



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk power source*) sampai ke konsumen. Jadi, fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan. Hal ini disebabkan karena satu 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 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. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$).

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 inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt . Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Hal ini membuktikan bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



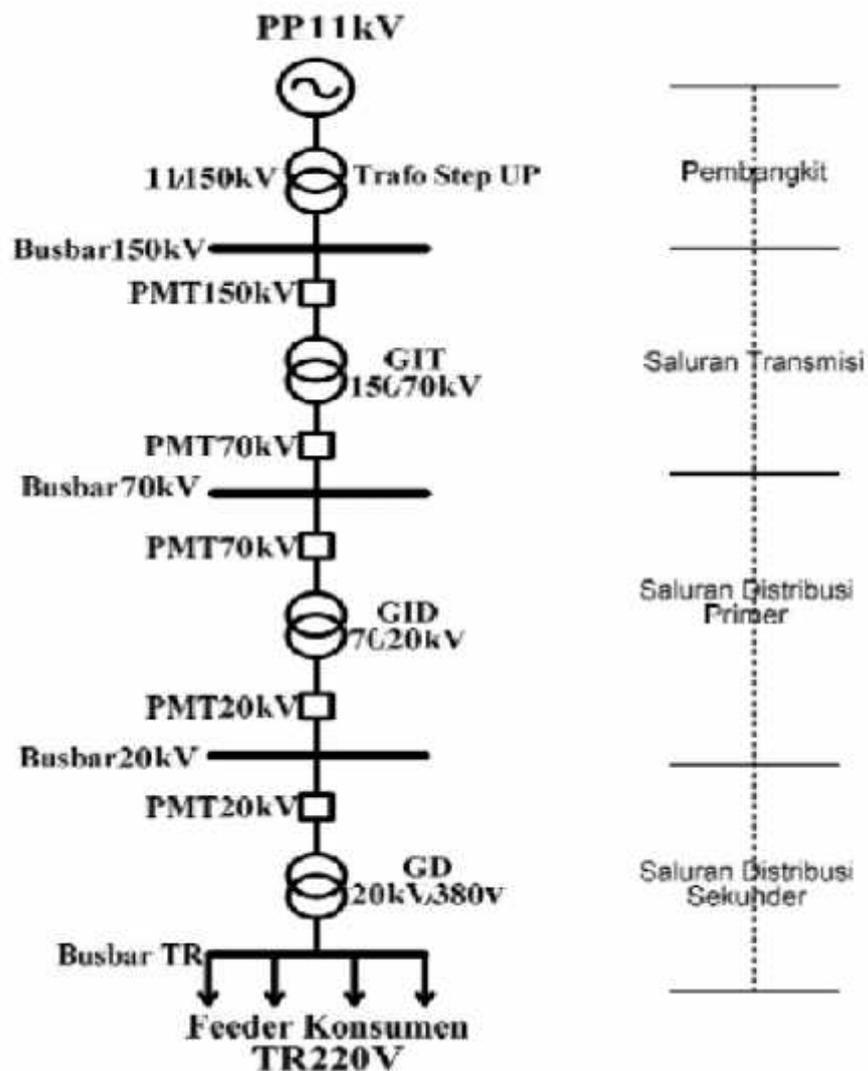
Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan transformator *step up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan transformator *step down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.[19]

2.1.1 Pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 2.1:

- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV)
- Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

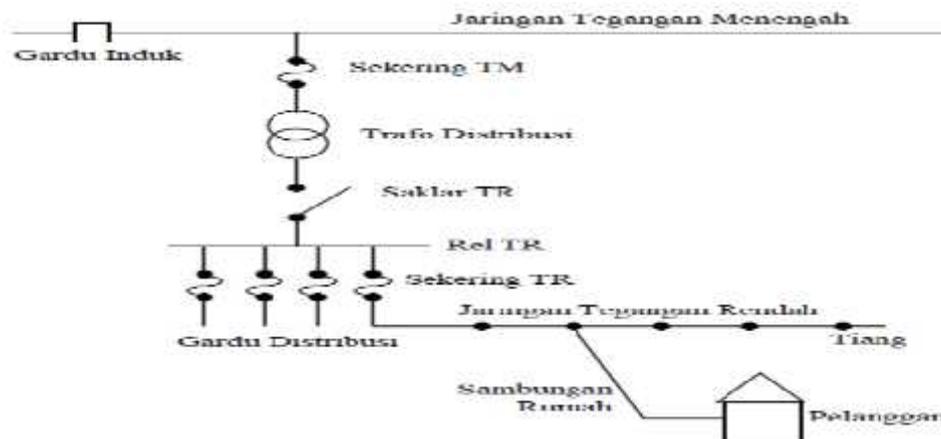
Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi sistem distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Pembagian dari jaringan diatas dapat dijelaskan lebih detail melalui gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik [1]

1. Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 2.2 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu transformator sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2.2 Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (transformator distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Sistem penyaluran daya listrik pada Jaringan tegangan rendah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Ukuran kabel LVTC adalah : $2 \times 10 \text{mm}^2$, $2 \times 16 \text{mm}^2$, $4 \times 25 \text{mm}^2$, $3 \times 35 \text{mm}^2$, $3 \times 50 \text{mm}^2$, $3 \times 70 \text{mm}^2$.

