

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sesuai dengan topik yang akan dibahas penulis mengambil sumber referensi-referensi berdasarkan penelitian-penelitian pada karya ilmiah terdahulu di mana hal ini guna membatasi batasan masalah agar terfokus sesuai dengan penelitian ini, yang mana sumber referensi-referensi ini akan dijadikan penulis sebagai bahan tolak ukur pertimbangan dan perbandingan dalam suatu permasalahan dengan penelitian yang berkesesuaian dengan topik yang dibahas. Berikut sumber referensi-referensi yang dimaksud adalah :

- a. Siti Saodah Institut Sains & Teknologi AKPRIND (2008) pada Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi dengan topik *“Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI”* yang menjelaskan tentang indeks berdasarkan frekuensi gangguan dengan menggunakan teori perhitungan SAIDI dan SAIFI untuk dapat dikerucutkan dalam hasil telah memenuhi tingkat keandalannya atau tidak. Dalam penelitian yang telah dilakukannya dapat menghasilkan kesimpulan bahwa di PT. PLN (Persero) APJ Cimahi-UPJ Prima, menilai bahwasanya indikator tingkat keandalan sistem tenaga listrik dapat dikatakan andal berdasarkan frekuensi pemadaman listrik, dengan frekuensi pemadaman listrik pada sistem distribusi ($SAIFI_{SUTM}=5,063$ pemadaman/pelanggan/tahun) dapat dikatakan kurang andal karena nilainya melebihi batas maksimal dari nilai yang ditentukan, akan tetapi dari lama gangguan ($SAIDI_{SUTM}=3,604$ jam/pelanggan/tahun) dapat dikatakan masih andal dikarenakan nilainya tidak lebih dari batas maksimal yang telah ditentukan.
- b. K. Julianto, Deny Wiria Nugraha, A. Y. Erwin Dodu Universitas Tadulako pada Jurnal MEKTRIK Vol. 1 No. 1, September 2014, yang

telah melakukan penelitian dengan topik ***“Evaluasi Penggunaan SCADA Pada Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Area Palu”*** yang membahas keandalan pada sistem distribusi tenaga listrik pada PT. PLN (Persero) Area Palu dengan menghasilkan kesimpulan bahwa jaringan distribusi tenaga listrik area kota palu secara umum mengalami peningkatan indeks keandalan setelah terintegrasi dengan sistem SCADA dengan parameter indeks SAIDI, SAIFI, CAIDI, dengan prosentasi kenaikan 41,49% pada indeks SAIDI, 32,31% pada indeks SAIFI, dan 13,55% pada indeks CAIDI. Kemudian pada kesimpulan lainnya juga menyebutkan bahwa standar yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero) untuk indeks SAIDI, SAIFI, dan CAIDI di luar pulau Jawa maka hal ini masih dikatakan di bawah standar yang telah ditetapkan, yaitu pada indeks SAIDI sebesar 7,240 jam/tahun sedangkan menurut standar PT.PLN (Persero) adalah 4,7 jam/tahun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah tidak maksimalnya infrastruktur pendukung terintegrasinya sistem SCADA pada jaringan distribusi kota Palu.

- c. Dedy Syah Putra, Wahri Sunanda, dan Rudy Kurniawan Universitas Bangka Belitung pada Jurnal Ecotipe, Volume 2, Nomor 2, Oktober 2015, yang telah melakukan penelitian dengan topik ***“Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Pada Penyulang Ceko (Feeder 3) Gardu Induk Pangkal Pinang PLN Area Bangka”*** yang membahas keandalan sistem distribusi pada penyulang Ceko Feeder 3) Gardu Induk Pangkal Pinang PLN Area Bangka dengan menghasilkan kesimpulan bahwa pada penyulang Ceko (*feeder 3*) di Gardu Induk Pangkal Pinang PLN Area Bangka telah memenuhi SPLN No. 59 : 1985 untuk penyulang dengan pola radial , dengan standar nilai yang ditentukan adalah sebesar 3,84 kali/tahun untuk indeks SAIFI, 25,2 kali/tahun untuk indeks SAIDI, dan 6,5625 untuk indeks CAIDI. Sedangkan untuk nilai indeks keandalan sistem distribusi pada penyulang Ceko (*feeder 3*) Gardu Induk Pangkal Pinang PLN Area Bangka pada tahun 2014 setelah menggunakan sistem

SCADA telah memenuhi standar SPLN No. 59 : 1985 yaitu 25,2 kali/tahun dan 6,5625 untuk indeks CAIDI.

- d. Hayatul Illahi dan Noveri L. M Universitas Riau pada Jurnal Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017, yang telah melakukan penelitian dengan topik *“Analisa dan Evaluasi Penggunaan SCADA Pada Keandalan Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Area Pembagi Distribusi Riau dan Kepulauan Riau”* yang menjelaskan keandalan pada sistem distribusi berdasarkan indeks CAIDI dengan membandingkan suatu indeks yang menggunakan dan tanpa sistem SCADA. Pada penelitian yang telah dilakukannya menghasilkan kesimpulan bahwa pada sistem distribusi tenaga listrik pada APD Riau dan Kepulauan Riau mengalami peningkatan indeks keandalan setelah terintegrasi dengan menggunakan sistem SCADA dengan parameter indeks keandalan SAIDI, dengan besar kenaikan persentase yaitu sebesar 41,62%. Namun pada indeks SAIDI yang ditargetkan oleh PT. PLN (Persero) APD Riau dan Kepulauan Riau belum tercapai. Pada indeks target PT. PLN (Persero) APD Riau dan Kepulauan Riau yaitu 7, 11 jam/pelanggan sedangkan besarnya nilai SAIDI pada perhitungan sebesar 11,73 jam/pelanggan . Hal ini disebabkan karena infrastruktur sistem SCADA yang terintegrasi dengan sistem distribusi di PT. PLN (Persero) APD Riau dan Kepulauan Riau belum sepenuhnya memadai, serta pemeliharaan sistem yang kurang terjadwal dengan baik.

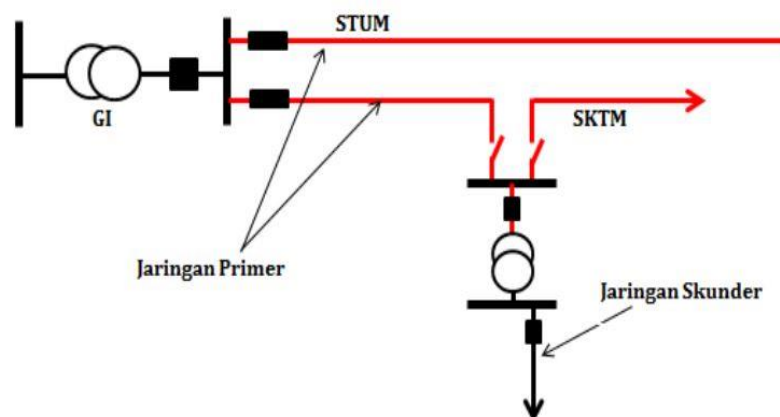
2.2. Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Suripto, 2014) sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

- a. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dan lain-lain menjadi energi listrik.
- b. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
- c. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.
- d. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

Atau dengan kata lain sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang mana sistem distribusi tenaga listrik adalah suatu proses penyaluran tenaga listrik dari sumber utama (pembangkit tenaga listrik) atau sumber listrik berdaya besar (*bulk power source*) hingga ke beban/konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik memiliki dua fungsi yaitu sebagai berikut :

- a. Suatu proses pembagian penyaluran tenaga listrik di tahap akhir (beban/konsumen).
- b. Suatu sistem tenaga listrik yang terdapat suatu sub sistem terhubung secara langsung dengan beban (konsumen), hal ini dikarenakan catu daya yang terdapat pada pusat-pusat beban/konsumen di atur melalui sistem jaringan distribusi.

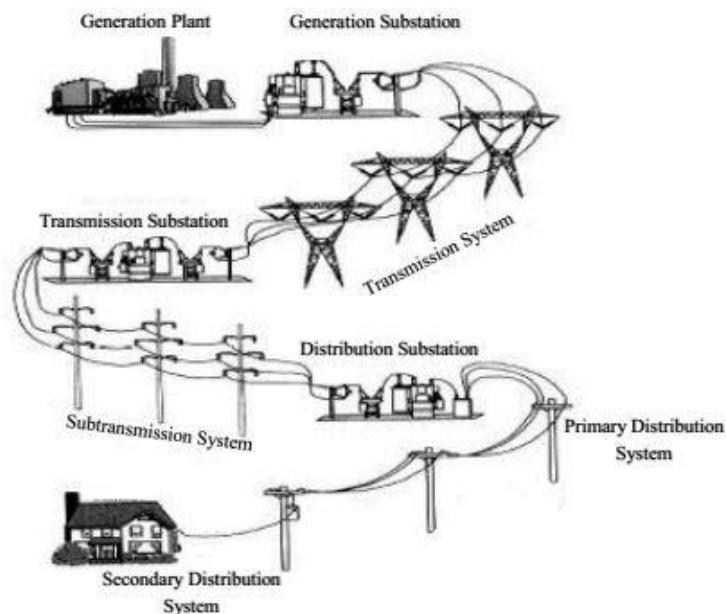


Gambar 2.1 *Single Line Diagram* Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV.

Sumber : (Heru & Noverly, 2016)

2.2.1 Komponen Sistem Tenaga Listrik

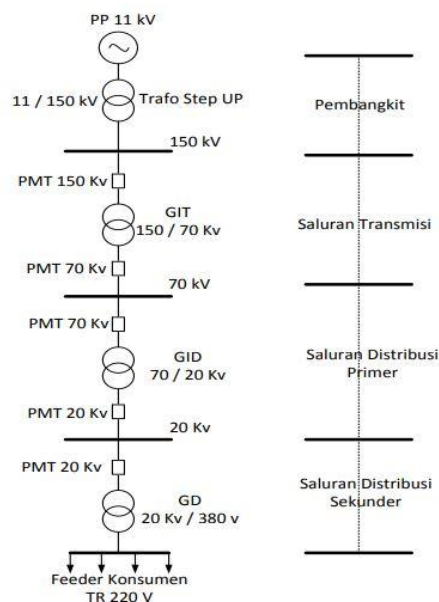
Pada suatu sistem tenaga listrik tentu merupakan suatu beberapa kumpulan komponen yang terdapat di dalamnya yang saling terhubung satu dengan yang lainnya seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban.



Gambar 2.2 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik.

Sumber : (Suswanto, 2009)

Pada proses pendistribusian tenaga listrik pada mulanya tenaga listrik dibangkitkan oleh sistem pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP, PLTGU, dan PLTG dengan daya listrik 11 kV yang kemudian tegangan yang telah dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dinaikkan terlebih dahulu oleh transformator penaik tegangan yang ada di pusat pembangkit, setelah tegangan dinaikkan selanjutnya tenaga listrik transmisikan. Pada sistem transmisi ini terdapat beberapa klasifikasi penyaluran melalui perangkat transmisi diantaranya Saluran Tegangan Tinggi (SUTT) dengan daya pengiriman 150 kV, Saluran Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan daya pengiriman 500 kV. Dari tenaga listrik yang di salurkan oleh sistem transmisi akan diterima oleh gardu induk untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer (SUTM) dengan daya listrik 20 kV. Kemudian dari tegangan yang berhasil di turunkan menjadi 20 kV di salurkan kembali ke di gardu induk distribusi di mana tegangan akan diturunkan kembali menjadi tegangan rendah atau tegangan kerja (SUTR) 380/220 Volt, yang selanjutnya tegangan tersebut dapat di distribusikan guna memenuhi kebutuhan beban-beban terpasang (konsumen).



Gambar 2.3 Diagram Garis Sistem Distribusi Tenaga Listrik Secara Umum.

Sumber : (Kadir, 2000)

Keterangan :

PP = Pembangkit Utama *Power Plant* GID = Gardu Induk Distribusi

GIT = Gardu Induk Transmisi GD = Gardu Distribusi

2.2.2 Kriteria Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Menurut (Suhadi, 2008) terdapat Kriteria dalam menentukan baik dan buruknya suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dinilai dari beberapa faktor diantaranya adalah :

- a. Kontinuitas pelayanan
- b. Fleksibilitas
- c. Kualitas daya
- d. Pertimbangan biaya (ekonomis)
- e. Kondisi (situasi dan lingkungan sekitar)

Suatu sistem distribusi tenaga listrik juga tentu harus dengan didasari suatu persyaratan yang diantaranya adalah :

- a. Regulasi tegangan yang tidak terlampau besar.
- b. Gangguan terhadap pelayanan tidak terlalu lama serta pembatasan daerah yang mengalami gangguan.
- c. Gangguan terhadap pelayanan (*interruption*) tidak terlalu sering.
- d. Biaya sistem harus seminimal mungkin.
- e. Sebisa mungkin sistem diatur untuk dapat fleksibel (mudah menyesuaikan terhadap suatu perubahan yang terdapat pada beban ataupun pada sistem), hal ini dikarenakan agar meminimalisir pembiayaan yang terlalu besar.

2.2.3 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Menurut (Suswanto, 2009) sistem jaringan tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga sampai pada pembebanan/konsumen pada tingkat tegangan yang ditentukan/dibutuhkan. Pada sistem tenaga listrik terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi, dan unit distribusi.

Pada sistem pendistribusiannya tenaga listrik dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tidak langsung.

a. Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini di pergunakan bilamana pada pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, secara konstruksi sistem pendistribusian langsung ini berada pada daerah pelayanan beban atau sekitar perkotaan.

b. Sistem Pendistribusian Tidak Langsung

Sistem pendistribusian tidak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang di pergunakan bilamana pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, maka dari pada itu sistem ini diperlukan jaringan transmisi sebagai sistem perantara sebelum terhubung pada jaringan distribusi guna memenuhi kebutuhan konsumen.

2.2.4 Klasifikasi Jaringan Distribusi

Menurut (Suswanto, 2009) Pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik terdapat beberapa klasifikasi dari beberapa jenis, yang diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan ukuran dan tegangan
- b. Berdasarkan ukuran arus

- c. Berdasarkan sistem penyaluran
- d. Berdasarkan bentuk jaringan

2.2.5 Berdasarkan Ukuran Tegangan

Berdasarkan ukuran tegangannya sistem pada distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua, diantara :

a. Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau yang sering dikenal dengan jaringan distribusi tegangan menengah (JDTM) ini terletak diantara gardu induk dengan gardu pembagi. Pada jaringan distribusi primer memiliki kapasitas tegangan yang lebih tinggi dari jaringan distribusi sekunder (tegangan beban/konsumen). Kapasitas tegangan yang ada pada jaringan distribusi primer adalah 20, 11,6, dan 6 kV. Pada jaringan distribusi primer terdapat beberapa komponen, yang diantaranya adalah :

- 1) Transformator Daya, di mana komponen ini berfungsi sebagai penurun tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
- 2) Pemutus Tegangan , berfungsi sebagai pengaman atau pemutus daya listrik.
- 3) Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya listrik.
- 4) Gardu Hubung, berfungsi sebagai penyalur daya listrik ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
- 5) Gardu Distribusi, berfungsi mengubah tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah, serta menyalurkan daya listrik ke beban.

b. Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau yang sering dikenal dengan jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) ini merupakan suatu sistem jaringan yang memiliki fungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke gardu distribusi yang mana gardu distribusi sendiri mengatur penyaluran ke pusat beban dengan kapasitas tegangan 380/220 Volt. Namun terdapat satu regulasi tegangan yang ada pada batas maksimum tegangan ini yaitu dengan diizinkan 3 – 4% lebih besar, hal ini ditetapkan karena sebanding dengan besarnya nilai jatuh tegangan (*drop voltage*) yang telah ditetapkan, bahwa rugi-rugi daya pada suatu sistem jaringan sebesar 15%. Dengan adanya regulasi tersebut diharapkan agar penyaluran tenaga listrik terhadap pusat-pusat beban/konsumen tidak terganggu.

Untuk menghubungkan daya listrik ke beban/konsumen maka sistem jaringan distribusi sekunder melalui peralatan-peralatan sebagai berikut :

- 1) Papan pembagi pada trafo distribusi
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP) ke beban/konsumen.
- 4) Alat pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse yang berfungsi sebagai pengamanan pada beban/konsumen.

2.2.6 Berdasarkan Ukuran Arus

Berdasarkan ukuran arus sistem jaringan distribusi terbagi menjadi dua macam, diantara :

a. Jaringan Distribusi Arus Bolak-balik (AC)

Dalam pemasangan suatu sistem tentu terdapat keuntungan dan kerugian, termasuk dalam ukuran arus pada sistem distribusi. Berikut adalah keuntungan dan kerugiannya :

Keuntungan :

- 1) Mudah dalam mentransformasikan tegangannya (*step-up/step-down*).
- 2) Mudah untuk menyalurkan tenaga listrik dalam jarak yang jauh.
- 3) Mudah untuk di paralel secara konfigurasi dengan pusat pembangkit tenaga listrik.
- 4) Dapat menyalurkan dengan satu saluran dalam tiga sampai empat tegangan, dikarenakan sistem yang dipakai adalah tegangan 3 fasa.

Kerugian :

- 1) Terjadinya arus pengisi (*charging current*) yang terlalu sering pada tegangan tinggi.
- 2) Pada kondisi dan sifat beban yang dapat berubah-ubah memerlukan stabilitas yang tinggi.
- 3) Pada tegangan tinggi membutuhkan tingkat tahanan isolasi yang tinggi.
- 4) Pada tegangan tinggi efek kulit (*skin effect*), induktansi, dan kapasitansi yang terlalu sering.

b. Jaringan Distribusi Arus Searah (DC)

Jaringan distribusi arus searah (DC) tidak terlalu banyak dipakai, meski demikian biasanya sistem ini terdapat hanya pada wilayah/daerah tertentu saja. Penggunaan arus searah (DC) ini dengan menyearahkan terlebih dahulu dari arus searah (AC) dengan menggunakan alat penyearah *converter*, serta untuk mengubah lagi menjadi arus searah (AC) menggunakan alat *inverter*. Seperti halnya penggunaan arus bolak-balik (AC), arus searah (DC) juga memiliki suatu keterbatasan dalam penerapan

sistemnya. Berikut adalah keuntungan dan kerugian dalam penerapan sistem distribusi menggunakan arus searah (DC), diantaranya :

Keuntungan :

- 1) Isolasi lebih sederhana.
- 2) Daya guna (efisiensi) lebih tinggi, dikarenakan faktor dayanya adalah = 1 (satu).
- 3) Stabilitas serta perubahan frekuensi jarang mengalami permasalahan meski dengan penyaluran jarak yang cukup jauh.
- 4) Pada arus pengisi (*charging current*) jarang terjadi permasalahan meski bertegangan tinggi.
- 5) Ekonomis, dengan ketentuan jarak lebih dari 1000 KM (saluran udara), dan 50 KM (saluran bawah tanah).

Kerugian :

- 1) Transformasi arus yang dilakukan agar arus AC menjadi arus DC atau sebaliknya memerlukan suatu alat pengubah (*converter/inverter*) yang dalam segi biaya alat tersebut terbilang mahal.
- 2) Pada saat tegangan naik maka jarak penyaluran semakin panjang, maka hal tersebut mengakibatkan jatuh tegangan (*drop voltage*) semakin tinggi.

2.2.7 Berdasarkan Jenis Sistem Penyaluran

Sistem penyaluran jaringan distribusi tenaga listrik, jaringan distribusi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

- a. Jaringan Hantaran Udara (*Over Head Line*)

Jaringan hantaran udara sering disebut juga sebagai saluran udara yang berfungsi penghantar energi listrik dengan media penghantar melalui

jalur udara. penggunaan pada jaringan ini biasanya terdapat pada jaringan tegangan menengah maupun tegangan rendah yang biasanya kita ketahui diluar bangunan yang di pasang di atas tiang-tiang listrik sebagai penyangganya.

Menurut (Hutahuruk, 1985) pada jaringan hantar udara sistem distribusi tenaga listrik terdapat beberapa jenis-jenis kawat penghantar yang digunakan , diantaranya adalah sebagai berikut :

1) AAC (*All Aluminium Conductor*)

AAC (*All Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang secara jenis bahannya seluruhnya menggunakan aluminium. Pada penghantar jenis ini bentuknya berurat dengan diameter antara 16 – 100 mm² .

2) AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)

AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) yaitu suatu kawat penghantar dengan seluruh bagian inti kabel yang terbuat dari campuran aluminium. Penghantar jenis ini mempunyai ukuran dengan diameter antara 16 – 500 mm², dengan bentuk fisik penghantar berurat banyak.

3) ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*)

ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*) yaitu suatu kawat penghantar aluminium berinti kawat berbahan baja. Penghantar ini memiliki ukuran dengan diameter 16 – 680 mm², dengan struktur bentuk serabut.

4) ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*)

ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*) yaitu suatu jenis kawat penghantar yang terbuat dari bahan aluminium yang diperkuat dengan bahan logam campuran.

5) BCC (*Bare Cooper Conductor*)

BCC (*Bare Cooper Conductor*) yaitu suatu jenis kawat penghantar tembaga, yang mempunyai struktur fisik yang padat dan berurat banyak dengan diameter 5 – 500 mm².

Menurut (Stevenson, 1994) terdapat beberapa keuntungan dan kerugian pada jaringan hantaran udara, diantaranya adalah :

Keuntungan :

- 1) Biaya pembangunan saluran udara lebih ekonomis daripada saluran kabel tanah.
- 2) Mudah mendeteksi bila terjadi gangguan teknis.
- 3) Mudah dalam hal perawatan teknis.
- 4) Mudah dalam perluasan sistem jaringan.

Kerugian :

- 1) Mudah terjadi gangguan pada jaringan, karena faktor alam dan faktor situasi lingkungan.
- 2) Tingkat kehilangan peralatan relatif tinggi karena peralatannya terpasang dalam jangkauan manusia yang cukup mudah.

b. Jaringan Hantaran Bawah Tanah (*Under Ground Line*)

Jaringan hantaran bawah tanah merupakan penghantar energi listrik, pada tegangan menengah atau tegangan rendah yang dipasang secara konstruksinya berada di bawah tanah. Pada penerapan jaringan hantar bawah tanah terdapat pada daerah dengan kerapatan beban tinggi, seperti pada perkotaan atau pada kawasan industri. Hal ini dikarenakan jaringan ini sangat tepat sekali pada penerapan perkotaan atau kawasan industri dikarenakan tidak mengganggu keindahan kota dan lebih aman dalam segi keamanan jaringan listrik.

Berikut keuntungan dan kerugian pada jaringan hantar bawah tanah, diantaranya adalah :

Keuntungan :

- 1) Tidak mudah mengalami gangguan.
- 2) Faktor estetika (keindahan) lingkungan tidak terganggu.
- 3) Tidak mudah mengalami kerusakan yang dikarenakan cuaca, seperti hujan, angin, petir, dan lain sebagainya.

Kekurangan :

- 1) Biaya pemasangan mahal.
- 2) Gangguan biasanya bersifat permanen.
- 3) Sulit untuk terdeteksinya titik gangguan yang terjadi dibandingkan dengan saluran hantar udara.

2.2.8 Berdasarkan Susunan Rangkaiannya Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik yang terdapat pada suatu wilayah pada umumnya terdiri dari beberapa penyulang, di mana semakin besar dan kompleks beban yang terpasang/dilayani pada suatu wilayah, maka semakin banyak pula penyulang yang di butuhkan. Pada sistemnya beberapa penyulang terhubung pada suatu titik yang disebut juga gardu hubung (GH) yang mana gardu hubung berfungsi sebagai titik kumpul dari beberapa penyulang dan media peralihan (transfer) beban jika sistem mengalami gangguan pada salah satu jaringan yang di layani.

Gabungan beberapa penyulang dapat membentuk beberapa tipe yang terdapat pada sistem jaringan distribusi primer 20 kV terdapat 4 (empat) jenis yaitu:

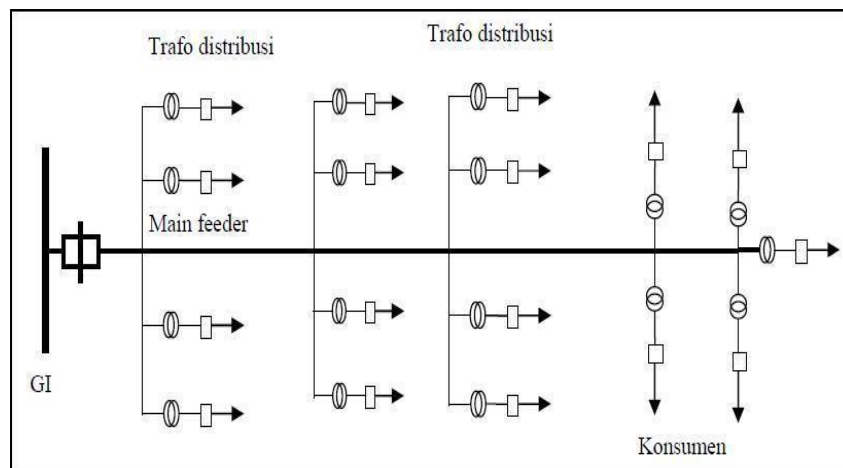
- a. Sistem *radial*
- b. Sistem lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/open ring*)
- c. Sistem *spindel*

d. Sistem gugus (*mesh*)

Pada masing-masing tipe sistem jaringan distribusi primer 20 kV tersebut mempunyai karakteristik serta keuntungan dan kerugian masing-masing.

a. Sistem Radial

Sistem radial merupakan sistem jaringan distribusi primer 20 kV yang paling sederhana dan ekonomis dikarenakan murah nilai investasinya. Pada sistem ini juga terhubung dari dengan beberapa penyulang (*feeder*) yang menyuplai tenaga listrik terhadap sejumlah gardu distribusi yang tersusun secara radial.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Radial.

Sumber : (Turan, 1986)

Keterangan simbol :

 : *Circuit Breaker*

 : Trafo Distribusi

 : Beban

Adapun keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran distribusi jenis radial diantaranya :

Keunggulan :

- 1) Bentuknya sederhana
- 2) Biaya investasi relatif murah

Kelemahan :

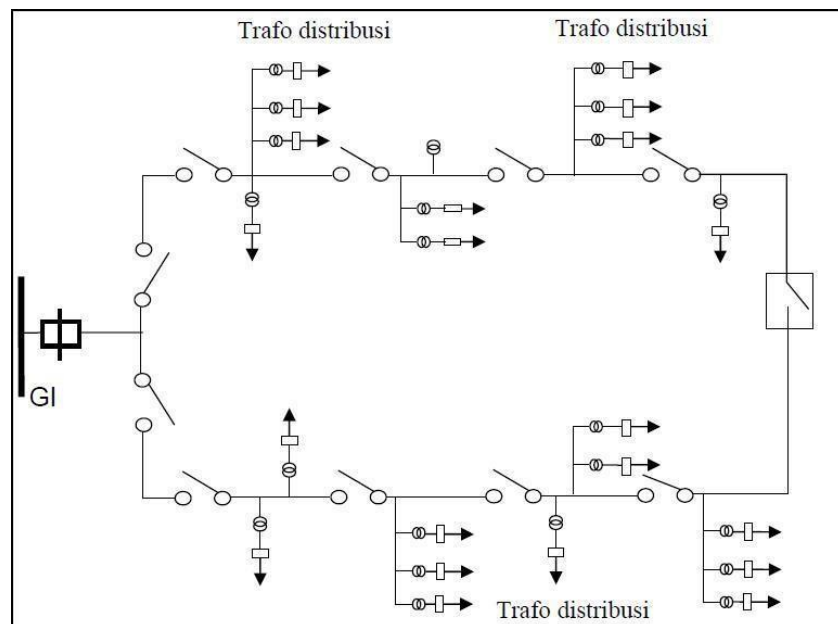
- 1) Bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian setelah gangguan akan mengalami pemadaman total.
- 2) Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran.
- 3) Kualitas pelayanan kurang baik karena rugi tegangan dan rugi daya relatif besar.

Pada penyulang yang terdapat pada sistem radial terpasang bersama sejumlah gardu distribusi untuk melayani beban. Gardu distribusi sendiri adalah suatu peralatan sistem distribusi yang terpasang bersama trafo guna memenuhi kebutuhan beban. Konsumen terpasang, dengan bentuk konstruksinya pada sebuah bangunan menggunakan beton atau terpasang di atas tiang. Sistem jaringan radial memiliki keuntungan dengan bentuk konstruksinya yang simpel/ sederhana serta lebih ekonomis dari sistem jaringan yang lainnya.

Akan tetapi pada sistem ini juga memiliki segi kekurangan pada sistemnya di mana sistem keandalannya lebih rendah dibandingkan dengan sistem konfigurasi lainnya. Kekurangan tersebut dikarenakan jalur utama yang menyuplai tenaga listrik ke gardu-gardu distribusi hanya terdapat 1 (satu) saja, dan bisa di simpulkan bahwa terdapat gangguan pada jalur utama (baik sumber maupun penyulangnya), maka seluruh gardu akan mengalami pemadaman.

b. Jaringan Lingkar (*Loop*)






Sistem jaringan lingkar (*loop*) merupakan kombinasi dari dua tipe jaringan radial yang mana pada ujung kedua jaringan dipasang pengaman berupa PMT. Pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah dengan menggunakan struktur lingkaran (*loop*) dengan sistem pemasokannya dari beberapa gardu induk 150 kV, sehingga dapat dikatakan tingkat keandalan pada sistem ini relatif lebih baik, namun dibandingkan tipe radial, tipe ini memiliki biaya investasi yang cukup mahal.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan *Loop*.

Sumber : (Turan, 1986)

Keterangan simbol :

-  : *Circuit Breaker*
-  : *Saklar Beban*
-  : *Trafo Distribusi*
-  : *Beban*
-  : *Load Break Switch*

Adapun keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran distribusi jenis *Loop* diantaranya:

Keunggulan :

- 1) Kontinuitas penyaluran daya listrik cukup tinggi
- 2) Stabilitas tegangan sistem yang mantap
- 3) Tingkat keamanan dan keandalan yang cukup tinggi
- 4) Fleksibilitas tinggi

Kelemahan :

- 1) Biaya pemeliharaan cukup tinggi
- 2) Biaya pemasangan sangat mahal

c. Jaringan Spindel

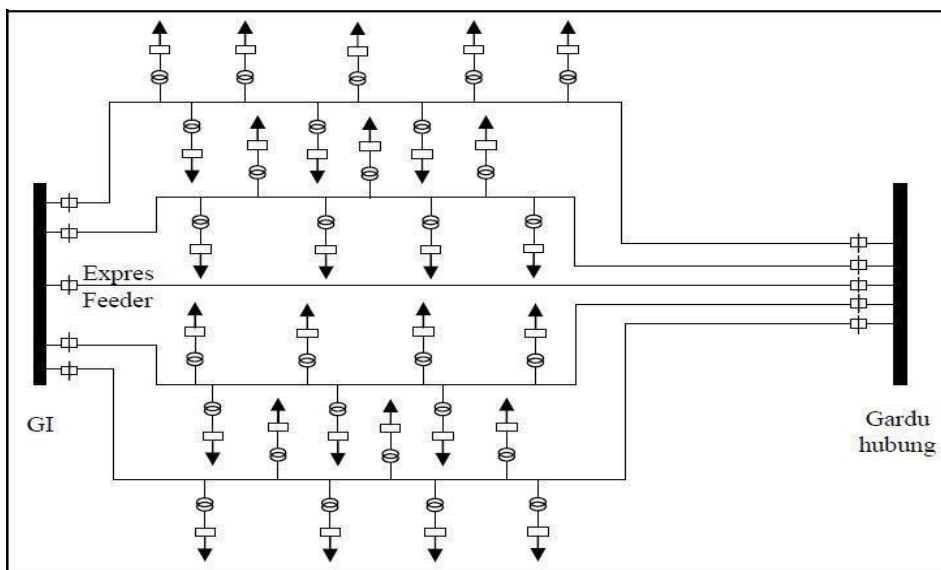
Jaringan spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan pola radial dan ring. Sistem jaringan spindel memiliki beberapa penyulang (*feeder*) di mana tegangannya disuplai dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir di gardu hubung (GH). Jaringan spindel pada sistem pengoperasiannya berfungsi sebagai sistem radial. Pada sistem ini terdapat dua jenis penyulang yaitu :

1) Penyulang kerja (*working feeder*)

Penyulang kerja adalah penyulang yang dapat dioperasikan untuk menyuplai daya listrik dari sumber utama pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga sampai ke beban/konsumen, yang artinya penyulang ini dioperasikan dalam keadaan bertegangan dan sudah dibebani. Dalam sistem pengoperasiannya sistem ini hampir sama dengan sistem radial.

2) Penyulang cadangan (*express feeder*)

Penyulang cadangan adalah penyulang yang menghubungkan gardu induk dan gardu hubung namun tidak terbebani gardu-gardu distribusi. Pada sistem operasinya penyulang ini tidak dialiri arus-arus beban dan hanya berfungsi sebagai penyulang cadangan yang difungsikan untuk menyuplai penyulang yang sedang mengalami gangguan melalui gardu hubung.




Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Spindel.

Sumber : (Turan, 1986)

Keterangan Simbol :

 : *Circuit Breaker*

 : Trafo Distribusi

 : Beban

Adapun keunggulan dan kelemahan dari sistem jaringan jenis *spindel* diantaranya :

Keunggulan :

- a) Mempunyai keandalan sistem yang lebih tinggi
- b) Rugi tegangan dan rugi daya relatif kecil

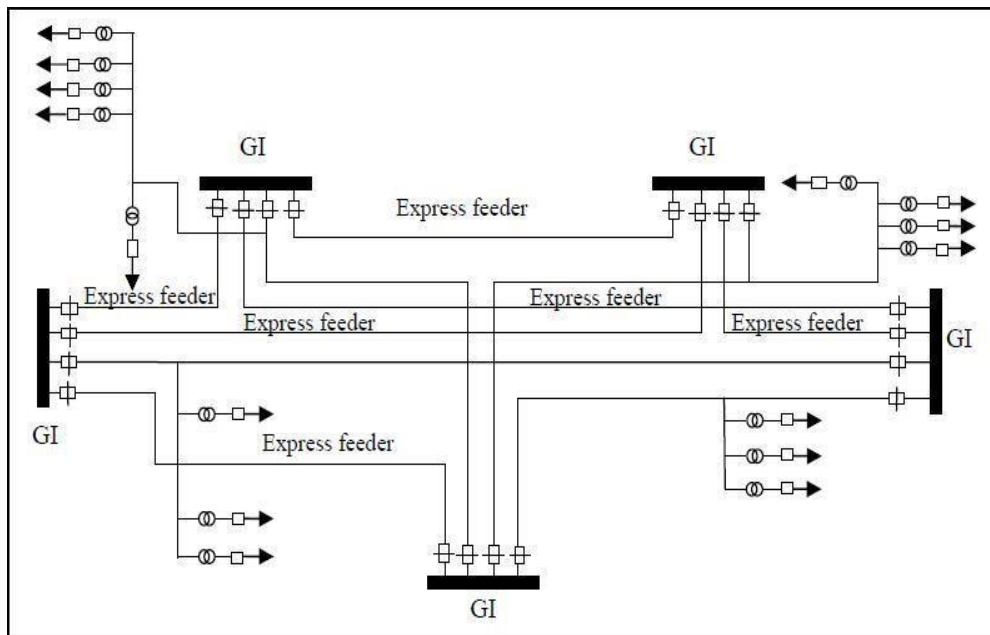
Kelemahan :

- a) Biaya investasi dan operasional sangat mahal
- b) Beban setiap penyulang terbatas
- c) Harus mempunyai tenaga lapangan yang terampil

Jaringan *spindel* ini memiliki tingkat kontinuitas tingkat dua namun apabila pada jaringan ini dilengkapi sarana kontrol sistem secara jarak jauh maka dapat dikatakan memiliki tingkat kontinuitas tingkat tiga, dan jika pada gardu-gardu beban/konsumen dilengkapi sarana kontrol sistem jarak jauh maka dapat dikatakan memiliki tingkat kontinuitas tingkat empat. Jaringan *spindel* ini diterapkan pada lingkungan yang padat penduduk dan keramaian fasilitas lingkungan seperti yang ada di perkotaan di mana pada lingkungan perkotaan memiliki kerapatan beban yang tinggi.

d. Sistem Gugus Kluster

Sistem gugus kluster dalam penerapannya pada daerah/wilayah yang memiliki kepadatan penduduk tinggi (kerapatan beban yang tinggi). Secara peralatan sistem gugus terdapat saklar pemutus beban, dan cadangan penyulang.




Gambar 2.7 Konfigurasi Sistem Kluster

Sumber : (Turan, 1986)

Keterangan :

 : *Circuit Breaker*

 : Trafo Distribusi

 : Beban

Keunggulan dan kelemahan dari sistem jaringan jenis gugus kluster ini diantaranya :

Keunggulan :

- 1) Tingkat keandalan sistem yang sangat baik
- 2) Fleksibel dalam mengikuti perkembangan/pertumbuhan beban
- 3) Kualitas tegangan yang baik dan rugi-rugi daya yang relatif lebih kecil

Kekurangan :

- 1) Cara pengoperasian sulit
- 2) Mahal dalam biaya konstruksi

Penyulang ini berfungsi apabila terdapat gangguan pada salah satu penyulang beban/konsumen maka terdapat penyulang cadangan yang mana penyulang cadangan tersebut yang dapat mengalihkan fungsi suplai tenaga listrik dari sumber satu ke sumber lainnya menuju beban.

2.2.9 Jenis Gangguan Pada Sistem Distribusi

Menurut (Suswanto, 2009) jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang merupakan bagian dari bagian sistem tenaga listrik yang pada letaknya paling dekat dengan beban-beban/konsumen. Jika ditinjau lebih detail lagi terlebih dari segi konstruksi/fisik penyaluran tenaga listrik pada jaringan ini lebih panjang jika dibandingkan dengan jaringan transmisi dengan memiliki jarak yang lebih panjang dari pada sistem transmisi yaitu sekian kali per 100 Km pertahunya, juga pada frekuensi gangguannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan jaringan transmisi.

Pada jaringan distribusi terutama pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) sebagian besar gangguannya bukan disebabkan oleh petir akan tetapi disebabkan oleh sentuhan pohon, terlebih lagi saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang berada pada wilayah perkotaan di mana pada wilayah tersebut terdapat banyak bangunan tinggi dan pohon yang memiliki tinggi lebih dari tiang-tiang saluran udara tegangan menengah (SUTM). Di mana hal tersebut yang menyebabkan saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang terletak pada wilayah perkotaan lebih aman dari gangguan sambaran petir karena terlindung dari tingginya pohon yang lebih tinggi dari tiang saluran udara tegangan menengah (SUTM) akan tetapi lebih rawan terhadap gangguan-gangguan pohon, namun hanya pada wilayah-wilayah yang berada di luar perkotaan yang terdapat gangguan keduanya (gangguan pepohonan dan gangguan petir). Namun pada dasarnya gangguan petir maupun gangguan pohon bersifat sementara (temporer). Oleh sebab

tersebut penutup balik otomatis (*recloser*) diharapkan dapat menekan waktu terhadap pemutusan penyediaan daya (*supply interrupting time*).

Namun selain dua penyebab gangguan sistem distribusi di atas pada dasarnya gangguan pada sistem distribusi terdapat dua klasifikasi gangguan yaitu :

- a. Gangguan berdasarkan teknis :
 - 1) Gangguan hubung singkat.
 - 2) Gangguan beban lebih.
 - 3) Gangguan tegangan lebih.
 - 4) Kerusakan pada peralatan/komponen.
- b. Gangguan non-teknis :
 - 1) Dahan/ranting pohon.
 - 2) Sambaran petir.
 - 3) Cuaca (angin, hujan, banjir, dan lain-lain).
 - 4) Gangguan binatang.

Berdasarkan sifat gangguannya sistem distribusi tenaga listrik terbagi dalam 2 (dua) macam yaitu :

- a. Gangguan temporer

Gangguan ini adalah gangguan yang bersifat sementara waktu, di mana pada saat terjadi gangguan dapat dilakukan dengan upaya memutus pada bagian yang mengalami gangguan, kemudian menutup balik kembali dengan menggunakan penutup balik otomatis (*recloser*)/(*autocloser*) atau dapat juga dilakukan secara manual oleh operator. Bila gangguan tidak dapat di atasi dengan manual atau dengan menggunakan alat pengaman (*recloser*) maka hal ini akan menjadi gangguan yang bersifat tetap yang berakibat pemutusan secara tetap juga.

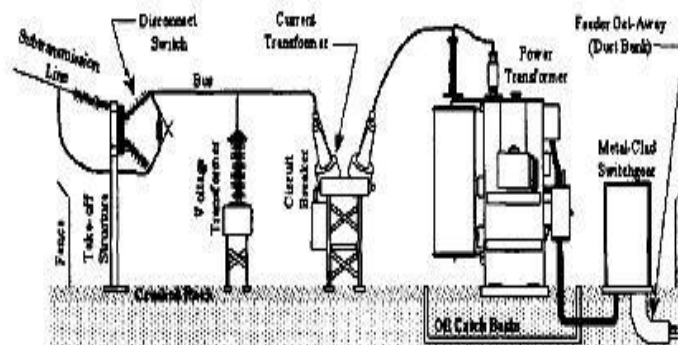
b. Gangguan permanen

Gangguan ini adalah gangguan yang bersifat tetap, di mana jika terjadi gangguan maka salah satu cara untuk memperbaikinya untuk dapat berfungsi kembali adalah dengan perbaikan teknis dan penghilangan gangguan yang terdapat pada bagian yang mengalami gangguan. Dalam hal ini bisa kita tandai dengan indikasi jatuhnya (*trip*) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem pasca terjadinya gangguan. Pada sifat gangguan ini maka dibutuhkan peralatan pengaman berupa *relay*, di mana sistem ini akan mengamankan sistem dengan mendeteksi indikasi gangguan dan langsung berfungsi untuk memutus sistem pada daerah pengamannya yang terdeteksi gangguan.

2.3. Gardu Induk

2.3.1 Definisi Gardu Induk

Gardu Induk atau dapat juga disebut dengan gardu unit pusat beban merupakan suatu piranti dari sub sistem pendistribusian tenaga listrik (transmisi) sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa instalasi/perangkat yang telah diatur secara teknis melalui sistem kontrol guna dapat difungsikan untuk melayani kebutuhan operasional energi listrik lebih lanjut ke beban/konsumen.



Gambar 2.8 Skema Gardu Induk

Sumber : (Suswanto, 2009)

2.3.2 Fungsi Gardu Induk

Gardu Induk memiliki beberapa peranan penting dalam suatu penyaluran tenaga listrik yang telah dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik, diantara peranan gardu induk dapat dibagi dalam beberapa fungsi yaitu :

- a. Transformasi daya listrik :
 - 1) Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV /150 kV).
 - 2) Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV /70 kV).
 - 3) Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV).
- b. Pengukuran, pengawasan, operasi serta pengamanan sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi gawai tegangan menengah.

2.3.3 Klasifikasi Gardu Induk

Berdasarkan pemasangan secara teknis peralatan, gardu induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu :

- a. Gardu Induk Pasang Luar (*Outdoor Substation*)

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Dalam hal ini sesuai namanya pasang luar, atau dengan kata lain ialah berada diluar bangunan, meskipun demikian sebagian peralatan seperti panel kontrol, meja penghubung (*switch board*) dan baterai yang ada diletakkan berada dalam bangunan. Gardu induk pasang luar pada proyeksi pembangunan memerlukan objek penempatan yang cukup luas, akan tetapi dalam segi biaya/anggaran lebih ekonomis.

- b. Gardu induk Pasang Dalam (*Indoor Substation*)

Gardu Induk jenis pemasangan dalam, sesuai dengan namanya secara garis besar peralatan yang terpasang berada di dalam suatu

bangunan. Secara peralatan tidak jauh berbeda dengan gardu induk pasang luar seperti transformator utama, *switch gear*, panel kontrol, dan baterai. Jenis gardu induk pasang dalam difungsikan sebagai penyelaras antar satu daerah dan daerah lainnya (sekitarnya) guna langkah preventif dari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

c. Gardu Induk Setengah Pasang Luar (*Semi Outdoor Substation*)

Gardu induk jenis setengah pasang luar yang dalam segi konstruksi peralatan tegangan tinggi terpasang di dalam suatu bangunan dan bagian peralatan lainnya terpasang di bagian luar ruangan dengan memperhatikan faktor situasi dan kondisi dilingkungan. Secara garis besar gardu induk ini berimbang secara pemasangan antara pasang luar dan pasang dalam oleh karena itu gardu induk ini juga disebut gardu induk semi pasang dalam.

d. Gardu Pasang Bawah Tanah

Gardu induk jenis pasang bawah tanah adalah gardu induk yang sebagian besar peralatan yang terpasang berada di dalam suatu bangunan yang berada di bawah tanah. Namun tidak semua terpasang di dalam tanah, ada beberapa peralatan yang terpasang di atas tanah misalnya, alat pendingin (*cooling device*) dan peralatan lainnya yang tentu tidak dimungkinkan untuk di pasang di dalam tanah. Sebagai contoh gardu induk jenis pasang bawah tanah ini adalah di lingkungan perkotaan yang padat penduduk dan padat bangunan gardu induk jenis ini dipasang berada di bawah tanah.

2.3.4 Gardu Induk Menurut Tegangan

Pada sistem gardu induk terdapat klasifikasi tegangan yang di bagi menjadi 2 macam yaitu :

a. Gardu Induk Transmisi

Gardu induk transmisi adalah gardu induk yang mendapat *supply* daya dari saluran transmisi tenaga listrik yang berasal dari sumber

pembangkit kemudian di salurkan menuju beban seperti berbagai peranan publik yakni industri, rumah sakit, kampus , dan lainnya. Pada Gardu induk transmisi PT. PLN (Persero) memiliki tegangan tinggi sebesar 150 kV dan 70 kV.

b. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi adalah gardu penerima (*receiver*) tenaga listrik dari gardu induk transmisi dengan proses konversi tegangan (penurun tegangan) dengan transformator daya, dengan transformasi (diturunkan) tegangan menengah (20 kV, 11,6 kV, dan 6 kV) yang mana tegangan tersebut kembali ditransformasi (diturunkan) menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) yang telah disesuaikan dengan kebutuhan beban.

2.3.5 Gardu Induk Menurut Fungsinya

Gardu induk dapat di klasifikasikan berdasarkan suatu fungsi kebutuhan teknis, diantara fungsinya dibagi menjadi lima macam yaitu :

a. Gardu Induk Penaik Tegangan

Gardu induk jenis ini sesuai dengan namanya berfungsi sebagai penaik tegangan pada suatu sistem pembangkit (generator) yang di naikkan hingga menjadi tegangan sistem. Gardu induk jenis ini terdapat pada pembangkit tenaga listrik, hal ini dikarenakan *output voltage* yang dikeluarkan oleh pembangkit tenaga listrik tidak cukup untuk skala penyaluran daya listrik dengan jarak yang jauh , maka di perlukan penaik tegangan guna memenuhi kebutuhan akhir (beban). Dengan kata lain diperlukan pertimbangan faktor efisiensi tegangan, sehingga tegangan ditransformasi dengan menaikkan menjadi tegangan tinggi bahkan ekstra tinggi.

b. Gardu Induk Penurun Tegangan

Gardu induk jenis ini sesuai dengan namanya berfungsi sebagai menurunkan tegangan dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dari tegangan semula dan tegangan menengah (tegangan distribusi). Penerapan gardu induk ini berada pada letak strategis pusat-pusat beban, hal ini dikarenakan gardu induk jenis ini yang langsung melayani kebutuhan beban sebelum disalurkan pada gardu distribusi.

c. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Gardu induk jenis ini di fungsikan sebagai suatu sistem pengoptimalan tegangan yang terjadi pada penyaluran tenaga listrik yang terlalu jauh dari pusat utama (pembangkit) sehingga dimungkinkan terjadinya jatuh tegangan (*drop voltage*) pada proses transmisi, sehingga diperlukan alat penaik tegangan *capasitor bank* untuk dapat mengembalikan daya listrik yang normal sesuai dengan tegangan yang di tentukan.

d. Gardu Induk Pengatur Beban

Gardu induk jenis ini terpasang sebuah motor yang di fungsikan sebagai pengatur beban. Pada pembangkitan tenaga listrik (waktu tertentu) motor di transformasikan menjadi generator, begitu pula sebaliknya pada saat pembebanan generator di transformasikan sebagai motor listrik dengan difungsikan sebagai pompa air yang ada di kolam utama yang ada di gardu induk.

e. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk jenis ini berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Pada penerapan gardu induk ini terletak pada jarak yang tidak jauh dari pusat beban, hal dikarenakan gardu induk ini yang langsung melayani pusat beban.

2.4 Sistem Pengamanan Jaringan Distribusi Primer

Pada saat terjadi gangguan (keadaan tidak normal/abnormal) pada sistem tenaga listrik, misalnya hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, arus lebih dan lain-lainnya, maka dari hal tersebut maka perlu di ambil langkah untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi. Hal ini sangat perlu dilakukan mengingat jika pada saat kondisi terjadi gangguan sistem dibiarkan/tanpa suatu pengamanan maka gangguan yang terjadi berawal hanya pada satu bagian akan meluas kebagian yang lainnya atau bahkan bisa merusak seluruh sistem. Untuk itu sistem pengamanan dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik mutlak diperlukan sistem pengamanan yang andal. Salah satu dari berbagai sistem pengamanan yang terdapat pada sistem distribusi tenaga listrik adalah relay pengamanan (*protective relay*).

Relay pengamanan sendiri adalah suatu susunan piranti baik yang bersifat elektronik ataupun yang bersifat magnetik yang dirancang guna mendeteksi suatu kondisi abnormal yang ada pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan. Secara simpelnya relay pengaman ini bekerja dengan sifat kepekaannya (*sensitivity*) yang kemudian dengan otomatis dapat mengirimkan tanda yang berfungsi sebagai pembuka dan pemutus tenaga listrik (*circuit breaker*) supaya kondisi titik gangguan supaya dipisahkan dari kondisi lainnya (tidak mengalami gangguan). Relay pengaman bisa mendeteksi kondisi abnormal (gangguan) yang terdapat di suatu peralatan kelistrikan di mana hal tersebut memerlukan tindakan untuk di amankan menggunakan suatu pengukuran besaran yang diterimanya, misalnya adalah arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, dan impedansi dan sebagainya sesuai dengan ketetapan yang telah di tentukan. Kemudian alat tersebut melakukan fungsinya dengan perlambatan waktu untuk membuka pemutus tenaga atau hanya sekedar memberikan tanda tanpa membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga sendiri harus memiliki kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat yang kemudian membuka kembali. Di lain hal relay pengaman sendiri berfungsi sebagai indikator di mana

titik gangguan itu berada. Dengan hasil data yang ada relay pengaman ini memudahkan kita dalam menganalisis kondisi gangguan yang terjadi.

2.4.1 Pengertian Pengamanan

Sistem pengamanan pada suatu sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan yang berada pada peralatan-peralatan kelistrikan yang berkaitan secara keseluruhan sistem yang terpasang, diantaranya generator, bus bar, transformator, saluran jaringan (bawah tanah dan udara).

2.4.2 Fungsi Pengamanan

Fungsi pengamanan sistem tenaga listrik ini sendiri berfungsi antara lain :

- a. Melindungi sistem terhadap kondisi gangguan yang bersifat teknis seperti hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, arus lebih dan lain-lainnya.
- b. Melindungi sistem terhadap kondisi gangguan yang bersifat non-teknis seperti sambaran petir, cuaca (angin, hujan, banjir, dan lain-lain), gangguan binatang dan sebagainya.
- c. Mengisolir titik lokasi terjadinya gangguan sistem, atau dengan kata lain memperbaiki lokasi titik gangguan agar tidak meluas pada sistem yang lain.
- d. Melindungi publik dari tegangan tinggi, terutama di wilayah/daerah padat penduduk dan lokasi//titik di mana jaringan tenaga listrik itu berada.
- e. Menjaga stabilisasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan.
- f. Memberikan jaminan pelayanan kepada konsumen dengan tingkat kualitas sistem jaringan yang bermutu yang tinggi.

2.4.3 Persyaratan kualitas sistem Pengamanan

Terdapat beberapa persyaratan yang wajib diperhatikan dalam perencanaan sistem pengamanan/sistem proteksi tenaga listrik secara efektif yaitu :

a. Selektivitas dan diskriminasi

Dalam hal ini efektivitas suatu sistem proteksi dapat ditinjau dari kemampuan sistem dalam mengisolir bagian mengalami gangguan saja.

b. Stabilitas

Dalam hal ini sistem proteksi yang bersifat in operatif jika terjadi gangguan yang terjadi gangguan luar, atau bukan pada area yang melindungi.

c. Kecepatan operasi

Dalam hal ini sangat diperlukan, apabila arus gangguan terus mengalir maka dampak yang terjadi adalah peralatan yang dimungkinkan akan mengalami kerusakan. Untuk itu diperlukan fungsi kerja relay yang cukup cepat untuk membuka pemutus tenaga.

d. Sensitivitas (kepekaan)

Dalam hal ini adalah ketentuan dalam relay proteksi untuk bekerja berdasarkan arus gangguan yang terjadi.

e. Ekonomis

Nilai ekonomis pada sebuah sistem jaringan distribusi hampir mengendalikan nilai teknis oleh karenanya total penyulang, transformator, dan instrumen/peralatan lain terbilang cukup banyak, tetapi dengan ketentuan persyaratan pokok yaitu tingkat keamanan mampu terpenuhi. Berbeda dengan sistem jaringan distribusi, sistem transmisi tenaga listrik justru nilai teknis menjadi lebih penting di mana mahalnnya sebuah sistem pengaman/proteksi, akan tetapi peralatan yang dilindungi mendapat mutu terhadap kelangsungan peralatan yang vital pada suatu sistem.

f. Reabilitas (keandalan)

Dalam hal ini sangat diperlukan dalam suatu sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik untuk melindungi sistem secara keseluruhan, selain dari pada itu hal ini juga dapat menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik yang bermutu hingga ke tangan konsumen.

g. Proteksi pendukung

Dalam hal ini proteksi pendukung (*backup*) merupakan suatu susunan yang terdapat pada pengamanan sistem tenaga listrik yang berguna untuk mengeluarkan bagian sistem yang mengalami gangguan bilamana sistem proteksi utama tidak berfungsi/tidak bekerja (*fail*).

2.4.4 Peralatan Proteksi Jaringan Distribusi

Pentingnya sistem jaringan distribusi tenaga listrik yang ialah suatu sistem untuk dapat mendistribusikan tenaga listrik ke beban, maka pada jaringan distribusi perlu adanya peralatan proteksi. Peralatan proteksi tersebut adalah sebagai berikut:

a. Relay proteksi

Relay adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengontrol suatu rangkaian listrik secara tidak langsung dengan memakai perubahan yang terjadi pada rangkaian tersebut atau rangkaian lain.

Relay proteksi adalah suatu relay yang dipakai untuk memperoleh penghubungan atau pemutusan secara otomatis suatu peralatan atau bagian sistem listrik dari sumber daya pada suatu kondisi tertentu yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahaya pada peralatan atau sistem tersebut.

b. Pemutus Daya (PMT)/*Circuit Breaker* (CB)

Pemutus daya adalah satu saklar yang bekerja secara otomatis dengan memutuskan arus yang mengalir pada suatu jaringan dalam keadaan berbeban pada saat mengalami gangguan baik yang disebabkan

dari luar maupun gangguan dari dalam. Pemutus daya dipasang pada saluran utama pada gardu induk sebagai pengaman utama jaringan dan dilengkapi dengan alat pengaman relay arus lebih, relay gangguan tanah dan relay penutup balik.

c. Pemisah (PMS)/*Disconnecting Switch (DS)*

Pemisah (PMS)/*Disconnecting Switch (DS)* adalah suatu saklar yang berfungsi untuk memisahkan atau menghubungkan suatu jaringan pada saat tidak berbeban (tidak dialiri arus). Pada umumnya alat ini akan difungsikan pada saat diadakan pemeliharaan rutin yang dilakukan oleh PLN.

d. *Load Break Switch (LBS)*

Saklar pemutus beban (LBS) merupakan saklar pemutus arus tiga fasa untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara manual maupun secara otomatis. LBS berfungsi sebagai peralatan hubung yang bekerja membuka dan menutup rangkaian arus listrik, mempunyai kemampuan memutus arus beban. Selain itu LBS juga berfungsi sebagai pemutus lokal atau penghubung instalasi listrik 20 kV pada saat dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga tidak mengganggu daerah lain yang masih beroperasi.

e. Penutup Balik Otomatis (PBO) *Recloser*

PBO *Recloser (Automatic Circuit Recloser)* adalah suatu peralatan yang bekerja secara otomatis untuk dapat mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat. *Recloser* terdiri dari bagian-bagian yang dapat mengidentifikasi terjadinya arus berlebih, mengatur waktu keterlambatan, memutuskan arus gangguan dan mengunci kembali dengan otomatis guna mengisi kembali (*reenergize*) jaringan. Adapun cara kerja dari *recloser* adalah sebagai berikut:

- 1) Apabila mengalami gangguan, di mana *recloser* yang dialiri arus listrik akan membuka kontak pada *recloser*.

- 2) Kontak pada *recloser* dapat mengunci kembali setelah beberapa detik sesuai dengan setting regulasi waktu. Tenggang/regulasi waktu memberi waktu jeda agar gangguan yang terjadi pada sistem bisa hilang, terlebih gangguan sementara (bersifat temporer).
- 3) Apabila mengalami gangguan permanen, maka *recloser* melakukan fungsinya dengan membuka dan menutup dengan ketentuan *setting* yang ditentukan hingga akhirnya *lock out*.
- 4) Setelah dipastikan sistem terbebas dari gangguan yang diperbaiki oleh teknisi, kemudian sistem akan dioperasikan kembali saat keadaan normal.

f. Sakelar Seksi Otomatis (SSO) *Sectionalizer*

Sectionalizer atau yang kita kenal dengan istilah SSO adalah suatu saklar yang bekerja secara otomatis berdasarkan waktu dan perhitungan arus gangguan yang mengalir pada jaringan. Alat ini berfungsi sebagai pemisah (pembagi) jaringan distribusi dalam beberapa seksi secara otomatis, dengan kata lain apabila terjadi gangguan permanen maka luas daerah (jaringan) yang mengalami pemadaman maka hal ini akan di batasi/meminimalisir sekecil mungkin. Dalam sistem pengoperasiannya alat ini dilengkapi dengan pendeteksi arus gangguan yang diterapkan pada jaringan distribusi 20 kV tipe *Automatic Vacuum Switch (AVS)*. Cara kerja AVS ini sendiri membuka pada saat rangkaian tidak berbeban (tidak dialiri arus), tetapi bila dalam keadaan berbeban maka AVS harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat.

g. *Lightning Arrester*

Lightning arrester adalah suatu alat proteksi tenaga listrik agar jaringan dan peralatannya dapat terlindungi terhadap tegangan lebih, suatu kondisi abnormal di mana sambaran petir (*flash over*) dan surja hubung (*switching surge*) pada jaringan listrik menjadi faktor utama. Cara

kerja *lightning arrester* adalah pada saat kondisi normal, *lightning arrester* berfungsi menjadi isolator, jika terdapat tegangan surja dan sambaran petir *lightning arrester* bersifat sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah, yang dapat mengalirkan arus tinggi yang dialirkan ke tanah. Kemudian pada saat sambaran petir dan hubung surja hilang, *lightning arrester* secara cepat harus kembali menjadi isolator. Pada penerapannya secara umum *arrester* dipasang pada jaringan transformator distribusi, *cubicle*, dan gardu induk.

h. Sekering/Pelebur (*Fuse Cut Off*)

fuse cut off adalah suatu alat proteksi agar dapat melindungi sistem jaringan dari arus beban lebih (*over load current*) yang melewati lebih dari batas maksimum, penyebab utamanya ialah hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*over load*).

2.5 Sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

SCADA atau dalam singkatannya yaitu (*Supervisory Control and Data Acquisition*), sistem SCADA merupakan suatu sistem yang dapat mengumpulkan sebuah informasi-informasi atau data-data yang berdasarkan dari lapangan secara teknis yang selanjutnya dikirimkan pada suatu komputer yang mana menjadi pusat kontrol yang akan mengatur jalannya sistem secara teknis tersebut di lapangan.

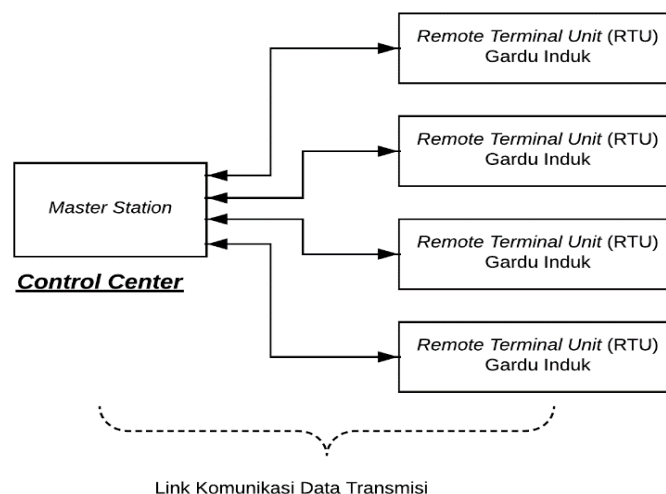
Pada sistem tenaga listrik SCADA ialah suatu bentuk sistem yang dapat mengawasi, mengendalikan, dan mengolah data sistem tenaga listrik yang terdapat di jaringan secara *real time*. Adapun bagian dari pada sistem SCADA ialah *Master Station*, media telekomunikasi, dan *Remote Terminal Unit/ Remote Station (RTU)*. Perolehan data yang terdapat dalam SCADA secara *real time* bersumber dari *Remote Terminal Unit/ Remote Station (RTU)* atau sumber komunikasi lainnya yang berada pada sistem jaringan (lapangan), di mana kemudian pusat operator (*dispatcher*) dapat melakukan fungsi pengawasan sistem (*supervisory*) secara teratur sehingga operasi sistem distribusi jaringan tenaga listrik dan eksekusi

komponen pengaman (pemutus) secara otomatis dengan remot meski dengan jarak yang cukup jauh (*remote controle operation*).

Perantara yang digunakan sebagai media telekomunikasi yang digunakan sebagai untuk pengiriman sejumlah data ke SCADA pada *Remote Terminal Unit* (RTU) menuju *Master Station* yang terdapat beragam jenis, seperti *Power line Carrier* (PLC) dan *Fiber Optic Network*, *Radio Link* (GPRS) atau media komunikasi lainnya.

Sistem SCADA pada PT. PLN (Persero) telah menetapkan secara baku bagaimana penggunaan dan penerapan pola teknis SCADA pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik. Kompleksitas Peralatan SCADA ditentukan dari level organisasi pengoperasian pada sistem tenaga listrik yang dapat dipantau dan dikendalikan. Peralatan SCADA secara umum meliputi sistem sebagai berikut :

- a. *Master Station*, berada di are *Control Center*
- b. *Remote Teminal Unit* (RTU), berada di Gardu Induk
- c. Link telekomunikasi atau data transmisi, yang di hubungkan antara *Master Station* dengan *Remote Teminal Unit* (RTU).



Gambar 2.9 Infrastruktur Sistem SCADA.

2.5.1 Fungsi Dasar SCADA

Menurut (Hayatul & Noveri, 2017) terdapat beberapa fungsi SCADA adalah sebagai berikut :

a. Telemetering (TM)

Fungsi telemetering (TM) ialah untuk mengirimkan terkait informasi berupa pengukuran dari besaran-besaran listrik pada waktu tertentu, seperti pengukuran tegangan, arus, dan frekuensi. Pemantauan yang di proses oleh *dispatcher* sendiri dapat menampilkan daya nyata dalam satuan Mega Watt (MW), daya reaktif (Mvar), dan tegangan (kV), dan arus (A). dengan demikian *dispatcher* dapat mengontrol dengan keterkaitannya informasi yang di butuhkan secara terpusat.

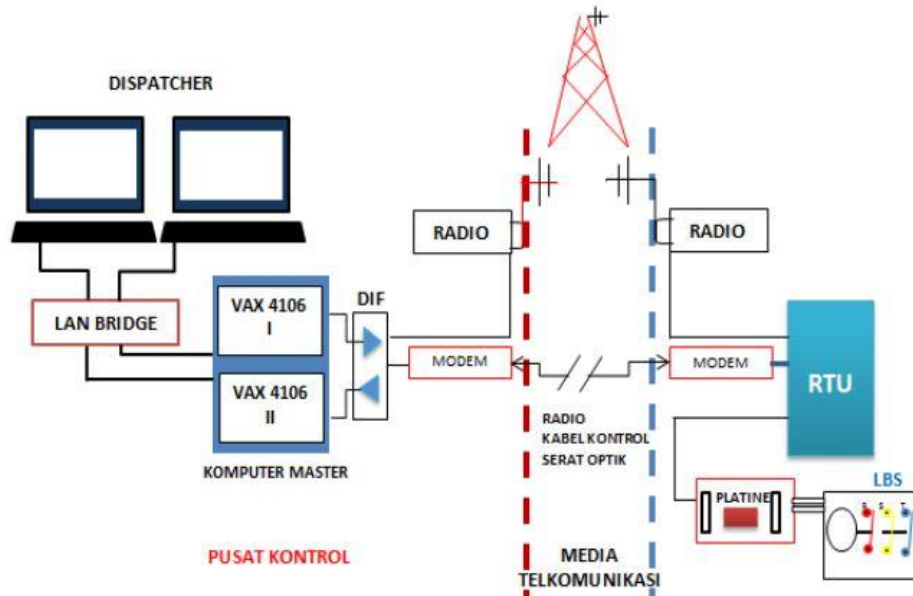
b. Telesinyal (TS)

Fungsi telesinyal (TS) ialah untuk mengirimkan suatu sinyal yang menyatakan status dalam suatu peralatan atau perangkat. Informasi yang dikirim berupa status pemutus tegangan, pemisah, tidak ada alarm, dan sinyal lainnya yang terkait dengan pengamanan jaringan distribusi. Telesinyal (TM) sendiri berupa kondisi yang berupa suatu peralatan tunggal, atau dapat juga pengelompokan dari sejumlah kondisi. Indikator fungsi yang dapat diproses oleh telesinyal (TS) yaitu secara tunggal (*single indicator*), dan ganda (*double indicator*). Status peralatan difungsikan oleh indikasi ganda, dan status alarm difungsikan oleh indikasi tunggal.

c. Telekontrol (TC)

Fungsi telecontrol (TC) berfungsi untuk membuka dan menutup suatu peralatan sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan oleh *dispatcher* dengan penggunaan *remote*, yaitu dengan menekan salah satu tombol fungsional perintah buka/tutup yang ada di *dispatcher*.

2.5.2 Komponen Dasar Sistem SCADA



Gambar 2.10 Bagian-bagian Komponen Sistem SCADA.

(Sumber : (Heru & Noveri, 2016)).

Pada dasarnya sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, dalam arti lain sistem SCADA memerlukan suatu komponen dalam menjalankan fungsinya. Menurut (Hayatul & Noveri, 2017) sistem SCADA terdapat tiga bagian yang merupakan komponen penting dari sistem SCADA, diantaranya yaitu :

a. Pusat Kontrol

Komponen utama SCADA yang terdapat pada pusat kontrol adalah *Master Terminal Unit* (MTU) yang berupa sebuah perangkat komputer yang menjadi pusat utama atau *server*, di mana *server* tersebut dibagi menjadi dua fungsi, yaitu sebagai master atau komputer utama dan satunya sebagai *slave* yang mana *slave* ini akan menjadi pengganti master bilamana mengalami gangguan. Pada sistem SCADA ini juga terdapat komponen penting lainnya yang terdapat di pusat kontrol, antara lain adalah :

1) *Mimic Board*

Mimic board adalah sebuah papan elektronik yang menampilkan suatu sistem tenaga listrik yang terkontrol. *Mimic board* ini dapat menampilkan atau mewujudkan status PMT pada masing-masing gardu distribusi yang telah terhubung dengan *Remote Station/Remote Terminal Unit* (RTU). Adapun data status diperoleh dari server yang mengambil data tersebut dengan sistem polling atau dengan sistem *interrupt* dari semua RTU.

2) *Mimic Dynamic*

Mimic dynamic adalah sebuah layer monitor yang berfungsi untuk menampilkan secara terperinci dan dinamis terhadap keandalan dari sebuah gardu yang terdapat pada jaringan tegangan menengah.

3) *Man-Machine Interface* (MMI)

Man-Machine Interface (MMI) adalah sebuah komputer yang digunakan untuk menghubungkan server dengan komputer untuk operator. Pada layar komputer akan ditampilkan sebuah informasi menyeluruh dan rinci dari setiap gardu. Informasi rinci tersebut didapat dari telemetering (TM) yang tidak bisa ditampilkan pada sebuah *mimic board*. Dari MMI ini operator dapat melakukan fungsi kontrol secara keseluruhan.

4) *Logger*

Peralatan ini berfungsi untuk melakukan sebuah pencatatan tentang semua kejadian atau aktivitas pada setiap gardu. Dengan adanya peralatan ini, maka akan didapat kemudahan untuk menganalisa dan mendeteksi sumber gangguan masalah.

b. Media Komunikasi

Media komunikasi adalah media yang dapat menghubungkan antar peralatan untuk bertukar informasi yang terjadi antara pusat kontrol (*Master Station*) dengan *Remote Station/Remote Terminal Unit* (RTU). Pada media komunikasi ini terdapat beberapa komponen yang di gunakan dalam fungsionalnya, diantaranya adalah *fiber optic*, radio kontrol, dan modem.

c. *Remote Terminal Unit* (RTU)

Remote Terminal Unit (RTU) adalah mikroprosesor yang bertugas melakukan proses *scanning*, pengolahan, dan penyimpanan data pada memori sementara sebelum diminta oleh pusat kontrol dan melakukan kendali sesuai permintaan dari pusat kontrol. RTU terpasang pada setiap Gardu Induk (GI) atau pusat pembangkit yang masuk dalam jaringan sistem tenaga listrik.

Menurut (Novel, 2009) *Remote Terminal Unit* (RTU) secara umum adalah sebuah perangkat komputer yang dipasang di *remote station* atau di lokasi jaringan yang dipantau oleh *control center*. Adapun fungsi RTU adalah sebagai berikut :

- 1) Mendeteksi perubahan posisi saklar (*open/closed/invalid*)
- 2) Mengetahui pengukuran dan perhitungan, RTU mengambil dan memproses data tentang nilai arus maupun tegangan yang didapat dari *transducer* yang telah saling terhubung.
- 3) Menerima perintah *remote control* dari pusat kontrol untuk membuka dan menutup sistem yang ada di lapangan.
- 4) RTU melaksanakan perintah untuk membuka dan menutup LBS yang saling terhubung.

- 5) Mengirim data dan informasi ke pusat kontrol yang terdiri dari status saklar, hasil eksekusi, nilai besaran berupa tegangan, arus, dan frekuensi.

2.5.3 Efek Penerapan Sistem Distribusi Dengan SCADA

Menurut (Hayatul & Noveri, 2017) pengaruh sistem SCADA pada jaringan distribusi tenaga listrik dapat mengoptimalkan dan efisien terhadap waktu pengendalian beserta pemulihan sistem jaringan distribusi tenaga listrik, menekan tingkat terjadinya gangguan yang bersifat teknis, dan meningkatkan mutu pelayanan dalam kualitas distribusi listrik ke beban. Oleh karena itu SCADA dapat rekayasa jaringan (beban) bilamana terdapat titik gangguan. Beban yang berada di belakang terjadinya gangguan dari sumber gardu induk yang menjadi penyuplai awal lokasi titik gangguan maka dapat di rekayasa dengan memindahkan sumber penyuplai ke Gardu Induk yang berbeda, dengan rekayasa jaringan tersebut maka pendistribusian tenaga listrik terhadap titik beban tetap terjaga dan bebas gangguan.

Sesuai prinsip dasar bahwa tingkat keandalan sebuah sistem berbanding terbalik dengan tingkat gangguan/pemadaman, maka bilamana tingkat gangguan dapat di minimalisir maka tingkat keandalan pada suatu sistem distribusi tenaga listrik akan semakin andal atau tinggi. Kemudian tingkat ekonomis yang disebabkan pemadaman dapat diselamatkan dan perusahaan penyedia jasa layanan energi listrik dalam hal ini PT. PLN (Persero) tidak mengalami kerugian. Serta dari hal ini juga tingkat mutu pelayanan terhadap konsumen akan meningkat dengan tingkat kontinuitas pelayanan energi listrik menjadi lebih baik dan berdampak positif dalam produktivitas konsumen tenaga listrik.

2.6 Keandalan Sistem Distribusi

Menurut (Haq, 2016) Keandalan ialah suatu tingkatan keberhasilan kinerja pada sebuah sistem operasi atau bagian yang terdapat di dalamnya , agar mendapat suatu hasil yang lebih baik pada waktu tertentu atau dalam saat operasi tertentu. Menentukan suatu tingkat keandalan suatu sistem, maka perlu dilakukan

pemeriksaan dengan cara menghitung dan menganalisis tingkat keberhasilan kinerja dengan meninjau sistem operasi dari suatu sistem, pada waktu/periode tertentu selanjutnya melakukan perbandingan berdasarkan standar yang sebelumnya telah ditetapkan. Keandalan sistem distribusi erat kaitannya dengan masalah pemutusan beban yang merupakan akibat adanya gangguan pada sistem. Keandalan sistem distribusi berbanding terbalik dengan tingkat pemutusan beban sistem, dalam arti jika semakin tinggi frekuensi pemutusan beban pada sistem, maka keandalan sistem semakin berkurang, begitu juga sebaliknya. Dengan mengetahui tingkat keandalan sistem distribusi maka dari hasil tersebut dapat diketahui juga bagaimana tingkat mutu pelayanan jaringan terhadap beban. Keandalan sistem distribusi tenaga listrik yang dapat disimpulkan dalam hal kelistrikan ialah suatu sistem yang bekerja dengan sejumlah instrumen/peralatannya yang beroperasi secara baik hingga dapat menjadi hasil kerja yang memuaskan pada waktu/periode tertentu.

Pada perumusan menentukan tingkat keandalan pada sebuah sistem jaringan distribusi maka yaitu dengan melakukan kalkulasi rata-rata durasi frekuensi gangguan (*interruptions*) yang terjadi pada masing-masing penyulang (*feeder*) tepatnya pada beban (*customer*). Kalkulasi sebut sering dikenal dengan perhitungan indeks keandalan dengan metode SAIFI, SAIDI dan CAIDI.

Pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik pemutusan beban dikarenakan adanya gangguan pada sistem distribusi yang hal ini sangat berhubungan pada tingkat keandalan jaringan distribusi itu sendiri. Menurut (52-3, 1983) Tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 5 (lima) hal antara lain :

Tingkatan 1 : Padam dengan waktu berjam-jam, di mana waktu yang dibutuhkan guna mendeteksi dan memperbaiki suatu kerusakan terhadap titik gangguan.

Tingkatan 2 : Padam dengan waktu beberapa jam, di mana waktu yang dibutuhkan guna mengeksekusi titik gangguan yang terdapat di lapangan dengan mengirim teknisi hingga dapat dilakukan

upaya memperbaiki yang bersifat sementara dari saluran atau sumber lain

Tingkatan 3 : Padam dengan waktu beberapa menit, di mana waktu guna rekayasa teknis (jarak jauh) yang dapat dilakukan oleh teknisi yang berada pada titik gardu distribusi atau dengan upaya melakukan pengukuran jaringan.

Tingkatan 4 : Padam dengan waktu beberapa detik, di mana waktu guna rekayasa pengamanan secara otomatis.

Tingkatan 5 : Tidak ada pemadaman, suatu upaya yang dilakukan sebelumnya dengan suatu instalasi pengganti secara terpisah dan otomatis.

Adapun pendapat lain menurut (Hartati, Sukerayasa, Setiawan, & Ariastina, 2007) tingkatan keandalan dibagi menjadi 3 (tiga), diantaranya adalah :

a. Sistem Dengan Keandalan Tingkat Tinggi (*High Reliability Sistem*)

Ketika sistem dalam kondisi normal maka dapat memberikan kapasitas untuk menyediakan daya yang cukup saat terjadi beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Kemudian ketika kondisi darurat saat terdapat gangguan pada jaringan, maka sistem yang dengan tingkat tinggi memerlukan peralatan proteksi yang cukup banyak untuk menghindari gangguan yang terjadi pada sistem.

b. Sistem Dengan Keandalan Tingkat Menengah (*Medium Reliability Sistem*)

Ketika sistem dalam kondisi normal maka dapat memberikan kapasitas untuk menyediakan daya yang cukup saat terjadi beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Kemudian ketika kondisi darurat saat terdapat gangguan pada jaringan, maka sistem dengan keandalan tingkat menengah masih dapat memenuhi kebutuhan beban walau pada saat terjadinya kondisi beban puncak. Maka sistem dengan

tingkat menengah memerlukan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi serta menanggulangi gangguan-gangguan tersebut.

c. Sistem Dengan Keandalan Tingkat Rendah (*Low Reliability Sistem*)

Ketika sistem dalam kondisi normal maka dapat memberikan kapasitas untuk menyediakan daya yang cukup saat terjadi beban puncak dengan variasi tegangan yang baik. Namun apabila sistem mengalami gangguan yang terdapat pada jaringan, sistem tidak dapat memenuhi kebutuhan beban tersebut. Maka dibutuhkan adanya perbaikan pada titik gangguan. Sistem dengan tingkat rendah ini memiliki peralatan proteksi yang jumlahnya cukup sedikit.

2.6.1 Faktor Pengaruh Pada Indeks Keandalan Jaringan Distribusi

Menurut (Perdana, Hasanah, & Dachlan, 2009) berikut faktor pengaruh pada tingkat keandalan jaringan distribusi :

a. Terdapat gangguan jaringan

Pada keadaan tersebut diupayakan untuk dapat mengatur dan mengoperasikan sistem jaringan dengan tepat hingga menekan tingkat pemadaman serendah mungkin.

b. Waktu memperbaiki gangguan serta rekayasa beban

Pada keadaan tersebut diupayakan untuk dapat sedini mungkin mengisolir lokasi titik gangguan dan rekayasa jaringan dengan mengirim teknisi. Dengan demikian tidak akan menimbulkan gangguan yang lebih berdampak besar.

Pada pendapat lain bahwa menurut (Nurdiana, 2017) bahwa pada suatu sistem distribusi berdasarkan indeks keandalan menurut standar IEEE P1366 antara lain :

a. Pemadaman/*Interruption of Supply*

Pelayanan distribusi tenaga listrik terhadap satu atau lebih konsumen terhenti, hal tersebut disebabkan terdapatnya gangguan pada salah satu komponen/peralatan jaringan.

b. Keluar/*Outage*

Tidak berfungsi secara seharusnya pada komponen, hal tersebut disebabkan karena komponen tersebut mengalami beberapa kondisi atau kejadian. Pada suatu keluar/*outage* konfigurasi sistem sangat berpengaruh terhadap dapat atau tidaknya penyebab pemadaman.

c. Lama keluar/*Outage Duration*

Waktu untuk dapat beroperasi kembali seperti semula (sesuai fungsi) dari permulaan komponen yang terjadi *outage*

d. Lama pemadaman/*Interruption Duration*

Waktu pada saat kondisi permulaan pemadaman hingga pada saat menyala kembali atau dengan kata lain berapa lamanya waktu pemadaman. Jumlah total beban mulai pada saat permulaan (*Total Number of Costumer Served*). Total konsumsi beban yang dapat terlayani berdasarkan periode waktu (laporan terakhir).

e. Periode laporan

Asumsi waktu dalam periode laporan ialah satu tahun.

2.6.2 Perbaikan Indeks Keandalan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Terdapat dua hal secara umum yang harus diperhatikan dalam upaya memperbaiki suatu sistem pada jaringan distribusi tenaga listrik, diantaranya :

a. Pengurangan Tingkat Frekuensi Pemadaman

Pada cara pertama ini adalah upaya agar seoptimal mungkin tingkat pemadaman agar dapat diminimalisir, yaitu dengan cara penambahan

suatu pengamanan dengan penambahan *fuse* yang secara langsung dapat mengurangi lamda per-*load point*,

b. Pengurangan Durasi Gangguan

Pada cara kedua ini dengan cara mengurangi durasi gangguan yang juga menggunakan suatu sistem pengamanan pada sistem jaringan distribusi, yaitu dengan cara menambahkan Sakelar Seksi Otomatis (SSO) *Sectionalizer*, yang mana pada cara ini menekan durasi akibat perubahan *repair time* untuk dapat menjadi waktu *switching time* pada *load point* yang terlokalisir.

2.6.3 Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Menurut (Pulungan, Sukardi, & Tambun, 2012) tingkat keandalan atau indeks keandalan ialah tolak ukur yang dapat menjadi indikasi andal atau tidaknya suatu sistem dengan besaran probabilitas. Untuk mengevaluasi keandalan jaringan maka dibutuhkan suatu kerangka indeks yang telah dikembangkan berdasarkan standar yang ditetapkan.

Atau dapat juga dikatakan indeks keandalan sistem distribusi adalah suatu tolak ukur berdasarkan suatu capaian yang menggunakan teknik matematis dalam periode tertentu dengan berdasarkan laju kegagalan (λ), rata-rata waktu keluar (*outage*) r (jam/kegagalan), dan rata-rata ketidakersediaan tahunan U (jam/tahun). Adapun beberapa metode secara sistem pada tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*), ASAI (*Average System Availability Index*).

Indeks keandalan ini difungsikan sebagai bahan evaluasi terhadap suatu sistem distribusi tenaga listrik untuk menjaga kestabilan dan kontinuitas dalam pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen. Oleh karenanya pada hal ini suatu sistem harus dapat berfungsi secara optimal secara batas yang telah ditentukan pada target kerja perusahaan pada masing-masing wilayah dalam hal ini adalah PT. PLN (Persero) sebagai penyedia jasa layanan tenaga listrik.

Tabel 2. 1 Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sumber : (Pulungan, Sukardi, & Tambun, 2012)

Standardrization by	SAIFI, No. of			SAIDI, h of		
	Interruption/Year			Interuption/Year		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
IEEE Std. 1366-2000	0.90	1.10	1.45	0.89	1.50	2.30
EEI (1999) (excludes storm)	0.92	1.32	1.71	1.16	1.74	2.23
EEI (1999) (with storms)	1.11	1.33	2.15	1.36	3.00	4.38
CEA (2001) (with storms)	1.03	1.95	3.16	0.73	2.26	3.28
PA Consulting (2001) (with storms)	-	-	-	1.55	3.05	8.35
IP & L Large City Comparison (Indianapolis Power & Light, 2000)	0.72	0.95	1.15	1.02	1.64	2.41

Note : 25%, 50% and 75% represent the lower quartile, the madian and the upper quartile of utilities surveyed

a. Laju Kegagalan (λ)

Laju kegagalan adalah nilai rata-rata dari banyaknya suatu operasi sistem yang meliputi instrumen/peralatan pada waktu tertentu. Di mana (F) ialah angka kegagalan (jumlah) dalam waktu percobaan, dan (T) yang dinyatakan dalam satuan total waktu pada waktu percobaan.

$$\lambda = \frac{F}{T} \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana :

λ = Angka kegagalan (kali/tahun)

F = Jumlah kegagalan selama waktu percobaan

T = Jumlah lamanya selang waktu percobaan (1 tahun)

Menurut (Wilis, 2004) untuk menghitung lamanya gangguan rata-rata (*Average Outage Time*) adalah sebagai berikut :

$$U_s = \frac{\Sigma T}{\lambda} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada laju kegagalan yang perlu diperhatikan adalah nilainya akan berubah dengan faktor usia dari atau peralatan listrik selama beroperasi.

b. Laju Perbaikan (*r*)

Menurut (Nurdiana, 2017) untuk mengetahui besarnya laju perbaikan per tahun maka harus diketahui berapa lama kebutuhan waktu untuk suatu instrumen/peralatan yang gagal atau keluar guna dapat kembali beroperasi dengan memperbaiki atau mengganti dalam satuan jam atau yang dikenal dengan laju perbaikan.

$$r = \frac{U}{\lambda} \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana :

r = Waktu kegagalan (jam)

U = Waktu kegagalan per tahun (jam/tahun)

λ = Angka kegagalan per tahun (gangguan/tahun)

c. Laju Perbaikan Per tahun (*U*)

Menurut (Nurdiana, 2017) untuk dapat mengetahui besarnya laju suatu perbaikan dalam waktu satu tahun dengan mengetahui jumlah dari waktu perbaikan (rata-rata dalam satu tahun) yang ada pada suatu instrumen/peralatan. Kemudian hal tersebut diperoleh dengan cara hitungan perkalian antara suatu kegagalan dan waktu yang keluar dari instrumen/peralatan tersebut. Berikut perhitungan matematis laju perbaikan untuk per tahun yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$U = \sum \lambda_i r_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Di mana :

U = Waktu kegagalan (jam/tahun)

λ = Angka kegagalan per tahun (gangguan/tahun)

r = Waktu kegagalan (jam)

d. SAIFI (*System Average Interruption Index*)

SAIFI ialah suatu indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik yang merupakan jumlah dari perkalian dari frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah total dari pelanggan yang dilayani. Dengan indeks keandalan SAIFI maka dapat diketahui bahwa frekuensi kegagalan terjadi dari rata-rata dari sistem yang terdapat pada bagian bagiannya bila di evaluasi maka bisa untuk klasifikasikan berdasarkan tingkat keandalannya. Berikut perhitungan matematis yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah dari Perkalian Angka Kegagalan dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Total Pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i . N_i}{\sum N_t} \dots \dots \dots (2.5)$$

Di mana :

λ_i = Angka kegagalan/frekuensi padam (kali/tahun)

N_i = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban i

N_t = Jumlah pelanggan total yang dilayani

e. SAIDI (*System Average Duration Index*)

SAIDI adalah suatu indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan yang mengalami padam dibagi dengan jumlah total pelanggan yang dilayani. Dengan indeks keandalan SAIFI maka dapat diketahui bahwa lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Berikut perhitungan matematis yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\text{Perkalian Lama Padam dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Total Pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i.N_i}{\sum N_t} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana :

U_i = Lama/durasi padam

N_i = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban i

N_t = Jumlah pelanggan total yang dilayani i

f. CAIDI (*Customer Average Duration Index*)

CAIDI adalah suatu indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik yang merupakan indeks yang dapat memberikan informasi rata-rata pemadaman berdasarkan lama waktu (durasi). Berikut perhitungan matematis yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$CAIDI = \frac{\text{Jumlah Durasi Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Total Gangguan Pelanggan}} = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i.N_i}{\sum \lambda_i.N_i} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana :

U_i = Lama/durasi padam

N_i = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban i

λ_i = Angka kegagalan/frekuensi padam (kali/tahun)

Besarnya nilai indeks CAIDI ialah sebagai besar durasi pemadaman (r) dari sistem distribusi tenaga listrik yang dapat dilihat secara keseluruhan berdasarkan aspek pelanggan.

g. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

Menurut (Haq, 2016), SPLN adalah standar perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, instruksi, cara pengujian dan spesifikasi Teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil diselesaikan. Diantaranya 61 standar dibidang pembangkitan, 71 standar dibidang transmisi, 99 standar dibidang distribusi dan 33 standar dibidang umum.

Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik. Tujuannya adalah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan dari sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur beserta evaluasi terhadap kemajuan menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN. Berikut adalah standar indeks keandalan SPLN 68-2 :1986, IEEE std 1366-2003, dan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*) dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Standar Indeks Keandalan SPLN, IEEE, WCS dan WCC.

Sumber : SPLN No. 68-2 :1986, IEEE std 1366-2003, WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*) .

Standar	Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SPLN No. 68-2 :1986	SAIFI	3.2	Kali/pelanggan/tahun
	SAIDI	21.09	Jam/pelanggan/tahun
IEEE std 1366-2003	SAIFI	1.45	Kali/pelanggan/tahun
	SAIDI	2.3	Jam/pelanggan/tahun
	CAIDI	1.47	Kali/gangguan
WCS dan WCC	SAIFI	3	Kali/pelanggan/tahun
	SAIDI	1.666	Jam/pelanggan/tahun