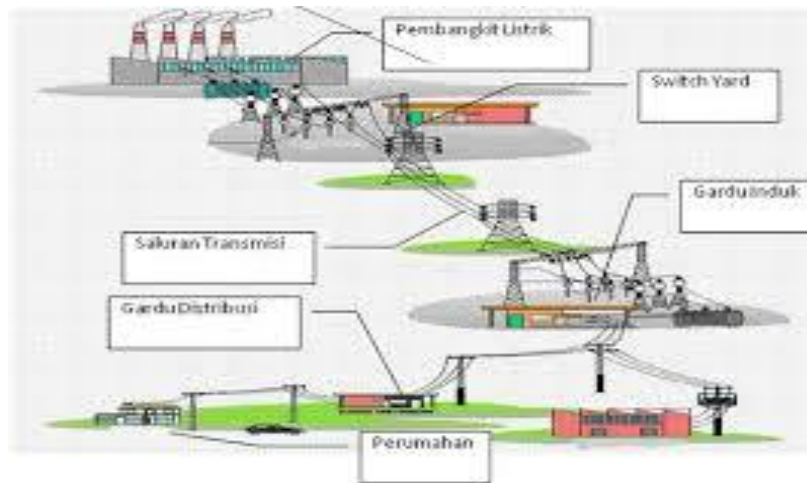


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik¹

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik dapat digambarkan dengan skema di bawah ini.



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik¹

2.1.1 Fungsi Komponen Sistem Tenaga Listrik²

Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.

¹ Suripto,Slamet.2017.Sistem Tenaga Listrik.Yogyakarta:Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal : 1

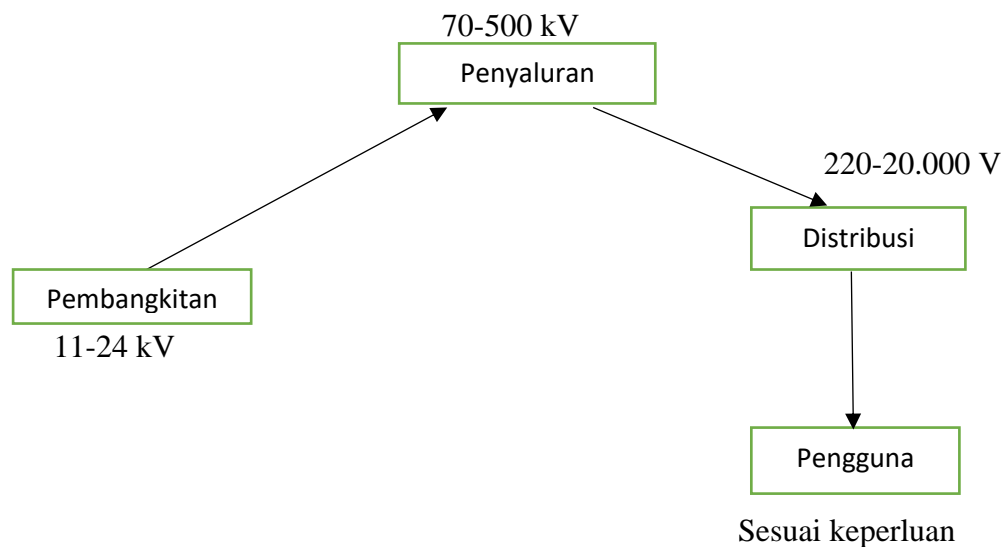
² Suripto,Slamet.2017.Sistem Tenaga Listrik.Yogyakarta:Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal : 2



3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.
4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

2.1.2 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik³

Pada suatu sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pada masing-masing komponen dapat berbedabeda sesuai dengan kepentingannya. Dengan kata lain, setiap komponen pada sistem tenaga listrik mempunyai level tegangan yang berbeda-beda.