Penyambungan JTR menurut SPLN No.74 tahun 1987 yaitu “sambungan JTR adalah sambungan rumah (SR) penghantar di bawah tanah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan tiang JTR sampai alat pembatas dan pengukur (APP)”.

Jaringan ini menggunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keadaan pelayanan dan regulasi tegangan, distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang



menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering jaringan tegangan rendah. (Abdul Kadir, 2006)

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

1. Papan pembagi pada transformator distribusi;
2. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder);
3. Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai);
4. Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.[7]

2.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah suatu tempat/ bangunan instalasi listrik yang didalamnya terdapat alat-alat : Pemutus, penghubung, pengaman dan transformator distribusi untuk mendistribusikan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan tegangan konsumen.

Peralatan-peralatan ini adalah untuk menunjang mencapai pendistribusian tenaga listrik secara baik yang mencakup kontinuitas pelayanan yang terjamin, mutu yang tinggi dan menjamin keselamatan bagi manusia.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut :

1. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah;
2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan kekonsumen tegangan rendah;
3. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.



Gardu listrik pada dasarnya adalah rangkaian dari suatu perlengkapan hubung bagi :

- a. PHB Tegangan Menengah;
- b. PHB Tegangan Rendah.

Masing-masing dilengkapi gawai-gawai kendali dengan komponen proteksinya. Jenis-jenis gardu listrik atau gardu distribusi didesain berdasarkan maksud dan tujuan penggunaannya sesuai dengan peraturan Pemda setempat, yaitu:

1. Gardu distribusi konstruksi beton (Gardu beton);
2. Gardu distribusi konstruksi *metal clad* (Gardu besi);
3. Gardu distribusi tipe tiang portal, dan distribusi tipe tiang cantol (Gardu tiang);
4. Gardu distribusi mobil tipe kios, dan gardu distribusi mobil tipe *trailer* (Gardu mobil).

Komponen-komponen gardu :

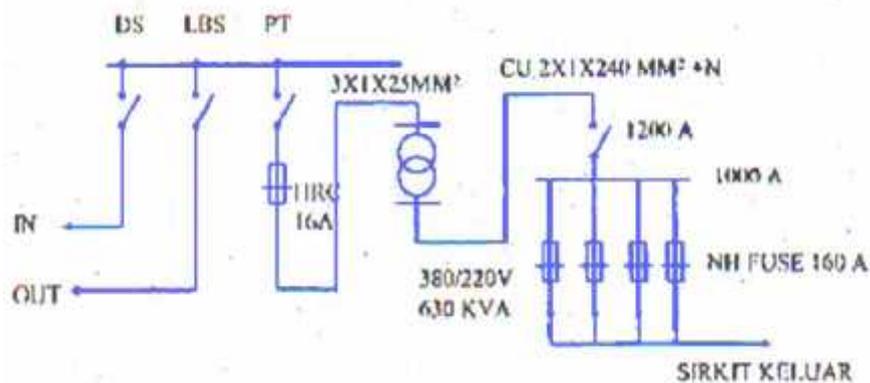
1. PHB sisi tegangan rendah;
2. PHB pemisah saklar daya;
3. PHB pengaman transformator;
4. PHB sisi tegangan rendah;
5. Pengaman tegangan rendah;
6. Sistem pbumian;
7. Alat-alat indikator.

Instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan rendah berupa PHB TR atau rak TR terdiri atas 3 bagian, yaitu :

1. Sirkuit Masuk + Sakelar;
2. Rel Pembagi;
3. Sirkuit Keluar + Pengaman Lebur Maksimum 8 Sirkuit.

Spesifikasi mengikuti kapasitas transformator distribusi yang dipakai. Instalasi kabel daya dan kabel kontrol, yaitu KHA kabel daya antara kubikel ke transformator minimal 125 % arus beban nominal transformator. Pada beban konstruksi memakai kubikel TM *single core* Cu: 3 x 1 x 25 mm² atau

$3 \times 1 \times 35 \text{ mm}^2$. Antara transformator dengan rak TR memakai kabel daya dengan KHA 125 % arus nominal. Pada beberapa instalasi memakai kabel inti tunggal masing-masing kabel perphase, $\text{Cu } 2 \times 3 \times 1 \times 240 \text{ mm}^2 + 1 \times 240 \text{ mm}^2$. [6]



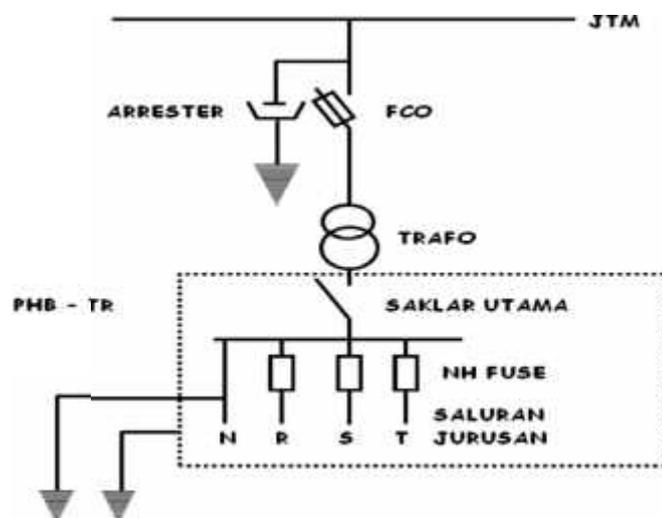
Gambar 2.3 Contoh Gambar Monogram Gardu Distribusi

