

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Gonen (1986), Keandalan adalah probabilitas suatu sistem untuk memiliki suatu kinerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi operasi tertentu.

Menurut Willis (2004), dalam evaluasi keandalan sistem perlu dilakukan analisis berdasarkan data historis realisasi untuk mengetahui seberapa kuat sistem mengidentifikasi area masalah serta penyebab masalah, dan sebagai pembandingan juga perlu analisa prediksi keandalan ideal berdasarkan indeks keandalan standar peralatan yang terpasang pada jaringan. Indeks keandalan standar peralatan yang telah diterbitkan IEEE (2003) sebagai institusi yang kompeten dalam bidang tenaga listrikan di dunia dan juga SPLN (1985) sebagai perusahaan yang menyediakan jasa pelayanan energi listrik di Indonesia.

Penelitian mengenai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI terdapat referensi dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya sebagai pertimbangan dan untuk menentukan batasan-batasan masalah yang berkaitan erat dengan topik yang sedang dibahas.

Saodah (2008) melakukan penelitian mengenai evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik dengan SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Area Cimahi – UPJ Prima, indikator sistem jaringan tersebut dikatakan andal adalah  $SAIFI \leq 2,4$  pemadaman/pelanggan/tahun dan  $SAIDI \leq 12,672$  jam/pelanggan/tahun. Dari hasil analisa nilai keandalan berdasarkan penyebab pemadamannya, dilihat dari frekuensi pemadaman ( $SAIFI = 5,063$  pemadaman/pelanggan/tahun) dapat dikatakan kurang andal

karena nilainya lebih besar dari ketentuan, tetapi dari lama gangguannya (SAIDI = 3,604 jam/pelanggan/tahun) dapat dikatakan masih andal karena nilainya lebih kecil dari batas maksimal yang ditentukan. Sedangkan dari segi keandalan penyulang, nilai keandalan terbesar terjadi pada penyulang SLCU mempunyai nilai SAIFI = 1,6 pemadaman/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI = 1,849 jam/pelanggan/tahun. sehingga penyulang SLCU dapat dikatakan masih andal karena nilai indeks keandalannya lebih kecil dari batas maksimal ketentuan. Gangguan pada sistem distribusi saluran udara tegangan menengah (SUTM) 61,36% disebabkan oleh rele bekerja tanpa penyebab jelas sehingga PMT dapat bekerja kembali.<sup>4</sup>

Sawegu (2009) pada penelitiannya mengenai Evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik, Studi kasus pada PT. PLN Cabang Jayapura. Menjelaskan bahwa kualitas energi listrik yang diterima konsumen sangat dipengaruhi oleh sistem pendistribusiannya. Sistem yang mempengaruhi keandalan tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempengaruhi keandalan rendah bila tingkat ketersediaan tenaga rendah yaitu sering padam. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa indeks keandalan realisasi operasi untuk SAIFI ; 5.65118 kali/pelanggan/tahun, lebih baik dari target yaitu : 10.9169 kali/pelanggan / tahun sehingga dapat dikategorikan andal. Sedangkan realisasi operasi untuk SAIDI : 14.01678 jam/pelanggan/tahun, lebih buruk dari target yaitu : 6.7811 jam/pelanggan/tahun sehingga dapat dikategorikan kurang andal.<sup>5</sup>

Abdi (2017) melakukan penelitian mengenai analisa keandalan kinerja sistem distribusi gardu induk gejayan 150 kV pada penyulang GJ02, menyebutkan gangguan-gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi akan menyebabkan terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Untuk itu

---

<sup>4</sup> S. Saodah, "Evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan saidi dan saifi," *Semin. Nas. Apl. Sains dan Teknol. 2008 – IST AKPRIND Yogyakarta*, pp. 45–51, 2008.

