

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

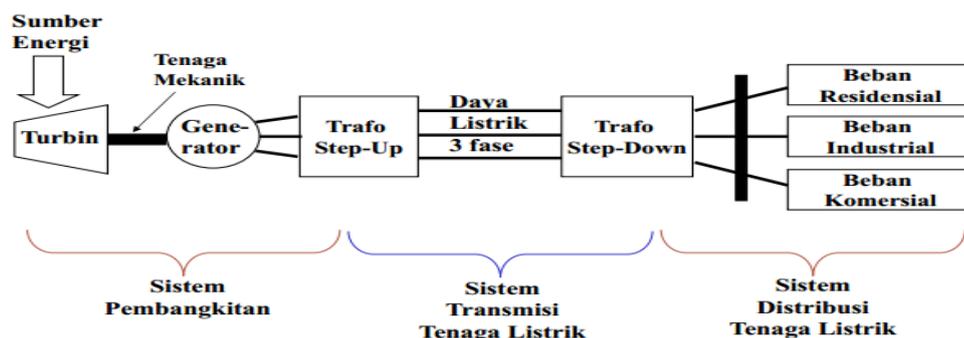
Adapun berdasarkan pokok permasalahan yang telah disampaikan pada bab sebelumnya, maka digunakan beberapa rujukan penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan untuk membantu dalam penegasan kembali batasan-batasan permasalahan yang akan diangkat, dan dinilai memiliki relevansi dengan topik pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini. Berikut adalah beberapa referensi terkait rujukan penelitian tersebut.

1. Irwan Dwi Saputra (2017) melakukan penelitian mengenai *analisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di Gardu Induk Banjarnegara* dengan menggunakan data pengamatan gangguan yang terjadi sepanjang tahun 2016. Melalui penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa pada tahun 2016 setiap penyulang yang terdapat di Gardu Induk Banjarnegara dikategorikan andal karena memiliki nilai SAIDI, dan SAIFI yang tidak melebihi nilai maksimal dari standar SPLN 68-2: 1986. Selain itu, penyulang di Gardu Induk Banjarnegara juga dikategorikan andal karena nilai SAIFI, dan SAIDI tidak melebihi nilai maksimal dari standar IEEE std 1366-2003, dan WCS-WCC.
2. Khaidir Ali (2017) melakukan penelitian mengenai *analisis keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Gejayan* dengan menggunakan data pengamatan gangguan yang terjadi selama tahun 2015. Melalui penelitian tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai SAIDI, dan SAIFI di penyulang Gardu Induk Gejayan yang mencakup area kerja Rayon Kalasan, dan Rayon Yogya tergolong tidak andal karena nilai SAIDI, dan SAIFI yang diperoleh lebih besar dari nilai maksimal standar SPLN 68-2:1986. Selain itu, penyulang GJN 03, dan GJN 19 tergolong tidak andal dikarenakan memiliki SAIFI melebihi nilai maksimal dari standar IEEE std 1366-2003 yaitu 1,45 kali/pelanggan/tahun. Namun, nilai SAIDI seluruh penyulang pada Rayon Kalasan, dan Rayon Yogya tergolong andal sebab nilai SAIDI yang diperoleh lebih kecil dari nilai maksimal standar IEEE.

- Achmad Fatoni, Rony Seto Wibowo, dan Adi Soeprijanto (2016) melakukan penelitian mengenai *analisa keandalan sistem distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Rayon Lumajang dengan menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*. Melalui penelitian tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa setiap penyulang yang terdapat pada Rayon Lumajang dikategorikan tidak andal dikarenakan nilai SAIDI, dan SAIFI lebih besar dari nilai maksimal standar SPLN, dan IEEE. Adapun faktor yang menyebabkan besarnya nilai SAIDI, serta SAIFI tersebut adalah tingginya frekuensi kegagalan di dalam sistem yang diakibatkan karena panjangnya saluran yang digunakan. Frekuensi kegagalan di saluran merupakan yang tertinggi jika dibandingkan dengan peralatan lainnya yang turut menyumbang angka kegagalan seperti *circuit breaker*, *switch*, dan trafo.

2.2 Landasan Teori

Sistem Tenaga Listrik dapat diartikan sebagai sekumpulan dari berbagai macam peralatan atau komponen listrik seperti transformator tenaga, generator, sistem saluran transmisi, sistem saluran distribusi, maupun pusat beban yang saling dihubungkan sehingga terbentuk menjadi suatu sistem (Syahputra, 2015). Berikut adalah bagan sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Bagan Sistem Tenaga Listrik

Sumber: Syahputra, 2015

Berdasarkan gambar bagan tersebut, berikut merupakan penjelasan secara singkat terkait fungsi dari beberapa komponen penyusun sistem tenaga listrik.

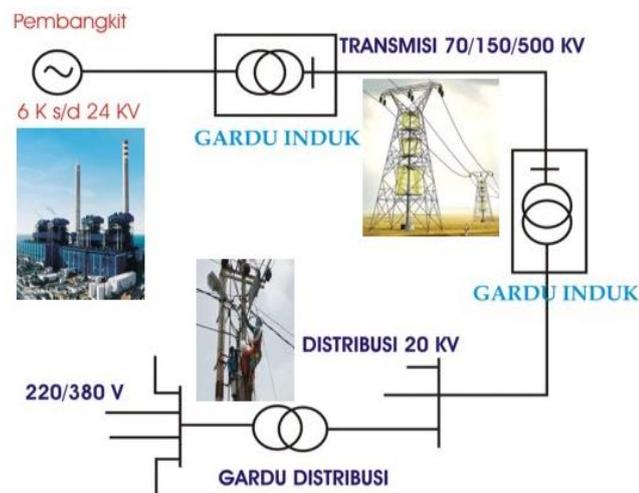
1. Sistem Pembangkitan adalah komponen yang bertugas dalam pembangkitan tenaga listrik yang secara umum memanfaatkan hasil konversi dari energi primer seperti air, angin, panas bumi, surya, nuklir, minyak, batu bara, gas alam, hingga gelombang air laut.
2. Sistem Transmisi ialah komponen yang bertindak dalam penyaluran tenaga listrik dari sistem pembangkitan menuju pusat beban melalui kabel penghantar.
3. Sistem Distribusi yaitu komponen yang bertanggung jawab dalam meneruskan penyaluran tenaga listrik dari sistem transmisi untuk kemudian didistribusikan menuju pusat beban atau pelanggan listrik.
4. Pusat Beban merupakan konsumen yang menggunakan energi listrik yang sudah didistribusikan untuk mengoperasikan peralatan-peralatan listrik. Jenis beban terbagi menjadi tiga yakni beban residensial, komersial, dan industrial.

2.2.1 Gardu Induk

Gardu Induk termasuk komponen dalam sistem tenaga listrik yang meliputi berbagai peralatan seperti penghubung dan pemutus arus, serta trafo *step up*, dan *step down*. Secara umum dari segi pemakaian, gardu induk terdiri dari dua jenis yaitu gardu induk pada sisi pembangkitan, dan gardu induk pada sisi pendistribusian. Pada gardu induk sisi pembangkitan level tegangan yang dihasilkan dari pusat pembangkitan akan ditingkatkan terlebih dahulu dengan menggunakan trafo *step up* untuk kemudian disalurkan melalui sistem transmisi. Sedangkan pada gardu induk sisi pendistribusian, level tegangan yang sebelumnya telah disalurkan oleh sistem transmisi selanjutnya diturunkan dengan cara memanfaatkan trafo *step down* agar dapat disalurkan menuju pusat-pusat beban.

Adapun untuk fungsi penting lainnya dari gardu induk yang terdapat pada sistem tenaga listrik yaitu sebagai pengatur aliran daya dari satu *line* transmisi dengan *line* transmisi lainnya hingga menuju *line* distribusi ke pusat beban, untuk mengukur, mengawasi, dan mengamankan operasi pada sistem tenaga listrik, untuk mengatur layanan beban menuju gardu induk tertentu, dan sebagai media telekomunikasi *internal* PLN yang dikenal dengan sebutan SCADA atau *Supervisory Control and Data Acquisition* (Suripto, tanpa tahun terbit).

Selain itu, dalam merancang pembangunan suatu gardu induk perlu memperhatikan beberapa aspek yang wajib dipenuhi seperti dari segi konstruksi yang tidak kompleks tetapi memiliki tingkat kekuatan yang tinggi, mudah dalam *maintenance* baik perawatan ataupun perbaikan, mampu menjamin tingkat keamanan (baik bagi sistem gardu induk itu sendiri dan lingkungan sekitar), keandalan, serta kinerja yang tinggi, dan fleksibel jika diperlukan pembaharuan (Affandi, 2015). Berikut ini adalah gambaran umum yang menunjukkan posisi gardu induk pada suatu sistem tenaga listrik.



Gambar 2.2 Posisi Gardu Induk pada Sistem Tenaga Listrik

Sumber: <https://goo.gl/Cih4NJ>, diakses pada tanggal 14 April 2018

Berdasarkan pada instalasi peralatannya, gardu induk terbagi menjadi beberapa jenis antara lain sebagai berikut.