2.2.1 Gardu distribusi tiang tipe portal

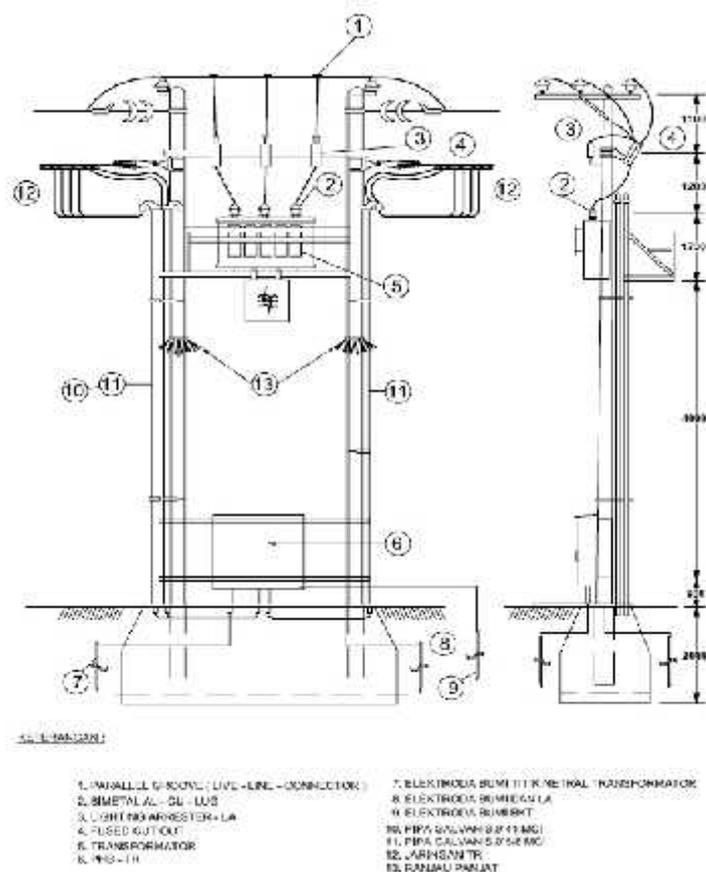
Gardu Portal adalah gardu listrik tipe terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan *platform* sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel / PHB-TR pada bagian bawah.



Gambar 2.4 Gardu Distribusi Tiang Tipe Portal



Gambar 2.5 Diagram Satu Garis Gardu Distribusi Tiang Tipe Portal



Gambar 2.6 Konstruksi Gardu Distribusi Tiang Tipe Portal

2.2.2 Peralatan listrik pada gardu tiang tipe portal

1. Peralatan hubung :
 - *Fuse Cut Out* 20 kV
 - Saklar pada rak TR
2. Peralatan proteksi
 - *Fuse Cut Out* 20 kV
 - *Lightning Arrester*
 - *NH Fuse*
3. Kabel / penghantar
 - Kawat penghubung dari jaring ke *Fuse Cut Out*
 - Kawat penghubung dari *Fuse Cut Out* ke transformator
 - Kabel penghubung dari transformator ke rak TR
 - Kabel keluar
4. Pentanahan
 - Pentanahan kerangka / *body* peralatan
 - Pentanahan netral sisi tegangan rendah transformator
 - Pentanahan *arrester* [7]



2.2.3 Gardu sisipan

Gardu sisipan merupakan gardu tambahan yang dipasang oleh PT.PLN (Persero) untuk menanggulangi berbagai kerugian yang ditimbulkan oleh transformator pada gardu sebelumnya. [10]

Beberapa faktor yang dipertimbangkan oleh PT.PLN(Persero) untuk menambah transformator atau gardu sisipan adalah :

1. Transformator sebelumnya sudah *overload*

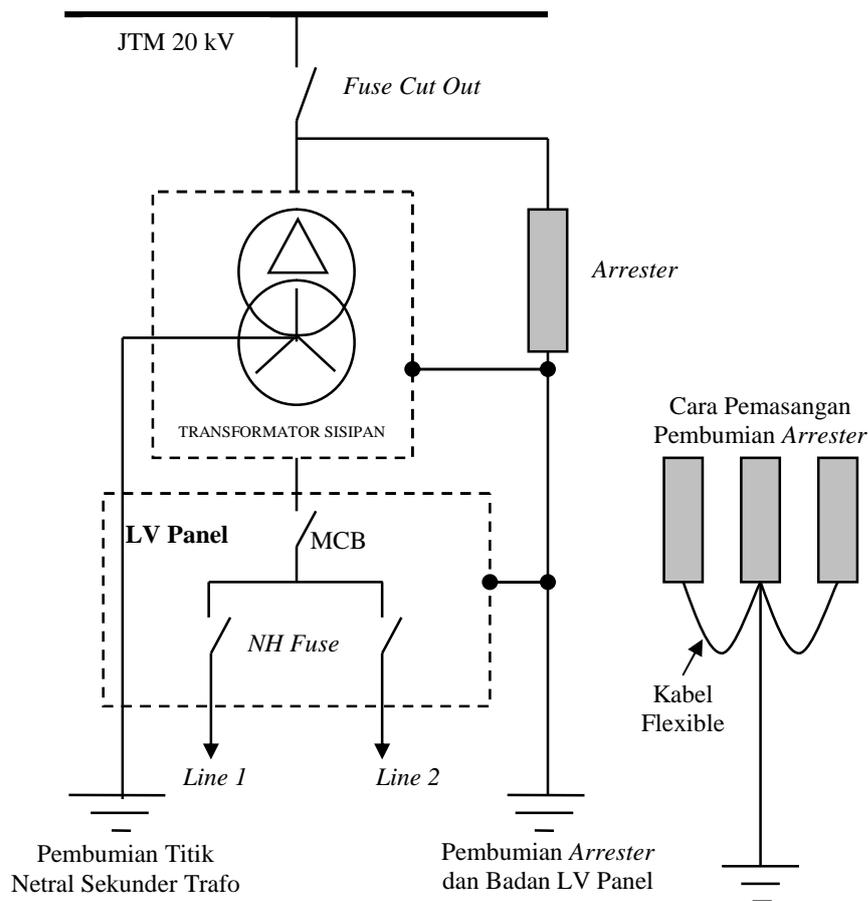
Overload terjadi karena beban yang terpasang pada transformator melebihi kapasitas maksimum (80 % dari kapasitas) yang dapat dipikul transformator dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari transformator. *Overload* akan menyebabkan transformator menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan transformator.