<sup>5</sup> O. M. Sawegu, "Evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik :: Studi kasus pada PT. PLN Cabang Jayapura," 2009.

di perlukan penelitian guna mengetahui seberapa baik indeks keandalan sistem dengan membandingkan pada standar SPLN 68- 2 1986, standar IEEE std 1366-2003, standar World Class Company (WCC) dan World Class Service (WCS). Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan nilai SAIDI dan SAIFI dikategorikan andal karena nilai lebih kecil dari standar SPLN No 68-22 1986 yaitu 3,2 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI 21,09 jam/pelanggan/tahun, dan standar internasional nilai SAIFI dan SAIDI dikategorikan handal karena memiliki nilai yang lebih kecil dari standar IEEE dan standar WCS dan WCC.<sup>6</sup>

## **2.2 Landasan Teori**

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting bagi keamanan dan kenyamanan pada konsumen baik sektor industri maupun rumah tangga. Metode pendekatan indeks keandalan berorientasi pelanggan dapat membantu perhitungan dalam evaluasi keandalan, memberikan hasil yang cepat dan akurat dengan keadaan sesungguhnya terhadap kualitas keandalan pelayanan kepada pelanggan, sesuai perhitungan manual maupun dengan komputer. Indeks ini antara lain adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

### **2.2.1 Gardu Induk**

Suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu Induk (GI) merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi dan distribusi tenaga listrik dan merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Dimana tenaga listrik yang di hasilkan oleh pembangkit di kirim melalui saluran transmisi menuju gardu induk untuk kemudian dilakukan pengaturan pelayanan beban ke gardu distribusi, setelah melalui proses

---

<sup>6</sup> R. S. Abdi, "Analisa Keandalan Kinerja Sistem Distribusi Gardu Induk Gejayan 150kv Pada Penyulang Gjn02," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2017.

penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (*feeder-feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk, dan didistribusikan hingga ke pelanggan.

Fungsi utama dari gardu induk adalah :

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

Berdasarkan manfaat dan kegunaan gardu induk, peralatan dan komponen gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi serta kualitas yang tidak diragukan kinerjanya agar masyarakat sebagai konsumen tidak merasa dirugikan. Oleh karena itu, sesuatu yang berhubungan dengan rekonstruksi dan pembangunan gardu induk harus memenuhi syarat-syarat yang berlaku dan harus memperhatikan besarnya beban. Perencanaan suatu gardu induk harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Operasi, yaitu kemudahan dalam segi perawatan dan perbaikan
2. Flexsibel
3. Konstruksi sederhana dan Kuat
4. Memiliki tingkat keandalan dan daya guna yang tinggi
5. Memiliki tingkat keamanan yang tinggi.

### **2.2.2 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. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagi dan penyalur tenaga listrik dari gardu induk ke beberapa tempat konsumen (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung

berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.<sup>7</sup>

Sistem jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja untuk sistem jaringan distribusi primer yaitu 20 kV, sedangkan pada sistem jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 V.

Tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari saluran transmisi di gardu induk diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20 kV dengan menggunakan trafo step down, kemudian disalurkan ke gardu distribusi atau langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV melalui jaringan distribusi primer. Di gardu induk distribusi tegangan menengah diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) melalui jaringan distribusi sekunder.<sup>8</sup>

Agar tercapai penyaluran tenaga listrik secara kontinyu dan andal, diperlukan pemilihan sistem distribusi yang tepat. Kriteria pemilihan ini berdasarkan pada beberapa faktor,<sup>9</sup> antara lain :

- a. Faktor ekonomis
- b. Faktor Tempat
- c. Kelayakan

Pemilihan sistem jaringan harus memenuhi kriteria persyaratan yaitu :

- a. Keandalan yang tinggi
- b. Kontinuitas pelayanan
- c. Biaya investasi yang rendah
- d. Fluktuasi frekuensi dan tegangan rendah

---

<sup>7</sup> A. Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia ( UI-Press ), 2006.

<sup>8</sup> T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill International Edition, 1986.

<sup>9</sup> R. S. Hartati, I. W. Sukerayasa, I. N. Setiawan, and W. G. Ariastina, "Penentuan Angka Keluar Peralatan Untuk Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik," *Tekno. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 52–55, 2007.

### 2.2.3 Sistem Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer adalah bagian dari sistem tenaga listrik diantara Gardu Induk (GI) dan Gardu Distribusi. Jaringan distribusi primer (JDTM) 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 trafo didistribusi). Jaringan distribusi primer ini umumnya terdiri dari jaringan tiga fasa, yang jumlahnya tiga kawat atau empat kawat. Penurunan tegangan sistem ini dari tegangan transmisi, pertama-tama dilakukan pada gardu induk subtransmisi, dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah mulai sistem tegangan 500 kV ke system tegangan 150 kV atau ke tegangan sistem 70 kV, kemudian pada gardu induk distribusi kembali dilakukan penurunan menjadi 20 kV.