1. Gardu Induk Pasangan Dalam

Indoor substation atau gardu induk pasangan dalam merupakan gardu induk yang sebagian besar peralatannya terpasang di dalam bangunan. Oleh karena itu, biaya investasi untuk pembangunan gardu induk ini relatif lebih mahal daripada gardu induk pasangan luar dikarenakan memerlukan bangunan yang mampu meliputi seluruh peralatannya. Gardu induk pasangan dalam umumnya diterapkan di area perkotaan yang padat hunian. Kelebihan gardu induk ini yaitu terlihat lebih rapi, dan lebih tahan terhadap gangguan cuaca (Suripto, tanpa tahun terbit).

2. Gardu Induk Pasangan Luar

Outdoor substation atau gardu induk pasangan luar merupakan gardu induk yang sebagian besar peralatannya terpasang di luar bangunan. Oleh sebab itu, biaya investasi pembangunannya lebih murah daripada gardu induk pasangan dalam karena tidak membutuhkan bangunan untuk dapat mengcover semua peralatannya. Namun, gardu induk pasangan luar sangat menuntut tersedianya lahan yang cukup luas untuk menjaga jarak aman antar peralatan. Gardu induk pasangan luar lebih banyak diterapkan di luar area perkotaan karena harga lahan yang tidak terlalu mahal (Suripto, tanpa tahun terbit).

3. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Gardu induk pasangan bawah tanah atau disebut juga dengan *underground substation* merupakan gardu induk yang hampir seluruh peralatannya terpasang di dalam bangunan bawah tanah. Oleh sebab itu, biaya investasi untuk pembangunan gardu induk jenis ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan gardu induk pasangan dalam dikarenakan membutuhkan bangunan bawah tanah yang kedap air. Gardu induk pasangan bawah tanah biasanya diterapkan pada daerah padat hunian yang sulit untuk memperoleh lahan (Suripto, tanpa tahun terbit).

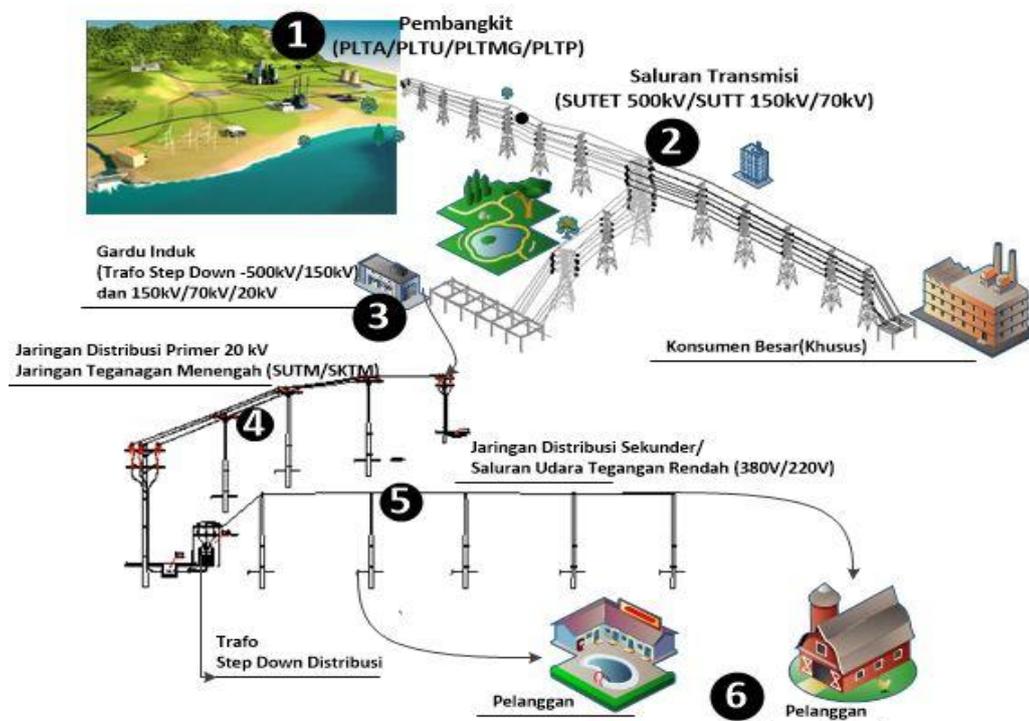
2.2.2 Sistem Distribusi Energi Listrik

Secara umum, sistem distribusi dapat diartikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang bertanggung jawab dalam mendistribusikan energi listrik melalui kabel penghantar dari suatu gardu induk menuju pusat-pusat beban. Selain itu, suatu sistem distribusi biasanya tersusun atas beberapa peralatan maupun komponen pendukung lainnya seperti GI distribusi, sistem sub-transmisi, *feeder* dan trafo distribusi, maupun layanan pelanggan (Syahputra, 2015).

Penyaluran energi listrik pada sistem distribusi hendaknya memperhatikan kualitas pelayanan yang terpadu dan memadai. Faktor yang dapat menentukan kualitas pelayanan tersebut yaitu seperti kemampuan sistem dalam menyalurkan energi listrik kepada konsumen secara kontinu, dengan tingkat frekuensi terjadinya gangguan serendah mungkin. Adapun kontinuitas penyaluran suatu sistem

distribusi erat kaitannya dengan konfigurasi jaringan, serta komponen tegangan menengah yang terpasang pada jaringan. Disamping itu, agar fungsi utama dari sistem distribusi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan upaya untuk menanggulangi gangguan yang sering terjadi pada jaringan tegangan menengah dengan cara yang tepat, efisien, dan dalam waktu yang singkat. Unsur-unsur tersebut akan sangat berpengaruh terhadap keandalan sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik (Marzuki, 2016).

Selain itu, agar penyaluran energi listrik dapat dilakukan secara berkesinambungan, serta andal, maka dibutuhkan parameter pemilihan sistem distribusi seperti faktor lokasi, ekonomis, dan kelayakan. Penentuan sistem jaringan juga harus memenuhi kualifikasi seperti kontinuitas pelayanan, keandalan yang tinggi, biaya investasi rendah, serta tingkat perubahan tegangan dan frekuensi yang rendah (Laksono, 2016). Berikut adalah gambaran secara umum posisi sistem distribusi pada suatu sistem tenaga listrik.



Gambar 2.3 Letak Sistem Distribusi pada Sistem Tenaga Listrik
 Sumber: <https://goo.gl/Kyrjiv>, diakses pada tanggal 15 April 2018

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan pada level tegangan yang disalurkan, antara lain sebagai berikut.

2.2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer bertempat diantara gardu induk (GI) dan gardu pembagi/distribusi, dengan level tegangan sistem lebih besar daripada tegangan yang digunakan oleh pelanggan listrik, dan biasanya sistem ini menggunakan saluran penghantar tiga fasa dengan jumlah tiga hingga empat kawat. Berdasarkan standar dari PLN, tegangan kerja untuk sistem distribusi primer terbagi menjadi 6 kV, 10 kV, serta 20 kV. Standar ini tidak sepenuhnya seperti yang digunakan oleh negara luar, seperti Amerika Serikat yang memiliki ketetapan tegangan kerja sistem distribusi yang terbagi menjadi 2,4 kV, 4,16 kV, serta 13,8 kV. Perlu diketahui bersama bahwasanya, pada area perkotaan tidak diizinkan menggunakan level tegangan yang melebihi 20 kV, hal tersebut dikarenakan pada level tegangan mencapai 30 kV dapat menimbulkan efek korona yang mampu mengacaukan frekuensi telekomunikasi, radio, telepon, maupun televisi (Suswanto, 2009).

Tegangan kerja 20 kV pada sistem distribusi primer diperoleh melalui proses menurunkan level tegangan dari tingkat *line* transmisi. Tegangan 500 kV dari saluran transmisi awalnya diturunkan terlebih dahulu menjadi 150 kV di gardu induk, penurunan tegangan ini bisa juga dari level 500 kV menjadi 70 kV. Tegangan yang sudah diturunkan di gardu induk selanjutnya diturunkan kembali dari level 150 kV menjadi 20 kV atau dari level 70 kV menjadi 20 kV (Syahputra, 2015). Berdasarkan pada konstruksi sistem penyaluran, suatu sistem distribusi primer terbagi menjadi tiga jenis antara lain sebagai berikut.

1. SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)

Level tegangan pada SUTM berkisar antara 6 kV sampai 20 kV, dengan ciri utama saluran ini yaitu menggunakan penghantar telanjang dengan penopang berupa tiang beton/besi. Adapun tipe penghantar yang digunakan yaitu kabel telanjang (tidak berisolasi) seperti kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*). Pemakaian kawat penghantar tanpa isolasi tentu harus mempertimbangkan jarak

aman agar tidak membahayakan bagi lingkungan sekitar (PT. PLN (Persero) buku 5 edisi 1, 2010). Adapun kelebihan dari penghantar AAAC yaitu bobotnya lebih ringan daripada bahan tembaga, lebih tahan korosi, serta konduktivitas tinggi. Namun AAAC memiliki kekurangan, yaitu harganya relatif mahal, dan kekuatan fisik rendah (<https://goo.gl/HT791M>, diakses pada tanggal 2 Mei 2018 pukul 18.00 WIB). Berikut adalah tabel ketentuan jarak aman pada SUTM.