2. Besarnya *drop* tegangan pada JTR

Penyebab timbulnya *drop* tegangan adalah :

- a. Arus beban puncak (ampere);
- b. Tahanan saluran (ohm/km);
- c. Panjang saluran (km)

Drop tegangan akan semakin besar jika satu atau lebih dari faktor diatas nilainya besar. Yang dimaksud dengan *drop* tegangan disini yaitu *drop* tegangan yang ujung pada jaringan tegangan rendah (JTR) yaitu tegangan yang jatuh pada saluran JTR yang menyebabkan jatuhnya/turunnya tegangan pada ujung saluran konsumen. Menurut SPLN No. 72 tahun 1987 pasal 4 ayat 19 tentang Pengaturan tegangan dan turun tegangan, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja. Turun tegangan pada STR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja. [20]

Gambar 2.7 Diagram *Line* Transformator dan Komponen Utama

2.2.4 Peralatan yang digunakan pada gardu sisipan

Komponen utama Gardu Distribusi Sisipan adalah sebagai berikut :

1. *Transformer* berfungsi sebagai transformator daya merubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380/200) Volt;
2. *Fuse Cut Out (FCO)* berfungsi sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (transformator) dan melokalisir gangguan di transformator agar peralatan tersebut tidak rusak. *Cut Out* di pasang pada sisi tegangan menengah (20 kV);
3. *Arrester* berfungsi sebagai pengaman transformator terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan *switching*. (SPLN se.002/PST/73);
4. *NH Fuse* berfungsi sebagai pengaman transformator terhadap arus



lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah (220 Volt), untuk melindungi transformator terhadap gangguan arus lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah maupun karena beban lebih;

5. *Grounding Arrester* berfungsi untuk menyalurkan arus ke tanah yang disebabkan oleh tegangan lebih karena sambaran petir dan *switching*;
6. *Grounding Transformator* berfungsi untuk menghindari terjadi tegangan lebih pada fasa yang sehat bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah maupun yang disebutkan oleh beban tidak seimbang;
7. *Grounding LV Panel* berfungsi sebagai pengaman bila terjadi arus bocor yang mengalir di LV panel.

2.2.5 Program perencanaan transformator sisipan

Bila jarak antara transformator terlalu jauh dengan beban yang akan dilayani maka menyebabkan *voltage drop* yang besar. Oleh sebab itu, pada waktu pendataan kVA transformator harus diperhatikan jarak maksimum dari transformator distribusi tersebut terhadap konsumen. Bila jarak terlalu jauh, maka untuk mengatasi agar tegangan jatuh pada konsumen tidak terlalu tinggi maka dapat dilaksanakan penyisipan transformator distribusi, untuk mengetahui besarnya *drop* tegangan bisa dilakukan dengan mengukur langsung tegangan pada *low voltage cabinet* transformator distribusi dan tegangan pada tiang ujung konsumen ujung (V ujung) suatu JTR (Jaringan Tegangan Rendah) atau melalui pengukuran arus beban puncak.

2.3 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

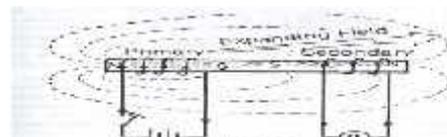
1. Transformator daya, yang biasa digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi;
2. Transformator distribusi, yang biasa digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi;
3. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan). [22]

2.3.1 Prinsip kerja transformator

Dasar teori dari transformator adalah apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL).



Gambar 2.8 Suatu Arus Listrik Mengelilingi Inti Besi maka Inti Besi itu akan menjadi Magnet.



Gambar 2.9 Suatu Lilitan Mengelilingi Magnet maka akan Timbul Gaya Gerak Listrik

Konstruksi utama dari pada transformator terdiri dari kumparan primer, kumparan sekunder dan inti kumparan primer diberi tegangan dan ini akan menimbulkan arus sinusoide, arus terjadi medan magnet pada inti magnet yang disebut flux yang juga berbentuk sinusoide pada kumparan sekunder yang mendapat perubahan flux dari inti yang disebut induk akan timbul gerak gaya listrik (GGL) yang berbentuk juga sinusoide. Gaya Gerak Listrik sekunder hampir terlambat 180° terhadap tegangan primer.

