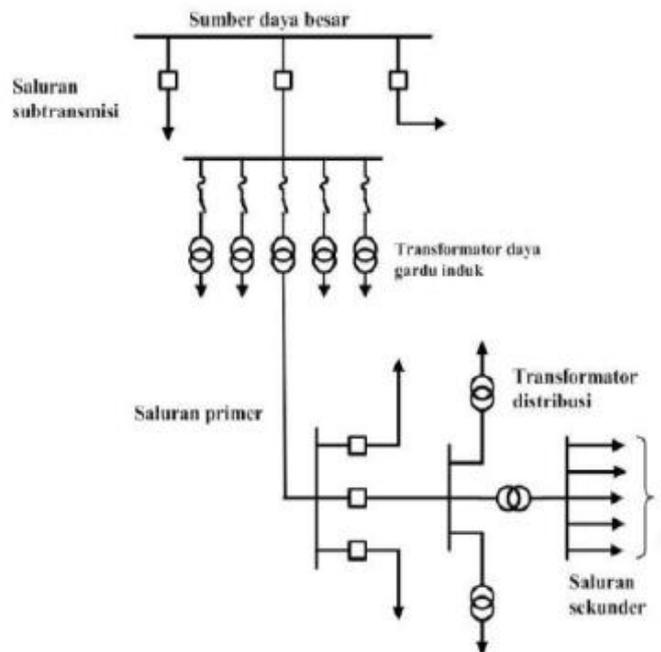


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sitem Distribusi¹

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat. Sistem distribusi terbagi 2 bagian² :

a Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Sistem distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Jaringan distribusi tegangan menengah berawal dari gardu induk atau pusat listrik pada sistem terpisah atau *isolated*. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi primer terdiri dari 5 tipe yaitu sistem radial, sistem lup, sistem spindel, sistem spot *network* dan sistem interkoneksi.³

¹ P L N Persero et al., "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di Pt ." 08 (2019), hlm 43.

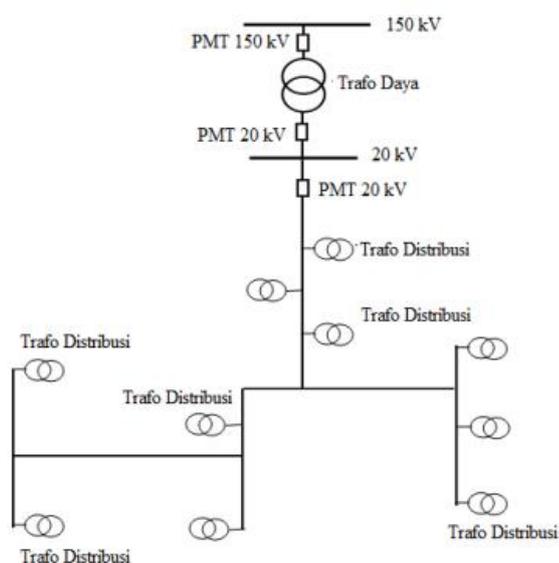
² No 605.k/DIR/2010 Lampiran Keputusan Direksi PT. PLN (Persero), "Buku 1 Kriteria Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," *PT PLN (Persero)* (2010), hlm 53.

³ Syufrijal and Monantun Readysal, "Jaringan Distribusi Tenaga Listrik" 1 (2014),hlm 29.

1) Sistem Radial

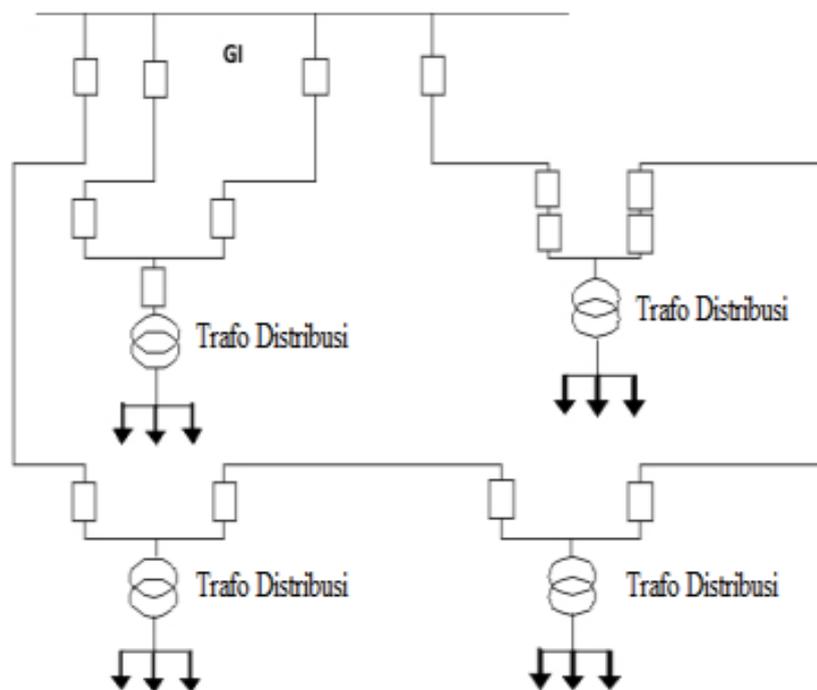
Sistem jaringan radial pada distribusi tenaga listrik paling banyak digunakan dan paling sederhana dibandingkan dengan tipe jaringan yang lain. Tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen-konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani. Sistem radial terdiri atas fider (feeders) atau penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Konfigurasi jaringan sistem radial terbagi atas 2 (dua) bagian yaitu sistem radial terbuka dan sistem radial paralel.

Sistem radial terbuka ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh sebab itu kontinuitas pelayanan pada sistem radial terbuka ini kurang bisa diandalkan. Selain itu makin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah buruk karena rugi-rugi tegangan akan lebih besar. Berarti kapasitas pelayanan untuk sistem radial terbuka ini sangat terbatas.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Terbuka

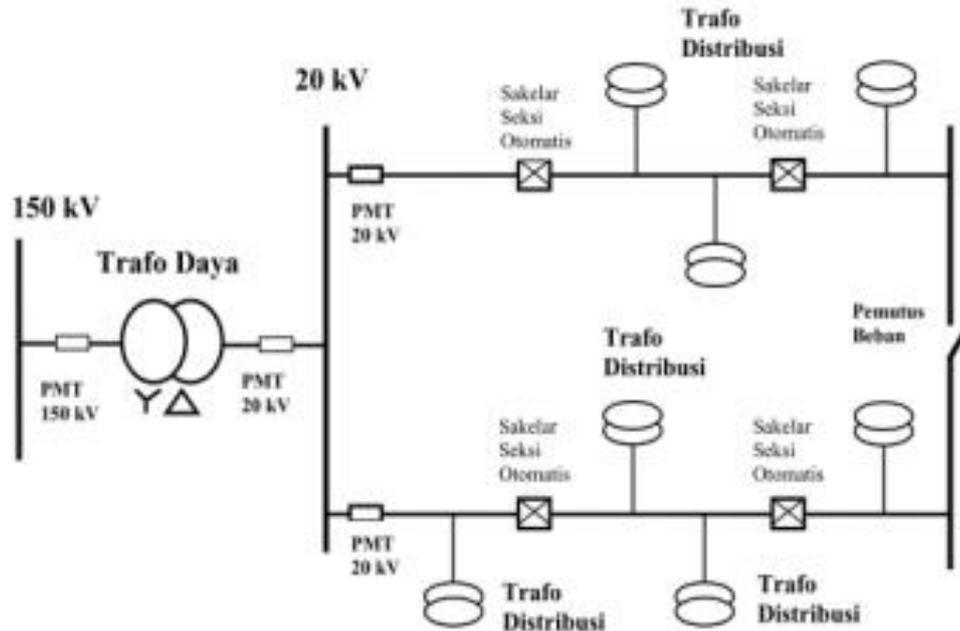
Untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka diatas maka dipakai konfigurasi sistem radial paralel, yang menyalurkan tenaga listrik melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini titik beban dilayani oleh dua saluran, sehingga bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikan, dengan demikian pemadaman tak perlu terjadi. Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban puncak (peak load) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran dapat dikerjakan untuk melayani titik beban bersama-sama. Biasanya titik beban hanya dilayani oleh salah satu saluran saja. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas pelayanan pada konsumen.



Gambar 2.3 . Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Paralel

2) Sistem Loop

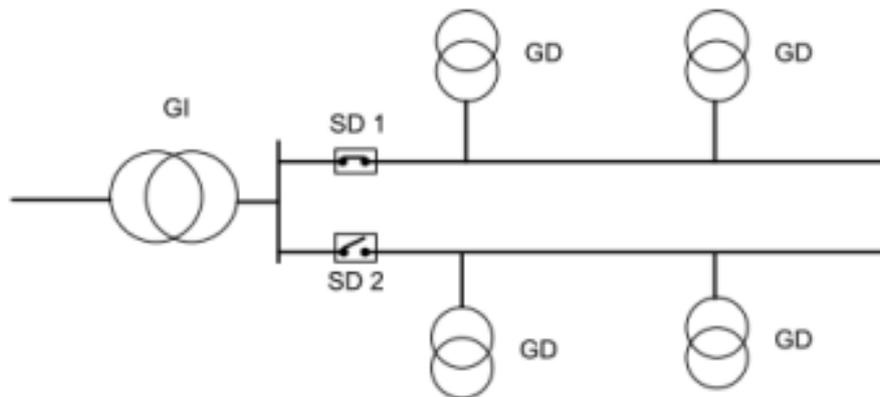
Sistem jaringan loop merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik.



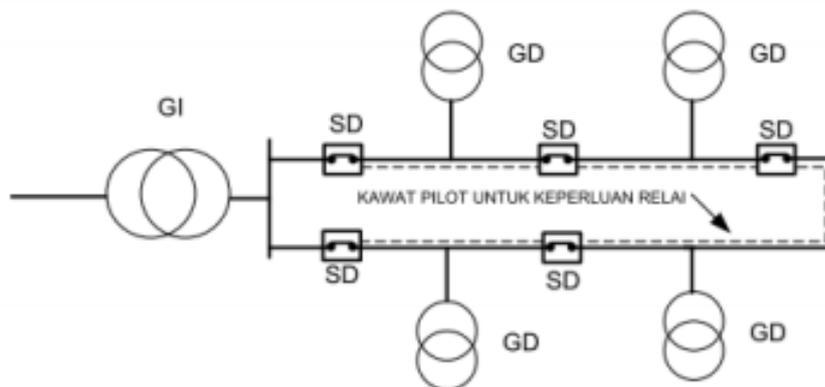
Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Sistem Loop

Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT) atau pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, atau 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 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.

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu : open loop dan close loop. Bentuk open loop, dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi dan dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka. Bentuk close loop, dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi dan dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.



Gambar 2.5 Skema Rangkaian Loop Terbuka

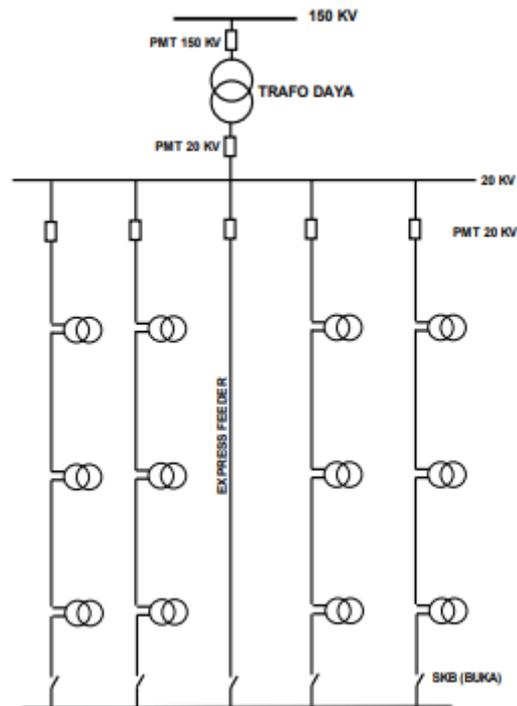


Gambar 2.6 Skema Rangkaian Loop Tertutup

3) Sistem Spindel

Jaringan distribusi spindel merupakan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya cocok di kota-kota besar. Sistem jaringan spindel biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan "*working feeder*" atau saluran kerja, sedangkan saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan "*express feeder*".

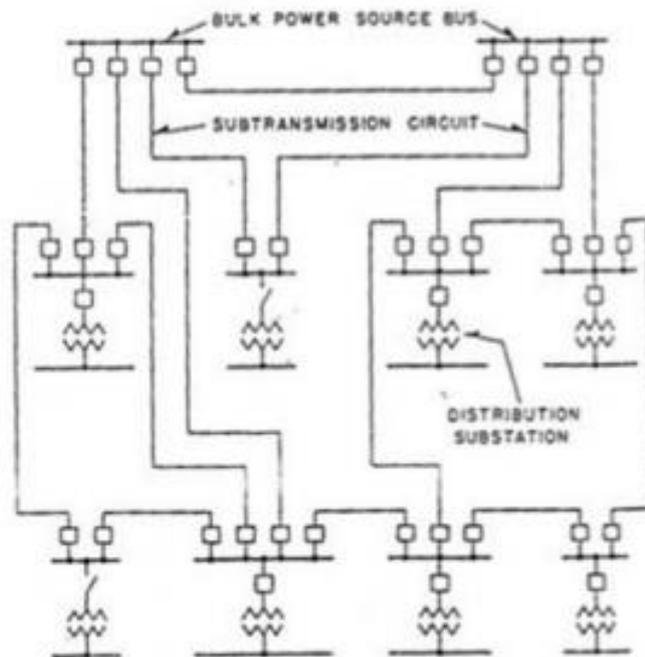
Fungsi "*express feeder*" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "*working feeder*", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal.



Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel

4) Sistem *Spot Network*

Untuk pelanggan yang tidak boleh padam (pelanggan VVIP) maka tenaga listrik disuplai dengan pola jaringan *spot network* dengan minimal 2 penyulang sekaligus plus *Automatic Change Over*. Sistem *spot network* merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus-menerus oleh dua atau lebih feeder pada gardugardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder. Sistem *spot network* dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik.



Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Sistem *Spot Network*

5) Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi ini merupakan perkembangan dari sistem spot network. Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang dikehendaki bekerja secara paralel. Sehingga penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus menerus (tak terputus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas. Hanya saja sistem ini memerlukan biaya yang cukup mahal dan perencanaan yang cukup matang. Untuk perkembangan dikemudian hari, sistem interkoneksi ini sangat baik, bisa diandalkan dan merupakan sistem yang mempunyai kualitas yang cukup tinggi.

Pada sistem interkoneksi ini apabila salah satu pusat pembangkit tenaga listrik mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke pusat pembangkit lain. Untuk pusat pembangkit yang mempunyai kapasitas kecil dapat dipergunakan sebagai pembantu dari pusat pembangkit utama (yang mempunyai kapasitas tenaga listrik yang besar). Apabila beban normal sehari-hari dapat diberikan oleh pusat pembangkit tenaga listrik tersebut, sehingga ongkos pembangkitan dapat diperkecil.

Pada sistem interkoneksi ini pusat pembangkit tenaga listrik bekerja bergantian secara teratur sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Sehingga tidak ada pusat pembangkit yang bekerja terus-menerus. Cara ini akan dapat memperpanjang umur pusat pembangkit dan dapat menjaga kestabilan sistem pembangkitan.

b Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem distribusi tegangan rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV. Jaringan distribusi tegangan rendah berbentuk radial murni. Sambungan tenaga listrik adalah bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik. Pada sambungan tenaga listrik tersambung Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada pemanfaat.

Pada jaringan tegangan rendah 380/220V ada beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan (PLN, 1992: NP). Dalam satu tiang saluran tegangan rendah (STR) dapat disambung maksimum 5 sambungan layanan pelanggan (SLP). Dalam satu sambungan layanan pelanggan, dapat disambung seri maksimum 5 pelanggan. Dengan tetap memperhatikan jatuh tegangan yang diijinkan. Jarak sambungan maksimum dari tiang ke rumah terakhir 150m, dan jarak sambungan maksimum dari tiang ke rumah atau dari rumah kerumah, maksimum 30m.⁴

2.2 Keandalan Sistem Distribusi⁵

Keandalan adalah ukuran tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, dilakukan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja dari sistem. Sistem yang memiliki tingkat keandalan tinggi akan mampu memberikan suplai energi listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempunyai tingkat

⁴ Ibid.

⁵ Keandalan Distribusi, "Keandalan Distribusi" (n.d.), hlm 17-19.



keandalan rendah tidak akan mampu memenuhi permintaan energi listrik setiap saat dibutuhkan.

Kontinuitas pelayanan energi listrik yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan, tergantung kepada macam sarana penyalur dan peralatan pengaman. Tingkat kontinuitas pelayanan energi listrik dikatakan baik dilihat berdasarkan berapa lamanya proses menghidupkan kembali suplai energi listrik setelah terjadinya gangguan.

Adapun macam-macam tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 hal, antara lain :

a. Keandalan Sistem yang Tinggi (*High Reliability System*)

Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Dalam keadaan darurat bila terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem ini tentu saja diperlukan beberapa peralatan dan pengaman yang cukup banyak untuk menghindarkan adanya berbagai macam gangguan pada sistem.

b. Keandalan Sistem yang Menengah (*Medium Reliability System*)

Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Bila terjadi gangguan pada jaringan dalam keadaan darurat, maka sistem tersebut masih bisa dilayani sebagian dari beban meskipun dalam kondisi beban puncak. Jadi, dalam sistem ini diperlukan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi serta menganggulangi gangguan sistem.

c. Keandalan Sistem yang Rendah (*Low Reliability System*)

Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Tetapi, bila terjadi suatu gangguan pada jaringan, sistem sama sekali tidak bisa melayani beban tersebut. Jadi, sistem perlu diperbaiki terlebih dahulu dan peralatan-peralatan pengamannya relatif sangat sedikit jumlahnya.

Kontinuitas pelayanan, penyaluran jaringan distribusi tergantung pada jenis dan macam-macam sarana penyalur dan peralatan pengaman, dimana sarana penyaluran (jaringan distribusi) mempunyai tingkat kontinuitas yang tergantung



pada susunan saluran dan cara pengaturan sistem operasinya, yang pada hakekatnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyaluran disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan.

Tingkatan kontinuitas pelayanan dapat dibedakan menjadi 4, yaitu :

a. Tingkat 1

Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.

b. Tingkat 2

Pada beberapa jam, yaitu diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisasi kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menyalakan sementara kembali dari arah atau saluran lain.

c. Tingkat 3

Pada beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang siap sedia di gardu atau dilakukan deteksi pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DCC (*Distribution Control Centre*).

d. Tingkat 4

Pada beberapa detik, yaitu pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DCC. Tanpa padam yaitu jaringan yang dilengkapi instalasi cadangan dan otomatis secara penuh dari DCC.

2.3 Indeks Nilai Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan dari pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem. Adapun indeks tersebut, diantaranya⁶ :

a. **Laju Kegagalan**

Laju kegagalan adalah nilai rata-rata dari jumlah kegagalan pada selang waktu tertentu (T), dan dinyatakan dalam satuan kegagalan pertahun. Pada suatu pengamatan, nilai laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut :

⁶ Persero et al., "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di Pt .", hlm 44.



$$\lambda = \frac{f}{T} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana : λ = Angka kegagalan (kali/tahun)

f = Banyaknya Kegagalan

T = Selang Waktu Pengamatan (1 tahun)

b. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya gangguan sistem untuk setiap konsumen selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan persamaan:

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian durasi gangguan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}} \dots\dots\dots 2.2$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i.N_i}{Nt} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana : U_i = Durasi gangguan pada saluran i

N_i = Jumlah gangguan pelanggan pada saluran i

Nt = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

c. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Nilai indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gangguan sistem yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya pertahun). Indeks ini ditentukan dengan persamaan :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}} \dots\dots\dots 2.4$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i.N_i}{Nt} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana : λ = Angka kegagalan pada saluran i

N_i = Jumlah pelanggan pada saluran i

Nt = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

2.4 Gangguan Sistem Jaringan Distribusi

Kondisi gangguan pada sistem jaringan distribusi tenaga menengah 20 kV dapat dibedakan berdasarkan penyebabnya, yaitu⁷ :

a. Penyebab Gangguan dari Faktor Luar

Faktor-faktor luar yang menyebabkan terjadinya gangguan, yaitu :

- 1) Cuaca misalnya hujan, angin kencang, gempa bumi, dan petir.
- 2) Makhluk hidup misalnya manusia, binatang dan tumbuhan.
- 3) Benda-benda lain.

Jenis gangguan pada sistem distribusi saluran udara dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1) Gangguan yang bersifat temporer

Gangguan temporer atau gangguan sesaat dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya.

2) Gangguan yang bersifat permanen

Untuk membebaskan gangguan yang bersifat permanen diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

b. Penyebab dari faktor dalam

Gangguan yang disebabkan oleh faktor dalam umumnya bersifat permanen, misalnya peralatan tidak sesuai standar yang ditetapkan, pemasangan alat yang tidak sesuai atau salah dan penuaan peralatan.

Gangguan yang disebabkan faktor dalam dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1) Gangguan Sistem

Gangguan sistem jaringan distribusi tenaga menengah 20 kV yang diakibatkan oleh gangguan pada sistem pembangkit tenaga listrik atau sistem jaringan transmisi tenaga tinggi.

2) Gangguan Jaringan

Gangguan sistem jaringan distribusi tenaga menengah 20 kV mengakibatkan putusnya pasokan daya listrik dari pusat-pusat pembangkit tenaga

⁷ Distribusi, "Keandalan Distribusi.", hlm 14-15.



listrik ke daerah-daerah tertentu. Pada umumnya penyebab gangguan jaringan adalah :

a) Gangguan Peralatan

Gangguan peralatan dapat diakibatkan oleh kerusakan kabel instalasi pada gardu atau penuaan alat.

b) Gangguan akibat Penyulang Lain

Pada keadaan jumlah penyulang yang tidak bekerja atau trip lebih dari satu, maka untuk menentukan penyulang terganggu didasarkan pada indikasi rele proteksi yang bekerja. Bila indikasi rele yang bekerja menunjukkan gangguan over current dan ground fault, maka dapat dipastikan penyulang tersebut yang terganggu. Bila indikasi gangguan yang muncul hanya ground fault maka dapat dikatakan bahwa terjadi gangguan akibat penyulang lain.

c) Gangguan Makhluk Hidup

Pada umumnya gangguan ini bersifat sementara dan penyebab langsung dapat dihilangkan, misalnya kelalaian manusia dalam mengoperasikan peralatan, dahan pohon, dan binatang yang menempel pada kabel instalasi. Gangguan jaringan distribusi yang disebabkan baik dari luar maupun dari dalam dapat mengakibatkan terjadinya tegangan lebih atau hubung singkat. Hubung singkat yang mungkin terjadi adalah gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa, dan gangguan hubung singkat 1 fasa.

2.5 Manuver Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Manuver sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV merupakan serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap kondisi operasi normal jaringan akibat adanya pekerjaan ataupun gangguan yang bersifat permanen pada jaringan yang memerlukan waktu relatif lama sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran daya listrik yang optimal. Manuver jaringan pada kondisi operasi normal menggunakan jaringan tipe radial yang dikembangkan menjadi jaringan tipe lingkaran

terbuka (*open loop* atau *ring*) yang melewati gardu hubung atau saklar-saklar beban.⁸

Dengan adanya sistem manuver jaringan, maka waktu pemadaman dapat dipersingkat dan daerah pemadaman dapat dipersempit sehingga *losses* kWh terjadi dapat ditekan seminimum mungkin. Manuver jaringan membutuhkan keandalan sistem yang mampu menanggung beban baik dari sisi pengaman, penghantar, maupun daya listrik yang akan disalurkan sehingga susut tegangan dan daya *losses* daya listrik yang terjadi pada ujung jaringan masih berada dalam batas (toleransi yang telah ditentukan). Manuver jaringan pada sistem jaringan distribusi dilakukan dengan dua cara, yaitu *remote control* dan manual.

2.6 Konsep Dasar Teori Keandalan⁹

Keandalan (*reability*) adalah sebagai peluang suatu komponen atau sistem memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu yang diberikan selama digunakan dalam kondisi beroperasi. Dengan kata lain keandalan berarti peluang tidak terjadi kegagalan selama beroperasi.

Terdapat lima faktor yang memegang peranan terhadap keandalan suatu sistem serta definisi keandalan mengandung beberapa istilah penting, yaitu :

- a. Fungsi, keandalan untuk suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tak terencana (*unlanned maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda.
- b. Probabilitas, angka yang menyatakan beberapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu sistem dan saluran.
- c. Kecukupan performance, menunjukkan kriteria kontinuitas suatu saluran sistem penyalur tenaga listrik tanpa mengalami gangguan.

⁸ Ibid.

⁹ Ibid.

- d. Waktu, lama suatu saluran bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama saluran digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadinya kegagalan.
- e. Kondisi operasi, adalah keandalan lingkungan kinerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembabam udara dan getaran yang memengaruhi kondisi operasi.