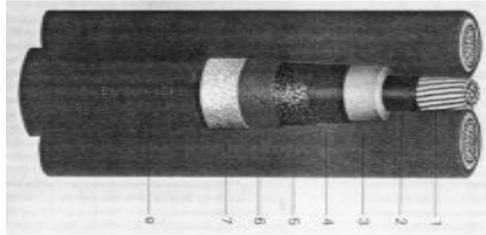
Tabel 2.1 Jarak Aman SUTM

Sumber: PT. PLN (Persero) buku 1, edisi 1, bab 5, 2010:13

No	Uraian	Jarak Aman
1	Terhadap Permukaan Jalan Raya	≥ 6 meter
2	Balkon Rumah	$\geq 2,5$ meter
3	Atap Rumah	≥ 2 meter
4	Dinding Bangunan	$\geq 2,5$ meter
5	Antena TV/Radio, Menara	$\geq 2,5$ meter
6	Pohon	$\geq 2,5$ meter
7	Lintasan Kereta Api	≥ 2 meter dari atap kereta
8	Lintasan Jaringan Listrik Sangat Rendah	kabel tanah
9	Under Build TM-TM	≥ 1 meter
10	Under Build TM-TR	≥ 1 meter

2. SKUTM (Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah)

Tegangan kerja pada saluran ini yaitu berkisar antara 6 kV sampai 20 kV. Adapun dalam rangka untuk lebih menjamin aspek keamanan serta keandalan maka pada saluran jenis ini digunakan tipe penghantar dengan pembungkus isolasi penuh yang dipilin. Namun, total beban penghantar yang dipilin dan dibentangkan diudara harus diperhitungkan dengan baik karena akan berpengaruh terhadap kemampuan tiang beton dalam menopang penghantar tersebut. Selain itu, jarak aman dari SKUTM yang menggunakan kabel berpilin yakni minimal 60 cm, dengan ketentuan ruang bebas kabel terhindar dari objek seperti bangunan, dan pepohonan (Eya, 2014). Berikut gambar kabel udara tegangan menengah.



Gambar 2.4 Kabel Udara Tegangan Menengah

Sumber: PT. PLN (Persero) buku 5: 2010

3. SKTM (Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah)

Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah bekerja pada level tegangan 6 kV hingga 20 kV, meskipun biaya investasi untuk saluran ini lebih mahal dibandingkan dengan yang lain, tetapi konstruksi dari saluran kabel tanah dinilai memiliki tingkat keamanan serta keandalan yang lebih baik dalam penyaluran energi listrik untuk level tegangan menengah. Oleh karena itu, penerapan SKTM sebagai jaringan utama merupakan bentuk usaha untuk meningkatkan kualitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan (Eya, 2014).



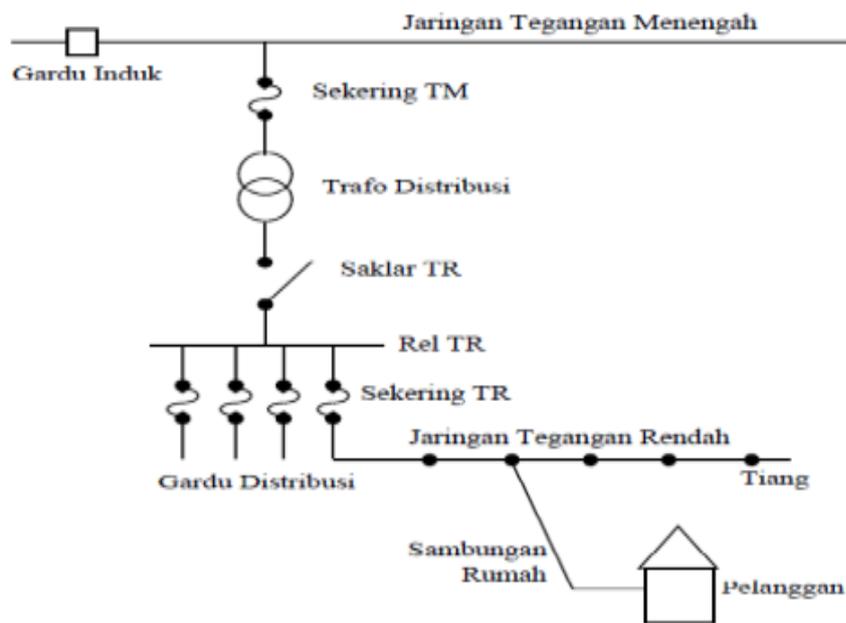
Gambar 2.5 Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah

Sumber: <https://goo.gl/cYhxPL>, diakses pada tanggal 15 April 2018

2.2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder umumnya juga dinamakan dengan jaringan distribusi tegangan rendah adalah jaringan yang bertugas untuk meneruskan

penyaluran energi listrik dari gardu pembagi/distribusi menuju pusat beban. Sebelum disalurkan oleh jaringan distribusi sekunder, level tegangan 20 kV dari jaringan distribusi primer diturunkan terlebih dahulu ke level tegangan yang lebih rendah yaitu 380 V/220 V. Standar tegangan kerja sistem distribusi sekunder yakni 127 V/220 V pada sistem terdahulu, 380 V/220 V pada sistem yang baru, dan untuk kebutuhan industrial 440 V/550 V (Suswanto, 2009). Berikut ini merupakan gambar diagram garis sistem distribusi sekunder.



Gambar 2.6 Hubungan Jaringan Tegangan Menengah dan Rendah hingga Menuju Pelanggan Listrik

Sumber: Hardiansyah, 2016

Mengingat posisi dari jaringan distribusi sekunder yang terhubung langsung kepada konsumen, maka keandalan jaringan tentu harus sangat diutamakan agar dapat menekan angka pemadaman terhadap pelanggan. Umumnya, *voltage drop* sistem distribusi terjadi pada *feeder* di jaringan tegangan menengah dan tegangan rendah, trafo distribusi, sambungan rumah, serta instalasi rumah. *Voltage drop* merupakan selisih nilai tegangan antara tegangan yang diterima dengan tegangan yang dikirim dikarenakan adanya pengaruh impedansi

penghantar. Oleh karena itu, pemilihan ukuran luas permukaan penghantar pada jaringan tegangan menengah harus diperhitungkan dengan baik agar dapat meminimalisir terjadinya tegangan jatuh (*voltage drop*) (Supriyanto, 2017). Adapun suatu sistem distribusi sekunder terbagi menjadi dua jenis yakni:

1. SUTR (Saluran Udara Tegangan Rendah)

SUTR merupakan titik terakhir dari sistem tenaga listrik yang bertugas dalam menyalurkan kebutuhan energi listrik kepada pelanggan dengan tegangan operasi 380 V/220 V. Sebagaimana nama saluran ini, maka konstruksi salurannya menggunakan tiang penyangga yang biasanya berupa beton untuk menopang kabel penghantar dengan tipe kawat berisolasi yang dipilin (Kurniawan, 2016).

2. SKTR (Saluran Kabel Tegangan Rendah)

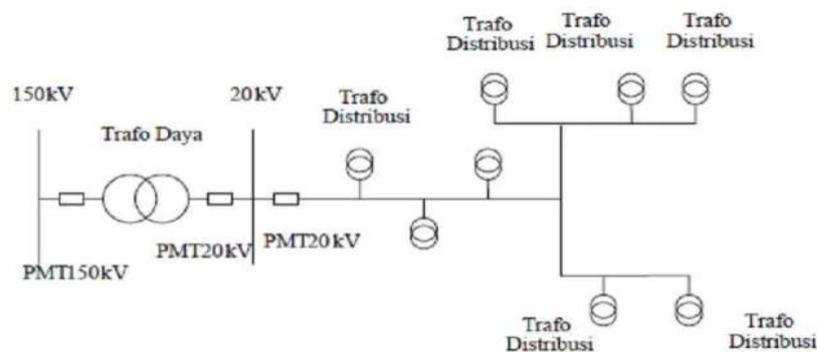
Sama halnya seperti SUTR, SKTR juga merupakan titik terakhir dalam menyalurkan energi listrik kepada konsumen dengan menurunkan level tegangan menjadi 380 V/220 V. Hal yang membedakan antara SUTR dengan SKTR yakni kabel penghantar pada SKTR ditanam di dalam tanah, sejatinya jika memakai SUTR dari aspek jarak aman tidak bermasalah dikarenakan SUTR memakai kabel berisolasi. Faktor penggunaan SKTR yaitu karena mempertimbangkan sistem transmisi tegangan menengah yang ada (contohnya karena memakai sistem SKTM), serta unsur estetika (Kurniawan, 2016).