[22]



2.4 Pengertian Beban

Beban adalah suatu sirkuit akhir pemanfaatan dari suatu jaringan tenaga listrik, yang berarti tempat terjadinya suatu perubahan energi dari energi listrik menjadi energi lainnya, seperti cahaya, panas, gerakan, magnet, dan sebagainya.

Beban merupakan sirkuit akhir pemanfaatan dari jaringan tenaga listrik yang harus dilayani oleh sumber tenaga listrik tersebut untuk diubah menjadi bentuk energi lain. Oleh karena itu, pelayanan terhadap beban haruslah terjamin kontinuitasnya untuk menjaga kehandalan dari sistem tenaga listrik.

Untuk mencapai keadaan yang handal tersebut, suatu sistem tenaga listrik haruslah dapat mengatasi semua gangguan yang terjadi tanpa melakukan pemadaman terhadap bebannya.

2.4.1 Pembebanan transformator

Menurut PT.PLN (Persero), transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % atau dibawah 40 %. Jika melebihi atau kurang dari nilai tersebut transformator bisa dikatakan *overload* atau *underload*. Diusahakan agar transformator tidak dibebani keluar dari *range* tersebut. Bila beban transformator terlalu besar maka dilakukan penggantian transformator atau penyisipan transformator atau mutasi transformator. Rumus berikut dapat digunakan untuk melihat besar kapasitas transformator yang ada.

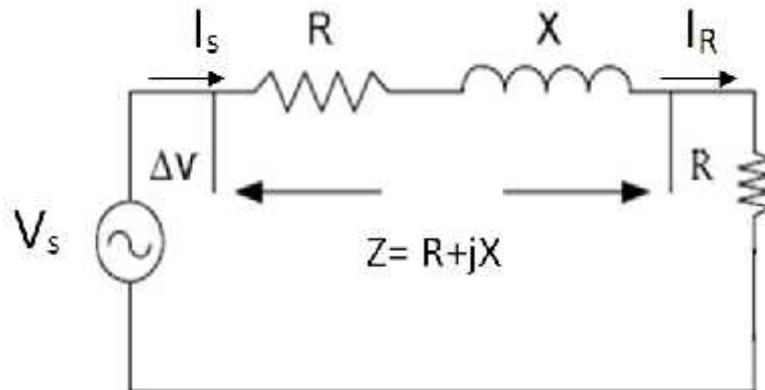
$$\text{kVA beban} = (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\% \text{ Persentase beban transformator} = \frac{\text{kVA beban}}{\text{kVA Trafo}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.2)$$

[11]

2.5 Pengertian Rugi Daya Listrik

Rugi daya atau susut daya listrik adalah berkurangnya pasokan daya yang dikirimkan oleh sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) yang disebabkan oleh adanya tahanan jenis penghantar yang dipengaruhi oleh arus dan tegangan saat penyaluran energi listrik dilakukan sehingga menghasilkan nilai tahanan yang berakibat pada munculnya nilai jatuh tegangan. Rugi daya jaringan listrik dinyatakan dengan persamaan dan gambar 2.10 berikut ini:



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen

Berdasarkan gambar diatas, didapat persamaan sebagai berikut:

$$I_s = I_r \dots\dots\dots(2.3)$$

$$R + jX = Z \dots\dots\dots(2.4)$$

$$V_Z = I (R + jX) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V_s = V_R + V_Z \dots\dots\dots(2.6)$$

$$P_L = 3 I^2 R \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

P_L = Daya hilang (Watt)

R = Tahanan kawat per phasa (/ Km)

= Panjang saluran (Km)

$\cos r$ = Faktor - daya beban / ujung penerima

I = Arus per phasa (Amper)

Persamaan :

$$P_L = P_s - P_R \dots\dots\dots(2.8)$$

Persentase antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan dinyatakan dengan persamaan :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$



Dimana :

P_R = Daya yang dipakai (kW)

P_S = Daya yang dikirimkan (kW)
= Effisiensi daya trafo (%)

P_L = Hilang/ Rugi daya (kW)

Rugi daya listrik merupakan persoalan krusial yang dewasa ini dihadapi oleh PT.PLN(Persero) dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (*totally blackout*). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang diantaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik. Persoalan ini meliputi profil tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan. Ketika kontinyuitas pasokan masih merupakan persoalan, hal-hal yang berkaitan dengan persoalan kualitas daya untuk sementara dapat "diabaikan" yang kemudian mengherankan adalah ketika data di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit yang tersedia lebih dari cukup untuk memikul beban yang ada. Kesimpulan yang sementara bisa ditarik adalah bahwa terjadi rugi daya yang cukup besar di jaringan. Kesimpulan ini diperkuat dengan data di lapangan bahwa rugi daya di jaringan cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan. Kerugian finansial akibat rugi daya ini merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan.