2.7 Istilah dalam Keandalan Sistem Distribusi¹⁰

Ada beberapa istilah yang penting berkaitan dengan keandalan sistem distribusi :

- a. *Outage*

Outage merupakan keadaan di mana suatu komponen tidak dapat melakukan fungsinya disebabkan hal-hal yang secara langsung berhubungan dengan komponen tersebut. Outage dapat atau tidak dapat mengakibatkan pemadaman bergantung pada konfigurasi sistem.

- b. *Forced Outage*

Outage yang disebabkan oleh keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen, di mana perlu agar komponen tersebut dilepaskan dari sistem dengan segera, atau outage yang disebabkan oleh kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun karena kesalahan manusia

- c. *Scheduled Outage*

Outage yang dihasilkan ketika suatu komponen dengan sengaja dilepaskan dari sistem pada waktu-waktu yang telah ditentukan, biasanya untuk tujuan perbaikan atau pemeliharaan berkala.

- d. *Interruption*

Pemutusan kerja (pemadaman) pada satu atau lebih konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari outage yang terjadi pada satu atau lebih komponen.

¹⁰ Achmad Fatoni, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT.PLN Rayon Lumajang Dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)," *Jurnal Teknik ITS* 5, no. 2 (2017): 462–467.



e. *Forced Interruption*

Pemadaman yang disebabkan oleh *forced outage*.

f. *Scheduled Interruption*

Pemadaman yang disebabkan oleh *scheduled outage*.

g. *Failure Rate* (λ)

Jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Umumnya waktu dinyatakan dalam *year* dan *failure rate* dinyatakan dalam *failure/year*

h. *Outage Time* (r)

Waktu yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti bagian dari peralatan akibat terjadi kegagalan atau periode dari saat permulaan peralatan mengalami kegagalan sampai saat peralatan dioperasikan kembali sebagaimana mestinya (*outage time* umum dinyatakan dalam *hours/failure*).

i. *Annual Outage Time* (U)

Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu tertentu (umumnya *annual outage time* dinyatakan dalam *hours/year*)

2.8 Standar Keandalan Sistem Distribusi

Standar nilai indeks keandalan yaitu ketetapan nilai minimum yang hendaknya dapat dipenuhi oleh suatu sistem distribusi agar keandalan penyaluran energi listrik kepada pelanggan dapat terjamin kualitasnya. Selain itu, standar keandalan juga bertindak sebagai tolak ukur terhadap kemajuan serta peningkatan mutu pelayanan yang akan dicapai oleh PLN.¹¹

Adapun standar keandalan yang ditetapkan oleh SPLN bertujuan untuk menetapkan serta menjelaskan tingkat keandalan sistem distribusi energi listrik. Selain itu juga bertujuan untuk memberi tolak ukur terhadap kemajuan dan menentukan target yang akan dicapai oleh perusahaan tersebut.

¹¹ Purwoharjono M, Randa, Hardiansyah, "Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV Dan Rugi-Rugi Energi Yang Tidak Tersalurkan Pada Feeder Raya 10/Adisucipto," *Universitas Tanjungpura* (2020), hlm 4.

Tabel 2.1 Standar Keandalan SPLN 68-2 : 1986¹²

Indek Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3,2	Kali/pelanggan
SAIDI	21,09	Jam/pelanggan

Tabel 2.2 Standar IEEE P1366-2003

Indek Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1,45	Kali/pelanggan
SAIDI	2,3	Jam/pelanggan

Dan pada Parameter pengukuran laju kegagalan dan juga *switching time* berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang Keandalan Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV yaitu :

Tabel 2.3 Standart Nilai Laju Kegagalan¹³

No.	Komponen Saluran Udara	Laju Kegagalan	Repair Time (jam)
1.	Saluran udara	0,2/km/tahun	4
2.	Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10
3.	Sakelar pemisah	0,003/unit/tahun	10
4.	Sakelar beban	0,003/unit/tahun	10
5.	Trafo distribusi	0,005/unit/tahun	10

2.9 ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)

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

¹² Ibid.

¹³ Aang Fras Setiawan and Titiek Suheta, "Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Di PT. PLN (PERSERO) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS)," *Cyclotron* 3, no. 1 (2020), hlm 12.

digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.9 Icon Bar Elemen-Elemen pada ETAP 19.0.1

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient 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.

Dalam menganalisis jaringan terutama untuk mengetahui keandalan digunakan analisa *reliability assement*. Pada fitur analisis ini, dapat diketahui nilai SAIDI dan SAIFI suatu jaringan yang disimulasikan dengan memasukkan data jaringan yang disimulasikan dalam bentuk *single line diagram* pada lembar kerja ETAP 19.0.1.