2.2.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Secara umum, dapat dikatakan bahwa jika suatu wilayah memiliki kebutuhan beban energi listrik yang semakin kompleks serta besar, maka hal ini berbanding lurus dengan semakin banyaknya *feeder* yang dibutuhkan pada wilayah tersebut. Gardu hubung merupakan sekumpulan dari *feeder* maupun sumber yang berada pada suatu zona, dan bertanggung jawab dalam mengalihkan kelebihan beban apabila terdapat gangguan di salah satu jaringan. Selain itu, kumpulan dari beberapa *feeder* juga dapat membentuk suatu konfigurasi pada sistem distribusi primer (Kurniawan, 2016). Berikut adalah beberapa sistem konfigurasi tersebut.

1. Sistem *Radial*

Disebut dengan *radial* dikarenakan titik sumber jaringan yang dicabangkan dengan pusat-pusat beban ditarik secara *radial*. Konstruksi sistem *radial* tergolong paling sederhana jika dibandingkan dengan sistem lainnya, oleh sebab itu sistem ini umumnya diterapkan pada wilayah perkotaan maupun pedesaan yang tidak menuntut keandalan dengan tingkat tinggi. Namun, kekurangan dari sistem ini yaitu jika terjadi gangguan pada sumber ataupun *feeder* maka penyaluran energi listrik kepada seluruh konsumen di jaringan ini akan terputus (Kurniawan, 2016). Berikut adalah gambar diagram satu garis sistem distribusi *radial*.



Gambar 2.7 Sistem Distribusi *Radial*

Sumber: <https://goo.gl/AhRDPB>, diakses pada tanggal 17 April 2018

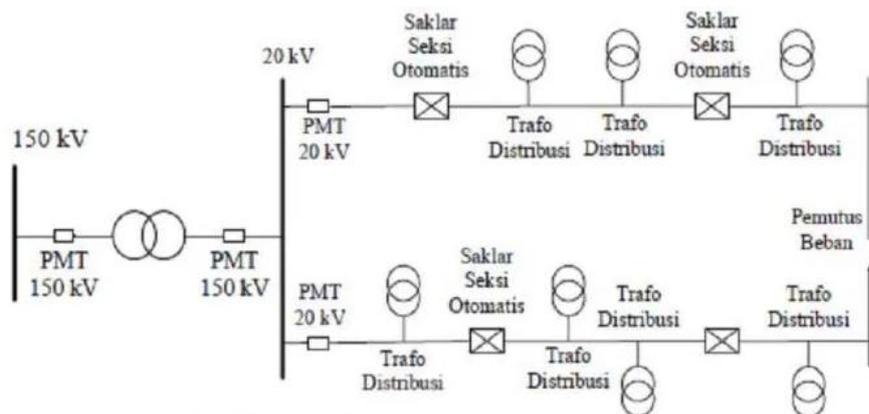
Perlu diketahui pula bahwa pada sistem *radial* nilai arus terbesar mengalir di jaringan yang terdekat dari GI, hal tersebut dikarenakan pencatu daya hanya berpusat pada satu sumber, dan dengan adanya percabangan pada sistem menyebabkan arus beban yang mengalir pada sepanjang jaringan menjadi berbeda sehingga mengakibatkan ukuran luas penampang penghantar yang digunakanpun juga berbeda. Adapun luas penampang penghantar pada jaringan terdekat dari GI memiliki ukuran cukup besar, sehingga dapat dikatakan pula bahwa percabangan sistem yang semakin ke hulu menyebabkan semakin kecil arus beban dan luas penampang penghantar yang digunakan (Syahputra, 2015).

Selain konstruksi yang sederhana, sistem ini juga memiliki kelebihan lain yaitu biaya investasi yang tergolong murah. Akan tetapi, terdapat beberapa

kekurangan dari penerapan sistem ini yaitu seperti besarnya nilai *voltage drop* dan *losses* yang terjadi menyebabkan jeleknya mutu pelayanan daya, dan dikarenakan hanya ada satu alternatif jaringan yang digunakan menyebabkan kontinuitas penyaluran energi listrik kurang terjaga. Oleh karena itu, pada sistem distribusi *radial* perlu adanya peralatan proteksi agar gangguan yang terjadi dapat dibatasi saat pemadaman total khususnya area disepanjang titik gangguan jika gangguan yang terjadi belum dapat ditanggulangi (Syahputra, 2015).

2. Sistem Loop

Sistem distribusi ini disebut dengan sistem *loop* dikarenakan konstruksi jaringannya yang membentuk suatu rangkaian tertutup. Ditinjau dari konstruksinya, sistem ini merupakan dua buah sistem *radial* yang digabungkan. Oleh karena itu, sistem *loop* memiliki lebih dari satu sumber dan *feeder* sehingga penyaluran energi listrik menuju pusat-pusat beban menjadi lebih terjamin dikarenakan *voltage drop* dan *losses* yang terjadi di jaringan tidak sebesar seperti pada sistem *radial* (Kurniawan, 2016). Berikut ini adalah gambar konfigurasi pada sistem *loop*.



Gambar 2.8 Sistem Distribusi Loop

Sumber: <https://goo.gl/AhRDPB>, diakses pada tanggal 17 April 2018

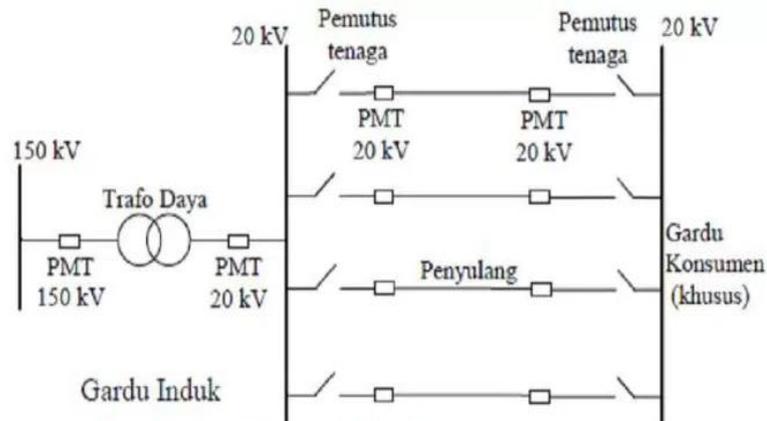
Konstruksi pada sistem distribusi *loop* terbagi menjadi dua jenis, yaitu bentuk *close loop*, dan *open loop*. Pada jaringan yang berbentuk *close loop*, kondisi normal dari jaringan adalah tertutup, dan pada bentuk ini di salah satu bagian antara

gardu distribusi dipasang *normally close switch*. Sedangkan pada jaringan berbentuk *open loop*, kondisi normalnya adalah terbuka, dan di salah satu bagian antara gardu distribusi dipasang *normally open switch*. Selain itu pada konstruksi sistem *loop*, di kedua ujung jaringan dipasang peralatan pemutus (PMT), atau pemisah (PMS). Sehingga ketika gangguan terjadi, dan sistem sudah mengisolir gangguan tersebut, maka PMT, dan PMS ditutup agar penyaluran energi listrik menuju jaringan yang tidak mengalami gangguan tidak terputus (Syahputra, 2015).

Adapun sistem *loop* memiliki kelebihan berupa mutu, serta kontinuitas penyaluran energi listrik yang lebih baik, dikarenakan sistem ini memiliki dua buah sumber dimana jalur pengisian yang satu dapat bertindak sebagai cadangan, sehingga keandalan sistem ini juga relatif terjamin. Oleh sebab itu, sistem ini biasanya diterapkan secara khusus untuk melayani kebutuhan beban yang penting seperti instansi pemerintahan, rumah sakit, dan lain-lain (Kurniawan, 2016).

3. Sistem *Tie Line*

Sistem distribusi ini disebut juga dengan sistem hantaran penghubung. Seperti halnya pada sistem *loop*, sistem hantaran penghubung juga diterapkan bagi pelanggan khusus yang mewajibkan penyaluran energi listrik tidak boleh terputus, contohnya yaitu rumah sakit, bandar udara, dan sebagainya. Persyaratan konstruksi untuk sistem ini yaitu paling tidak tersedia dua buah penyulang yang terpasang peralatan berupa *Automatic Transfer Switch*, atau *Automatic Change Over Switch*, dengan setiap *feeder* terhubung kepada gardu pelanggan khusus tersebut. Hal ini bertujuan agar jika terjadi gangguan pada salah satu *feeder*, maka peyaluran energi listrik dapat dialihkan ke *feeder* lainnya dalam waktu singkat, sehingga lamanya waktu gangguan yang terjadi dapat ditekan serendah mungkin. Selain itu, dengan menggunakan sistem *tie line* maka pelayanan darurat untuk gardu iduk dapat ditingkatkan (Haq, 2016). Berikut gambar konfigurasi sistem *tie line*.