2.6 Daya Listrik

Daya listrik adalah hasil kali antara tegangan dan arus listrik. Dalam implementasinya, terdapat beberapa jenis daya yang digambarkan dalam sebuah grafik fungsi yang biasa disebut sebagai segitiga daya. Dalam sistem listrik AC/Arus bolak-balik ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu : [12]

2.6.1 Daya semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.



Untuk 1 fasa : $S = V \times I$ (2.11)

Untuk 3 fasa : $S = 3 \times V_L \times I_L$ (2.12)

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Ampere)

[1]

2.6.2 Daya aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 fasa : $P = V \times I \times \cos \emptyset$ (2.13)

Untuk 3 fasa : $P = 3 \times V_L \times I_L \times \cos \emptyset$ (2.14)

Dimana :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

$\cos \emptyset$ = Faktor Daya (Standar PLN 0,85)

[1]

2.6.3 Daya reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

Untuk 1 fasa : $Q = V \times I \times \sin \emptyset$ (2.15)

Untuk 3 fasa : $Q = 3 \times V_L \times I_L \times \sin \emptyset$ (2.16)

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan antar saluran (Volt)

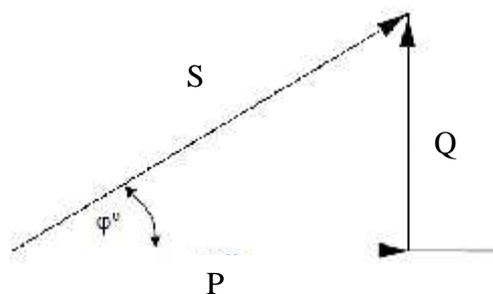
I = Arus saluran (Amper)

$\sin \phi$ = Faktor Daya (Tergantung nilai ϕ)

[1]

2.6.4 Segitiga daya

Dari bermacam daya diatas maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultannya adalah daya semu.



Gambar 2.11 Segitiga daya

2.7 Resistansi Penghantar

Resistansi adalah tahanan suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya.

Maka besarnya resistansi pada jaringan listrik dapat dicari dengan rumus persamaan berikut:

$$R = \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

R : Resistansi (Ω)

l : Panjang kawat penghantar (m)

A : Luas penampang kawat (m^2)

: Tahanan jenis ($\Omega \cdot m$)

[6]



Tahanan penghantar mempunyai suhu maksimum yang telah distandarkan oleh pabrik pembuatnya (maksimum 30°C untuk Indonesia), perubahan suhu sebesar 1°C dapat menaikkan tahanan penghantar. Perubahan tahanan nilai tahanan ini disebut koefisien temperatur dari tahanan yang diberi simbol α , nilai α dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Perubahan nilai tahanan terhadap suhu, dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_{t_2} = R_{t_1}[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana T_0 = Temperatur pada penghantar aluminium (°C)

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

R_{t_2} = Resistan pada suhu t_2 (Ω / km)

R_{t_1} = Resistan pada suhu t_1 (Ω / km)

α = Koefisien temperature dari tahanan pada suhu

α_{Cu} = 0,03931 untuk Cu pada suhu 12345°C

α_{Al} = 0,03931 untuk Al pada suhu 12345°C

t_1 = Suhu normal penghantar (°C)

t_2 = Suhu yang ditentukan (°C)

T_0 = Konstanta untuk penghantar tertentu

a. 234,5 untuk tembaga 100% Cu

b. 241,0 untuk tembaga 97% Cu

c. 228 untuk aluminium 61 % Al [6]

1. Model saluran distribusi

Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis per phasa. Tegangan terminal digambarkan dari saluran ke netral, arus dari satu phasa saluran

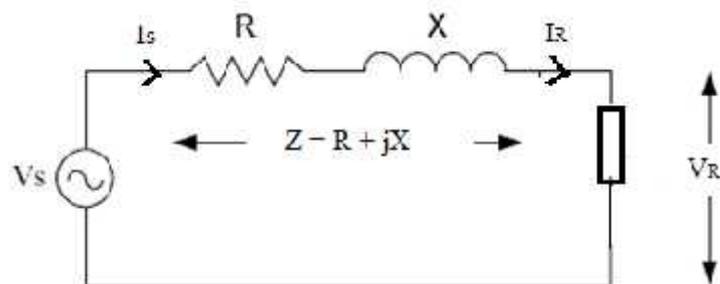
sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi ekivalen sistem distribusi fasa tunggal.

Model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalikan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.

$$Z = (r + j \omega L)l \quad (2.20)$$

$$Z = R + jX \quad (2.21)$$

Dimana R dan X merupakan resistansi dan induktansi perphasa per satuan panjang, dan l merupakan panjang saluran. Model saluran distribusi pada suatu basis perphasa ditunjukkan pada gambar (2.12).



Gambar 2.12 Rangkaian Ekivalen Saluran Distribusi

Oleh karena arus rangkaian saluran distribusi merupakan hubungan seri maka arus ujung pengirim dan ujung penerima adalah sama

$$I_S = I_R \quad (2.22)$$

[18]

2. Rugi daya

Rugi daya saluran timbul karena adanya komponen resistansi dan reaktansi saluran dalam bentuk rugi daya aktif dan reaktif. Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distribusi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Sedangkan rugi daya reaktif akan dikembalikan ke sistem dalam bentuk medan magnet atau medan listrik.