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 memudahkan untuk mengingat dan menandai jalur- jalur yang dilayani oleh penyulang tersebut. Sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga<sup>10</sup> yaitu :

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

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini yang paling banyak digunakan oleh konsumen jaringan Tegangan Menengah yang ada di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang

---

<sup>10</sup> I. D. Saputra, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 Kv Di Gardu Induk Banjarnegara Tahun 2016," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2017.

beton/besi. Penghantar yang digunakan seperti kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), dan lain sebagainya.

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

Agar lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin. penghantar yang dipakai seperti kawat berisolasi seperti MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) dan AAACS (Kabel *Aluminium Alloy* dengan pembungkus lapisan PVC).

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

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. penghantar yang digunakan seperti kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Venyl Cloride*) , XLPE (*Crosslink Polyethelene*).

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 :

- a. Kondisi setempat yang tidak memungkinkan dibangun SUTM.
- b. Kesulitan mendapatkan ruang bebas, karena berada di tengah kota dan pemukiman padat.
- c. Pertimbangan segi estetika.

Beberapa hal yang perlu diketahui :

- 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.
- Pada saat pelaksanaan pembangunan transmisi SKTM sering menimbulkan masalah, khususnya terjadinya kemacetan lalu lintas.
- Jika terjadi gangguan, penanganan (perbaikan) transmisi SKTM relatif sulit dan memerlukan waktu yang lebih lama jika dibandingkan SUTM.
- Hampir seluruh (sebagian besar) transmisi SKTM telah terpasang di wilayah PT. PLN (Persero) Distribusi DIY

#### **2.2.4 Sistem Distribusi Sekunder**

Sistem jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi primer dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Jaringan distribusi sekunder (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).

Pada jaringan distribusi sekunder, sistem tegangan distribusi primer 20 kV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah 380/ 220V. Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi sekunder yang dapat dibedakan menjadi dua,[10] yaitu :

##### **1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)**

Jenis penghantar yang dipakai 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 220/380Volt. Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh:

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

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

#### **2.2.5 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Primer 20 kV**

Pada sistem jaringa distribusi yang ada di suatu kawasan/ daerah biasanya jumlah penyulang lebih dari satu. Semakin besar dan kompleks beban yang dilayani di suatu kawasan/daerah maka semakin banyak pula jumlah penyulang yang diperlukan. Beberapa penyulang berkumpul di suatu titik yang disebut gardu hubung (GH). Gardu hubung adalah suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai:

1. Titik pengumpul dari suatu atau lebih sumber dan penyulang.
2. Tempat pengalihan beban apabila terjadi gangguan pada salah satu jaringan yang dilayani.

Untuk memperoleh keandalan yang tinggi pada system jaringan distribusi di perlukan konfigurasi jaringan yang kompleks agar dapat menyalurkan energi listrik dengan semestinya serta dapat menanggulangi apabila terjadi gangguan. Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem

jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.<sup>11</sup>

#### **2.2.5.1 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.

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

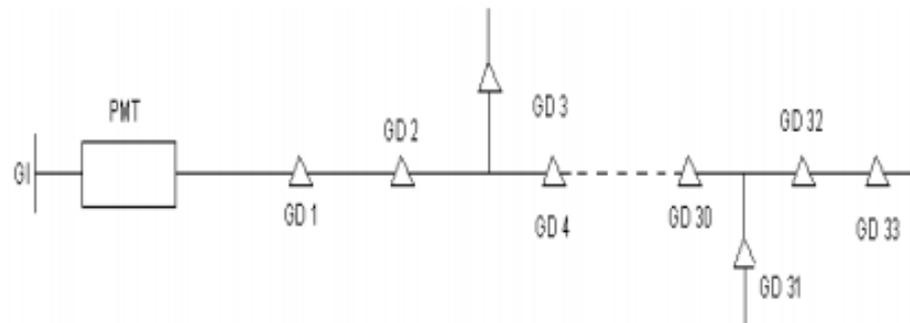
1. Biaya investasinya murah.
2. Bentuknya sederhana.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga 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

---

<sup>11</sup> R. Syahputra, *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. 2016.

daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi. Konfigurasi ini adalah yang paling sederhana dan tingkat keandalan jaringan masih kurang.