Gambar 2.9 Sistem Distribusi *Tie Line*

Sumber: <https://goo.gl/AhRDPB>, diakses pada tanggal 17 April 2018

4. Sistem *Spindel*

Sistem distribusi *spindel* adalah sistem distribusi yang berasal dari perpaduan dari sistem distribusi *loop* dan *radial* yang kemudian dikembangkan lebih lanjut. Sistem distribusi *spindel* umumnya memiliki beberapa *feeder* aktif serta *feeder* cadangan (*express*). Selain itu pada sistem *spindel*, keluaran saluran dari gardu induk terlebih dahulu diarahkan menuju gardu hubung, selanjutnya dari gardu hubung barulah diteruskan menuju salah satu saluran yang disebut *express feeder* (Saputra, 2016). Penyulang tersebut terbagi dalam dua bagian, yakni.

a. *Express Feeder* (Penyulang Cadangan)

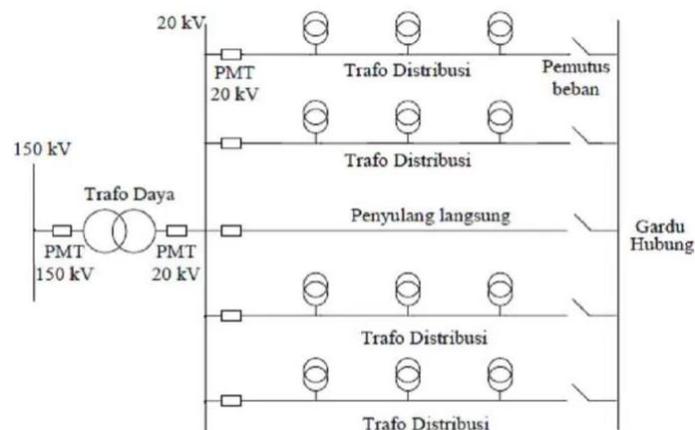
Feeder ini saat kondisi normal tidak teraliri arus beban, serta hanya bertindak sebagai cadangan guna memasok energi listrik dari gardu hubung menuju *feeder* tertentu yang mengalami gangguan. Oleh karena itu berdasarkan pada konstruksinya, *express feeder* dihubungkan secara langsung dari gardu induk menuju gardu hubung dalam kondisi tidak berbeban.

b. *Working Feeder* (Penyulang Kerja)

Feeder ini digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sumber menuju pusat beban, sehingga saat dioperasikan *feeder* ini dalam kondisi berbeban. Adapun sistem ini dalam kondisi normal beroperasi dengan cara *radial*, sedangkan

saat kondisi darurat sistem beroperasi secara loop melalui saluran cadangan, serta gardu hubung.

Selain itu, sistem *spindel* umumnya menggunakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) sehingga dinilai sangat cocok untuk diterapkan pada area perkotaan dengan beban yang tersebar. Kelebihan yang dimiliki dari sistem *spindel* yaitu memiliki mutu serta keandalan pelayanan yang tinggi, dengan nilai *voltage drop*, serta *losses* yang terjadi relatif kecil. Namun kelemahan dari sistem ini yaitu kapasitas beban disetiap *feeder* cukup terbatas, biaya investasi mahal, serta sangat menuntut pekerja lapangan yang terampil. Berikut konfigurasi sistem ini.



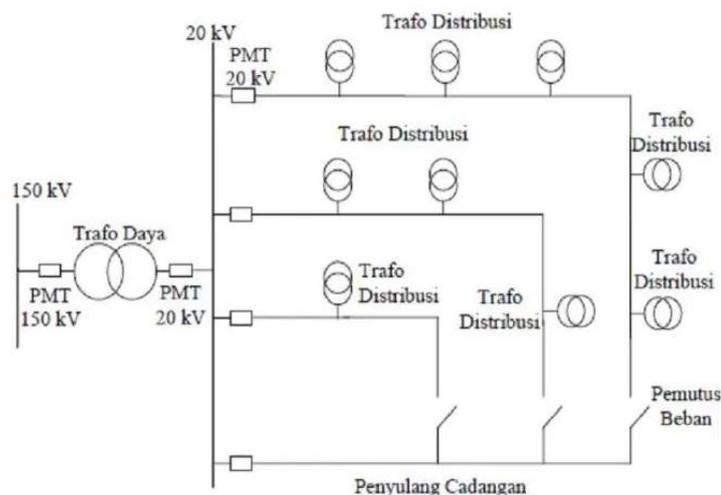
Gambar 2.10 Sistem Distribusi *Spindel*

Sumber: <https://goo.gl/AhRDPB>, diakses pada tanggal 17 April 2018

5. Sistem *Mesh*

Sistem *mesh* atau sering disebut juga dengan sistem gugus/*kluster* adalah merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem *spindel*. Perbedaan dari sistem *mesh* yaitu *express feeder* diberi beban yang sama layaknya *working feeder*. Sistem *mesh* juga memiliki mutu, dan keandalan penyaluran yang lebih baik dan dapat mengikuti pertumbuhan beban jika dibandingkan dengan sistem distribusi *loop* ataupun *radial*, oleh sebab itulah sistem *mesh* umumnya lebih banyak diterapkan pada area perkotaan besar dengan kerapatan beban yang relatif tinggi. Adapun

untuk kekurangan dari penggunaan sistem *mesh* yaitu metode dalam mengoperasikannya cukup sukar, biaya investasi mahal, dan sebagainya. Selain itu, pada sistem *mesh* terpasang saklar pemutus beban, serta *express feeder*. Hal tersebut bertujuan agar saat terjadi gangguan di salah satu *feeder* maka *exprees feeder* tersebut akan mengambil alih penyaluran energi listrik menuju pelanggan (Saputra, 2016). Berikut adalah gambar konfigurasi pada sistem *mesh* atau gugus.



Gambar 2.11 Sistem Distribusi *Mesh*

Sumber: <https://goo.gl/AhRDPB>, diakses pada tanggal 17 April 2018

2.2.4 Peralatan Pengaman pada Sistem Distribusi

Sistem proteksi tenaga listrik dapat diartikan sebagai sistem pengaman yang dipasang pada sistem transmisi, maupun distribusi, serta pada generator listrik, dan transformator tenaga, yang mana sistem pengaman ini bertanggung jawab dalam membatasi zona yang mengalami gangguan dengan zona yang tidak terganggu agar sistem penyaluran tenaga listrik tetap dapat bekerja. Jadi pada dasarnya, sistem proteksi diterapkan untuk melakukan pengamanan yang mencakup keseluruhan sistem tenaga listrik agar dapat menjaga mutu pelayanan, serta keandalan penyaluran energi listrik kepada konsumen (Sarimun, 2012).

Adapun dalam rangka untuk menjamin serta menjaga mutu, dan keandalan penyaluran energi listrik kepada pelanggan secara berkesinambungan maka diperlukan suatu sistem proteksi untuk mengatasi berbagai macam gangguan yang

sering terjadi pada sistem distribusi. Sistem proteksi pada jaringan distribusi diharapkan memiliki kinerja dan koordinasi yang baik dalam mendeteksi, menanggulangi, maupun mengisolir gangguan yang terjadi (bersifat temporer, ataupun permanen) agar peralatan pada jaringan terhindar dari kerusakan serta tidak diperlukan pemadaman listrik kepada konsumen (Kurniawan, 2016). Berikut beberapa peralatan proteksi yang umumnya digunakan pada jaringan distribusi.

1. *Fuse Cut Out* (FCO/Pelebur)

Fuse Cut Out atau juga sering disebut dengan pelebur merupakan perpaduan dari peralatan pelindung dengan pemutus rangkaian. FCO pada dasarnya dapat melebur (*expulsion*) karena dilengkapi dengan *fuse link* untuk mengamankan jaringan apabila terdapat arus lebih yang mengalir. Dengan menghitung jumlah arus (beban) maksimal yang mampu dialirkan pada jaringan yang diamankan maka dapat ditentukan besar *fuse link* yang dibutuhkan (Kurniawan, 2016).

Adapun karakteristik FCO berdasarkan pada prinsip *thermal*, dimana saat gangguan hubung singkat atau beban lebih yang terjadi dapat menyebabkan *fuse* langsung melebur karena dialiri arus melebihi nilai KHA-nya (Kemampuan Hantar Arus). Selain itu, ketika elemen lebur terputus maka dapat menimbulkan loncatan bunga api yang melalui batang lebur, oleh sebab itu hendaknya pada batang atau anak pelebur dilengkapi dengan pasir silika untuk memadamkan loncatan bunga api yang terjadi (Sarimun, 2012).

2. *Recloser* (Penutup Balik Otomatis)

Recloser atau sering juga disebut dengan Penutup Balik Otomatis/PBO merupakan peralatan proteksi arus lebih yang secara otomatis membuka menutup kembali dimana waktu kerjanya dapat diatur terutama digunakan untuk meniadakan gangguan sementara. *Recloser* umumnya dilengkapi dengan indikator arus lebih, *setting* waktu kerja, dan penutupan kembali secara otomatis. Konstruksi kontak-kontak pada suatu *Recloser* dimungkinkan untuk mampu terbuka secara permanen setelah beberapa kali menutup-membuka secara otomatis, kondisi ini dinamakan dengan *lock-out* (Kurniawan, 2016). Jadi, saat terdapat gangguan temporer maka kontak-kontak pada *Recloser* akan secara otomatis terbuka dan tertutup kembali

jika gangguan berhasil diatasi. Sedangkan saat terjadi gangguan permanen, maka kontak-kontak pada *Recloser* akan tetap terbuka atau memasuki kondisi *lock out* agar zona yang masih terganggu dapat terisolasi sehingga gangguan tidak menyebar ke jaringan lain yang masih bekerja dengan normal. Hingga gangguan berhasil diatasi barulah kontak-kontak tersebut kembali menutup (Perdana, 2013).

