

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI dan ASAI adalah beberapa indeks keandalan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan pada suatu sistem. Sudah ada beberapa orang yang membahas tentang indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI dan ASAI, berikut diantaranya:

1. Skripsi Ahmad Fajar Sayidul Yaom (2015) yang berjudul Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik di PT. PLN UPJ Rayon Bumiayu. Pada skripsi ini menganalisa tingkat keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI pada penyulang Gardu Induk Bumiayu yang berada di wilayah kerja UPJ Rayon Bumiayu dan membandingkan dengan standar SPLN 68-2 1986.
2. Jurnal Ali Basrah Pulungan (2012) yang berjudul Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang. Penelitian ini bertujuan menghitung indeks keandalan didasarkan pada indeks keandalan berbasis sistem yaitu SAIDI dan SAIFI. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis indeks keandalan berbasis sistem pada jaringan tegangan menengah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang tahun 2009 termasuk tingkat keandalan rendah.
3. Jurnal yang berjudul Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan Saidi Dan Saifi Pada PT. PLN (Persero) Rayon

Bagan Batu Tahun 2015, yang ditulis oleh Erhanaeli (2016). Penelitian ini menjelaskan tentang menghitung frekuensi pemadaman dan lamanya pemadamana yang dialami oleh sistem distribusi dalam kurun waktu waktu tertentu serta bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan indeks keandalan sistem yakni SAIDI dan SAIFI pada PT.PLN (Persero) Rayon Bagan Batu Riau dengan menggunakan data monitoring gangguan yang terjadi selama tahun 2014.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya. Beberapa parameter dasar dalam keandalan yang biasa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi radial yaitu angka kegagalan rata-rata (λs), waktu pemadaman rata-rata (r_s) dan waktu pemadaman tahunan (U_s) (Gheschik Safiur Rahmat et al, 2013).

Menurut Pabla (1994 :107), mendefinisikan keandalan sebagai kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dalam periode waktu yang ditentukan. Periode yang ditentukan merupakan bagian yang sangat penting dari spesifikasi keandalan. Periode mungkin merupakan daur hidup (masa pakai) dari benda atau periode lain selama dalam pemeliharaan.

Menurut Hartati (2007) keandalan sistem distribusi ialah suatu ukuran ketersediaan/tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pemakai. Ukuran keandalan dapat dinyatakan seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi (*restoration*).

Berdasarkan beberapa definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan dari suatu sistem untuk dapat bekerja pada kondisi dan jangka waktu operasi yang ditentukan. Sistem distribusi tentunya mempunyai nilai keandalan tertentu dan dapat diperoleh dengan menghitung indeks keandalannya (Pulungan, 2012).

2.2.2 Indeks Keandalan

Menurut Wayan Sukerayasa (2007), untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi digunakan teknik analisis menggunakan rumus matematik, yaitu indeks keandalan dasar digunakan laju kegagalan λ (kegagalan/tahun), rata – rata waktu keluar (outage) r (jam/gagalan) dan rata – rata ketidaktersediaan tahunan U (jam/tahun), sedangkan indeks berbasis sistem diantaranya adalah SAIFI dan SAIDI.

Keandalan dari pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk

menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi. Adapun indeks tersebut, diantaranya:

2.2.2.1 SAIFI (*System Average Interruption Index*)

SAIFI adalah salah satu indeks keandalan dimana perhitungannya adalah perkalian frekwensi padam sebuah penyulang dengan jumlah pelanggan yang mengalami gangguan pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan secara keseluruhan. Satuan dari perhitungan indeks SAIFI adalah pemadaman per pelanggan. Perhitungan pemadaman dapat dilakukan dalam jangka waktu tertentu, baik hari, bulan maupun tahun. Secara matematis indek SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\lambda_i \times N_i}{N_t} \quad (2.1)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

Keterangan:

λ = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

2.2.2.2 SAIDI (*System Average Duration Index*)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan perkalian dari lamanya suatu sistem padam dalam hitungan jam dengan banyaknya pelanggan yang

mengalami pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan keseluruhan. Satuan perhitungan SAIFI adalah jam/pelanggan. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{U_i \cdot N_i}{Nt} \quad (2.2)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

Dimana:

U_i = Durasi gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

Nt = Jumlah konsumen yang dilayani.