*Gambar 2. 1 Jaringan Distribusi Radial*

Sumber : Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik, Hal – 131

#### **2.2.5.2 Jaringan Distribusi Loop**

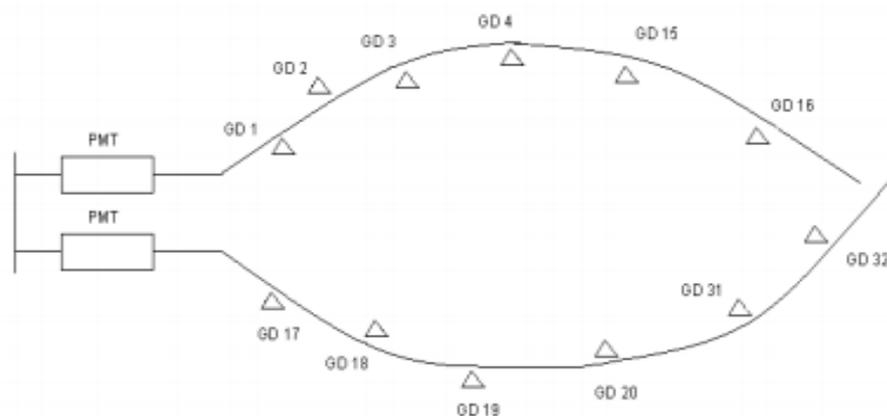
Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil. Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. 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.



*Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Loop*

Sumber : Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik, Hal – 133

### **2.2.5.3 Jaringan Distribusi Spindel**

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

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

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

2. Dalam keadaan normal saluran ekspress tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua 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 ekspress.

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

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



*Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Spindel*

Sumber : Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik, Hal – 134

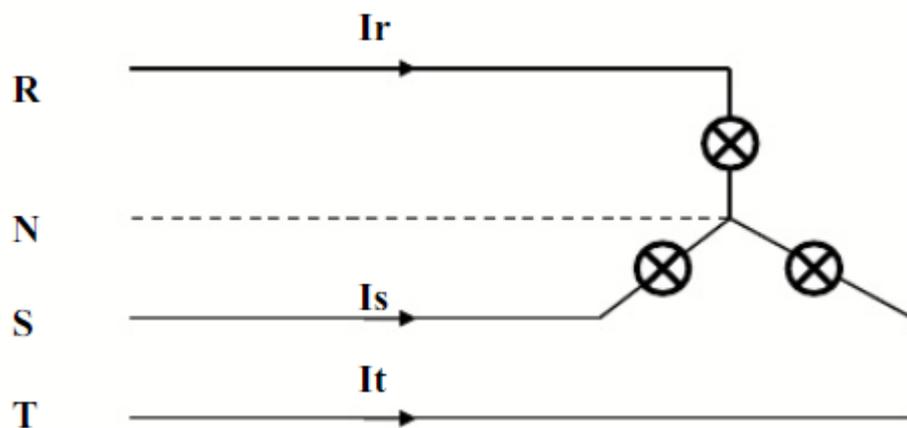
### **2.2.6 Sistem Listrik 3 Phase**

Suatu sistem Listrik 3 phase sebenarnya merupakan gabungan dari 3 buah sistem 1 phase yang sedemikian rupa sehingga diperoleh sistem 3

phase seimbang. Pada sistem tenaga listrik 3 phase, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang,  $P$  pembangkitan =  $P$  pemakaian, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 phase yang mempunyai magnitude dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 phase dengan yang lainnya mempunyai beda fase sebesar  $120^\circ$  listrik, dan dapat dihubungkan secara bintang (Y) atau segitiga (delta).

### 2.2.6.1 Hubungan Bintang ( Y )

Pada hubungan bintang (Y), ujung-ujung tiap phase dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal R,S, dan T mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_r$ ,  $V_s$  dan  $V_t$  disebut tegangan “phase” atau  $V_f$ .

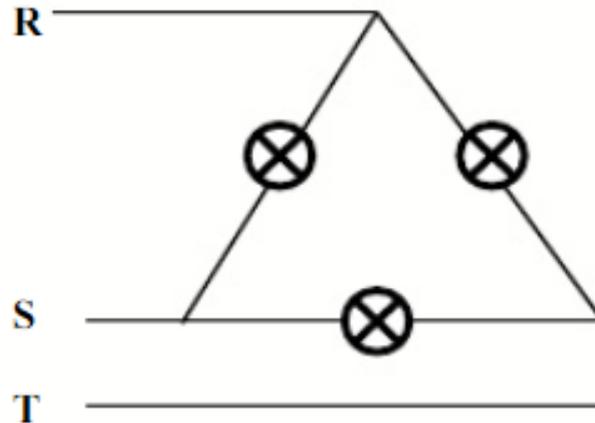


Gambar 2. 4 Hubungan Bintang (Y)

Dengan adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan phase dihitung terhadap saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fase yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase).  $V_{line} = \text{akar } 3 \text{ } V_{phase} = 1,73V_{phase}$ . Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase mempunyai nilai yang sama,  $I_{Line} = I_{phase}$ ,  $I_r = I_s = I_t$

### 2.2.6.2 Hubungan Segitiga ( Delta )

Pada hubungan segitiga (delta) ketiga phase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 phase.