Umumnya, dikarenakan *setting* waktu kerja OCR/GFR pada sumber adalah minimal 0,3 sekon, maka jika terdapat arus gangguan dalam waktu singkat (kurang dari 0,3 sekon), kemungkinan OCR/GFR tidak memberikan instruksi pada pemutus tenaga untuk *trip*. Jika gangguan tersebut terjadi secara terus menerus dan tidak ditanggulangi maka akan membahayakan bagi sistem. Oleh karena itu, diperlukan peralatan proteksi berupa *Recloser* dengan karakteristik jika terjadi gangguan dalam waktu singkat maka *relay* akan *trip*, dan jika gangguan berhasil diatasi maka *relay* dapat kembali masuk (Sarimun, 2012).

3. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga dinamakan juga dengan *Circuit Breaker/CB*, merupakan peralatan tenaga berupa *switch/saklar* yang beroperasi secara otomatis untuk memutus aliran listrik di saluran dengan kondisi berbeban ketika terjadi gangguan *internal* ataupun *external*. Pada prakteknya di lapangan, *Circuit Breaker* bekerja dengan dilengkapi peralatan indikator terjadinya gangguan arus lebih seperti OCR (*Over Current Relay*), dan GFR (*Ground Fault Relay*). Selain itu, dikarenakan saat *Circuit Breaker* beroperasi dapat mengakibatkan munculnya loncatan bunga api maka *Circuit Breaker* juga dilengkapi dengan pemadam loncatan bunga api seperti udara, vakum, gas SF₆, dan minyak (Kurniawan, 2016).

4. Pemisah (PMS)

PMS dinamakan juga dengan sebutan DS (*Disconnecting Switch*) merupakan peralatan tenaga berupa *switch/saklar* yang dioperasikan untuk memutus serta menghubungkan jaringan dalam kondisi tanpa arus (tidak berbeban). Adapun *Disconnecting Swicth* biasanya dioperasikan saat dilakukan pemeliharaan rutin jaringan dari pihak PLN (Kurniawan, 2016).

Selain itu, demi alasan keselamatan dan keamanan pengoperasian, maka secara visual kontak-kontak DS harus dapat terlihat saat kondisi tertutup dan membuka. Tidak seperti CB, pada DS tidak terdapat proses peredaman loncatan bunga api. Adapun dalam pengoperasiannya, CB dan DS saling berpasang-pasangan sebagaimana fungsinya pada rangkaian sistem. Jika menghubungkan dari rel (jaringan) menuju beban, maka pengoperasian DS terlebih dulu dilakukan, selanjutnya barulah menyusul pengoperasian CB. Hal yang sama juga berlaku untuk sebaliknya, jika melepaskan dari rel (jaringan) menuju beban, maka terlebih dulu CB dioperasikan (mematikan/kondisi *off*), barulah selanjutnya DS dioperasikan (dimatikan/kondisi *off*). Susunan pengoperasian tersebut tidak boleh sampai tertukar karena dapat menyebabkan DS mengalami kebakaran mengingat DS memutuskan jaringan saat keadaan tidak berbeban (Perdana, 2013).

5. Saklar Seksi Otomatis (SSO)

Saklar Seksi Otomatis atau dinamakan juga dengan *Sectionalizer* merupakan peralatan proteksi yang bertugas untuk memutuskan rangkaian agar jaringan utama dapat dipisahkan menjadi beberapa seksi otomatis. Hal tersebut bertujuan agar zona terjadinya gangguan permanen dapat dilokalisasi sekecil-kecilnya. Adapun penerapan SSO biasanya dipasang di jaringan distribusi 20 kV tipe AVS. *Automatic Vacuum Switch* (AVS) akan terbuka ketika kondisi rangkaian tanpa tegangan, namun jika rangkaian dalam kondisi dialiri tegangan maka rangkaian harus dapat ditutup oleh AVS saat kondisi hubung singkat. Selain itu, AVS dapat dioperasikan untuk membuka rangkaian saat kondisi berbeban, dengan prinsip kerjanya berdasarkan pada pendeteksian tegangan (Kurniawan, 2016).

6. Saklar Beban (SB)

Saklar beban atau dinamakan juga dengan *Load Break Switch/LBS*, merupakan peralatan proteksi berupa switch/saklar yang bertugas untuk membatasi zona yang mengalami gangguan, serta sebagai penghubung antar penyulang saat kondisi darurat pada sistem distribusi *loop*. *Load Break Switch* umumnya dipasang diatas tiang jaringan dengan tuas penggeraknya terletak dibawah, selain itu juga

dapat diterapkan pada jaringan yang lokasinya berdekatan dengan sumber beban (Kurniawan, 2016).

7. *Arrester*

Arrester atau disebut juga dengan *Lightning Arrester* merupakan peralatan proteksi yang bertanggung jawab dalam mengamankan jaringan saat terjadi gangguan tegangan lebih yang disebabkan sambaran petir/*flash over*, serta surja hubung/*switching surge* pada jaringan. Pada dasarnya, *Lightning Arrester* akan menjadi jalur yang dilewati oleh tegangan lebih agar tidak sampai menyebabkan kerusakan pada peralatan di jaringan, dan aliran daya sistem dengan frekuensi 50Hz tidak terganggu. Oleh karena itu, pada kondisi normal *Arrester* akan bertindak sebagai isolator, sedangkan saat terjadi gangguan tegangan lebih maka *Arrester* akan bertindak sebagai konduktor untuk menyalurkan arus yang tinggi menuju pentanahan agar dapat dinetralkan, ketika gangguan berhasil diatasi maka *Arrester* akan kembali bertindak menjadi isolator (Suswanto, 2009).

2.2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi

Pada prakteknya di lapangan, berbagai macam gangguan cukup sering terjadi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik. Gangguan pada sistem distribusi adalah kondisi yang menyebabkan terganggunya sistem distribusi sehingga memicu relay proteksi yang terpasang pada sistem tersebut bekerja untuk mengamankan dan mengisolir gangguan yang terjadi dimana hal tersebut dapat mengakibatkan adanya pemutusan aliran listrik kepada pelanggan selama kurun waktu tertentu. Apabila relay proteksi, serta peralatan pengaman lainnya tidak bekerja dengan baik dan menyebabkan gangguan terjadi secara terus-menerus maka dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang terpasang di sistem itu sendiri (Haq, 2016).

Umumnya, gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi ditemukan pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang biasanya tidak menggunakan isolasi, tidak seperti saluran kabel tanah (SKTM) yang memakai pembungkus berupa isolasi. Adapun sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dikarenakan pengaruh dari luar yang dapat berupa cuaca ekstrim seperti hujan yang

diserta angin kencang, pohon tumbang, benda asing, sambaran petir, binatang, maupun kerusakan pada peralatan. Di samping itu juga terdapat gangguan dari arah dalam seperti malfungsi peralatan yang terpasang pada sistem, tegangan dan arus berlebih, *short circuit*, kegagalan isolasi, dan lain-lain. Selain itu, berdasarkan durasinya, gangguan pada sistem distribusi terbagi menjadi dua jenis yaitu gangguan bersifat temporer, dan gangguan yang bersifat permanen (Suswanto, 2009). Berikut dapat dijelaskan lebih lanjut mengenai dua jenis gangguan tersebut.

1. Gangguan Temporer

Gangguan temporer terjadi dalam waktu yang tidak lama. Gangguan ini biasanya hilang dengan sendirinya, selain itu juga dapat diatasi dengan cara memutus zona yang mengalami gangguan dari sumber tegangannya dalam waktu singkat untuk kemudian dihubungkan kembali. Jika gangguan ini sering muncul dan tidak diatasi dengan baik maka dapat merusak peralatan yang terpasang hingga akhirnya menyebabkan gangguan yang sifatnya permanen. Gangguan temporer dapat berupa ranting pohon yang bersentuhan dengan jaringan, hewan, dan layangan atau balon udara yang tersangkut di jaringan (Suswanto, 2009).

2. Gangguan Permanen

Gangguan permanen tidak seperti gangguan temporer yang dapat hilang dengan sendirinya. Oleh karena itu, diperlukan adanya tindakan untuk meniadakan sebab terjadinya gangguan terlebih dulu agar sistem dapat kembali bekerja dengan baik salah satunya yaitu melalui perbaikan. Beberapa bentuk gangguan permanen yakni seperti terputusnya penghantar, dan *short circuit* (Suswanto, 2009).

2.2.6 Persyaratan Sistem Distribusi

Dalam rangka untuk menjaga tingkat mutu, keandalan, maupun pelayanan, dan kontinuitas penyaluran energi listrik kepada konsumen, maka dibutuhkan adanya suatu ketentuan yang mengatur sistem distribusi energi listrik dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang harus dipenuhi baik itu dari segi teknis, ekonomis, maupun sosial agar mampu memenuhi standar mutu yang berlaku.

