

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik penelitian yang diambil, terdapat beberapa referensi dari beberapa penelitian yang sebelumnya sudah pernah dilakukan guna menentukan batasan masalah yang berkaitan dengan topik penelitian yang diambil. Referensi ini kemudian akan dipakai untuk dapat mempertimbangkan permasalahan-permasalahan yang terjadi yang berhubungan dengan topik yang diambil. Adapun beberapa referensi yang ada adalah sebagai berikut :

1. (M. Nashirul Haq, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2016) melakukan penelitian yang berjudul Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di gardu induk Batang. Pada skripsi ini menganalisa tingkat keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI pada penyulang Gardu Induk Batang yang berada di wilayah kerja UPJ Rayon Bumiayu dan membandingkan dengan standar SPLN 68-2 1986, IEEE std 1366-2003, *World Class Service (WCS)*, dan *World Class Company (WCC)*.
2. (Saodah, 2008) melakukan penelitian tentang Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem distribusi energi listrik pada PT. PLN

(Persero) APJ Cimahi Rayon UPJ Prima, kemudian melakukan pengolahan data berdasarkan SAIDI dan SAIDI.

3. (Nur Indah, 2013) melakukan penelitian tentang Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV pada Penyulang Pandean Lamper 1, 5, 8, 9, 10 di Gardu Induk Pandean Lamper. Pada penelitian ini menanalisa tingkat keandalan sistem distribusi di Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV pada Penyulang Pandean Lamper 1, 5, 8, 9, 10 di Gardu Induk Pandean Lamper dan membahas tentang penyebab gangguan yang ada pada Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV pada Penyulang Pandean Lamper 1, 5, 8, 9, 10 di Gardu Induk Pandean Lamper.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distirbusi listrik adalah suatu kemampuan sistem untuk dapat menyaluran listrik ke semua titik konsumen dalam standar dan jumlah yang sesuai atau diterima. Untuk dapat menentukan suatu keandalan sistem distribusi listrik maka diperlukan suatu analisa perhitungan. Parameter-parameter keandalan yang biasa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi adalah angka kegagalan rata-rata. (λs), waktu pemadaman rata-rata (r_s), dan waktu pemadaman tahunan (U_s).

Dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i$$

$$r_s = \frac{u_s}{\lambda_s}$$

Dengan, λ_i = angka kegagalan rata-rata komponen ke-i

r_s = waktu pemadaman rata-rata komponen ke-i

Indeks keandalan yang dimaksud adalah indeks yang berorientasi pelanggan seperti *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI), *Average Service Availability Index* (ASAI), dan *Average Service Unavailability Index* (ASUI).

Adapun penjelasan tentang SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI, dan ASUI adalah sebagai berikut :

1. *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. 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 :

$$\mathbf{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian jam pemadaman dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan}}$$

$$\mathbf{SAIDI} = \frac{U_i \cdot N_i}{N_t}$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

2. *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem bisa dievaluasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

SAIFI

$$= \frac{\text{jumlah dari perkalian frekuensi angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$\mathbf{SAIFI} = \frac{\lambda i \times Ni}{Nt}$$

Dimana:

λ = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

Ni = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

Nt = Jumlah konsumen yang dilayani.

Besarnya nilai SAIFI dapat digambarkan sebagai besarnya failure rate (λ) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

3. *Customer Average Duration Index (CAIDI)*

CAIDI adalah indeks yang menggambarkan lama waktu (durasu) rata-rata setiap pemadaman listrik.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mathbf{CAIDI} = \frac{\text{jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah interupsi pelanggan}} = \frac{\sum UiNi}{\sum Ni\lambda i}$$

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

$$\mathbf{CAIDI} = \frac{\mathbf{SAIDI}}{\mathbf{SAIFI}}$$

Dimana:

Ui = Durasi gangguan

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban i

λ_i = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman (r) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

4. *Average Service Availability Index (ASAI)*

ASAI adalah indeks yang menggambarkan tingkat ketersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh konsumen atau pelanggan.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760}$$

ASAI dapat juga dihitung dengan persamaan:

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760}$$

Keterangan:

- a. 8760 adalah jumlah jam dalam satu tahun.
- b. Pada umumnya ASAI dinyatakan dalam persentase.