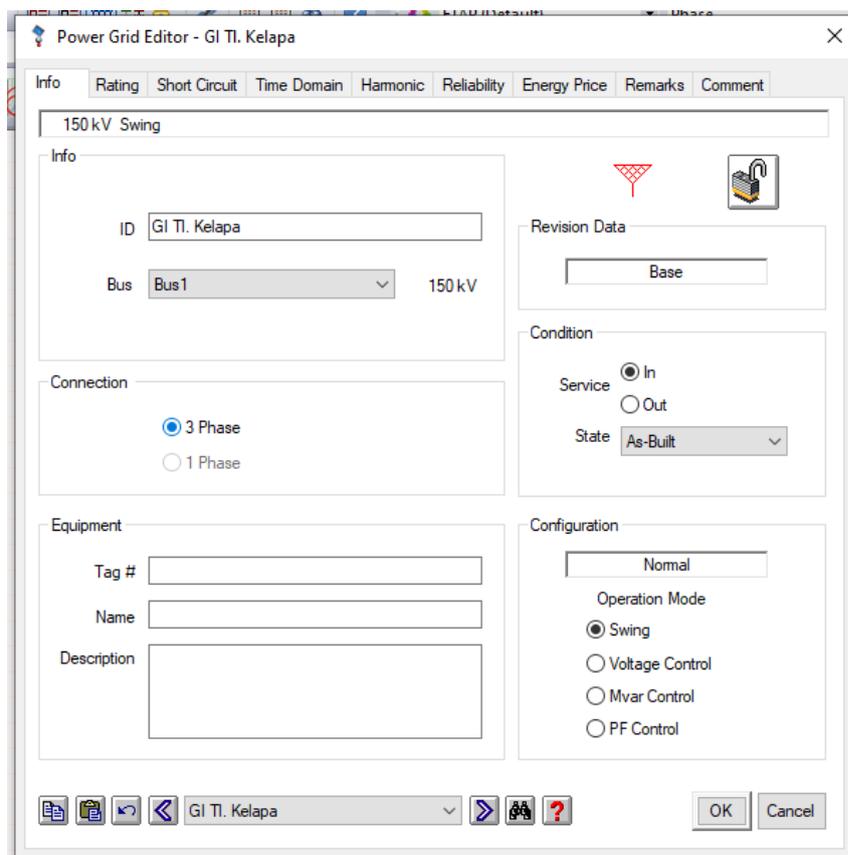
Komponen yang biasa digunakan dalam menganalisis suatu jaringan pada ETAP adalah generator, *high voltage circuit breaker*, transformator, *transmission line*, bus, dan *static load*.

Berikut cara penggunaan ETAP 19.0.1 untuk menganalisis jaringan dengan sistem *reliability assesment* :

- a. Jalankan aplikasi ETAP 19.0.1.
- b. Buat lembar kerja baru dengan memilih menu file kemudian memilih *new project*.
- c. Masukkan nama proyek untuk file kemudian pilih standar sistem metric.
- d. Klik ok.
- e. Membuat *single line diagram* pada lembar kerja ETAP yang pertama-tama dimulai dari *power grid*, transformator, penghantar, dan *static load*. Pembuatan *single line diagram* pada ETAP 19.0.1 berdasarkan *single line diagram* jaringan yang ingin dianalisis.
- f. Memasukkan data dan parameter setiap elemen.
 - 1) Pengisian data untuk *power grid*.

Power grid merupakan sumber tegangan yang ideal, artinya sumber tegangan yang mampu mensuplai daya dengan tegangan tetap sekalipun daya yang diserap cukup besar. *Power grid* dapat berupa sebuah generator yang besar, atau sebuah gardu induk yang merupakan bagian dari sebuah sistem tenaga listrik interkoneksi yang cukup besar.

 - a) *Double* klik simbol *power grid* pada lembar kerja ETAP 19.0.1
 - b) Pada jendela 'info' masukkan nama atau ID *power grid*, sesuai dengan data dan pilih mode konfigurasi *swing*.
 - c) Pilih jendela '*rating*' , masukkan nominal tegangan.
 - d) Kemudian pilih jendela '*short circuit*', masukan data hubung singkat sesuai data pengukuran.
 - e) Klik ok.