Berikut adalah beberapa persyaratan yang harus diperhatikan dalam sistem distribusi energi listrik (Suswanto, 2009).

1. Keandalan Sistem

Faktor-faktor yang meliputi keandalan suatu sistem distribusi energi listrik terbagi menjadi dua, antara lain sebagai berikut.

- a. Sistem distribusi energi listrik harus mampu menjaga keberlangsungan pasokan energi listrik kepada pelanggan dalam waktu 24 jam. Untuk memenuhi kondisi ini dinilai cukup berat, dikarenakan harus menjaga kontinuitas penyaluran maka sistem pembangkit harus dapat memastikan bahwa energi listrik yang dibangkitkan dapat memenuhi kebutuhan beban, selain itu kualitas penyaluran dari sistem distribusipun harus terjamin.
- b. Sistem proteksi pada jaringan distribusi memiliki kinerja dan koordinasi yang baik dalam mendeteksi, mengisolir, maupun menanggulangi gangguan yang terjadi dengan baik dan dalam waktu yang singkat agar tidak diperlukan pemutusan aliran listrik kepada konsumen.

2. Kualitas Sistem

Berikut adalah beberapa faktor terkait kualitas sistem distribusi.

- a. Stabilitas tegangan berupa *voltage regulator* harus bekerja dengan baik untuk dapat menjamin bahwa mutu tegangan yang disalurkan menuju pusat-pusat beban tetap stabil, dan memenuhi standar minimal yang berlaku.
- b. Berdasarkan IEC *Publication 28/1967*, batasan minimal untuk *voltage drop* yang terjadi adalah 10 % dari tegangan kerja sistem bagi setiap zona beban. Oleh karena itu, perlu adanya peralatan penstabil tegangan guna menjaga stabilitas aliran tegangan pada zona beban yang dinilai cukup padat.
- c. Kualitas berbagai peralatan yang terdapat pada sistem distribusi harus dapat menanggulangi tegangan lebih yang terjadi.

3. Keselamatan Sistem dan Publik

Beberapa faktor terkait keselamatan baik untuk sistem distribusi itu sendiri maupun bagi lingkungan di sekitarnya terbagi menjadi dua, yaitu.

- a. Peralatan serta perlengkapan jaringan yang digunakan harus memiliki mutu yang baik sehingga mampu menanggulangi gangguan dalam waktu yang singkat agar terjaminnya keselamatan bagi sistem di jaringan. Oleh sebab itu, perlu adanya penjadwalan yang baik untuk dilakukan pemeriksaan dan peninjauan kembali setiap peralatan pada sistem distribusi baik yang utama maupun pendukung.
- b. Guna menjamin keselamatan penduduk di sekitar jaringan distribusi, maka perlu adanya pemasangan penanda atau rambu-rambu peringatan terkait bahaya listrik.

4. Pemeliharaan Sistem

Berikut ini merupakan beberapa faktor terkait pemeliharaan sistem.

- a. Dalam rangka menjaga kualitas penyaluran listrik serta meningkatkan umur teknis dari peralatan yang terpasang pada sistem distribusi, maka diperlukan penjadwalan yang baik dan berkesinambungan dalam melakukan pemeliharaan terpadu, baik itu berupa perawatan maupun penggantian komponen.
- b. Penyediaan setiap peralatan listrik yang diperlukan harus sesuai dengan spesifikasi komponen yang digunakan agar diperoleh mutu sistem yang baik, serta ekonomis.

5. Perencanaan Sistem

Sistem jaringan distribusi hendaknya dirancang sebaik mungkin dengan mempertimbangkan aspek fleksibel apabila diperlukan adanya peningkatan, dan pengembangan lebih lanjut.

2.2.7 Pemeliharaan Sistem Distribusi

Pemeliharaan sistem distribusi merupakan suatu kegiatan atau pekerjaan yang ditujukan dalam rangka untuk menjaga mutu pelayanan, dan keandalan penyaluran energi listrik kepada konsumen agar dapat berlangsung secara berkesinambungan dimana angka terjadinya pemadaman atau pemutusan aliran listrik kepada pelanggan dapat ditekan serendah mungkin. Adapun agar mutu atau

keandalan penyaluran dapat terjaga maka dalam kegiatan pemeliharaan umumnya dilakukan inspeksi kondisi peralatan secara berkala, perbaikan, serta penggantian peralatan listrik untuk menjaga kinerja peralatan tersebut tetap optimal dan meningkatkan umur teknisnya. Selain itu, pada prakteknya di lapangan, kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi dapat dilakukan dengan, atau tanpa pemadaman aliran listrik. Namun, untuk pemeliharaan dengan pemutusan aliran listrik hendaknya sedapat mungkin dihindari (Permen ESDM No.04: 2009). Pemeliharaan sistem distribusi tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu terdiri dari pemeliharaan rutin, korektif, serta darurat.

1. Pemeliharaan Rutin (*Preventive Maintenance*)

Preventive Maintenance atau pemeliharaan rutin adalah kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi yang dilakukan secara terus-menerus, dan berkala, dengan maksud agar dapat menjaga kinerja sistem distribusi tetap optimal. Dalam pelaksanaannya, *preventive maintenance* terbagi menjadi dua yakni (Rifqi, 2010).

a. Pemeriksaan Rutin

Pemeriksaan rutin merupakan kegiatan pemeriksaan jaringan distribusi yang dilakukan melalui inspeksi (secara visual) yang kemudian dilanjutkan dengan kegiatan pemeliharaan sesuai dengan rekomendasi dari hasil inspeksi yang telah dilakukan (berupa pembersihan, penggantian, serta uji coba). Hal ini dilakukan dengan harapan dapat memperkecil penyebab munculnya gangguan pada jaringan.

b. Pemeriksaan Sistematis

Pemeriksaan Sistematis merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebagai tindak lanjut untuk menemukan kerusakan yang tidak ditemukan pada saat dilakukan kegiatan inspeksi.

2. Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Corrective Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan jaringan distribusi yang dilakukan sebagai usaha dalam perbaikan kerusakan atau untuk melakukan perubahan/penyempurnaan. Perbaikan kerusakan yang dimaksudkan adalah untuk menjaga serta mengembalikan keadaan jaringan yang terganggu hingga menuju kondisi semula dengan kapasitas yang sama. Kegiatan yang termasuk perbaikan

kerusakan yakni seperti mengganti *bushing* transformator yang rusak, mengganti kabel yang meleleh, mengganti tiang yang patah, serta memperbaiki JTM yang terputus (Rifqi, 2010). Adapun maksud dari perubahan/penyempurnaan adalah usaha yang dilakukan dalam rangka untuk menyempurnakan sistem atau komponen jaringan distribusi melalui penggantian/perubahan peralatan yang ditujukan agar dapat meningkatkan kinerja, dan keandalan sistem tanpa perlu mengubah kapasitas peralatan sistem yang ada. Kegiatan yang termasuk dalam pekerjaan tersebut seperti rehabilitasi gardu, jaringan tegangan menengah, dan jaringan tegangan rendah.

3. Pemeliharaan Darurat (*Emergency Maintenance*)

Emergency Maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan tujuan untuk perbaikan kerusakan pada jaringan yang disebabkan karena bencana alam seperti banjir bandang, badai, kebakaran, letusan gunung api, gempa bumi, dan lain-lain. Umumnya, kerusakan tersebut terjadi secara tiba-tiba, sehingga kegiatan pemeliharaan ini perlu segera dilakukan untuk dapat menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan (Rifqi, 2010).

Selain itu, dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan diperlukan suatu program, serta penjadwalan yang tersusun dengan baik agar pemeliharaan dapat dilakukan secara periodik sehingga mutu, dan keandalan penyaluran tetap terjaga. Siklus pelaksanaan kegiatan pemeliharaan terbagi menjadi empat waktu, yakni pemeliharaan Triwulan, Semesteran, Tahunan, dan Tiga Tahunan (Rifqi, 2010).

2.2.8 Keandalan Sistem Distribusi

Tingkat keandalan sistem distribusi dapat diartikan sebagai suatu tolak ukur tingkat pelayanan pemenuhan kebutuhan energi listrik dari sistem pembangkitan hingga menuju konsumen. Beberapa aspek seperti lamanya waktu pemadaman, frekuensi terjadinya pemadaman, serta waktu yang diperlukan untuk memulihkan kondisi sistem dari pemadaman (*restoration*) umumnya digunakan untuk mengukur tingkat keandalan suatu sistem distribusi (Hartati, 2007). Selain itu, tingkat keandalan sistem distribusi tidak dapat terlepas dari masalah

pemadaman aliran listrik yang umumnya disebabkan karena terjadinya gangguan pada sistem. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa tingkat keandalan sistem distribusi berbanding terbalik dengan tingkat pemadaman listrik. Semakin rendah tingkat pemadaman aliran listrik terhadap beban yang dilayani, maka tingkat keandalan semakin tinggi, hal ini berlaku untuk sebaliknya (Kurniawan, 2016). Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keandalan suatu sistem distribusi, antara lain sebagai berikut.

