daya yang dihasilkan sebagai berikut:

1. Micro DG : 1 watt < 5 kW
2. Small DG : 5 kW < 5 MW
3. Medium DG : 5 MW < 50 MW
4. Large DG : 50 MW < 300 MW

2.2.7.2 Keuntungan *Distributed Generation*

Dalam banyak penelitian, DG dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannnya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkit konvensional. Menurut IEA (2002)., penilaian ekonomi atas nilai fleksibiltas DG sangat memungkinkan dan layak. Sebagian besar DG memang sangat fleksibel dalam beberapa hal seperti operasi, ukuran, dan kemajuan teknologi. Selain itu, DG dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

Dalam pemasangannya di jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG:

1. DG memberi keandalan yang lebih tinggi dalam pemanfaatan daya
2. DG sebagai sumer energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya listrik pada jaringan transmisi dan distribusi.
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efesiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efesiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol.

2.2.7.3 Dampak Pemasangan *Distributed Generation*

Pemasangan pembangkit lain pada jaringan distribusi listrik akan menghasilkan beberapa dampak terhadap jaringan diantaranya perubahan terhadap profil tegangan, rugi-rugi daya dan stabilitas jaringan.

1. Perubahan Profil Tegangan

   Daya reaktif dalam grid yang bertegangan rendah bergantung pada jenis DG yang dipasang. Untuk DG yang menggunakan elektronika daya, faktor daya dapat diatur sehingga dengan nilai faktor daya yang digunakan dapat memperbaiki profil tegangan pada jaringan. Untuk jaringan distribusi radial,

tegangan pada ujung saluran akan lebih rendah dari pada bagian saluran yang lainnya. Sehingga dengan pemasangan DG nilai tegangan pada ujung saluran tersebut akan menaikkan tegangan, pada sisi yang jauh dari gardu induk.

2. Keandalan sistem meningkat

   DG berpotensi digunakan oleh planner dan operator sistem tenaga listrik untuk meningkatkan kehandalan sistem baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Sebagai contoh, DG berpengaruh secara langsung untuk mendukung level tegangan lokal dan menghindari pemadaman yang terjadi karena voltage sag yang berlebihan. Secara tidak langsung DG juga dapat meningkatkan kehandalan dengan mengurangi stress pada komponen jaringan misalnya DG dapat mengurangi jumlah jam kerja transformator gardu bekerja pada level suhu yang tinggi, sehingga usia pemakaian trafo dapat lebih tahan lama.

3. Mereduksi rugi-rugi daya pada saluran distribusi

   Pada konfigurasi jaringan radial biasanya mempunyai saluran yang panjang, dengan hal ini menyebabkan rugi-rugi pada saluran distribusi akan semakin besar. Pemasangan kapasitor bank hanya sedikit berpengaruh terhadap daya reaktif sedangkan pemasangan DG dapat menyupai daya aktif dan reaktif pada saluran.

2.2.8 ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

2.2.8.1 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. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasiitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem *monitor manajemen* energi

secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, *(Awaluddin, 2007)*. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis *(oneline diagram)* dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aiiran daya, hubung singkat, *starting motor*, *trancient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis (energi08pnup.blogspot.com. 25/7/2017).

Etap *Power Station* memungkinkan para *engineer* untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram* (diagram satu garis). Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

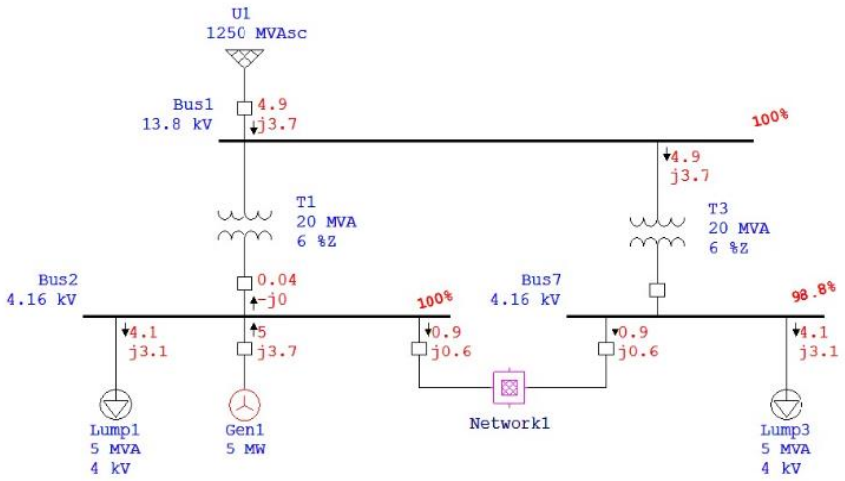
1. *Virtual Reality Operation*

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

   Etap *Power Station* menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem *database* yang sama. Misalnya, untuk elemen subuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisik nya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan *capacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik *routing*.

3. *Simplicity in Data Entry*

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



Gambar 2.6 Contoh *Single Line* pada ETAP
(ainulfarkhan.wordpress.com.15/08/2016)

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

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:

1. *One Line Diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.

2. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. *Standar* yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSII, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
4. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.