2.2.2.3 CAIDI (*Customer Average Duration Index*)

CAIDI merupakan salah satu indeks keandalan yang berisi tentang lamanya waktu (durasi) setiap terjadinya pemadaman. Lamanya durasi ini bisa dalam hari, bulan ataupun tahun. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$CAIDI = \frac{\text{jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah interupsi pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i} \quad (2.3)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

Keterangan:

U_i = Durasi gangguan

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban i

λ_i = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI, yaitu:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.4)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman (r) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi.

2.2.2.4 ASAI (*Average System Availability Index*)

ASAI merupakan suatu indeks yang menyatakan kemampuan suatu sistem untuk menyediakan/menyuplai suatu sistem dalam jangka waktu 1 tahun.

Berikut ini adalah rumus persamaan untuk menghitung indeks keandalan ASAI:

$$ASAI = \frac{\sum Ni x 8760 - \sum Ui Ni}{\sum Ni x 8760} \quad (2.5)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

ASAI dapat juga dihitung dengan persamaan:

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760} \quad (2.6)$$

(Sumber : Ali Basrah Pulungan, 2010)

Keterangan:

8760 adalah jumlah jam dalam satu tahun.

Pada umumnya ASAI dinyatakan dalam persentase.

2.2.3 Standar Nilai Indeks Keandalan

2.2.3.1 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

Berkut adalah tabel 2.1 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada SPLN.

Tabel 2.1 Standar Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

INDEX KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	3.2	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21.09	jam/pelanggan/tahun

2.2.3.2 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE Std 1366-2003

Berkut adalah tabel 2.2 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada IEEE std 1366-2003.

Tabel 2.2 Standar Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

INDEX KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	1.45	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	1.47	jam/gangguan
ASAI	99.92	Persen

2.2.4 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah peralatan pemutus/penghubung aliran arus dan trafo penaik/penurun tegangan yang dipasang diantara dua komponen sistem tenaga listrik lainnya. Gardu induk berfungsi untuk memutus/menghubungkan aliran arus listrik dan menyesuaikan level tegangan sistem-sistem yang dihubungkan.

Menurut Affandi (2015) fungsi utama dari gardu induk, yaitu:

1. Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen.
2. Sebagai tempat control.
3. Sebagai pengaman operasi sistem.
4. Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

Berikut adalah gambar 2.1 yang menunjukkan gambar konstruksi gardu induk.



Gambar 2.2 Konstruksi Gardu Induk

(Sumber : <http://mediaindonesia.com/files/news/2016/10/gardu.jpg>)

Dilihat dari segi manfaat dan kegunaan dari gardu induk itu sendiri, maka peralatan dan komponen dari gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi serta kualitas yang tidak diragukan lagi, atau dapat dikatakan harus optimal dalam kinerjanya sehingga masyarakat sebagai konsumen tidak merasa dirugikan oleh kinerjanya. Oleh karena itu, sesuatu yang berhubungan dengan rekonstruksi pembangunan gardu induk harus memiliki syarat-syarat yang berlaku dan pembangunan gardu induk harus diperhatikan besarnya beban. (Affandi, 2105).

Menurut Affandi (2015), maka perencanaan suatu gardu induk harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Operasi, yaitu dalam segi perawatan dan perbaikan mudah.
2. Fleksibel.
3. Konstruksi sederhana dan kuat.

4. Memiliki tingkat keandalan dan daya guna yang tinggi.
5. Memiliki tingkat keamanan yang tinggi.

2.2.5 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam definisi secara umum, sistem distribusi adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source, BPS*) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switchers*) (Syahputra, 2016 : 83).

Menurut buku Teknik Distribusi Tenaga Listrik jilid 1 yang ditulis oleh Suhadi, dkk (2006 : 11) menyebutkan bahwa 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 sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik beberapa tempat (pelanggan), serta merupakan sib sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar dan peralatan hubung pelanggan. Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi 2 sistem distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah) dan sistem distribusi sekunder (Jaringan distribusi tegangan rendah). Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Umumnya tegangan kerja pada sistem distribusi primer adalah 6 kV atau 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem distribusi sekunder 380 V atau 220 V (Syahputra, 2015).

