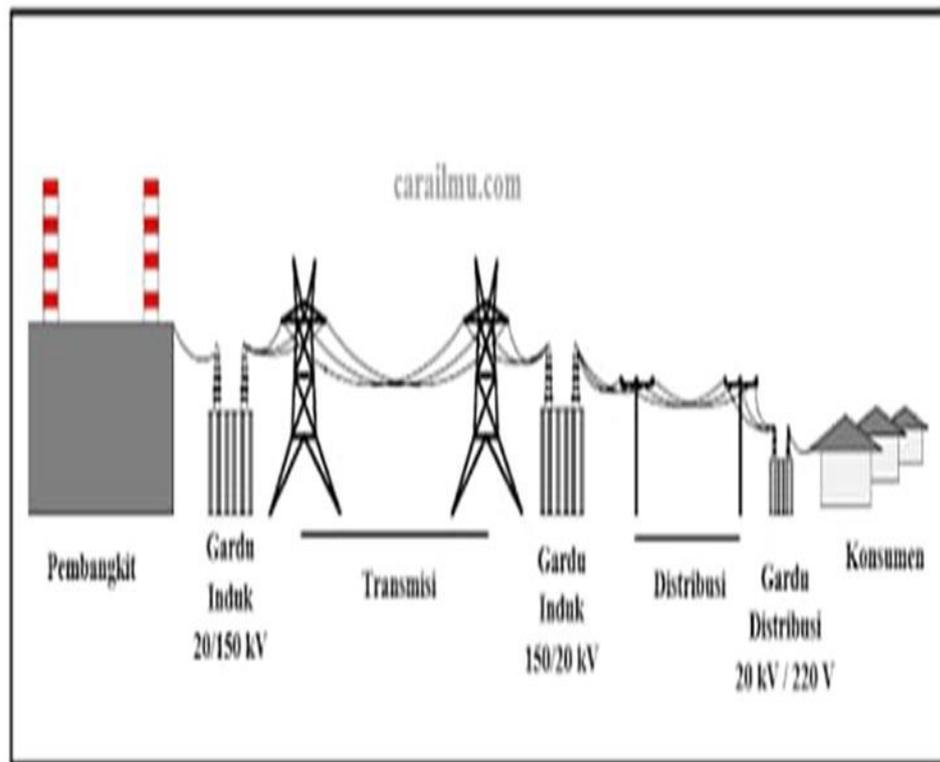


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik¹



Gambar 2.1 Single line diagram sistem tenaga listrik

Sistem Distribusi adalah semua bagian yang termasuk dalam peralatan sistem tenaga listrik yang mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk hingga ke APP pada konsumen melalui sistem jaringan tegangan menengah dan sistem jaringan tegangan rendah. Sistem tenaga listrik dikatakan sebagai kumpulan atau gabungan yang terdiri dari komponen – komponen listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Dalam kelistrikan, seringkali timbul persoalan – persoalan teknis, dimana tenaga listrik

⁵ PT. PLN (Persero). 2010. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 475.K /DIR/2010. *Buku 1 Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*



pada umumnya dibangkitkan pada tempat – tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar di segala penjuru tempat. Dengan demikian maka penyaluran tenaga listrik dari pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Pada jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi Sistem distribusi terbagi menjadi dua bagian yaitu:

a. **Sistem Distribusi Tegangan Menengah²**

Jaringan Tegangan Menengah adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan dengan pusat beban (pelanggan). Fungsinya adalah untuk menyalurkan energi listrik ke beberapa tempat yang langsung berhubungan dengan pusat beban, karena daya listrik pada pusat-pusat beban dilayani langsung melalui trafo distribusi yang terpasang di Jaringan Tegangan Menengah. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi primer terdiri dari yaitu:

1). **Sistem Radial**

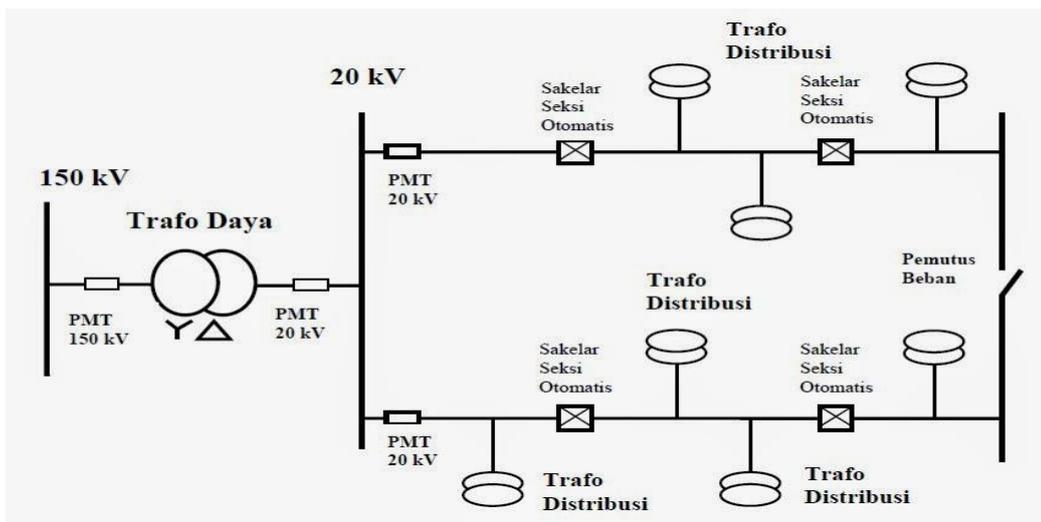
Sistem jaringan radial pada distribusi tenaga listrik paling banyak digunakan dan paling sederhana dibandingkan dengan tipe jaringan lainnya. Tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen-konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik beban yang dilayani.

Sistem radial ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik yang cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh karena itu, kontinuitas pelayanan pada sistem jaringan pada sistem radial ini kurang bisa diandalkan. Selain itu makin panjang jarak jaringan saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah

² Hutasoit, Rosade E., Zuraidah Tharo, Pristisal Wibowo 2018”*Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Rayon Delitua Berbasis Matlab*”, Jurnal pancabudi



jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus tenaga dan pemisah. Pada saat terjadi gangguan, atau setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak berhenti. 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 ke beban dari dua struktur radial. Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah padat dan memerlukan keandalan yang tinggi.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Sistem Loop

3). Sistem spindel

Jaringan distribusi spindel merupakan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTTM) yang penerapannya cocok digunakan di kota-kota besar.

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

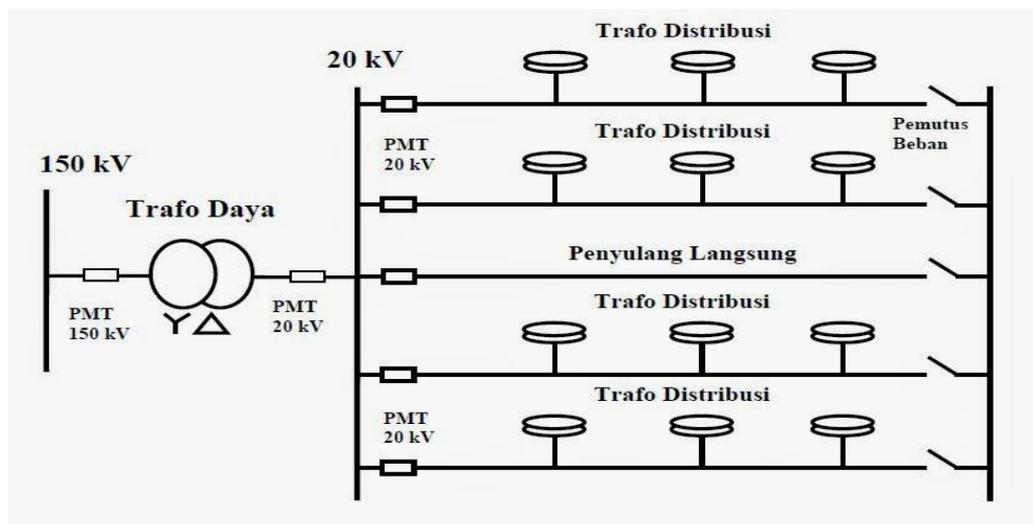
- 1) Dalam keadaan normal semua saluran di gardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.