Rugi daya yang dapat dicari menggunakan rumus :

$$P \text{ satu phasa} = I^2 \times R \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

P = Rugi daya (kW)

I = Arus yang mengalir (Amper)

R = Resistansi saluran (Ohm) (Muhaimin, hal 131)

2.8 Pengukuran Arus dan Tegangan pada Gardu Distribusi

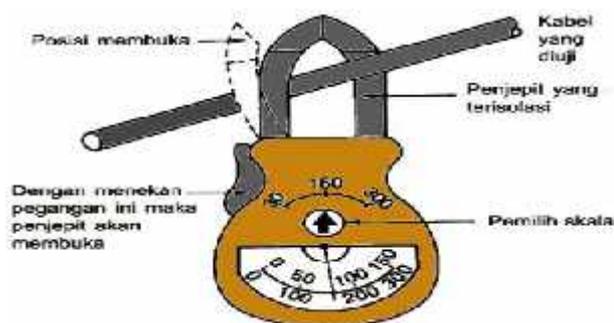
Pengukuran adalah suatu perbandingan antara suatu besaran dengan besaran lain yang sejenis secara eksperimen dan salah satu besaran dianggap sebagai standar. Dalam pengukuran listrik terjadi juga perbandingan, dalam perbandingan ini digunakan suatu alat bantu (alat ukur). Alat ukur ini sudah dikalibrasi, sehingga dalam pengukuran listrikpun telah terjadi perbandingan. Sebagai contoh pengukuran tegangan pada jaringan tenaga listrik dalam hal ini tegangan yang akan diukur diperbandingkan dengan penunjukkan dari voltmeter.

Dalam melakukan pengukuran, pertama harus ditentukan cara pengukurannya. Cara dan pelaksanaan pengukuran itu dipilih sedemikian rupa sehingga alat ukur yang ada dapat digunakan dan diperoleh hasil dengan ketelitian seperti yang dikehendaki. Juga cara itu harus semudah mungkin, sehingga diperoleh efisiensi setinggi-tingginya. Jika cara pengukuran dan alatnya sudah ditentukan, penggunaannya harus dengan baik pula. Setiap alat harus diketahui dan diyakini cara kerjanya. Dan harus diketahui pula apakah alat-alat yang akan digunakan dalam keadaan baik dan mempunyai kelas ketelitian sesuai dengan keperluannya. Jadi jelas pada pengukuran listrik ada tiga unsur penting yang perlu diperhatikan yaitu cara pengukuran, orang yang melakukan pengukuran, alat yang digunakan.

2.8.1 Alat ukur yang digunakan

Alat ukur tang ampere atau dikenal dengan sebutan ampere meter jepit bekerja dengan prinsip, yang sama dengan inti primer sebuah transformator arus.

Dengan alat ukur tang ampere ini, pengukuran arus dapat dilakukan tanpa memutuskan suplai listrik terlebih dahulu. Konstruksi dari alat ukur tang ampere ini diperlihatkan pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Konstruksi dan Cara Kerja Tang Ampere [3]

2.8.2 Langkah-langkah *meeting* gardu distribusi

Pengukuran arus dan tegangan atau disebut *meeting* merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui besar arus dan tegangan pada setiap jurusan di gardu distribusi, serta pada rel busbar utamanya.

Untuk mengukur besarnya arus listrik ada berbagai macam alat yang digunakan, tetapi alat yang paling mudah untuk digunakan yaitu memakai tang ampere karena kita tidak perlu melakukan pengkabelan dan fleksibel bisa dipakai dimana saja.

Adapun langkah-langkah penggunaan tang ampere, yaitu sebagai berikut:

1. Posisikan *switch* pada posisi amperemeter (A), karena selain untuk mengukur arus, tang ampere juga bisa di pakai untuk mengukur tahanan dan tegangan;
2. *Adjust* tang ampere sehingga menunjukkan angka nol;
3. Pilih skala yang paling besar dulu, bila hasil pengukuran lebih kecil maka pindahkan ke skala yang lebih kecil untuk hasil pengukuran yang lebih akurat;
4. Pilihlah jenis pengukuran yang akan kita lakukan, AC atau DC. Tapi, ada juga tang ampere yang hanya untuk mengukur AC saja, biasanya tang ampere jenis analog;



5. Kalungkan tang ampere ke salah satu kabel. Hasil pengukuran akan segera terlihat;
6. Geser html tahan untuk menahan hasil pengukuran ini;
7. Matikan posisi menahan, untuk melakukan pengukuran kembali. [5]

2.9 Sistem Informasi Manajemen

Dalam perkembangan era teknologi, PT. PLN (Persero) juga turut andil dalam memanfaatkan teknologi tersebut. Salah satu teknologi yang diterapkan pada bidang distribusi adalah Sistem Informasi Manajemen. Sistem Informasi Manajemen adalah suatu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengolah data setiap transaksi yang dilakukan. Berikut ini beberapa sistem informasi manajemen yang digunakan:

2.9.1 *Geographic information system (GIS)*

Pada pemetaan jaringan di bidang distribusi PT. PLN (Persero), banyak proses untuk mengolah data agar jaringan dan aset perusahaan dapat terdata dengan baik. *Geographic Information System* adalah salah satu perangkat lunak untuk mengumpulkan, menyimpan, menampilkan, dan mengkorelasikan data spasial dari fenomena geografis untuk dianalisis, dan hasilnya dikomunikasikan kepada pemakai data, bagi keperluan pengambilan keputusan. Apalagi, *Geographic Information System* mempunyai kelebihan yaitu data *Geographic Information System* pada penggunaan lahan akan dapat disajikan dalam bentuk batas-batas luasan yang masing-masing mempunyai atribut penjelasan dalam bentuk tulisan maupun angka.