Gambar 2. 5 Hubungan Segitiga (Delta)

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:  $V_{line} = V_{phase}$  Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga:  $I_{line} = \text{akar } 3 I_{phase} = 1,73I_{fase}$

### 2.2.7 Alat Pengaman Jaringan Distribusi

Alat pengaman atau pelindung adalah suatu alat yang berfungsi melindungi atau mengamankan suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan cara membatasi tegangan lebih (*over voltage*) atau arus lebih (*over current*) yang mengalir pada sistem tersebut, dan mengalirkannya ke tanah (*ground*). Dengan demikian alat pengaman harus dapat menahan tegangan sistem agar kontinuitas pelayanan ke pusat beban (*load center*) tidak terganggu hingga waktu yang tidak terbatas. Dan harus dapat melalukan atau mengalirkan arus lebih dengan tidak merusak alat pengaman dan peralatan jaringan yang lain.<sup>12</sup>

Oleh karena itu fungsi alat pengaman adalah :

<sup>12</sup> D. Suswanto, *Diktat Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi Pert. Padang, 2009.

1. Melindungi sistem terhadap kondisi beban lebih (*over load*) dan hubung singkat (*short circuit*).
2. Melindungi sistem terhadap gangguan fisik dari luar terutama untuk saluran udara (*overhead line*). Misalnya karena sambaran petir, sambaran induksi awan bermuatan listrik dan sebagainya.
3. Mengisolir bagian sistem yang terkena gangguan.
4. Melindungi public/personal terhadap adanya jaringan tegangan tinggi, terutama pada tempat-tempat yang padat penduduknya atau tempat-tempat dimana jaringan listrik melintasi jalan lalu lintas umum.

Kegunaan sistem pengamanan tenaga listrik, antara lain untuk :

- a. Menjaga kestabilan sistem tenaga.
- b. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- c. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- d. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- e. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
- f. Menghindari hilangnya keuntungan perusahaan.
- g. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi tenaga listrik, cara terbaik adalah dengan jalan merencanakan sistem isolasi yang cukup tahan terhadap tegangan lebih dan mengkoordinasikan alat-alat pengamanan yang mempunyai keandalan tinggi terhadap bahaya elektris. Koordinasi pengamanan ini dinyatakan dalam bentuk langkah-langkah yang diambil untuk menghindarkan gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik

dengan jalan membatasi gangguan-gangguan karena tegangan lebih atau arus lebih, sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada peralatan jaringan. Dalam upaya menanggulangi terhadap bahaya tegangan lebih atau arus lebih, maka persyaratan yang diperlukan bagi alat pengaman yang baik adalah :

1. Dapat melepaskan tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat (*short circuit*) terhadap sistem.
2. Dapat memutuskan arus lebih atau arus susulan dalam waktu yang cepat.
3. Mempunyai tingkat perlindungan (*protection level*) yang tinggi, dalam arti nilai perlindungan antara tegangan lebih maksimum yang diperbolehkan pada saat pelepasan dengan tegangan maksimum sistem yang dapat dipertahankan sesudah terjadi pelepasan.
4. Mempunyai kepekaan (*sensitivity*) yang tinggi pada saat operasi.
5. Harus dapat bekerja dalam waktu singkat.

Oleh karena itu kontinuitas penyaluran tenaga listrik banyak tergantung pada kualitas sistem jaringan distribusi itu sendiri, Makin kompleks konfigurasi jaringan distribusi makin banyak peralatan yang digunakan, karena semakin banyak dan baik alat pengaman jaringan distribusi semakin baik pula keandalan system tenaga listrik. Secara umum peralatan pengaman yang terdapat pada system jaringan distribusi tegangan menengah adalah Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah (PMS), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Saklar Beban (SB), Tie Swich (TS), Penutup Balik Otomatis (PBO) /Recloser dan Pelebur.