Gambar 2.2 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik³

Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Untuk pembangkit yang berkapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar. Karena untuk kapasitas daya tertentu, besar arus yang mengalir berbanding terbalik dengan tegangannya. Level tegangan pada pembangkit biasanya tidak

³ Suripto, Slamet. 2017. Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal : 2



tinggi, karena semakin tinggi level tegangan generator, jumlah lilitan generator harus lebih banyak lagi. Dengan lilitan yang lebih banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga dinilai tidak efisien.

Pada sistem saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini karena fungsi pokok saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga yang dipentingkan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan efisiensi yang tinggi atau rugi-rugi daya dan turun tegangannya kecil. Upaya yang dilakukan adalah mempertinggi level tegangan agar arus yang mengalir pada jaringan transmisi lebih kecil. Level tegangan saluran transmisi lebih tinggi dari tegangan yang dihasilkan generator pembangkit. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 s/d 500 kV. Untuk menaikkan tegangan dari level pembangkit ke level tegangan saluran transmisi diperlukan transformator penaik tegangan.

Pada jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi. Hal ini karena daya yang didistribusikan oleh masing-masing jaringan distribusi biasanya relatif kecil dibanding dengan daya yang disalurkan saluran transmisi, dan juga menyesuaikan dengan tegangan pelanggan atau pengguna energi listrik. Level tegangan jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). Dengan demikian diperlukan gardu induk yang berisi trafo penurun tegangan untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV. Diperlukan juga trafo distribusi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220V sesuaitegangan pelanggan.

Level tegangan beban pelanggan menyesuaikan dengan jenis bebannya, misalnya beban industri yang biasanya memerlukan daya yang relatif besar biasanya menggunakan tegangan menengah 20 kV, sedang beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil, biasanya menggunakan tegangan rendah 220 V.



2.2 Tranmisi Dan Distribusi⁴

Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, sedangkan saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah .

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi, di pusat pembangkit biasanya digunakan generator sinkron yang menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6-20 kV, kemudian dengan bantuan transformator, tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150-500 kV, bahkan di negara-negara maju sudah mencapai 1000 kV. Saluran tegangan tinggi (STT) pertama diturunkan menjadi tegangan subtransmisi 70 kV pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian diturunkan lagi dan disalurkan menuju transformator distribusi dalam bentuk tegangan menengah 20 kV, tegangan ini disalurkan disebut juga tegangan distribusi primer, dari transformator distribusi yang tersebar di berbagai pusat beban akhirnya tegangan distribusi ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V sebelum diterima pihak konsumen.

Dari sistem yang sudah disebutkan, sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah untuk menyampaikan energi listrik dari suatu gardu induk distribusi ke konsumen.

2.2.1 Saluran Distribusi⁵

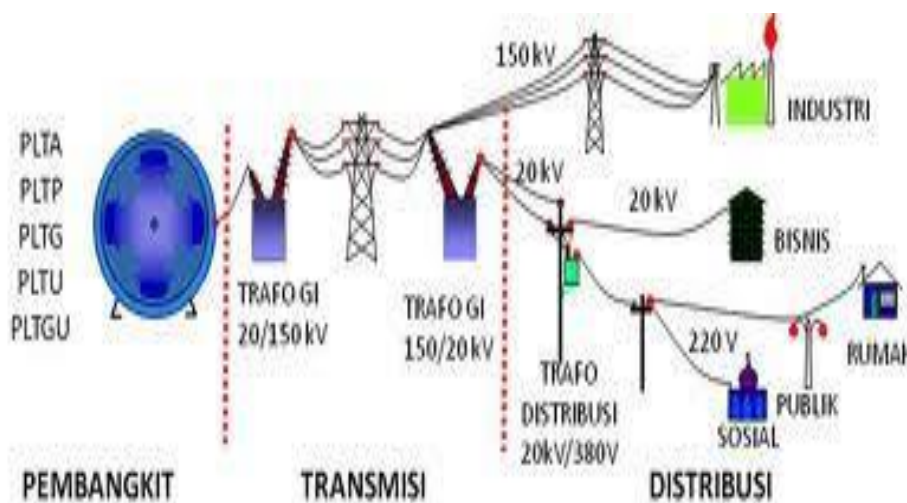
Energi listrik tegangan 20 kV di busbar gardu induk, disalurkan melalui penyulang distribusi ke gardu hubung atau dapat langsung dihubungkan ke konsumen. Dari gardu hubung, energi disalurkan ke gardu-gardu distribusi. Gardu distribusi adalah gardu tempat mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder, kemudian membaginya ke saluran pengisi primer dan selanjutnya