1. Konfigurasi Sistem Distribusi

Pemilihan konfigurasi dapat mempengaruhi keandalan suatu sistem distribusi. Sebagai perbandingan, konfigurasi sistem distribusi dengan tipe *Loop* memiliki keandalan yang lebih baik daripada sistem konfigurasi tipe *Radial* karena pada konfigurasi sistem distribusi tipe *Loop* lebih memungkinkan bagi titik beban dapat dilayani melalui dua arah saluran.

2. Konstruksi JTM

Konstruksi suatu JTM yang memakai saluran udara dengan kabel penghantar yang dilengkapi isolasi tentunya memiliki tingkat keandalan yang lebih baik daripada saluran udara dengan kabel penghantar tipe telanjang (tidak berisolasi). Hal tersebut dikarenakan pada saluran udara dengan kabel penghantar telanjang memiliki kemungkinan yang lebih tinggi terhadap gangguan eksternal.

3. Panjang Saluran

Pada penggunaan jenis penghantar yang sama, panjang saluran berbanding lurus dengan tingkat gangguan yang terjadi, dimana semakin panjang suatu saluran distribusi maka semakin tinggi pula tingkat gangguan yang dapat terjadi pada saluran. Hal yang sama juga berlaku sebaliknya.

4. Peralatan Proteksi

Penentuan peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi juga perlu dipertimbangkan dengan baik dan perlu memperhatikan aspek ekonomis. Sebagai contoh, untuk mengamankan jaringan dari gangguan yang bersifat

temporer maka dapat digunakan peralatan pengaman berupa *Recloser* dikarenakan *Recloser* dapat menutup kembali secara otomatis jika gangguan sudah berhasil diatasi sehingga jaringan distribusi dapat normal kembali. Disamping itu, dengan menggunakan *Recloser* maka durasi pemadaman yang terjadi pada suatu penyulang juga dapat berkurang, sehingga nilai SAIDI penyulang juga dapat ditekan serendah mungkin agar memenuhi standar yang berlaku.

Namun, dikarenakan *Recloser* memiliki harga yang relatif mahal, maka umumnya pada titik percabangan antara saluran utama dengan saluran cabang juga dipasang peralatan pengaman berupa *FCO/Fuse Cut Out* atau pelebur yang berfungsi untuk mengamankan jaringan dari gangguan bersifat permanen.

Selain itu, peralatan proteksi lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi adalah Saklar Seksi Otomatis (SSO), atau biasa disebut juga dengan *Sectionalizer*. Melalui penerapan *Sectionalizer* maka jaringan utama penyulang dapat dibagi ke dalam beberapa seksi otomatis, dengan begitu jika terjadi gangguan permanen maka zona yang terganggu dapat dibatasi sekecil mungkin agar jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dapat berkurang. Apabila jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman mampu diminimalisir maka tingginya nilai SAIFI, dan SAIDI suatu penyulang juga dapat diturunkan agar memenuhi standar yang berlaku.

Disamping itu, berdasarkan pada standar IEEE P1366 terdapat pula beberapa aspek yang mempengaruhi keandalan sistem distribusi yaitu sebagai berikut (Arifani, dan Winarno, 2013):

1. *Interruption of Supply* (Pemadaman) merupakan kondisi terputusnya penyaluran energi listrik terhadap pusat-pusat beban yang dilayani dikarenakan terjadinya gangguan pada jaringan distribusi.
2. *Outage* (Keluar) merupakan kondisi saat suatu peralatan pada jaringan tidak bekerja sebagaimana mestinya yang disebabkan oleh berbagai kejadian yang berkaitan dengan peralatan tersebut. Kondisi ini dinilai dapat, atau tidak dapat mengakibatkan terjadinya pemutusan aliran listrik terhadap konsumen, tergantung dari sistem konfigurasi jaringan distribusi yang diterapkan.

3. *Interruption Duration* (Durasi Pemadaman) merupakan durasi waktu terjadinya pemadaman aliran listrik hingga pemadaman tersebut berakhir.
4. *Outage Duration* (Durasi Keluar) merupakan durasi waktu antara terjadinya kondisi *outage* pada suatu peralatan di jaringan hingga peralatan tersebut dapat kembali bekerja sebagaimana mestinya.
5. *Total Number of Costumer Served* (Total Pelanggan Dilayani) adalah jumlah keseluruhan pelanggan yang dilayani berdasarkan pada periode laporan akhir.
6. Periode Laporan, umumnya satu periode laporan dianggap sebagai satu tahun.

Tingkat kontinuitas mutu pelayanan dari sarana penyaluran tersusun berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk menanggulangi gangguan agar sistem dapat kembali menyalurkan energi listrik menuju pusat-pusat beban (Marzuki, 2016). Tingkatan-tingkatan tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Tingkat 1, kemungkinan pemadaman berlangsung selama berjam- jam, yakni waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pencarian serta perbaikan gangguan.
2. Tingkat 2, pemadaman terjadi dalam beberapa jam, yakni waktu yang dibutuhkan dalam mengirimkan petugas menuju zona yang mengalami gangguan guna melokalisir kerusakan yang terjadi serta memanipulasi guna menghidupkan sementara melalui saluran lainnya.
3. Tingkat 3, pemadaman terjadi dalam beberapa menit, yakni manipulasi yang dilakukan petugas jaga di gardu atau melakukan pendeteksian serta memanipulasi melalui jarak jauh.
4. Tingkat 4, pemadaman terjadi dalam beberapa detik, yakni memanipulasi dengan otomatis melalui *Distribution Control Center* (DCC).
5. Tingkat 5, tanpa terjadi pemadaman yakni sistem dilengkapi dengan instalasi cadangan yang terpisah dan otomatis melalui *Distribution Control Center*.

2.2.9 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Indeks keandalan merupakan penunjuk atau indikator yang digunakan dalam melakukan evaluasi tingkat keandalan sistem distribusi yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Adapun untuk melakukan pengukuran besar-

kecilnya tingkat pemutusan aliran listrik terhadap beban yang dilayani pada sistem distribusi umumnya menggunakan dua indikator yang sering digunakan yaitu indeks rata-rata frekuensi terjadinya pemadaman atau SAIFI, dan indeks rata-rata durasi lamanya waktu pemadaman atau SAIDI (SPLN 59, 1985:5).

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

SAIDI merupakan indeks keandalan yang menunjukkan rata-rata durasi waktu terjadinya pemadaman atau pemutusan aliran listrik terhadap beban yang dilayani, umumnya dinyatakan dalam waktu satu tahun. Berikut adalah persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung indeks SAIDI.

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

$$SAIDI = \frac{\sum(U_p \times N_p)}{N} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.1)}$$

Keterangan:

SAIDI = Durasi pemadaman (jam/per periode waktu)

Up = Jumlah durasi pemadaman

Np = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Jumlah pelanggan yang dilayani

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

SAIFI merupakan indeks keandala yang menunjukkan rata-rata frekuensi terjadinya pemadaman atau pemutusan aliran listrik terhadap beban yang dilayani, biasanya indeks ini dinyatakan dalam waktu satu tahun. Berikut ini adalah persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung indeks SAIFI.

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari perkalian frekuensi pemadaman dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_p \times N_p)}{N} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.2)}$$

Keterangan:

SAIFI = Frekuensi pemadaman (kali/per periode waktu)

λ_p = Jumlah frekuensi pemadaman

N_p = Jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman

N = Jumlah pelanggan yang dilayani

2.2.10 Standar Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Standar nilai indeks keandalan dimaksudkan sebagai ketetapan nilai minimum yang hendaknya dapat dipenuhi oleh suatu sistem distribusi agar keandalan penyaluran energi listrik kepada konsumen dapat terjamin. Selain itu, standar keandalan juga bertindak sebagai tolak ukur terhadap kemajuan serta peningkatan mutu pelayanan yang akan dicapai oleh PLN. Berikut adalah tiga standar yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu.

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

Adapun standar keandalan yang ditetapkan oleh SPLN bertujuan untuk menetapkan, serta menjelaskan tingkat keandalan sistem distribusi energi listrik. Selain itu juga bertujuan untuk memberi pegangan yang terarah dalam melakukan penilaian penampilan, serta menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem distribusi, dan sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai oleh pihak PLN (SPLN 59:1985).

Tabel 2.2 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2:1986

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIDI	21,09	Jam/Pelanggan/Tahun
SAIFI	3,2	Kali/Pelanggan/Tahun

2. Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan standar atau ketetapan nilai indeks keandalan IEEE std 1366-2003.

Tabel 2.3 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIDI	2,30	Jam/Pelanggan/Tahun
SAIFI	1,45	Kali/Pelanggan/Tahun

3. Standar Target Kerja Keandalan Distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Martapura Tahun 2017

Berikut ini adalah standar target kerja keandalan distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Martapura pada tahun 2017.

Tabel 2.4 Target Kerja Keandalan Distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Martapura

Indikator	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	52,5	Kali/Pelanggan/Tahun
SAIDI	65,85	Jam/Pelanggan/Tahun