2.2.5.1 Jenis Jaringan Distribusi Berdasarkan Ukuran Tegangan

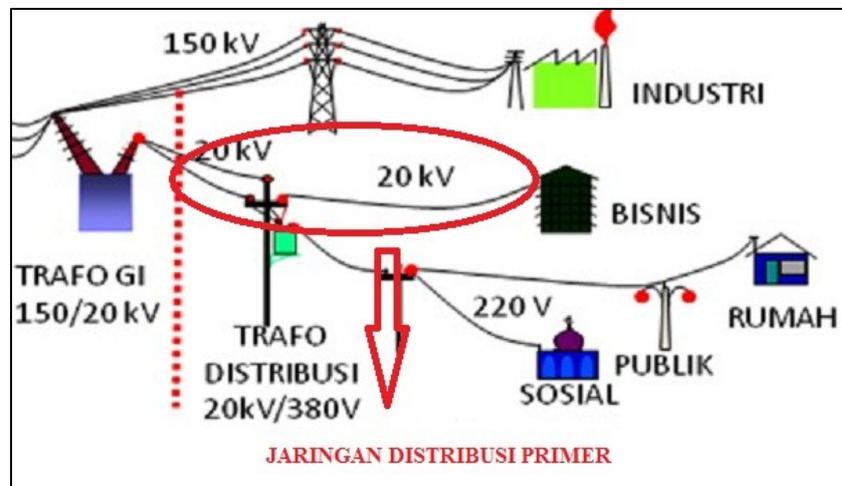
2.2.5.1.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan 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 gardu distribusi) (Syahputra, 2015).

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sedangkan di Amerika Serikat standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 2,4 kV, 4,16 kV, dan 13,8 kV (Suswanto, 2009).

Menurut Suswanto (2009) jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Berikut adalah gambar 2.2 yang menunjukkan gambar sistem distribusi primer.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Primer 20 kV

(Sumber : <http://ilmu-listrik.weebly.com/uploads/5/8/2/0/58200941/332821448.jpg>)

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen (Suswanto, 2009).

Menurut Laksono (2016) sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kawat AAAC (All Aluminium Alloy Conductor), ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), dll.



Gambar 2.3 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

(Sumber : https://rakassably.files.wordpress.com/2012/03/dsc_0027.jpg)

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kawat berisolasi seperti MVTIC (Medium Voltage Twisted Insulated Cable).

Berikut adalah gambar 2.4 yang menunjukkan gambar saluran kabel udara tegangan menengah.



Gambar 2.4 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Vinyl Chloride*), XLPE (*Crosslink Polyethelene*). Berikut adalah gambar 2.5 yang menunjukkan gambar saluran kabel tegangan menengah.



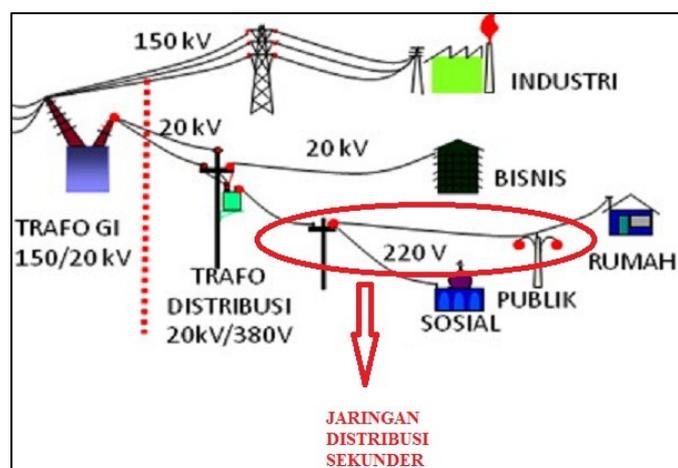
Gambar 2.5 Saluran Kabel Tegangan Menengah

(Sumber : Sumber : <http://www.grahabaralestari.com/layananjasa/kontraktor-listrik/>)

2.2.5.1.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan 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) (Syahputra, 2015).

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa (Suswanto, 2009). Berikut adalah gambar 2.6 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi sekunder.



Gambar 2.6 Jaringan distribusi sekunder 220 V

Sumber : <http://ilmu-listrik.weebly.com/uploads/5/8/2/0/58200941/332821448.jpg>

Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah 3 sampai 4% lebih besar dari tegangan nominalnya. Penetapan ini sebanding dengan besarnya nilai tegangan jatuh (*voltage drop*) yang telah ditetapkan berdasarkan PUIL F.1, bahwa rugi-rugi daya pada suatu jaringan adalah 15%. Dengan adanya pembatasan tersebut stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu (Suswanto, 2009)

2.2.5.2 Macam Jaringan Distribusi Berdasarkan Sistem Penyaluran

Menurut Suswanto (2009) pada bukunya yang berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik menyebutkan bahwa berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

2.2.5.2.1 Saluran Udara (*overhead line*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Berikut adalah gambar 2.7 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi dengan penyaluran udara.



Gambar 2.7 Saluran Distribusi Penyaluran Udara

(Sumber : <http://hastaindonesia.com/res/hkp/saluran/SUTM.png>)

Penggunaan saluran udara pada jaringan distribusi memiliki beberapa keuntungan, diantaranya:

- a. Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban.
- b. Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan diatas 66 kV.
- c. Lebih mudah dalam pemasangannya.
- d. Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi.

Selain memiliki beberapa keuntungan saluran udara pada jaringan distribusi juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya:

- a. Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- b. Untuk wilayah yang penuh dengan bangunan yang tinggi, sukar untuk menempatkan saluran.
- c. Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi.
- d. Ongkos pemeliharaan lebih mahal, karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

2.2.5.2.2 Saluran Bawah Tanah (*underground cable*)

Saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanamkan di dalam tanah.

Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), saluran bawah tanah memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Berikut adalah keuntungan menggunakan saluran bawah tanah:

- a. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.

- b. Tidak mengganggu pandangan, bila adanya bangunan yang tinggi.
- c. Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang.
- d. Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara.
- e. Ongkos pemeliharaan lebih murah, karena tidak perlu adanya pengecatan.
- f. Tegangan drop lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan.

Selain dari segi keuntungan yang begitu banyak, saluran bawah tanah juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya adalah:

- a. Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara.
- b. Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah.
- c. Perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui.
- d. Hanya tidak dapat menghindari bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.

Berikut adalah gambar 2.8 yang menunjukkan gambar jaringan distribusi dengan sistem penyaluran melalui saluran tanah.



Gambar 2.8 Saluran Tanah Jaringan Distribusi

2.2.5.3 Transformator Distribusi

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (*step down transformer*) misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedangkan transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*step up transformer*), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (*long line*) tidak mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*) yang berarti; yaitu tidak melebihi ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5% dari tegangan semula (Suswanto, 2009).

Menurut Suswanto (2009) gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.

Menurut Suswanto (2009) Jenis transformator yang digunakan adalah transformator satu fasa dan transformator tiga phase. Adakalanya untuk melayani beban tiga fasa dipakai tiga buah transformator satu fasa dengan hubungan bintang (*star connection*) Y atau hubungan delta (*delta connection*) Δ . Sebagian besar pada jaringan distribusi tegangan tinggi (primer) sekarang ini dipakai transformator tiga fasa untuk jenis *out door*. Yaitu jenis transformator yang diletakkan diatas tiang dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan jenis *in door*, yaitu jenis yang diletakkan didalam rumah gardu.

Berikut adalah gambar 2.9 yang menunjukkan gambar transformator distribusi 3 phasa, sedangkan pada gambar 2.10 menunjukkan gambar transformator distribusi 1 phasa.



Gambar 2.9 Transformator Distribusi 3 Phasa

(Sumber : <http://cdn.gresnews.com/showimg.php?size=view&imgname=2015315125444-pln1.jpg>)



Gambar 2.10 Transformator Distribusi 1 Phasa

(Sumber : https://arismunandar231.files.wordpress.com/2014/06/000_0373.jpg)

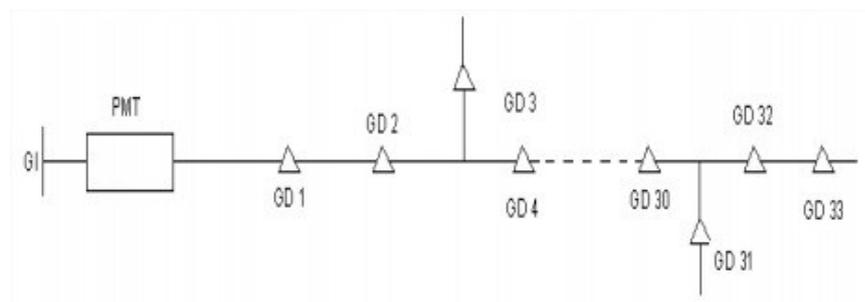
2.2.5.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Berdasarkan buku yang ditulis Syahputra (2015) yang berjudul Transmisi Distribusi, konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

2.2.5.4.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial

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.

Berikut adalah gambar 2.11 yang menunjukkan gambar konfigurasi jaringan distribusi dengan jenis jaringan distribusi radial.



Gambar 2.11 Jaringan distribusi radial

(Sumber : Syahputra, 2015)

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 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 semakin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. 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.

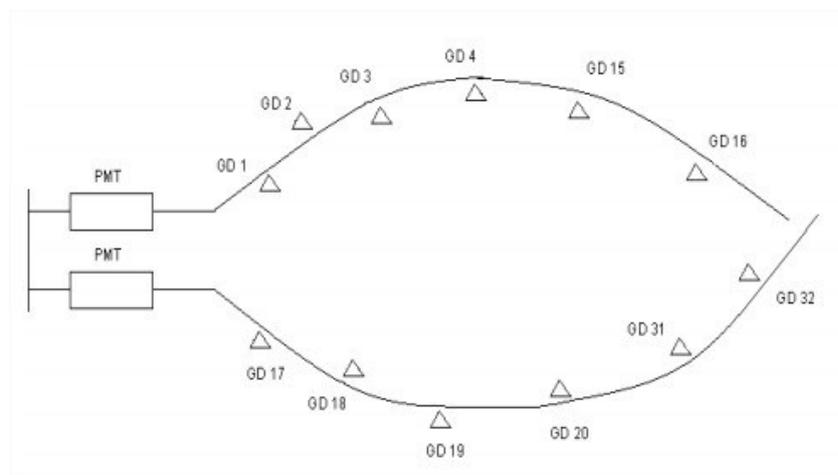
Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2.2.5.4.2 Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.12 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.

Berikut adalah gambar 2.12 yang menunjukkan gambar konfigurasi jaringan distribusi dengan jenis jaringan distribusi loop.



Gambar 2.12 Jaringan distribusi loop

(Sumber : Syahputra, 2015)

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu:

- a. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- b. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu 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 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.

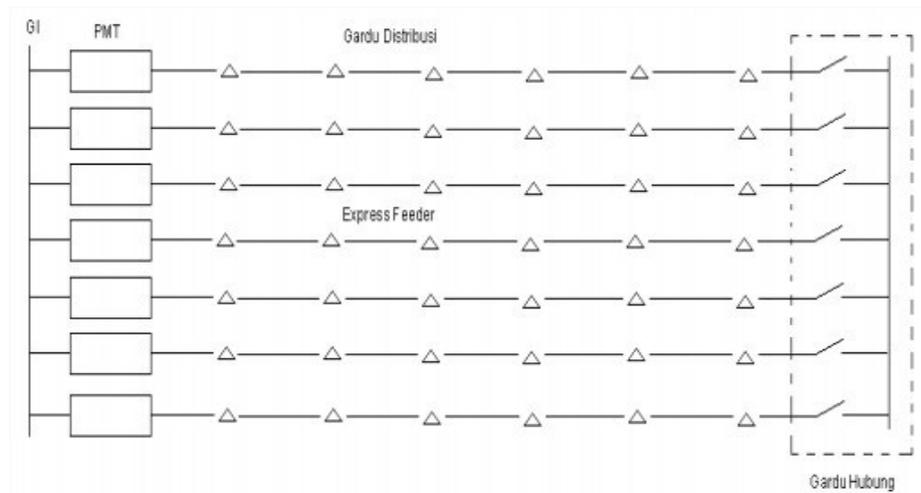
2.2.5.4.3 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

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

Menurut Syahputra dalam bukunya yang berjudul Transmisi Distribusi (2015), sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan antara lain:

- a. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- b. Menurunkan atau menekan rugi-rugi akibat gangguan.
- c. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- d. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

Berikut adalah gambar 2.13 yang menunjukkan gambar konfigurasi jaringan distribusi dengan jenis jaringan distribusi spindel.