⁴ Syahputra, Ramadoni. 2017. *Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 129

⁵ Syahputra, Ramadoni. 2017. *Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 129



disalurkan kesetiap titik pelanggan. Gardu distribusi berfungsi melayani konsumen tegangan rendah dimana tegangan 20 kV diturunkan menjadi 380/220 volt pada trafo distribusi, untuk kemudian disalurkan pada konsumen melalui jaringan tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder). Sistem tegangan distribusi primer di PT. PLN (Persero) Rayon Lambaro penyulang indrapuri adalah grid yang beroperasi secara radial, yang disuplay dari gardu hubung dengan gardu induk sebagai pusat beban.



Gambar 2.3 Sistem Pembangkit⁵

2.2.2 Klasifikasi Jaringan Distribusi⁶

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

1. Jaringan distribusi primer (Jaringan distribusi tegangan menengah).
2. Jaringan distribusi sekunder (Jaringan distribusi tegangan rendah).

2.2.2.1 Jaringan Distribusi Primer⁷

Jaringan distribusi primer (JDTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan

⁶ Syahputra, Ramadoni. 2017. *Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 129

⁷ Syahputra, Ramadoni. 2017. *Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 129



menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV).hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo didistribusi).

2.2.2.2 Jaringan Distribusi Sekunder⁸

Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertanggungan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah – rumah).

2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi⁹

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial
2. Sistem Jaringan Distribusi Loop
3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

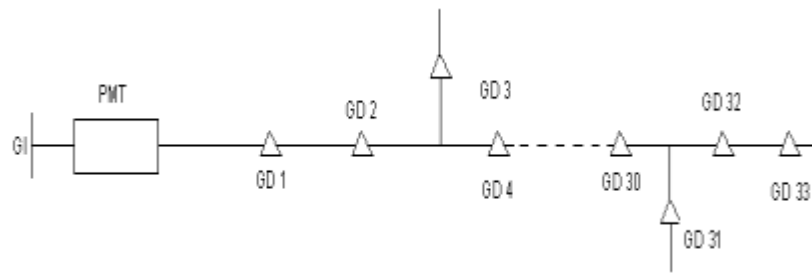
2.2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial¹⁰

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani.

⁸ Syahputra,Ramadoni.2017.Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik.Yogyakarta:Universitas Muhammadiyah Yogyakarta:Hal: 130

⁹ Syahputra,Ramadoni.2017.Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik.Yogyakarta:Universitas Muhammadiyah Yogyakarta:Hal: 130

¹⁰ Syahputra,Ramadoni.2017.Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik.Yogyakarta:Universitas Muhammadiyah Yogyakarta:Hal: 131



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Radial¹⁰

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan – pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

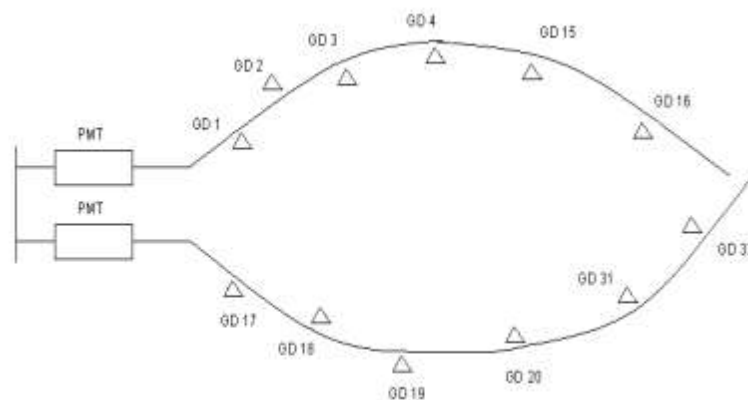
1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas Pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.