### **2.2.8 Gangguan Pada Sistem Distribusi**

Gangguan pada sistem distribusi adalah terjadinya suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem sehingga rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu

induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut dari kerusakan. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban.

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Umur peralatan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem adalah :

1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem distribusi saluran udara dapat dibagi menjadi dua jenis.<sup>13</sup> Bila dilihat dari lamanya waktu gangguan, yaitu :

1. Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang

---

<sup>13</sup> P. PLN, "SPLN 52-3: Pola Pengaman Sistem Bagian Tiga Distribusi 6 kV dan 20 kV," 1983.

dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

#### **2.2.9 Keandalan Pada Sistem Distribusi**

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu sistem untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. Sedangkan keandalan dalam sistem distribusi adalah suatu ukuran ketersediaan / tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pemakai. Ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi.

Menurut Gonen Toren (1986), keandalan sistem distribusi sebagai “kemungkinan perangkat atau sistem melakukan fungsi itu memadai, untuk periode waktu yang dimaksudkan, dibawah kondisi operasi dimaksudkan,” dalam pengertian ini, tidak hanya kemungkinan kegagalan tetapi juga itu besarnya, durasi dan frekuensi penting. Secara fisik tidak mungkin memperoleh keandalan 100% karena kegagalan sistem yang kadang terjadi, peluang terjadinya pemadaman dapat dikurangi secara

perlahan dengan menambah biaya selama masa perencanaan dan masa operasi atau keduanya.[8]

Terdapat empat faktor yang memegang peranan terhadap keandalan suatu sistem serta definisi keandalan mengandung empat istilah penting,<sup>14</sup> yaitu :

1. Probabilitas, angka yang menyatakan berapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu system atau saluran. yang dapat dinyatakan secara angka dengan nilai antara 0 dan 1 atau antara 0 dan 100%.
2. Fungsi, Keandalan 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 (*unplanned maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda.
3. Waktu, lama suatu saluran bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama saluran digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadinya kegagalan.
4. Kondisi operasi, adalah keadaan lingkungan kerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembaban udara dan getaran yang mempengaruhi kondisi operasi

Sistem yang mempunyai keandalan tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem mempunyai keandalan rendah bila tingkat ketersediaan tenaganya rendah yaitu sering padam. Adapun macam – macam tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) hal.[9] yaitu :

1. Keandalan sistem yang tinggi (*High Reliability System*).

---

<sup>14</sup> N. I. Arifani and H. Winarno, “Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 KV Pada Penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9,10 Di GI Pandean Lamper,” *GEMA Teknol.*, vol. 17, no. 3, pp. 131–134, 2013.

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

2. 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. Dan dalam keadaan darurat bila terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem tersebut masih bisa melayani sebagian dari beban meskipun dalam kondisi beban puncak. Jadi dalam sistem ini diperlukan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi serta menanggulangi gangguan – gangguan tersebut.

3. 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 perlu diperbaiki terlebih dahulu. Tentu saja pada sistem ini peralatan-peralatan pengamannya relatif sangat sedikit jumlahnya.

Kontinuitas pelayanan, penyaluran jaringan distribusi tergantung pada jenis dan macam sarana penyalur dan peralatan pengamanan, dimana sarana penyalur (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

penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan.[13]

Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah mengalami gangguan. Tingkatan-tingkatan tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

Tingkat 1 : Dimungkinkan berjam-jam: yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.

Tingkat 2 : Padam beberapa jam: yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lokasi gangguan, melokalisasi dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3 : Padam beberapa menit: manipulasi oleh petugas yang jaga di gardu atau dilakukan deteksi atau pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4 : Padam beberapa detik: pengamanan atau manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5 : Tanpa padam: dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatisasi penuh.

Umumnya jaringan distribusi luar kota (pedesaan) terdiri dari jenis saluran udara dengan sistem jaringan radial mempunyai kontinuitas tingkat 1, sedangkan untuk pelayanan dalam kota susunan jaringan yang dipakai adalah jenis kabel tanah dengan sistem jaringan spindel yang mempunyai kontinuitas tingkat 2.<sup>15</sup>

Hal-hal yang mempengaruhi keandalan pada sistem distribusi tenaga listrik diantaranya adalah :

1. Hilangnya daya oleh pembangkit

---

<sup>15</sup> Erhaneli, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan Saidi Dan Saifi Pada Pt.Pln (Persero) Rayon Bagan Batu Tahun 2015," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 5, no. 2, pp. 120–129, 2016.

2. Beban lebih
3. Hubung singkat
4. Tegangan lebih
5. Instabilitas sistem listrik
6. Konstuksi jaringan yang kurang baik

Sistem jaringan sangat menentukan tingkat keberhasilan dan keandalan sistem tenaga listrik. Semakin baik jaringan dalam menyuplai energi listrik dan menanggulangi gangguan maka semakin besar pula keandalan sistem jaringan tersebut. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan pada sistem distribusi tenaga listrik diantaranya, yaitu :

1. Konstruksi jaringan listrik yang baik

Terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, tidak mungkin dihilangkan dan tidak dapat dihindari sama sekali. Upaya yang bisa kita tempuh adalah mengurangi terjadinya gangguan tersebut. Mengurangi terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan upaya yang bersifat represif dan antisipatif, yaitu memasang dan mewujudkan adanya konstruksi jaringan listrik yang baik, dengan cara sebagai berikut:<sup>16</sup>

- Perencanaan design yang baik, penentuan spesifikasi peralatan dan material harus memenuhi ketentuan teknik.
- Material yang akan dipasang harus dapat diandalkan, mempunyai kualitas yang baik, mempunyai persyaratan dan standard teknik.
- Pemasangan peralatan dan material harus dilaksanakan sebaik-baiknya, sesuai dengan design, spesifikasi dan ketentuan.
- Memasang kawat pentanahan dengan tahanan pentanahan yang rendah, untuk keperluan pemeriksaan dan pemeliharaan.

---

<sup>16</sup> Suhadi, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 2*. Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

- Pengoperasian yang baik.
- Melaksanakan pemeliharaan rutin dan berkala sesuai kebutuhan.
- Mengadakan pemeriksaan dan perbaikan.
- Melaksanakan penebangan/pemampasan ranting dan dahan pohon yang ada di sekitar jaringan SUTET, SUTT, SUTM dan SUTR, yang kemungkinan akan menyebabkan gangguan. Harus diperhitungkan, bahwa pada saat terjadi hembusan angin, dahan-dahan pohon tersebut harus tetap mempunyai jarak yang aman dengan kawat phase jaringan.
- Pada jaringan SUTR dan SLJTM, digunakan kawat penghantar (konduktor) yang berisolasi, misalnya: AAAC, AAC dan Twisted Cable.
- Mengidentifikasi dan menginventarisir penyebab gangguan serta, melakukan penyelidikan, sebagai umpan balik dan masukan di dalam menentukan sistem proteksi yang lebih baik.

## 2. Pemasangan system proteksi yang andal

Pemasangan peralatan pengaman (sistem proteksi) pada jaringan listrik, bertujuan untuk mengurangi akibat terjadinya gangguan. Hal ini harus dilakukan, karena timbulnya gangguan pada jaringan listrik tidak mungkin dicegah sama sekali.

### 2.2.10 Indeks Keandalan

Dalam penentuan indeks keandalan, untuk sistem secara keseluruhan maka faktor-faktor jumlah pelanggan, frekuensi dan durasi/lama pemadaman dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi atau lama pemadaman rata-rata tahunan.

Untuk mengukur nilai keandalan suatu jaringan sistem distribusi ada beberapa indeks keandalan yang biasa digunakan, indeks keandalan yang berorientasi pada pelanggan diantaranya adalah SAIFI, SAIDI, CAIDI,

ASAI dan ASUI. Serta ENS untuk mengetahui kerugian daya oleh penyuplai akibat kejadian padam listrik dalam hal ini adalah PT. PLN (Persero).

#### 2.2.10.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI merupakan suatu indeks yang menyatakan banyaknya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) pada pelanggan dalam suatu sistem secara keseluruhan. Besarnya nilai SAIFI dapat menggambarkan besarnya tingkat kegagalan sistem distribusi secara keseluruhan yang ditinjau dari sisi pelanggan.

Adapun formula persamaan untuk menentukan nilai SAIFI sebagai berikut :

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah pelanggan terinterupsi setiap kejadian}}{\text{Jumlah total pelanggan yang dilayani}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum i N_i}{Nt}$$

Dimana :  $\sum i$  = Setiap kejadian/ gangguan

$N_i$  = Jumlah pelanggan terinterupsi di setiap gangguan

$Nt$  = Jumlah pelanggan keseluruhan

#### 2.2.10.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) pada pelanggan dalam suatu sistem secara keseluruhan. Biasanya diukur dalam menit pelanggan atau jam gangguan pelanggan.