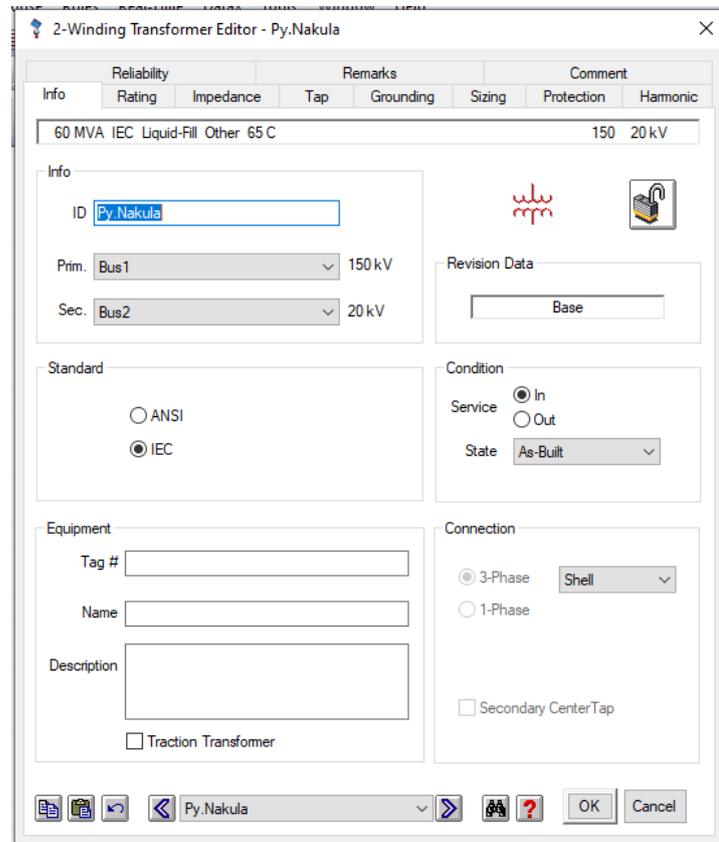


Gambar 2.10 Pengaturan *Power Grid* ETAP 19.0.1

2) Pengisian data untuk transformator

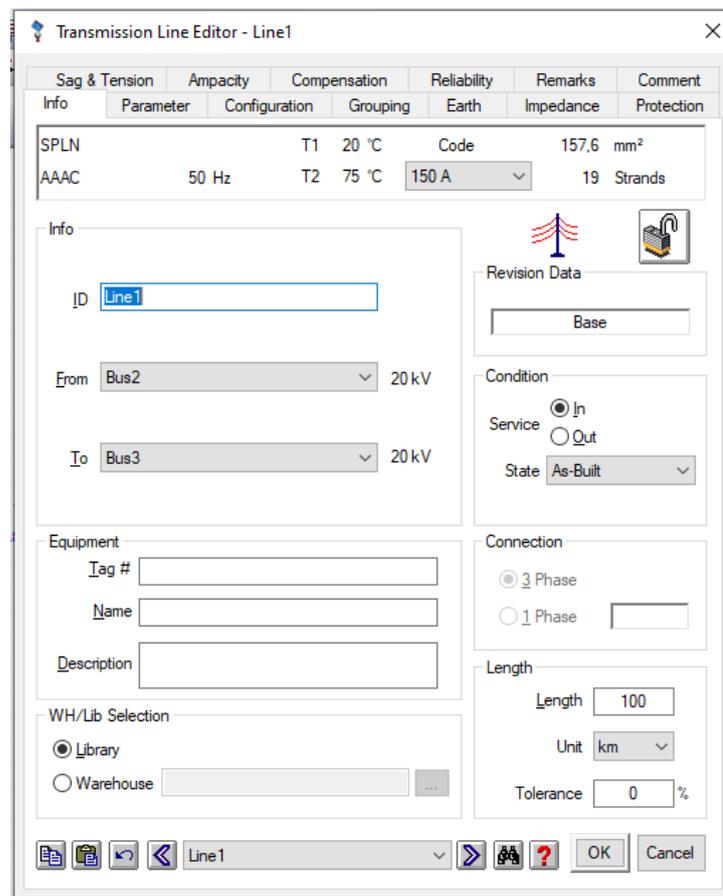
Transformator atau trafo adalah sebuah alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sistem.

- a) *Double* klik simbol transformator pada lembar kerja ETAP 19.0.1.
- b) Pada jendela 'info' masukkan nama atau ID transformator.
- c) Pilih jendela 'rating', masukkan *rating* daya dan tegangan primer serta tegangan sekunder sesuai dengan data pada *single line diagram*.
- d) Pilih jendela 'impedansi', klik *typical Z & X/R*.
- e) Klik ok.



Gambar 2.11 Pengaturan Transformator ETAP 19.0.1

- 3) Pengisian data untuk *transmission line*
Transmission line adalah penghantar yang menyalurkan tenaga listrik.
 - a) *Double* klik simbol *transmission line* pada lembar kerja ETAP 19.0.1.
 - b) Pada jendela 'info' masukkan panjang penghantar.
 - c) Pada jendela 'parameter', masukkan luas dan jenis penampang sesuai dengan data pada *single line diagram*.
 - d) Pada jendela 'configuration', masukkan data tinggi tiang, dan jarak antar penghantar.
 - e) Klik ok.



Gambar 2.12 Pengaturan *Transmission Line* ETAP 19.0.1

- 4) Pengisian data untuk *static load*

Beban yaitu peralatan listrik yang memanfaatkan atau menyerap daya dari jaringan. Salah satu jenis beban sistem tenaga listrik adalah *static load*, merupakan beban yang tidak banyak mengandung motor listrik, sehingga tidak banyak mempengaruhi tegangan sistem ketika *start*. Spesifikasi yang pokok pada sebuah *static load* adalah kapasitas daya dan faktor daya atau $\cos \theta$.

 - a) *Double* klik simbol *static load* pada lembar kerja ETAP 19.0.1.
 - b) Pada jendela 'info' masukkan nama atau ID *static load*.
 - c) Pada jendela 'loading', masukkan *rating* sesuai dengan data pada *single line diagram*.
 - d) Klik ok.



Static Load Editor - PC0970

Reliability	Remarks	Comment
Info	Loading	Cable/Vd
	Cable Amp	Time Domain
		Harmonic

1 1,247 MW 0 Mvar 20 kV Cable Info not available

Info

ID

Bus 20 kV

Equipment

Tag #

Name

Description

Data Type

Priority

Load Type

Demand Factor

Continuous Intermittent Spare %

Condition

Service In Out

State

Configuration

Status

Connection

3 Phase 1 Phase

Quantity

Reference kV

Calculated User-Defined kV

PC0970

OK Cancel

Gambar 2.13 Pengaturan *Static Load* ETAP 19.0.1