2.2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Loop¹¹

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.3 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Loop¹¹

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk open loop, bila dilengkapi normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini

¹¹ Syahputra, Ramadoni. 2017. *Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 132

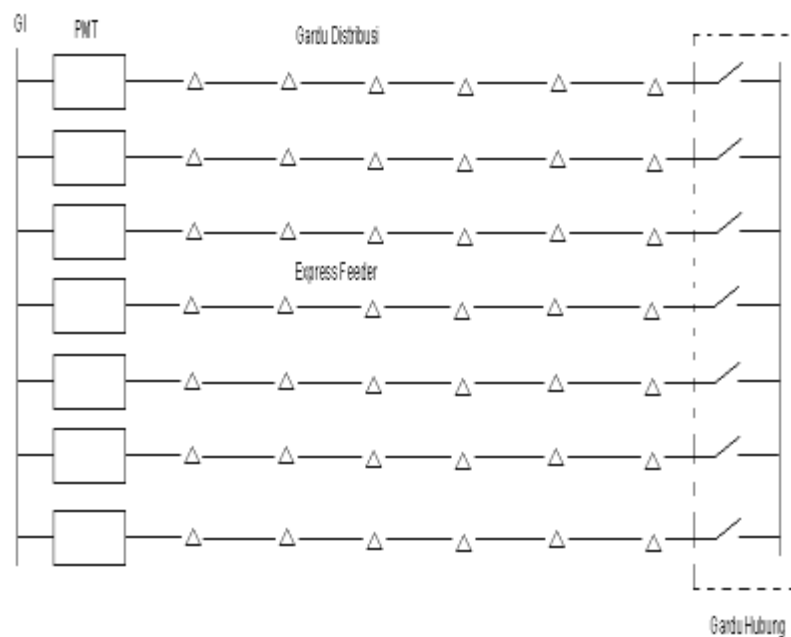


mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

2.2.3.3 Sistem Jaringan Distribusi Spindel¹²

Jaringan distribusi spindel (seperti Gambar 10.3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Spindel¹²

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

1. Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.

¹² Syahputra, Ramadoni. 2017. *Tranmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Hal: 134



2. Dalam keadaan normal saluran ekspress tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspress.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menekan rugi-rugi akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

2.3 Jatuh Tegangan¹³

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. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat.

¹³ <https://modalholong.wordpress.com/2012/12/21/tegangan-jatuh-drop-tegangan/> (diakses pada 01 Juli 2019, Pukul 21.26)



Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar $R\ell$ semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya.

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus :

$$V_d = I \cdot Z \dots\dots\dots 1$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah :

$$\Delta V = (V_s) - (V_r) \dots\dots\dots 2$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving end) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan V_R (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus :

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

V_S = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan



Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban–bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$(\Delta V) = I (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) L \dots \dots \dots 4$$

Dimana :

I = Arus beban

R = Tahanan rangkaian

X = Reaktansi rangkaian

2.3.1 Faktor Penyebab Kerugian Tegangan (Drop Voltage)¹⁴

1. Panjang Kabel Penghantar

Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

2. Besar Arus

Semakin besar arus listrik yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

3. Tahanan Jenis (Rho)

Semakin besar tahanan jenis dari bahan penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

4. Luas Penampang Penghantar

Semakin besar ukuran luas penampang penghantar yang digunakan, maka semakin kecil kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

¹⁴ <https://duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.com/2017/07/rumus-dan-cara-menghitung-rugi-tegangan-atau-drop-voltage.html> (diakses pada 01 Juli 2019, Pukul 20:50).



2.4 Kemampuan Hantar Arus / Kuat Hantar Arus¹⁵

Kemampuan Hantar Arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau Kuat Hantar Arus (menurut SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada konstruksi penghantar tersebut yaitu :

1. Temperatur lingkungan
2. Jenis penghantar
3. Temperatur lingkungan awal
4. Temperatur penghantar akhir
5. Batas kemampuan termis isolasi
6. Faktor tiupan angin
7. Faktor disipasi panas media lingkungan

Apabila terjadi penyimpangan pada ketentuan batasan tersebut diatas maka kemampuan hantar arus/ kuat hantar arus (KHA) penghantar harus dikoreksi.

2.4.1 Kemampuan Hantar Arus Penghantar Saluran Udara¹⁶

Jenis penghantar saluran udara, terdiri atas :

1. Penghantar tidak terisolasi AAAC, AAC, ACSR. (ACSR tidak secara luas dipergunakan sebagai penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah).
2. Penghantar berisolasi AAAC-S, NAAXSEY. (Kabel Pilin Tegangan Menengah).
3. Penghantar LVTC (Low Voltage Twisted Cable) NFAAX.

Ketentuan teknis kemampuan hantar arus penghantar pada ambient temperatur 30°C dalam keadaan tanpa angin. Tabel 2.4 s/d 2.10 memberikan kemampuan hantar arus jenis penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah dan jangkauan pada beban dan jatuh tegangan tertentu.

¹⁵ 2010. Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT PLN (PERSERO): Bab II: Hal 9.

¹⁶ 2010. Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT PLN (PERSERO): Bab II: Hal 9.



2.4.2 Kemampuan Hantar Arus Saluran Kabel Bawah Tanah¹⁷

Kemampuan hantar arus kabel baik jenis *multi core* maupun *single core* dibatasi oleh ketentuan sebagai berikut :

1. suhu tanah 30o C.
2. resistance panas jenis tanah 1000 C, cm/W.
3. digelar sendiri / hanya 1 kabel.
4. suhu penghantar maksimum 900C untuk kabel dengan isolasi XLPE dan 65o C untuk kabel tanah berisolasi PVC.
5. Kabel digelar sedalam 70 cm di bawah permukaan tanah.

Apabila keadaan lingkungan menyimpang dari ketentuan di atas maka kuat hantar arus kabel harus dikoreksi dengan faktor tertentu. Tabel pada halaman berikut memberikan data kemampuan hantar arus kabel baik untuk pemakaian bawah tanah ataupun saluran udara. Untuk kabel yang dipakai pada saluran udara (contoh NFAAXSEY-T) ketentuannya mengikuti ketentuan untuk saluran udara.

Tabel 2.1 KHA penghantar tak berisolasi pada suhu keliling 35⁰C, kecepatan angin 0,6m/detik, suhu maksimum 800C (dalam keadaan tanpa angin faktor koreksi 0,7)¹⁷

Luas Penampang Nominal (mm ²)	Cu	AAC	AAAC
16	125 A	110 A	105 A
25	175 A	145 A	135 A
35	200 A	180 A	170 A
50	250 A	225 A	210 A
70	310 A	270 A	155 A
95	390 A	340 A	320 A
150	510 A	455 A	425 A
240	700 A	625 A	585 A

¹⁷ 2010.Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.Jakarta Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab II:Hal 10.



300	800 A	710 A	670 A
-----	-------	-------	-------

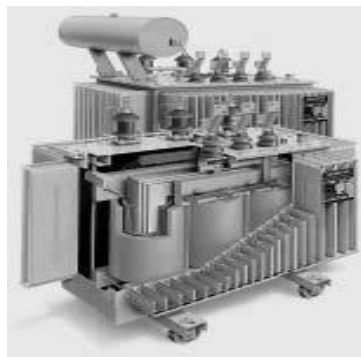
2.5 Gardu Distribusi¹⁸

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.

2.5.1 Komponen Utama Konstruksi Gardu Distribusi¹⁹

2.5.1.1 Transformator Distribusi Fase 3²⁰



Gambar 2.7 Trafo Distribusi Fase 3²⁰

Untuk transformator fase tiga, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5 dan Yyn0. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007. Transformator gardu pasangan luar dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik.

¹⁸ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 1.

¹⁹ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 7.

²⁰ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 7.



Sedangkan Transformator gardu pasangan dalam dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik atau menggunakan isolator plug-in premoulded.

2.5.1.2 Transformers Completely Self Protected (CSP)²¹

adalah transformator distribusi yang sudah dilengkapi dengan Pengaman Lebur (fuse) pada sisi primer dan LBS (Load Break Switch) pada sisi sekunder.



Gambar 2.8 Trafo Completely Self Protected²¹

2.5.1.3 PHB sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)²²

Berikut ini adalah Komponen Utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap yang lazim disebut dengan Kubikel-TM, yaitu :

1. Pemisah – Disconnecting Switch (DS)

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.

2. Pemutus beban – Load Break Switch (LBS)

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.

Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (remote control), Remote Terminal Unit (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak.

²¹ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 7.

²² 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 8.



3. Pemutus Tenaga - Circuit Breaker (CB)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (Over Current Relay) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban. Komponen utama PHB-TM tersebut diatas sudah terakit dalam kompartemen kompak (lengkap), yang sering disebut Kubikel Pembatas Beban Pelanggan.

4. LBS - TP (Transformer Protection)

Transformator distribusi dengan daya ≤ 630 kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (High Rupturing Capacity). Peralatan kubikel proteksi transformator, dilengkapi dengan LBS yang dipasang sebelum pengaman lebur.

2.5.1.4 PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)²³

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.

Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenal gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR. Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasangkan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (No

²³ 2010. Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan: PT PLN (PERSERO): Bab I: Hal 8.



Fused Breaker). Pengaman arus lebih (Over Current) jurusan disisi Tegangan Rendah pada PHB-TR dibedakan atas :

1. No Fused Breaker (NFB)

No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepas beban.

2. Pengaman Lebur (Sekering)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup. Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya.

Tabel 2.2 Spesifikasi Teknis PHB-TR²⁴

No.	Uraian	Spesifikasi
1	Arus pengenal saklar pemisah	Sekurang-kurangnya 115 % IN transformator distribusi
2	KHA rel PHB	Sekurang-kurangnya 125 % arus pengenal saklar pemisah
3	Arus pengenal pengaman lebur	Tidak melebihi KHA penghantar sirkit keluar
4	Short breaking current (Rms)	Fungsi dari kapasitas Transformator dan tegangan impendasinya
5	Short making current (peak)	Tidak melebihi 2,5 x short breaking current
6	Impulse voltage	20 kV

²⁴ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 9.



7	Indeks proteksi – IP (International Protection) untuk PHB pemasangan luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurangnya IP-45
---	---	--

2.5.1.5 Peralatan Pengukur²⁵

1. Transformator Tegangan - *Potential Transformer* (PT)



Gambar 2.9 Trafo Potensial²⁵

Fungsinya adalah mentransformasikan besaran Tegangan Tinggi ke besaran Tegangan Rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya / proteksinya. Faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan transformator tegangan adalah batas kesalahan transformasi dan pergeseran sesuai tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Batas Kesalahan Transformasi Trafo Tegangan²⁵

Kelas	v % KESALAHAN RASIO TEGANGAN (+/-)	PERGESERAN SUDUT +/- (MENIT)
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40

²⁵ 2010. Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan: PT PLN (PERSERO): Bab I: Hal 10.



Burden, yaitu beban sekunder dari transformator tegangan (PT), dalam hal ini sangat terkait dengan kelas ketelitian PT-nya. Untuk instalasi pemasangan dalam; lazimnya transformator tegangan sudah terpasang pada kubikel pengukuran.

2. Transformator Arus - *Current Transformer* (CT)



Gambar 2.10 Trafo Arus

Transformator arus (Current Transformer- CT) adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya.

Faktor yang harus diperhatikan pada instalasi transformator arus adalah Beban (Burden) Pengenal dan Kelas ketelitian CT. Disarankan menggunakan jenis CT yang mempunyai tingkat ketelitian yang sama untuk beban 20% - 120% arus nominal. Nilai burden, kelas ketelitian untuk proteksi dan pengukuran harus merujuk pada ketentuan/persyaratan yang berlaku. Konstruksi transformator arus dapat terdiri lebih dari 1 kumparan primer (double primer).

Untuk konstruksinya sama halnya dengan transformator tegangan, transformator arus pasangan luar memiliki konstruksi lebih besar/kokoh dibandingkan konstruksi pasangan dalam yang umumnya built in (atau akan dipasangkan) dalam kubikel pengukuran.



2.5.1.6 Peralatan Switching dan Pengaman sisi Tegangan Menengah²⁶

1. Fused Cut Out (FCO)



Gambar 2.11 Fuse Cut Out²⁶

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada Fused Cut Out (FCO) dalam bentuk Fuse Link. Terdapat 3 jenis karakteristik Fuse Link, tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H yang tahan terhadap arus surja.

Data aplikasi pengaman lebur dan kapasitas transformatornya dapat dilihat pada tabel. Apabila tidak terdapat petunjuk yang lengkap, nilai arus pengenal pengaman lebur sisi primer tidak melebihi 2,5 kali arus nominal primer transformator. Jika sadapan Lightning Arrester (LA) sesudah Fused Cut Out, dipilih Fuse Link tipe-H. jika sebelum Fused Cut Out (FCO) dipilih Fuse Link tipe-K.

Sesuai Publikasi IEC 282-2 (1970)/NEMA) di sisi primer berupa pelebur jenis pembatas arus. Arus pengenal pelebur jenis letupan (expulsion) tipe-H (tahan surja kilat) tipe-T (lambat) dan tipe-K (cepat) menurut publikasi IEC No. 282-2 (1974) – NEMA untuk pengaman berbagai daya pengenal transformator, dengan atau tanpa koordinasi dengan pengamanan sisi sekunder.

2 Lightning Arester (LA)



Gambar 2.12 Lightning Arrester²⁶

²⁶ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 10.



Untuk melindungi Transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, Pemasangan Arester dapat saja dipasang sebelum atau sesudah FCO Untuk tingkat IKL diatas 110, sebaiknya tipe 15 KA. Sedang untuk perlindungan Transformator yang dipasang pada tengah-tengah jaringan memakai LA 5 KA, dan di ujung jaringan dipasang LA – 10 KA.

2.5.1.7 Konektor²⁷



Gambar 2.13 Konektor²⁷

Konektor adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke gardu. Jenis konektor yang digunakan untuk instalasi gardu ini ditetapkan menggunakan Live Line Connector (sambungan yang bisa dibuka- pasang) untuk memudahkan membuka/ memasang pada keadaan bertegangan. Penyadapan trafo dari SUTM dan pencabangan harus di depan tiang peletakan trafo dari arah Pembangkit Listrik / Gardu Induk.

2.6 Software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)²⁸

ETAP adalah software yang dapat melakukan pemodelan / perencanaan dan gambaran sistem kelistrikan yang ada di suatu industri ataupun wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa. Analisa yang dapat dilakukan pada ETAP antara lain:

- Load Flow Analysis

²⁷ 2010.Standar Konstruksi Gardu Distribusi Selatan:PT PLN (PERSERO):Bab I:Hal 11.

²⁸ Multa,Lesnanto.2013.Modul Pelatihan Etap.Yogyakarta:Universitas Gadjah Mada.

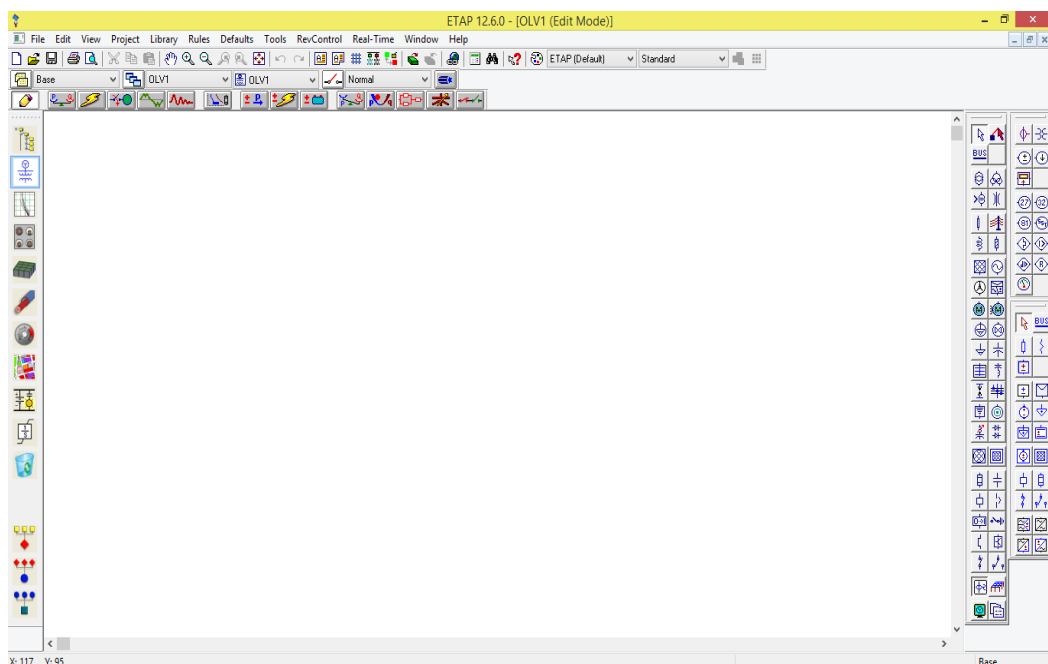


- Unbalanced Load Flow Analysis
- Short Circuit Analysis
- Motor Acceleration Analysis
- Harmonic Analysis
- Transient Analysis

ETAP awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (on line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis.

ETAP *power station* memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai tiga konsep utama:

1. Virtual reality operasi
2. Total integration data
3. Simplicity in data entry



Gambar 2.14 Gambar Kerja Editor pada Etap 12.6²⁸



Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP *power station* adalah:

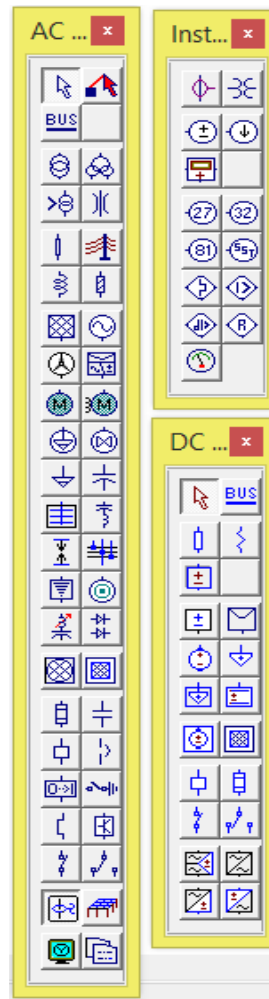
1. One line diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, 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.

2.6.1 Elemen-elemen Sistem Tenaga Listrik Pada ETAP²⁹

Suatu sistem tenaga listrik terdiri atas sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain:

1. Data generator
2. Data transformator
3. Data kawat penghantar
4. Data beban
5. Data bus

²⁹ Multa, Lesnanto. 2013. Modul Pelatihan Etap. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.



Gambar 2.15 Elemen-elemen yang ada di Etap 12.6²⁹

Program analisis ketidakseimbangan aliran daya pada software ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada system tenaga listrik dan aliran daya yang mengalir pada system tenaga listrik. Metode perhitungan ketidakseimbangan aliran daya pada software ETAP menggunakan metode *Current Injection*.



Gambar 2.16 Toolbar Unbalanced Load Flow di Etap 12.6²⁹

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



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