Formula persamaan untuk menentukan nilai SAIDI sebagai berikut :

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah pelanggan terinterupsi x durasi interupsi}}{\text{Jumlah total pelanggan yang dilayani}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum i N_i . r_i}{Nt}$$

Dimana :  $\Sigma i$  = Setiap kejadian/ gangguan  
 $ri$  = Durasi padam pelanggan dalam satu tahun pada sistem i  
 $Ni$  = Jumlah pelanggan terinterupsi di setiap gangguan  
 $Nt$  = Jumlah pelanggan keseluruhan

### 2.2.10.3 CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) pada pelanggan dalam ruang lingkup yang lebih kecil. Menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk sistem kembali ke keadaan normal setelah terjadi gangguan pada tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

Untuk menentukan nilai CAIDI dapat menggunakan formula persamaan sebagai berikut :

$$CAIDI = \frac{\text{rata-rata durasi gangguan dalam setahun}}{\text{rata-rata frekuensi gangguan dalam setahun}}$$

$$CAIDI = \frac{\Sigma i N_i . r_i}{\Sigma i N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Dimana :  $\Sigma i$  = Setiap kejadian/ gangguan  
 $ri$  = Durasi padam pelanggan dalam satu tahun pada sistem i  
 $Ni$  = Jumlah pelanggan terinterupsi di setiap gangguan  
 $Nt$  = Jumlah pelanggan keseluruhan

### 2.2.10.4 ASAI (*Average Service Availability Index* )

ASAI merupakan indeks yang menggambarkan tingkat ketersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh pelanggan dalam jangka waktu 1 tahun. Untuk menyatakan indeks pelayanan rata-rata.

Dengan formula persamaan untuk menentukan nilai ASAI sebagai berikut:

$$ASAI = \frac{\text{Jumlah waktu pelanggan terlayani}}{\text{Jumlah waktu dalam setahun}}$$

Nilai ASAI dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ASAI = \frac{(T - SAIDI)}{T}$$

Atau

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

Dimana : T = 8760/8784 adalah jumlah jam dalam satu tahun

Nilai ASAI dinyatakan dalam persentase

#### 2.2.10.5 ASUI (*Average Service Unavailability Index*)

ASUI merupakan indeks yang menggambarkan ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tingkat ketersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh pelanggan dalam jangka waktu 1 tahun. Untuk menyatakan indeks ketidaktersediaan pelayanan rata-rata. Dengan formula persamaan untuk menentukan nilai ASUI sebagai berikut :

Nilai ASUI dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ASUI = 1 - ASAI$$

#### 2.2.9.6 ENS (*Energy Not Supplied*)

ENS merupakan indeks yang memberitahukan jumlah total energi yang akan dipasok ke pelanggan yang terganggu jika tidak ada gangguan. Biasanya dinyatakan dalam MWh.

$$ENS = \sum i P_i . r_i = \sum i E_i$$

$$P = \sqrt{3} . V . I$$

- Dimana :
- $\Sigma i$  = Setiap kejadian/ gangguan
  - $P_i$  = beban rata-rata terganggu oleh setiap gangguan  $i$
  - $r_i$  = Durasi padam pelanggan dalam satu tahun pada sistem  $i$
  - $E_i$  = Energi tak tersuplai akibat setiap interupsi  $i$
  - $P$  = Daya Listrik dengan satuan Watt (W)
  - $V$  = Tegangan Listrik dengan Satuan Volt (V)
  - $I$  = Arus Listrik dengan satuan Ampere (A)
  - $\sqrt{3}$  = 1,732

Indeks ini digunakan untuk mengetahui kerugian daya dari sisi penyuplai daya dalam hal ini PT. PLN Area Yogyakarta wilayah gardu induk wates.

#### 2.2.9.7 Standar Nilai Indeks Keandalan

Sebagai bahan perbandingan digunakan standar acuan nilai indeks keandalan pada saluran distribusi sebagai berikut :

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

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

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

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1.45	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.3	jam/pelanggan/tahun
CAIDI	1.47	jam/gangguan
ASAI	99.92	Persen

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

Tabel 2. 3 Standar Nilai Indeks Keandalan WCS & WCC

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