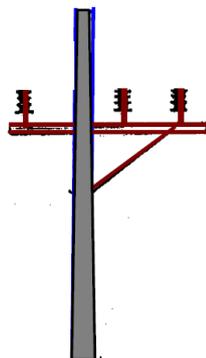
Gambar 2.13 Jaringan Distribusi Spindel

(Sumber : Syahputra, 2015)

2.2.5.5 Jaringan Distribusi Berdasarkan Jenis Konstruksi Tiang Jaringan

Dalam buku Damam Suswanto pada buku Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009) menyebutkan bahwa bentuk konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara dibagi menjadi 2, yaitu:

2.2.5.5.1 Konstruksi Horizontal



Gambar 2.14 Konstruksi Horizontal Tiang Jaringan Distribusi

(Sumber : Damam Suswanto ,2009)

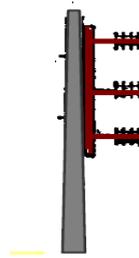
Keuntungan menggunakan konstruksi horizontal adalah:

1. Tekanan angin yang terjadi, terfokus pada wilayah *cross-arm (travers)*
2. Dapat digunakan untuk saluran ganda 3 phasa.

Konstruksi tipe ini juga memiliki kerugian, diantaranya:

1. Lebih banyak menggunakan *cross-arm*
2. Beban tiang (tekanan ke bawah) lebih berat
3. Lebih banyak menggunakan isolator

2.2.5.5.2 Konstruksi Vertical



Gambar 2.15 Konstruksi Vertical Tiang Jaringan Distribusi

(Sumber : Damam Suswanto, 2009)

Jaringan tipe vertikal memiliki beberapa keuntungan, diantaranya:

1. Sangat cocok untuk wilayah yang memiliki bangunan tinggi
2. Beban tiang (tekanan ke bawah) lebih sedikit
3. Isolator jenis pasak (pin insulator) jarang digunakan
4. Tanpa menggunakan *cross-arm*

2.2.6 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem.

2.2.6.1 Gangguan Dari Dalam Sistem

Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), menyebutkan beberapa contoh gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dimana sumbernya adalah dari dalam (*internal*) sistem, diantaranya:

- a. Kegagalan dari fungsi peralatan jaringan
- b. Kerusakan dari peralatan jaringan
- c. Kerusakan dari peralatan pemutus beban
- d. Kerusakan pada alat pendeteksi

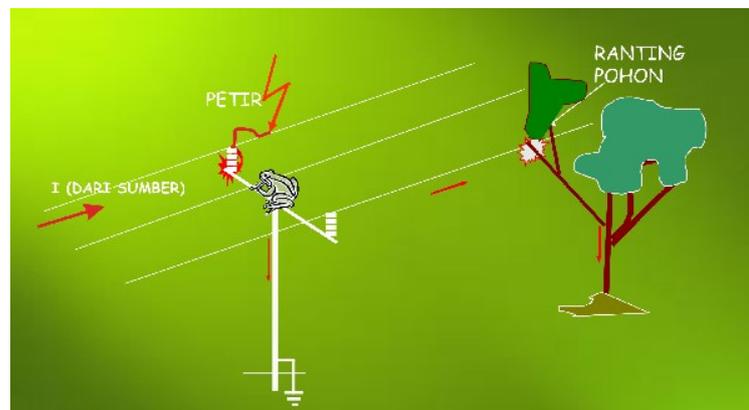
2.2.6.2 Gangguan Dari Luar Sistem

Menurut Suswanto dalam bukunya berjudul Sistem Distribusi Tenaga Listrik (2009), gangguan dari luar sistem adalah gangguan yang terjadi akibat dari

benda asing, dimana benda asing tersebut mengganggu aliran listrik pada jaringan distribusi. Berikut adalah beberapa contoh dari gangguan yang terjadi dari luar sistem, diantaranya:

- a. Sentuhan daun/pohon pada penghantar
- b. Sambaran petir
- c. Manusia
- d. Binatang
- e. Cuaca

Berikut adalah gambar 2.16 yang menunjukkan gangguan yang dialami oleh jaringan distribusi dari luar atau gangguan berasal dari benda – benda asing..



Gambar 2.16 Jenis Gangguan Pada Jaringan Distribusi

(Sumber : <https://ezkhelenergy.blogspot.co.id/2013/11/jenis-gangguan-pada-jaringan-distribusi.html>)

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi menurut Hutaauruk (1987: 4) adalah:

1. Dari jenis gangguannya
 - a. Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah

- b. Gangguan fasa ke fasa
 - c. Gangguan dua fasa ke tanah
 - d. Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah
2. Dari lamanya gangguan
- a. Gangguan permanen

Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat phasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

- b. Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan

akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.