

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem distribusi merupakan sistem penyalur tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, maka harus memperhatikan tingkat keandalannya yaitu dapat menyuplai dengan baik tenaga listrik ke konsumen secara kontiniu. Tingkat keandalan suatu sistem distribusi dapat ditentukan dengan menghitung indeks SAIDI (*Sistem Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*Sistem Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Inde*) yaitu frekuensi pemadaman dan lama pemadaman yang dialami sistem distribusi dalam rentang waktu tertentu. Terdapat beberapa refrensi dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai indeks keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI. Adapun beberapa referensi yang sudah ada adalah sebagai berikut :

1. (Ahmad Fajar Sayudi Yaom, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2015) melakukan penelitian tentang *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik di PT. PLN UPJ Rayon Bumiayu*, menjelaskan bahwa hanya ada dua penyulang yang mempunyai nilai indeks SAIFI dan SAIDI yang handal. Maka dari itu setiap Gardu Induk harus dilakukan analisis guna mengetahui

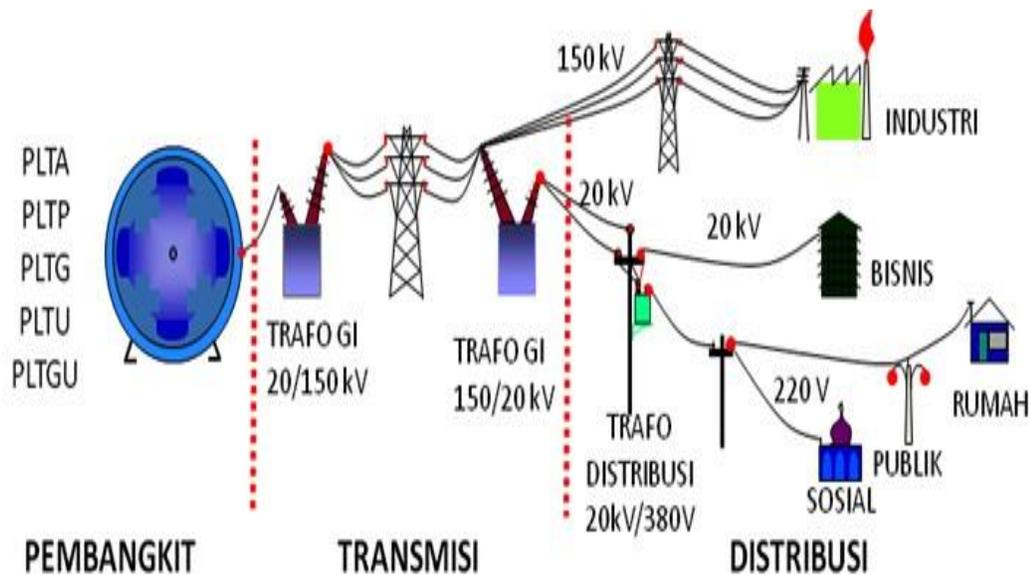
seberapa besar nilai keandalannya, karena hal tersebut mempengaruhi kualitas listrik yang diberikan ke pelanggan.

2. (Erhaneli, 2015) melakukan penelitian tentang *evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan indeks keandalan saidi dan saifi pada PT. PLN (Persero) Rayon Bagan Batu*. Menjelaskan bahwa tingkat keandalan suatu sistem distribusi dapat ditentukan dengan menghitung frekuensi pemadaman dan lamanya pemadaman yang bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan indeks SAIDI dan SAIFI dengan menggunakan data monitoring gangguan yang terjadi selama tahun 2014.
3. (Endra Heri Sulino, Universitas Gadjah Mada, 2011) melakukan penelitian tentang *Evaluasi dan Studi Keandalan Jaringan Distribusi 4 KV Lex Plant Santan Terminal di Chevron Indonesia Company*, menjelaskan tentang SAIFI, SAIDI dan CAIDI bahwa ketiga hal tersebut merupakan indeks keandalan yang dapat menentukan apakah sistem tersebut dinyatakan sesuai harapan atau tidak.
4. (Anonim, 2012) melakukan penelitian *tentang Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang*. Menjelaskan tentang tujuan menghitung indeks keandalan didasarkan pada indeks keandalan SAIDI dan SAIFI. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis indeks keandalan Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang tahun 2009 termasuk tingkat keandalan rendah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu rangkaian yang terintegrasi yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk sebuah sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen. Berikut ini adalah gambar skema dari sistem tenaga listrik.