Gambar 2.14 Salah Satu Aplikasi GIS, ArcView GIS 3.3

Geographic Information System pada bidang distribusi PT. PLN digunakan pada sistem perencanaan dan dokumentasi pada suatu jaringan distribusi listrik yang merupakan teknik penyimpanan data spasial (lokasi) dan atribut secara sistematis, mengenai komponen jaringan baik yang sudah ada maupun yang sedang direncanakan. Serta kegunaan utama dari sistem informasi ini adalah untuk mendukung pengelolaan sistem distribusi berupa fungsi-fungsi perencanaan, operasi dan pemeliharaan. Secara sederhana, *Geographic Information System* bisa dikatakan sebagai pemetaan jaringan dan juga aset-aset PT. PLN (Persero).

Informasi yang disajikan oleh *Geographic Information System* bukan hanya dalam bentuk data teks yang statis, tetapi merupakan data spasial (keruangan) yang dinamis. Data base *Geographic Information System* ini pada akhirnya akan membentuk sebuah Data Induk Jaringan (DIJ) yang merupakan database jaringan dan aset. Sebagai database jaringan dan aset, serta monitoring terhadap perpindahan lokasi aset. Data Induk Jaringan memegang peran penting dalam proses pengambilan keputusan di bidang distribusi. Data induk jaringan ini akan menjadi acuan bagi proses perencanaan, pemeliharaan dan operasi bidang distribusi.



2.10 Definisi 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 :

1. Analisa aliran daya;
2. Analisa hubung singkat
3. *Arc Flash Analysis*;
4. 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, busbar 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 kebawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

2.10.1 Standar simbol ETAP

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.



2.10.2 Langkah menjalankan program ETAP

1. Mempersiapkan *plant*

Persiapan yang perlu dilakukan dalam analisa / desain dengan bantuan ETAP 12.6.0 *PowerStation* adalah :

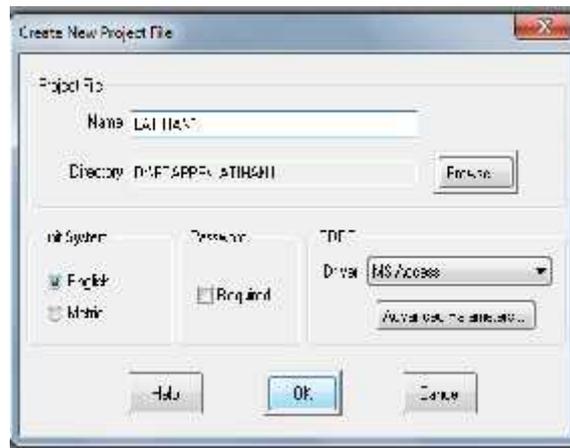
1. *Single line* Diagram
2. Data peralatan baik elektrik maupun mekanis
3. *Library* untuk mempermudah editing data

Single line Diagram tersebut membutuhkan data peralatan sesuai dengan data peralatan baik elektrik maupun mekanis sebagai berikut :

1. *Power Grid*
2. Generator
3. *Bus*
4. Transformator
5. *Circuit Breaker*
6. *Disconnect Switch*
7. *Lumped Load*
8. Motor Sinkron
9. Motor Induksi
10. *High Filter*
11. *Capacitor*
12. *Over Current Relay*
13. *Variable Frequency Drive (VFD)*
14. *Charger*

2. Membuat proyek baru

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



Gambar 2.16 Create New Project File

2. Lalu ketik nama *file project*. Misalnya : Pelatihan. Lalu klik Ok atau tekan *Enter*.
3. Akan muncul kotak dialog *User Information* yang berisi data pengguna *software*.

Isikan nama anda dan deskripsi proyek anda. Lalu klik Ok atau tekan *Enter*.



Gambar 2.17 User Information

4. 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.



3. 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 dicek 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.

4. Editing data peralatan

1. *Bus*
2. *Generator*
3. *Cable*
4. *Two Winding Transformator*
5. *Induction Machine*
6. *Static Load*
7. *Circuit Breaker*
8. *Fuse*

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*.

1. Melakukan studi/analisa

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

1. *Load Flow Analysis (LF)*
2. *Short Circuit Analysis (SC)*
3. *Motor Starting Analysis (MS)*
4. *Transient Stability Analysis (TS)*
5. *Cable Ampacity Derating Analysis (CD)*
6. *Power Plot Interface*

2. Menyimpan *file project (Save Project)*

Masuk menu bar *File*, pilih *Save* atau *click toolbar*

3. Membuka *file project (Open Project)*

1. Masuk menu bar *File*, pilih *Open File* lalu tentukan direktori tempat menyimpan *filenya (browse)* atau *click toolbar*
2. Pilih *file* yang dituju kemudian *click open*



Gambar 2.18 Membuka *File Project*

4. Mengcopy / menyalin *file project*

1. Masuk menu bar *File*, pilih *Copy Project To* lalu tentukan direktori tempat menyimpan *filenya (browse)*



2. Beri nama *File Project* yang dicopy kemudian *click Save*



Gambar 2.19 Mengcopy / Menyalin *File Project*

3. Menutup *Project (Close Project)*
Klik menu *File* lalu klik *Close Project* atau kill toolbar *Close*
4. Keluar dari Program (*Exit Program*)
Klik menu *File* lalu klik *Exit* untuk keluar dari program ETAP 12.6.0. [4]