5. *Average Service Unavailability Index (ASUI)*

ASUI adalah indeks yang menggambarkan tingkat ketidak-tersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh konsumen atau pelanggan.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$ASUI = 1 - ASAI$$

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar *Bulk Power Source* (BPS) sampai ke konsumen.

Jadi fungsi dari distribusi tenaga listrik adalah :

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa pelanggan atau konsumen
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pusat-pusat beban (pelanggan atau konsumen) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

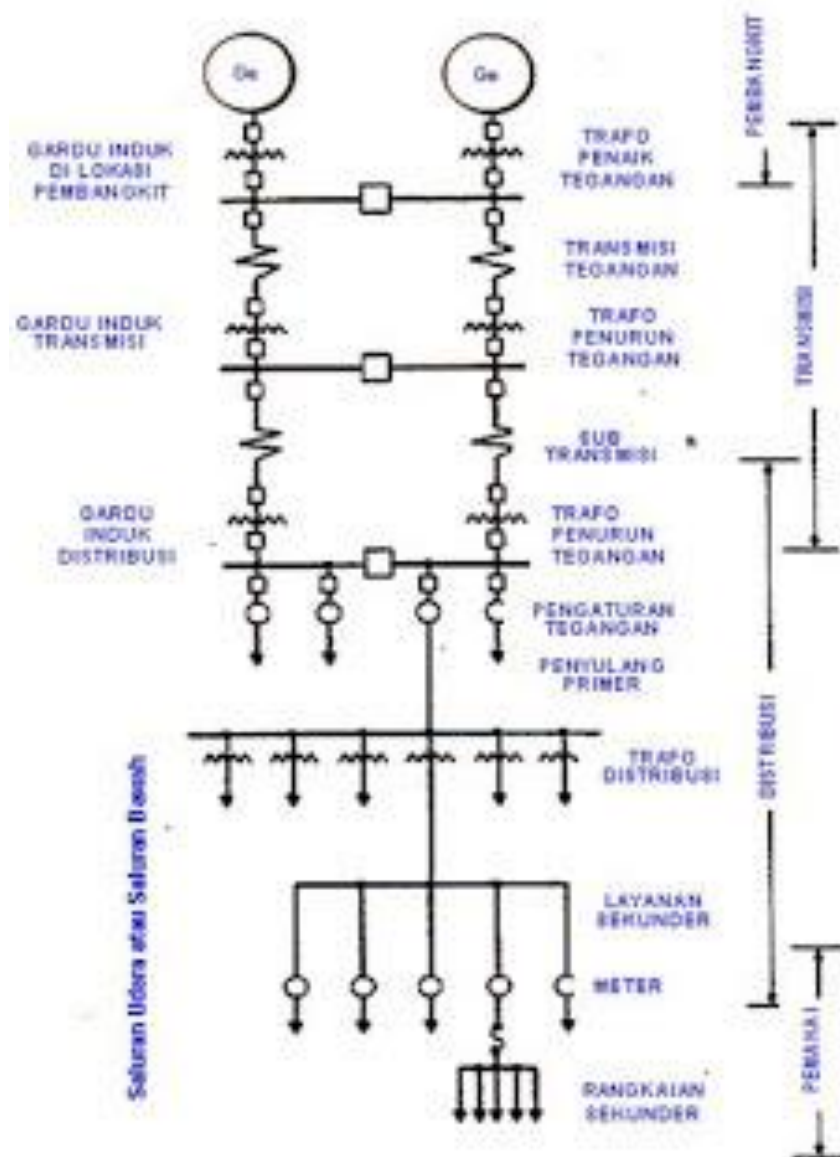
Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator *step up* (penaik tegangan) menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV, atau 500 kV yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator *step down* (penurun tegangan) pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan

oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 v. selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

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

Pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyerdehanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada gambar diatas :

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

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung pada segi klasifikasi tersebut dibuat. Dengan demikian ruang lingkup jaringan distribusi adalah :

- a. SUTM, terdiri dari tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor, dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. SKTM, terdiri dari kabel tanah, indoor dan outdoor terminal dan lain-lain.
- c. Gardu Trafo, terdiri dari transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat transformator, LV panel, pipa-pipa pelindung, arerester, kabel-kabel, tanformator band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. SUTR dan SKTR tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor, dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus

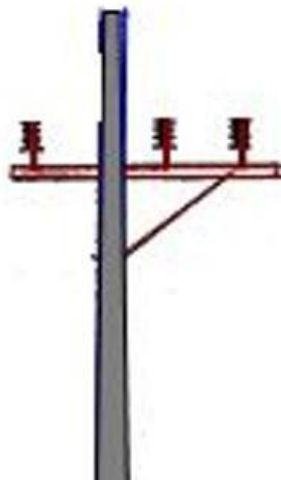
2.2.3 Klasifikasi Saluran Dstribusi Tenaga Listrik

Secar umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Menurut nilai tegangannya :
 - a. Saluran distribusi primer, terletak pada sisi primer transformator distributor, yaitu antara titik sekunder transformator substation (gardu induk) dengan titik primer transformastor distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan atau konsumen, bisa disebut jaringan distribusi
 - b. Saluran distribusi sekunder, terletak pada sisi sekunder transformator distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban.
2. Menurut bentuk tegangannya :
 - a. Saluran distribusi *Direct Current* (DC) menggunakan sistem tegangan searah.
 - b. Saluran distribusi *Alternating Current* (AC) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.
3. Menurut jenis atau tipe konduktornya :
 - a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan penyangga (tiang) dan perlengkapannya, dan dibedakan atas :

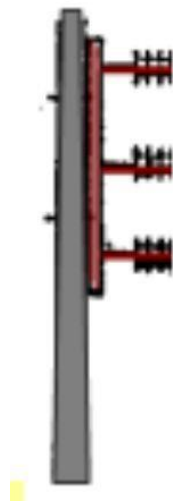
Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa adanya isolasi pembungkus dan saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.

- b. Saluran bawah tanah, dipasang didalam tanah dengan menggunakan kabel tanah.
 - c. Saluran bawah laut, dipasang didasar laut dengan menggunakan kabel laut.
4. Menurut susunan salurannya :
- a. Saluran konfigurasi horizontal, bisa saluran fasa terhadap fasa yang lain ataupun terhadap fasa terhadap netral, serta saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horizontal.



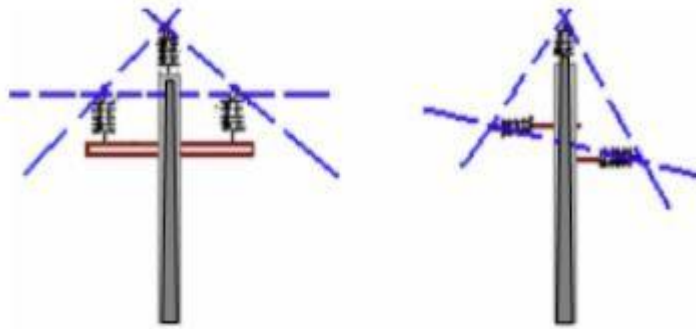
Gambar 2. 2 Saluran Konfigurasi Horizontal

- b. Saluran konfigurasi vertikal bila saluran tersebut membentuk vertikal



Gambar 2. 3 Saluran Konfigurasi Vertikal

- c. Saluran konfigurasi bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segetiga (delta).



Gambar 2. 4 Saluran Konfigurasi Delta

5. Menurut susunan rangkaiannya

Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi dibedakan menjadi dua sistem, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

a. Jaringan sistem distribusi primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, yaitu :

1. Jaringan distribusi radial, dengan model radial tipe pohon, radial dengan tie, dan switch pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian phase area.
2. Jaringan distribusi ring (loop), dengan model bentuk open loop dan bentuk close loop.
3. Jaringan distribusi Jaring-jaring
4. Jaringan distribusi spindle
5. Saluran radial interkoneksi

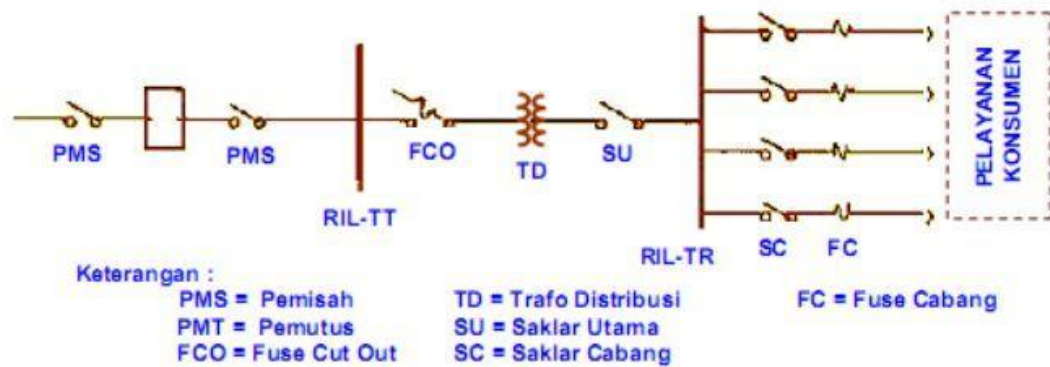
b. Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan adalah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut dengan sistem tegangan rendah yang langsung

akan dihubungkan kepada konsumen atau pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut :

1. Papan pembagi pada transformator distribusi.
2. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
3. Saluran layanan pelanggan (SLP).

Alat pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.



Gambar 2. 5 Komponen Sistem Distribusi

2.2.4 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan saluran yang menyalurkan daya yang besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah-daerah beban, atau antara dua atau lebih sistem. Untuk penyaluran antara dua atau lebih sistem disebut juga sebagai saluran interkoneksi atau *tie line* (Syahputra, 2015: 48).

Menurut Nashirulhaq (2016) terdapat 2 jenis saluran transmisi, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 200 kV - 500 kV

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari

penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

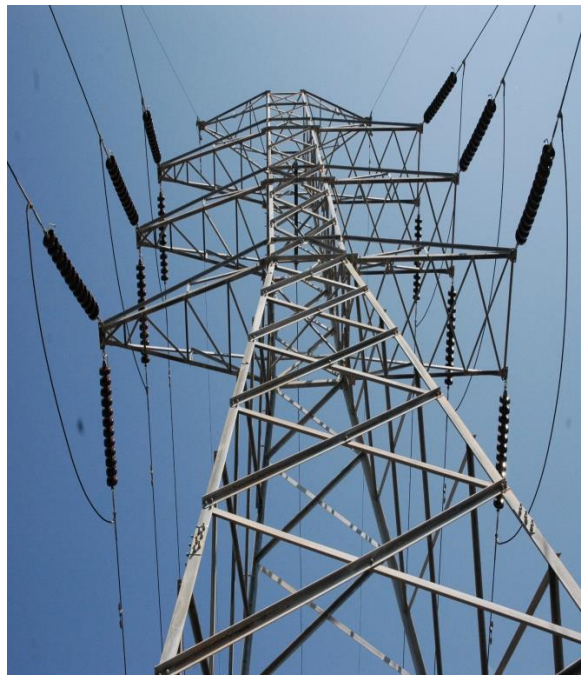


Gambar 2. 6 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV - 150 kV

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau doble sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila

kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing phasa terdiri dari dua atau empat kawat (*Double* atau *Quadrupole*) dan berkas konduktor disebut Bundle Conductor. Jika transmisi ini beroperasi secara parsial, jarak terjauh yang paling efektif adalah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (*drop voltage*) terlalu besar, sehingga tegangan di ujung transmisi menjadi rendah. Untuk mengatasi hal tersebut maka sistem transmisi dihubungkan secara ring sistem atau *interconnection system*. Ini sudah diterapkan di Pulau Jawa dan akan dikembangkan di pulau-pulau besar lainnya di Indonesia.



Gambar 2. 7 Saluran Udara Tegangan Tinggi

2.2.5 Gardu Induk

1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

Gardu induk sebagai salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting kaeran merupakan penghubung pelayanan tenaga listrik ke konsumen (Samuel, 2013).

Fungsi gardu induk adalah :

1. Menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu dengan aman dan dapat diandalkan.
2. Penyaluran daya ke gardu induk lainnya dan gardu-gardu distribusi melalui penyulang tegangan menengah.

Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (feeder- feeder)

tegangan menengah yang ada di gardu induk. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

Gardu induk menurut pemasangannya peralatannya terbagi atas tiga jenis yaitu :

1. Gardu Induk Konvensional

Gardu induk konvensional adalah gardu induk yang sebagian besar komponennya ditempatkan di luar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya, ada di dalam gedung. Sebagian besar gardu induk yang ada di Indonesia adalah gardu induk konvensional. Untuk beberapa daerah-daerah yang padat penduduk dan di kota-kota besar di pulau Jawa, sebagian menggunakan gardu induk pasangan dalam, yang biasa disebut *Gas Insulated Substation* atau *Gasinsulated Switchgear*.



Gambar 2. 8 Gardu Induk Konvensional

2. *Gas Insulated Substation (GIS)*

GIS adalah gardu induk yang hampir semua komponennya 9 (busbar, switchgear, isolator, komponen kontrol, komponen kendalu, cubicle, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang diluar gedung. *Gas Insulated Substation (GIS)* juga biasa disebut dengan sebutan Gardu Induk Pasangan Dalam.

GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padak pemukiman yang sulit mendapatkan lahan.



Gambar 2. 9 Gas Insulated Substation

3. Gardu Induk Kombinasi Pasangan Luar dan Pasangan Dalam.

Gardu ini adalah gardu induk yang komponen switchgearnya ditempatkan didalam gedung dan sebagai komponen switchgear di tempatkan di luar gedung, misalnya *tie line* dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear. Transformator daya juga ditempatkan di luar gedung.

2. Transformator

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi 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).

Jenis transformator yang digunakan adalah transformator satu phasa dan transformator tiga phase. Adakalanya untuk melayani beban tiga phasa dipakai tiga buah transformator satu phasa 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 phasa 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 (Suswanto, 2009).

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.

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.

2.2.6 Gangguan pada Sistem Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan/ konsumen. Ditinjau dari volume fisiknya jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibandingkan dengan jaringan transmisi dan jumlah gangguannya (sekian kali per 100 km pertahun) juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluran-saluran transmisi. Jaringan distribusi seperti diketahui terdiri dari jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) dan jaringan distribusi tegangan rendah (JTR).

Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV. Pada saat ini PLN hanya mengembangkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV. Jaringan distribusi tegangan menengah sebagian besar berupa saluran udara tegangan menengah dan kabel tanah.

Pada saat ini gangguan pada saluran udara tegangan menengah ada yang mencapai angka 100 kali per 100 km per tahun. Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon, apalagi saluran udara tegangan menengah banyak berada di dalam kota yang memiliki bangunan-bangunan tinggi dan pohon-pohon yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah. Hal ini menyebabkan saluran udara tegangan menengah yang ada di dalam kota banyak terlindung terhadap sambaran petir tetapi banyak diganggu oleh sentuhan pohon. Hanya untuk daerah di luar kota selain gangguan sentuhan pohon juga sering terjadi gangguan karena petir. Gangguan karena petir maupun karena sentuhan pohon ini sifatnya temporer (sementara), oleh karena itu penggunaan penutup balik

otomatis (*recloser*) akan mengurangi waktu pemutusan penyediaan daya (*supply interrupting time*) (Ezkhel,2013).

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.

1. Gangguan dari dalam sistem

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

2. Gangguan dari luar sistem

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

(Suswanto: *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 2009)

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi (Hutauruk, 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 fasa 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

2.2.7 Standar Indeks Keandalan

Standar Indeks keandalan ada bermacam-macam, yaitu :

1. Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986.

SPLN adalah standar perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, instruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil dirampungkan. 61 standar bidang pembangkitan, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum. Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuannya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan dari sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN.

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

Tabel 2. 1 Standar Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3.2	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21.09	jam/pelanggan/tahun

2. Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Berkut adalah tabel 2 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada IEEE std 1366-2003.

Tabel 2. 2 Standar Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1.45	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	1.47	jam/gangguan
ASAI	99.92	Persen

3. Standar Nilai Indeks Keandalan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*Word Class Company*).

Berkut adalah tabel 3 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada WCS (*World Class Service*) & WCC (*Word Class Company*).

Tabel 2. 3 Standar Indeks Keandalan WCS (*World Class Servise*)

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	1.666	jam/pelanggan/tahun