(sumber: <http://ilmu-listrik.weebly.com>)

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum di dalam suatu sistem tenaga listrik yang ditunjukkan pada gambar 2.1 terdiri dari :

1. Pusat pembangkit listrik (*power plant*).

Merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain: transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5kV) menjadi tegangan transmisi/tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

2. Sistem transmisi tenaga listrik.

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik.

3. Sistem distribusi tenaga Listrik.

Merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari Pusat Pengatur (*distribution control center*), saluran tegangan menengah (saluran 20kV yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara (SUTM) atau kabel tanah (SKTM), gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur

tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380V/220V) yang menghasilkan tegangan kerja untuk industri dan konsumen.

Tenaga listrik di bangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit listrik (*power plant*) seperti PLTA, PLTU, PLTG, dan PLTD lalu disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator *step-up* yang ada di pusat pembangkit listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 70kV, 150kV dan 500kV. Khusus untuk tegangan 500kV disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka sampailah tegangan listrik ke gardu induk (GI), lalu diturunkan tegangannya menggunakan transformator *step-down* menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20kV.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka tenaga listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 volt, lalu disalurkan melalui jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN. Pelanggan-pelanggan dengan daya tersambung besar tidak dapat dihubungkan pada jaringan tegangan rendah, melainkan dihubungkan langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula pelanggan yang terhubung pada jaringan transmisi, tergantung dari besarnya daya tersambung.

2.2.2 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem distribusi tenaga listrik, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkan dengan standart yang ditetapkan sebelumnya. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisa keandalan sistem distribusi yaitu angka kegagalan rata-rata (λs), waktu pemadaman ratarata (Rs) dan waktu pemadaman tahunan (Us).

Pengertian keandalan itu sendiri menurut sudut pandang kelistrikan adalah kemungkinan dari suatu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang telah ditentukan. Untuk mengetahui keandalan dari suatu distribusi diantaranya dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata durasi frekuensi gangguan (*interruptions*) yang sering terjadi pada beban (*customer*) atau sering kita sebut dengan perhitungan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan CAIDI (*Customer Average Interruption Frequency Index*).

Tentu saja sistem dengan tingkat keandalan yang rendah bisa merugikan pihak konsumen dan pihak produsen juga, apalagi pelanggan dengan konsumsi daya yang tinggi untuk produksi, padamnya sistem bisa berpengaruh pada proses produksi. Oleh karena itu dibutuhkan data-data dari setiap gangguan yang terjadi pada pelanggan, untuk

menunjukkan tingkat keandalan sistemnya, selanjutnya data tersebut bisa dianalisis untuk meningkatkan keandalan dari sistem yang ada.

Menurut Pulungan (2012) Berdasarkan beberapa definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan dari suatu sitem 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.

Menurut Surya Wibowo (2007) terdapat empat faktor yang penting dalam keandalan tersebut yaitu :

1. Probabilitas

Probabilitas adalah suatu nilai yang menyatakan berapa kali suatu kejadian kemungkinan akan terjadi dari sejumlah operasi tertentu yang dilakukan terhadap suatu peralatan.

2. Unjuk Kerja

Unjuk kerja adalah penampilan perakitan untuk menyatakan peralatan atau sistem bekerja secara memuaskan.

3. Periode Waktu

Yaitu faktor yang menyatakan ukuran dari periode waktu yang digunakan didalam pengukuran probabilitas. Bila tidak terdapat periode waktu ini maka nilai keandalan tidak dapat diperoleh secara akurat.

4. Pengoperasian

Faktor ini menyatakan pada kondisi bagaimana percobaan dilakukan untuk mendapatkan angka keandalan, kondisi yang dimaksud misalnya : lingkungan, suhu, guncangan dan sebagainya.

2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan sistem distribusi sesuai standart IEEE P1366

1. Pemadaman/*Interruption of supply*

Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.

2. Keluar/*Outgate*

Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu outgate dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.

3. Lama keluar/*Outgate Duration*

Periode dari saat permulaan komponen mengalami outgate sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.

4. Lama pemadaman/*Interruption Duration*

Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali.

5. Jumlah total konsumen terlayani/*Total Number Of Costumer Served*

Jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir.

6. Periode laporan

Periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

Indeks keandalan sistem $R(t)$ memiliki rentang nilai 0 sampai dengan 1 yang tidak lain adalah peluang sistem untuk tidak akan gagal. Sementara itu parameter kondisi operasi diwakili oleh nilai λ (laju kegagalan/*failure rate*) yang memiliki nilai yang berbeda (sekali pun pada komponen sejenis) tergantung pada kondisi operasi komponen tersebut.

Seperti yang telah diuraikan diatas, penilaian terhadap kendalan bisa dengan pendekatan deterministik maupun probabilitas. Indikator kinerja sistem dan tingkat kinerja yang dapat diterima ditentukan secara deterministik. Selanjutnya, kedua nilai ini dibandingkan. Jika indikator kinerja L_p lebih rendah dari kinerja aktual L_s , atau dengan kata lain jika beban yang diterima sistem lebih rendah dari kekuatan sistem itu sendiri, maka sistem akan berfungsi sebagaimana mestinya. Kondisi ini tentunya terlalu menyederhanakan masalah karena sebenarnya beban dan kekuatan penahannya adalah sangat bervariasi.

2.2.4 Indeks Keandalan

Indeks keandalan merupakan suatu metode evaluasi parameter-parameter keandalan suatu peralatan sistem distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan. Dalam penentuan indeks keandalan untuk sistem secara keseluruhan maka faktor-faktor jumlah perlanggan, frekuensi dan durasi/ lama pemadaman dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem inderks-indeks ini adalah frekuensi atau lama pemadaman rata-rata tahunan. Adapun indeks ini diantaranya adalah :

1. Laju Kegagalan (λ)

Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan operasi yang terjadi pada suatu alat dalam suatu periode tertentu. Bila dimisalkan (f) adalah jumlah kegagalan selama selang waktu percobaan dan total waktu percobaannya adalah (T), maka laju keagalannya adalah :

$$\lambda = \frac{F}{T}$$

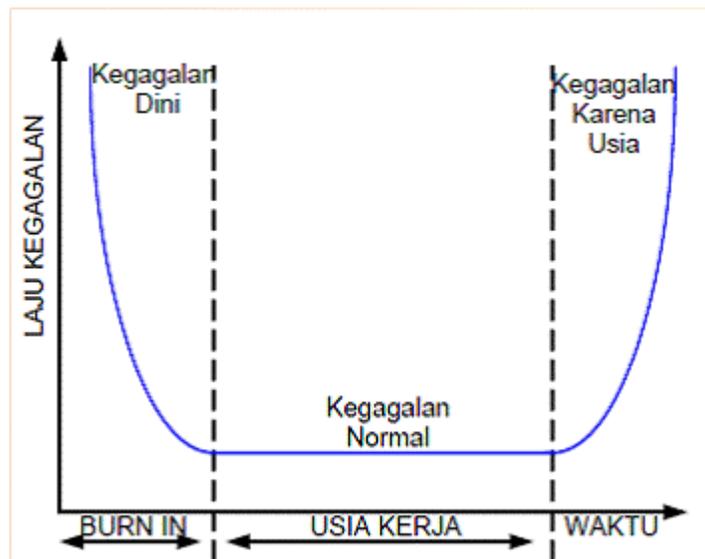
Dimana:

λ = Angka kegagalan.

F = Jumlah kegagalan selama selang waktu percobaan.

T = Jumlah lamanya selang waktu

Nilai laju kegagalan akan berubah sesuai dengan umur dari sistem atau peralatan listrik selama beroperasi. Grafik antara laju kegagalan dengan laju kegagalan dengan unsur suatu sistem atau peralatan listrik secara ideal dapat dilihat pada gambar 2.2



(Sumber : <https://citra-teknologi.blogspot.co.id>)

Gambar 2.2 Laju kegagalan

2. Laju Perbaikan (r)

Laju perbaikan adalah waktu yang dibutuhkan suatu alat yang gagal atau keluar untuk beroperasi kembali dengan cara diganti atau diperbaiki, dengan satuan jam. Dalam perhitungannya untuk mendapatkan waktu kegagalan rata-rata yang dialami oleh sebuah alat, maka :

$$r = \frac{U}{\lambda} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i}$$

Dimana:

U = Waktu kegagalan per tahun (Jam/tahun).

λ = Angkakegagalan pertahun (Gangguan/tahun)

r = Waktu kegagalan (Jam)

3. Laju Perbaikan Per Tahun (U)

Laju perbaikan per tahun adalah banyaknya waktu perbaikan rata - rata per tahun pada suatu alat. Diperoleh dengan cara mengalikan angka kegagalan dan waktu keluar alat tersebut, maka :

$$U = \sum_i \lambda_i r_i$$

Dimana:

U = Waktu kegagalan per tahun (Jam/tahun)

λ = Angkakegagalan pertahun (Gangguan/tahun)

r = Waktu kegagalan (Jam)

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

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi pada 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:

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

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

Dimana:

λ = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

Ni = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

Nt = Jumlah konsumen yang dilayani.

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

SAIDI adalah nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus-menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama setahun. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut:

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

$$\mathbf{SAIDI} = \frac{Ui \cdot Ni}{Nt}$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

6. *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

CAIDI adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$\mathbf{CAIDI} = \frac{\text{jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah interupsi pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

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

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

Dimana:

U_i = 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. 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.

2.2.5 Standar Nilai Indeks Keandalan

2.2.5.1 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68 -2 : 1986

SPLN adalah standar perusahaan PT. PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, intruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil dirampungkan. 61 standar bidang pembangkit, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum. Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menerapkan 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.

Berikut adalah table 2.1 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada SPLN.

Table 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

2.2.5.2 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Berikut adalah table 2.2 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

2.2.5.3 Standar Nilai Indeks Keandalan WCS (*Word Class Service*) dan WCC (*Word Class Company*)

Berikut adalah table 2.3 yang menunjukkan standar indeks keandalan pada WCS (*World Class Service*) & WCC (*Word Class Company*).

Table 2.3 Standar Indeks Keandalan WCS dan WCC

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

2.2.6 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *Generator Station/ Pembangkit Listrik* sampai *distribution station* hingga sampai pada konsumen listrik. Tenaga listrik ditransmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik. 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.



(Sumber : <http://anak-elektro-ustj.blogspot.co.id>)

Gambar 2.3 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 fasa 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*.



(Sumber : <http://belajarbekerjamembangun.blogspot.co.id>)

Gambar 2.4 Saluran Udara Tegangan Tinggi

2.2.7 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Pembangkit listrik umumnya memiliki letak yang jauh dari pusat beban, terlebih-lebih pembangkit listrik berskala besar, sehingga untuk menyalurkan tenaga listrik tersebut sampai ke konsumen maka tenaga listrik tersebut harus disalurkan. Sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi 2

sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi primer adalah 20 KV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder 380 V atau 220 V. Untuk menyalurkan tenaga listrik secara kontinyu dan handal, diperlukan pemilihan sistem jaringan distribusi yang tepat. Kriteria pemilihan ini berdasarkan pada beberapa factor, antara lain :

1. Faktor Ekonomis
2. Faktor Tempat
3. Kelayakan

Pemilihan sistem jaringan distribusi harus memenuhi kriteria persyaratan yaitu :

1. Keandalan yang tinggi
2. Kontinuitas pelayanan
3. Biaya investasi yang rendah
4. Fluktuasi frekuensi dan tegangan rendah

Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat pelanggan
2. merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) 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 penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). 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 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 trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

2.2.7.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik diantara Gardu Induk (GI) dan Gardu Distribusi. Jaringan distribusi primer ini umumnya terdiri dari jaringan tiga *phasa*, yang jumlahnya tiga kawat atau empat

kawat. Penurunan tegangan sistem ini dari tegangan transmisi, pertama-tama dilakukan pada gardu induk sub transmisi, dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah mulai sistem tegangan 500 Kv ke sistem tegangan 150 kV atau ke sistem 70 kV kemudian pada gardu induk distribusi kembali diturunkan ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer.

Pada sistem jaringan distribusi primer saluran yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada masing-masing beban disebut penyulang (Feeder). Pada umumnya setiap penyulang diberi nama sesuai dengan daerah beban yang dilayani. Hal ini bertujuan untuk mempermudah untuk mengingat dan menandai jalur-jalur yang dilayani oleh penyulang tersebut.

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.

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

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



(Sumber : <https://hudaya.wordpress.com>)

Gambar 2.5 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

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

Jenis pengantar yang dipakai adalah kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Vinyl Chloride*), XLPER (*Crosslink Polyethylene*).



(Sumber : <https://yantekbansel.wordpress.com>)

Gambar 2.6 Saluran Kabel Tegangan Menengah

Ditinjau dari segi fungsi, transmisi SKTM memiliki fungsi yang sama dengan transmisi SUTM. Perbedaan mendasar adalah SKTM ditanam di dalam tanah.

Beberapa pertimbangan pembangunan transmisi SKTM adalah :

1. Kondisi setempat yang tidak memungkinkan dibangun SUTM.
2. Kesulitan mendapatkan ruang bebas, karena berada di tengah kota dan permukiman padat.
3. Pertimbangan segi estetika.

4. Pembangunan transmisi SKTM lebih mahal dan lebih rumit karena harga kabel yang jauh lebih mahal dibanding penghantar udara dan dalam pelaksanaan pembangunan harus melibatkan serta berkoordinasi dengan banyak pihak.
5. Pada saat pelaksanaan pembangunan transmisi SKTM sering menimbulkan masalah, khususnya terjadinya kemacetan lalu lintas.
6. Jika terjadi gangguan, penanganan (perbaikan) transmisi SKTM relative sulit dan memerlukan waktu yang lebih lama jika dibandingkan SUTM.

2.2.7.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan tegangan rendah (JTR) yang dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yaitu tegangan rendah (380/220 Volt). Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi sekunder dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang di pakai adalah kawat berisolasi, seperti kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Transmisi SUTR adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi, yang langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen. Di Indonesia

tegangan operasi transmisi SUTR saat ini adalah 220/380 Volt. Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh :

- a. Susut tegangan yang disyaratkan.
- b. Susut tegangan yang diijinkan adalah + 5% dan – 10%, dengan radius pelayanan berkisar 350 meter.
- c. Luas penghantar jaringan.
- d. Distribusi pelanggan sepanjang jalur jaringan distribusi
- e. Sifat daerah pelayanan (desa, kota, dan lain-lain).

2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Ditinjau dari segi fungsi, transmisi SKTR memiliki fungsi yang sama dengan transmisi SUTR. Perbedaan mendasarnya adalah SKTR di tanam di dalam tanah. Jika menggunakan SUTR sebenarnya dari segi jarak aman / ruang bebas (ROW) tidak ada masalah, karena SUTR menggunakan penghantar berisolasi.

2.2.8 Gardu Induk

Gardu induk sebagai salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik yang berperan sangat penting karena merupakan penghubung penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem saluran transmisi tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem transmisi. Sebagai sub sistem dari saluran transmisi, gardu induki mempunyai peran penting dalam pengoperasiannya, tidak dapat dipisahkan dari sistem transmisi secara keseluruhan.

Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Gardu Induk (GI) merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi perlengkapan hubung bagi transformator dan peralatan pengaman serta peralatan control. Fungsi utama dari gardu induk :

1. Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian di distribusikan 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.

2.2.9 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem jaringan distribusi dapat diakibatkan oleh faktor alam, kelalaian manusia, atau usia peralatan yang sudah terlalu lama sehingga sudah tidak mampu melakukan proses penyaluran dan keamanan dengan maksimal bahkan sudah tidak bisa berfungsi lagi. Gangguan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi biasanya karena terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan putusnya suplai tenaga listrik. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan peralatan yang dialiri arus. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak untuk mentiadakan gangguan.

Gangguan pada sistem jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran distribusi yang membentang di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai

isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang ditaman di dalam tanah (SKTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus. Sumber gangguan pada sistem distribusi saluran udara disebabkan oleh gangguan dari sistem dan gangguan dari luar sistem. Menurut intensitasnya, sumber gangguan dapat dibagi sebagai berikut :

1. Gangguan dari dalam sistem jaringan distribusi
 - a. Tegangan lebih atau arus lebih
 - b. Pemasangan yang kurang tepat
 - c. Usia peralatan atau komponen yang sudah lama
2. Gangguan dari luar sistem jaringan distribusi
 - a. Ranting-ranting pohon yang mengenai SUTM
 - b. Sambaran petir
 - c. Hujan dan cuaca
 - d. Kelalaian manusia
 - e. Kerusakan peralatan
 - f. Gangguan hewan rambat dan hewan terbang

Berdasarkan sifatnya gangguansistem jaringan distribusi dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan memutus bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh

operator. Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman (*recloser*) dapat menjadi gangguan tetap dan dapat menyebabkan pemutus tetap. Bila gangguan sementara terjadi berulang-ulang.

2. Gangguan permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskan perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (*trip*) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan-gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem pengaman rele, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.