- 2) Dalam keadaan normal saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- 3) Ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

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

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



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel



a. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem distribusi tegangan rendah merupakan sistem tenaga listrik yang memiliki tegangan distribusi di bawah 1 kV, yang langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen. Pada sambungan tenaga listrik tersambung ada pembatas dan pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada pemanfaatan.

Di Indonesia sendiri saluran udara tegangan rendah (SUTR) yang dioperasikan saat ini adalah 220/380 volt. Jaringan distribusi tegangan rendah dimulai dari sumber yang disebut gardu distribusi mulai ke panel hubung bagi (PHB-TR) keluar didistribusikan. Sistem distribusi tegangan rendah ini, memiliki susut tegangan yang diizinkan + 5% dan - 10% dari tegangan operasi.

2.2 Gangguan Sistem Jaringan Distribusi³

Gangguan pada sistem distribusi lebih banyak terjadi pada saluran yang dibentangkan di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang di tanam di tanah (SKTTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus.

Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah disebabkan oleh petir, 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 tegangan menengah. Hal ini dikarenakan saluran udara tegangan menengah yang di dalam kota banyak terlindung terhadap sambaran petir tetapi banyak diganggu oleh sentuhan pohon.

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran udara 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu:

⁷ Imran, Muhammad. Andik Bintoro, dan Ezwarsyah, 2019. “ *Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di PT, PLN (Persero) Rayon Kota Lhokseumawe*”. Jurnal Energi Elektrik, Lhokseumawe.



- a. Penyebab gangguan dari faktor luar
- 1). Dahan/rating pohon yang mengenai SUTM
 - 2). Sambaran petir
 - 3). Hujan atau cuaca
 - 4). Kerusakan pada peralatan
 - 5). Gangguan binatang

Jenis gangguan pada sistem jaringan pada saluran udara dapat menjadi dua macam yaitu:

- 1). Gangguan permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan dan 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 relay, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.

- 2). Gangguan sementara

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan 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 pemutusan tetap, bila gangguan sementara terjadi berulang-ulang.

- b. Penyebab gangguan faktor dari dalam

- 1). Tegangan lebih atau arus lebih



- 2). Pemasangan yang kurang tepat
- 3). Usia peralatan atau komponen

2.3 Keandalan Sistem Distribusi⁴

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

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

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

a. Keandalan Sistem yang Tinggi (High Reliability System)

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

² Arifani, Nur Indah, Heru Winarno “Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV Pada Penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9,10 Di GI Pandean Lamper”, Jurnal Teknik Elektro, Diponegoro



b. Keandalan Sistem yang Menengah (Medium Reliability System)

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

c. Keandalan Sistem yang Rendah (Low Reliability System)

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

Kontinuitas pelayanan, penyaluran jaringan distribusi tergantung pada jenis dan macam-macam sarana penyalur dan peralatan pengaman, dimana sarana penyaluran (jaringan distribusi) mempunyai tingkat kontinuitas yang tergantung pada susunan saluran dan cara pengaturan sistem operasinya, yang pada hakekatnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyaluran disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan.

Tingkatan kontinuitas pelayanan dapat dibedakan menjadi 4, yaitu:

a. Tingkat 1

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



b. Tingkat 2

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

c. Tingkat 3

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

d. Tingkat 4

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

2.4 Konsep Dasar Teori Keandalan

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

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

a. Fungsi, keandalan untuk suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tak terencana (unlanned maintenance). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda.

b. Probabilitas, angka yang menyatakan beberapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu sistem dan saluran.



- c. Kecukupan performance, menunjukkan kriteria kontinuitas suatu saluran sistem penyalur tenaga listrik tanpa mengalami gangguan.
- d. Waktu, lama suatu saluran bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama saluran digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadinya kegagalan.
- e. Kondisi operasi, adalah keandalan lingkungan kinerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembaban udara dan getaran yang memengaruhi kondisi operasi.

2.5 Istilah Dalam Keandalan Sistem Distribusi⁵

Ada beberapa istilah yang penting berkaitan dengan keandalan sistem distribusi :

a. Outage

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

b. Forced Outage

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

⁴ Fatoni, Achmad, Rony Seto Wibowo, Adi Soeprijanto 2017”*Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)*



- c. **Scheduled Outage**
Outage yang dihasilkan ketika suatu komponen dengan sengaja dilepaskan dari sistem pada waktu-waktu yang telah ditentukan, biasanya untuk tujuan perbaikan atau pemeliharaan berkala.
- d. **Interruption**
Pemutusan kerja (pemadaman) pada satu atau lebih konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari outage yang terjadi pada satu atau lebih komponen.
- e. **Forced Interruption**
Pemadaman yang disebabkan oleh forced outage.
- f. **Scheduled Interruption**
Pemadaman yang disebabkan oleh scheduled outage.
- g. **Failure Rate (2)**
Jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Umumnya waktu dinyatakan dalam year dan failure rate dinyatakan dalam failure/year
- h. **Outage Time (r)**
Waktu yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti bagian dari peralatan akibat terjadi kegagalan atau periode dari saat permulaan peralatan mengalami kegagalan sampai saat peralatan dioperasikan kembali sebagaimana mestinya (outage time umum dinyatakan dalam hours/failure).
- i. **Annual Outage Time (U)**
Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu tertentu (umumnya annual outage time dinyatakan dalam hours/year)



2.6 Standar Keandalan Sistem Distribusi⁶

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

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

Tabel 2.1 Standar Keandalan SPLN 68-2: 1986

Indek keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3,1	Kali/Pelanggan
SAIDI	21,09	Jam/Pelanggan

Tabel 2.2 Standar IEEE P1366-2003

Indeks keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1,45	Kali/Pelanggan
SAIDI	2,3	Jam/Pelanggan

⁶ Br. Bangun, Alecia Oktarina, 2021, "Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Pada Penyulang Nakula di PT.PLN Persero ULP Sukarami Menggunakan Software ETAP 19.0.1". Politeknik Negeri Sriwijaya



Dan pada parameter pengukuran laju kegagalan dan juga switching time berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang keandalan sistem distribusi 20 kV dan 6 kV yaitu:

2.7 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

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

a. Laju Kegagalan

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

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

Dimana: λ = Angka Kegagalan (kali/tahun)

f = Banyaknya Kegagalan

T = Selang Waktu Pengamatan (1 Tahun)

b. Durasi Kegagalan

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

$$U = \frac{t}{T} \dots \dots \dots 2.2$$

Dimana U = Durasi Gangguan (jam/tahun)

t = Lamanya gangguan

T = Selang Waktu Pengamatan (1 Tahun)

c. SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*)



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

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Dari perklaian durasi gangguan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}} \dots\dots\dots 2.3$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{N_t} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana: U_i = Durasi gangguan pada saluran i

N_i = Jumlah gangguan pelanggan pada saluran i

N_t = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

d. SAIFI (*System Average Interruption frequency Index*)

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

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Dari perklaian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan total}} \dots\dots\dots 2.4$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{N_t} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana: λ = Angka Kegagalan pada saluran i

N_i = Jumlah gangguan pelanggan pada saluran i

N_t = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruha