



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik¹

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas :

- a. Sistem Pembangkit
- b. Sistem Transmisi dan Gardu Induk
- c. Sistem Distribusi
- d. Sistem Sambungan Pelayanan

Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat.

Sistem distribusi terbagi menjadi 2 bagian :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem distribusi tenaga listrik berfungsi mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke pusat-pusat beban. Komponen-komponen sistem distribusi terdiri dari : Penyulang SUTM (*primari feeder*), Trafo distribusi, Jaringan sekunder (Sambungan pelanggan) dan pentanahan.

Sesuai dengan fungsinya maka suatu sistem jaringan distribusi berdasarkan sistem penyaluran dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu dengan:

1. Saluran udara (*overhead line*) dan
2. Saluran bawah tanah (*underground cable*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang di topang pada tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang di tanam di dalam tanah.

¹ Ratno Wibowo, Winayu. *Kriteria Disain Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. .2010. Hal 1

2.1.1 Jaringan Hantaran Udara (*Over Head Line*)

Jaringan hantaran udara baik digunakan pada daerah dengan kerapatan beban yang rendah karena disini harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara relatif lebih murah disamping itu juga harga materialnya lebih murah bila dibandingkan dengan hantaran bawah tanah. Jaringan hantaran udara menyalurkan daya listrik melalui kawat telanjang atau kabel AAAC yang di gantung pada tiang-tiang dengan peralatan isolator. Adapun keuntungan dari hantaran udara yaitu :

1. Mudah melakukan perluasan pelayanan dengan penarikan penghantar cabang yang diperlukan.
2. Mudah melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan bila terjadi gangguan pada suatu jaringan.
3. Tiang-tiang jaringan distribusi primer dapat pula di pergunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan trafo atau gardu tiang (gardu distribusi) sehingga secara keseluruhan harga instalasinya murah.

Kelemahan dari pemasangan jaringan kabel saluran ini mengurangi keindahan di sekitarnya karena saluran kabel itu berseliweran.

2.1.2 Jaringan Hantaran Bawah Tanah (*Underground Cable*)

Untuk daerah-daerah yang mempunyai kerapatan beban tinggi seperti di pusat kota, pusat industri, pemasangan hantaran jaringan bawah tanah lebih baik jika di bandingkan dengan pemasangan hantaran jaringan udara. Jaringan hantaran bawah tanah ini biasanya menggunakan kabel NA2XSEYFGBY dan sebagainya.

Keuntungan yang dapat diperoleh dari pemasangan jaringan bawah tanah adalah bebasnya kabel dari gangguan pepohonan, sambaran petir, ataupun dari gangguan manusia. Dari segi estetika jaringan kabel bawah tanah tidak dapat terlihat sehingga keindahan dan kerapian tetap terjaga. Dari segi keamanannya pemasangan jaringan kabel bawah tanah ini lebih aman karena dapat mengurangi penyebab bahaya sentuhan oleh manusia.

Kerugian atau kelemahan dari pemasangan jaringan kabel bawah tanah ini antara lain sebagai berikut :

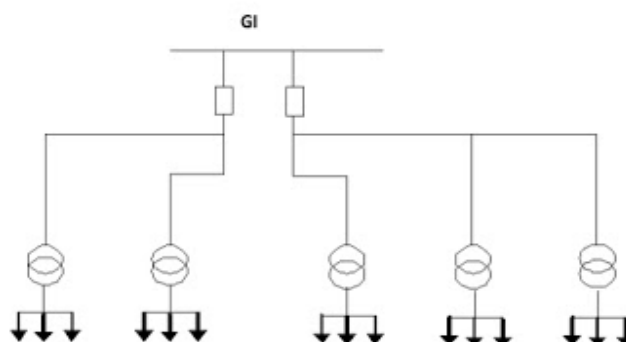
1. Harga kabelnya yang relatif mahal
2. Tidak fleksibel terhadap perubahan jaringan
3. Gangguan yang terjadi sering bersifat permanen
4. Waktu dan biaya untuk menanggulangi bila terjadi gangguan biasanya lebih lama dan lebih mahal.

2.1.3 Bentuk Jaringan Distribusi

Konfigurasi jaringan distribusi pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan yang biasa digunakan adalah:

1. Jaringan Distribusi Pola *Radial*

Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.

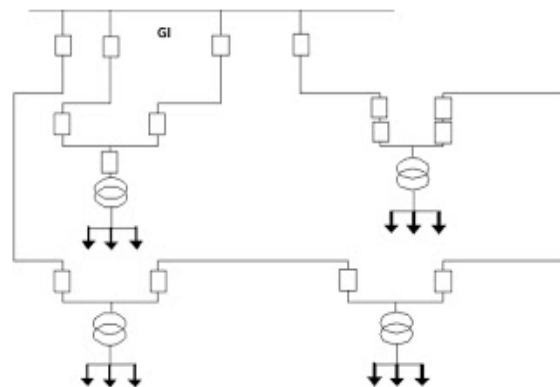


Gambar 2.1 Pola Jaringan Radial

2. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola *loop* adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan.

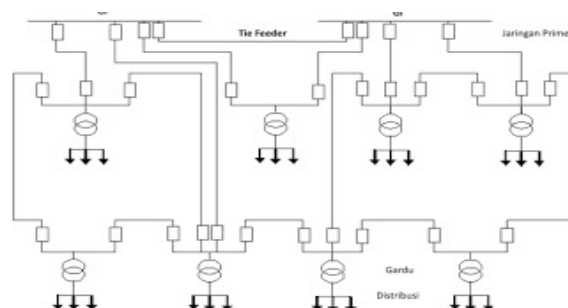
Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik.



Gambar 2.2 Pola Jaringan Loop

3. Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut *tie feeder*. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



Gambar 2.3 Pola Jaringan Grid

4. Jaringan Distribusi Pola *Spindel*

Jaringan primer pola *spindel* merupakan pengembangan dari pola *radial* dan *loop* terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut *express feeder*. Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah saklar beban.

Dalam hal ini penulis merencanakan jaringan distribusi saluran udara 20 KV dengan menggunakan jaringan distribusi primer tipe radial.



Gambar 2.4 Pola Jaringan *Spindel*

2.2 Keandalan Sistem Distribusi ²

Keandalan sistem penyaluran distribusi tenaga listrik tergantung pada model susunan saluran, pengaturan operasi dan pemeliharaan serta koordinasi peralatan pengaman. Tingkat keandalan kontinuitas penyaluran bagi konsumen tenaga listrik adalah beberapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik. Tingkat keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi lima hal antara lain (SPLN 523, 1983:5):

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

² SPLN 52-3. *Pola Pengamanan Sistem*. 1983. Hal 5

- Tingkat 2 : Padam beberapa jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk dapat menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.
- Tingkat 3 : Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
- Tingkat 4 : Padam beberapa detik, pengaman dan manipulasi otomatis.
- Tingkat 5 : Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis.

Dengan Demikian dalam rangka menekan susut distribusi, Pengembangan jaringan distribusi baru harus mengacu pada SPLN 72 1987 yang menyatakan standar nilai maksimal susut saluran distribusi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yakni sebesar 2%.

Dengan kriteria susut distribusi:

- JTM = 2,44 %
- JTR = 3,36 %
- Trafo = 1,40 %
- SR = 1,06 %

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas sistim kelistrikan adalah kondisi dari konstruksi pada jaringan distribusi tenaga listrik yang meliputi Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi, Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Tenaga Listrik (Rumah / Pelayanan). Kualitas system kelistrikan yang baik berdampak pada rendahnya susut distribusi.

2.3 Jenis-jenis Penghantar pada Jaringan

Penghantar berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit atau gardu induk pada satu tempat ketempat lainnya. Karena pada penyaluran tenaga listrik akan timbul rugi tegangan, besarnya kerugian tersebut tergantung dari jenis penghantar, luas penampang kawat dan panjang saluran yang

digunakan. Untuk mengurangi rugi tegangan yang ditimbulkan oleh resistansi penghantar, perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis penghantar sebagai penyaluran tenaga listrik.

Untuk pemilihan penghantar yang akan digunakan pada saluran transmisi maupun distribusi harus memperhatikan beberapa factor antara lain:

1. Daya hantar dari penghantar
2. Besar/penampang penghantar
3. Resistansi penghantar per satuan panjang
4. Kuat tarik
5. Ekonomis

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan penghantar adalah:

1. Tembaga
2. Aluminium
3. Campuran logam diatas dengan logam lain

Penghantar biasanya terbuat dari tembaga. Tetapi penghantar aluminium, yang lebih murah dan lebih ringan dibandingkan dengan penghantar tembaga untuk suatu resistansi yang sama, akhirnya menggantikan kedudukan penghantar tembaga.

Macam penghantar yang digunakan dalam sistem jaringan tegangan menengah antara lain:

- AAACS³ : *All Aluminium Alloy Conductor Shielded* yaitu penghantar AAAC yang berselubung polietilen ikat silang (XLPE). Penghantarnya berupa aluminium paduan yang dipilin bulat tidak dipadatkan. Isolasi kabel AAACS memiliki ketahanan isolasi sampai dengan 20 kV, sehingga penghantar jenis ini harus diperlakukan seperti halnya penghantar udara telanjang.
- AAAC⁴ : *All Alloy Aluminium Conductor* yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti.
- NA2XSEYFGbY: Penghantar ini terbuat dari Aluminium yang berisolasi XLPE, yang dilapisi pembungkus inti, dan diselubungi PVC. Dengan adanya

³ SLPN 41-10 : 1991

⁴ SPLN 41-8 : 1981

pelindung kawat pita baja, kabel ini memungkinkan ditanam langsung ke dalam tanah tanpa pelindung tambahan.

- Cu : Penghantar yang terbuat dari tembaga ini berisolasi PVC dan XLPE .

2.4 Manuver Jaringan

Manuver atau memanipulasi jaringan distribusi adalah serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat dari adanya gangguan atau pekerjaan jaringan yang membutuhkan pemadaman tenaga listrik, sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman dan agar tetap tercapai kondisi penyaluran tenaga listrik yang semaksimal mungkin.

Kegiatan yang dilakukan dalam manuver jaringan antara lain:

- Memisahkan bagian-bagian jaringan yang semula terhubung dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.
- Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang semula terpisah dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.

Tujuan dan manfaat dari manuver pasokan daya listrik adalah untuk:

- Mengurangi daerah pemadaman listrik pada saat terjadi gangguan atau pekerjaan jaringan.

2.4.1 Jenis-Jenis Manuver Beban

- Manuver secara Manual

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang utama dan penyulang cadangan dilakukan secara manual dimana petugas/operator langsung menuju gardu hubung atau tempat yang akan dilakukannya manuver.

- Manuver Beban Secara Otomatis.

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan bantuan alat *switching*, apabila terjadi gangguan pada penyulang (prioritas 1) maka

petugas *dispatcher* akan langsung bekerja memindahkan aliran listrik dengan bantuan peralatan *switching* yang terpasang pada penyulang (prioritas 2) dengan bantuan sistem SCADA .

2.4.2 Alat Pendukung Manuver

a) Pemutus Tenaga (PMT)⁵



PMT 20KV

Gambar 2.5 Pemutus Tenaga

Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu PMT agar dapat melakukan hal-hal diatas, sebagai berikut :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

⁵ Sarimun,Wahyudi. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*.2016.Hal 52

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada Gardu Induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan menengah (*Incoming Cubicle*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*Outgoing Cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari Gardu Induk (yang menjadi kewenangan operator tegangan menengah adalah sisi *Incoming Cubicle*).

b) Load Break Switch (LBS)⁶

Switch/Saklar pemutus beban (*Load Break Switch, LBS*) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. *Switch* dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui control jarak jauh dan skema otomatisasi. *Switch* pemutus beban juga merupakan sebuah sistem penginterupsi hampa yang terisolasi oleh gas SF₆ dalam sebuah tangki baja anti karat dan disegel. Sistem kabelnya yang full-insulated dan sistem pemasangan pada tiang pancang yang sederhana yang membuat proses instalasi lebih cepat dengan biaya yang rendah. Sistem pengendalian elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan.



Gambar 2.6 Load Break Switch Schneider

c) Recloser (Penutup Balik Otomatis / PBO)⁷

Reclose artinya menutup kembali, dipergunakan untuk mengamankan peralatan listrik/jaringan SUTM bila terjadi gangguan hubung singkat temporer maupun permanen.

⁶ Suhadi. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3*. 2008. Hal 320

⁷ Sarimun, Wahyudi. *Op.Cit*, Hal 206

Gangguan temporer adalah gangguan yang waktunya singkat beberapa detik, antara lain :

- Karena tiupan angin, terhubungnya konduktor satu dengan yang lainnya.
- Karena petir.
- Cabang-cabang pepohonan menyentuh konduktor karena tertiuip angin.
- Binatang-binatang kecil melintasi konduktor bertegangan yang menyentuh permukaan grounding.

Karena setelan waktu relay (*over current* atau *ground fault*) di sumber minimum waktu tripnya 0,3 detik, bila terjadi gangguan dengan arus dibawah setelan dengan waktu singkat (< 0,3 detik) kemungkinan tidak trip. Kalau gangguan tidak diamankan, maka akan sangat berbahaya, untuk ini dibutuhkan pengaman yang mempunyai karakteristik :

- Bila ada gangguan dengan waktu cepat relai trip,
- Begitu gangguan hilang relai masuk kembali.
- Kejadian ini disebut *Reclosei*, peralatan pengamannya disebut *Recloser* atau pemutus balik otomatis (PBO).

Pengaman jenis ini dapat di setel cepat untuk gangguan yang temporer dan lambat untuk gangguan yang permanen. Setelan lambat perlu dikoordinasikan dengan pengaman lain seperti OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*).

. Penormalan recloser dapat dilakukan baik secara manual maupun dengan sistem remote. Recloser juga berfungsi sebagai pembatas daerah yang padam akibat gangguan permanen atau dapat melokalisir daerah yang terganggu.



Gambar 2.7 Recloser Schneider

2.5 Sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)⁸

Komputerisasi gardu distribusi akan membawa banyak keuntungan dalam pengeloaan suatu jaringan distribusi, antara lain adalah supervise yang lebih baik, dimana gambaran yang lebih jelas tentang indikasi jaringan akan mudah diperoleh. Demikian juga situasi pembebanan dan indikasi lokasi gangguan dapat dipantau lebih tepat, sehingga dapat dipulihkan lebih cepat. Pengaturan tenaga listrik pada sistem yang terinterkoneksi dilaksanakan oleh pusat pengatur sistem tenaga listrik. Kecepatan dan keakuratan data informasi sangatlah dibutuhkan pada pengaturan sistem tenaga listrik, sehingga pusat pengatur tenaga listrik dalam melaksanakan tugas pengaturan didukung oleh peralatan yang berbasis komputer untuk membantu operator (*dispatcher*) dalam melaksanakan tugasnya. Sistem pengaturan yang berbasis komputer disebut *Supervisory Control And Data Acquisition*. SCADA terdiri dari perlengkapan *hardware* dan *software*. Sistem SCADA/EMS bertujuan untuk membantu perusahaan listrik mendapatkan sistem pengoperasian optimum sesuai dengan berbagai kenyataan kekurangan-kekurangan maupun segala kelebihan yang terdapat pada sistem tenaga listrik tersebut.

2.5.1 Pengertian SCADA

SCADA (*supervisory control and data acquisition*) merupakan teknologi yang menggabungkan fungsi pengawasan, pengendalian dan pengambilan data jarak jauh (*remote area*) yang terpusat pada suatu tempat yang disebut *control center*. Secara umum SCADA berfungsi mulai dari pengambilan data pada Gardu Induk atau Gardu Distribusi, pengolahan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi.

Sistem pengendalian berbasis SCADA banyak diterapkan karena memiliki fungsi pengukuran (*Tele Metering*), fungsi pengawasan (*Tele Control*) dan fungsi permintaan pengiriman data (*Tele Status*) dalam pengoperasiannya dan juga berfungsi sebagai pengendali berbagai sistem misalnya pada sistem tenaga listrik,

⁸ Bonar Pandjaitan. *Teknologi Sistem Pengendalian Tenaga Listrik Berbasis SCADA*. 1999. Hal 8

sistem distribusi minyak dan gas, sistem pengendalian lalu lintas kereta api, sistem pengendalian suplai air minum, sistem irigasi dan lain-lain. Sistem SCADA distribusi adalah suatu sistem yang terdiri atas seperangkat *hardware* dan *software* yang memungkinkan dispatcher yang berada di pusat kontrol mampu mengendalikan Jaringan Tegangan Menengah (JTM).

Prinsip dasar sistem SCADA adalah untuk memantau dan mengontrol semua peralatan yang terdapat pada suatu sistem dari jarak jauh. SCADA bekerja mengumpulkan informasi, kemudian mentransfernya ke sentral dengan membawa data - data hasil analisa khusus dan sinyal kontrol (status) yang kemudian diperagakan pada sejumlah layar operator. SCADA bertujuan untuk membantu mendapatkan sistem pengoperasian optimum sesuai dengan berbagai kenyataan kekurangan-kekurangan maupun segala kelebihan yang terdapat pada suatu sistem.

SCADA diimplementasikan dengan perangkat-perangkat lunak, baik untuk sistem pembangkitan, transmisi maupun distribusi. Pada umumnya proses pengendalian pada sistem tenaga listrik jarak jauh terdiri atas 4 macam, yaitu :

1. Pengendalian buka / tutup perangkat pemutus daya, pemisah serta *start /stop* dari generator
2. Pengendalian perangkat-perangkat regulator seperti pengaturan *set point* atau menaikkan dan menurunkan posisi tap changer.
3. Pemantau dan pengaturan beban.
4. Pengendalian yang dilakukan secara otomatis untuk keseragaman dan pengendalian perintah berurutan, misalnya merubah konfigurasi jaringan.

2.5.2 Fungsi Sistem SCADA

Adapun Fungsi dasar Scada terbagi menjadi 3 yaitu:

a. Telemetering (TM)

Mengirimkan informasi berupa pengukuran dari besaran-besaran listrik pada suatu saat tertentu, seperti : tegangan, arus, frekuensi. Pemantauan yang

dilakukan oleh dispatcher diantaranya menampilkan daya nyata dalam MW, tegangan dalam KV, dan arus dalam A. Dengan demikian dispatcher dapat memantau keseluruhan informasi yang dibutuhkan secara terpusat.

b. Telesinyal (TS)

Mengirimkan sinyal yang menyatakan status suatu peralatan atau perangkat. Informasi yang dikirimkan berupa status pemutus tegangan, pemisah, ada tidaknya alarm, dan sinyal-sinyal lainnya. Telesinyal dapat berupa kondisi suatu peralatan tunggal, dapat pula berupa pengelompokan dari sejumlah kondisi. Telesinyal dapat dinyatakan secara tunggal (*single indication*) atau ganda (*double indication*). Status peralatan dinyatakan dengan cara indikasi ganda. Indikasi tunggal untuk menyatakan alarm.

c. Telekontrol (TC)

Perintah untuk membuka atau menutup peralatan sistem tenaga listrik dapat dilakukan oleh *dispatcher* secara *remote*, yaitu hanya dengan menekan salah satu tombol perintah buka/tutup yang ada di dispatcher.

2.5.3 Komponen SCADA

SCADA tidak dapat bekerja sendiri, melainkan membutuhkan komponen-komponen pendukung lainnya, Sistem SCADA terdiri dari tiga komponen (subsistem) utama yaitu :

a. Pusat Kontrol (*Master Station*)

Pusat kontrol terdiri dari beberapa komponen utama yaitu : Komputer utama (PC SCADA), *Human Machine Interface* (HMI), WS Programing dan peripheral lainnya yang terdiri dari dua buah yang berfungsi sebagai *redundant master/slave*, sehingga akan tetap beroperasi meskipun komputer master terjadi gangguan. Fungsi utama dari komputer utama adalah :

1. Mengatur komunikasi antara dirinya sendiri dengan RTU.

2. Mengirim dan menerima data dari RTU kemudian menterjemahkannya ke dalam bentuk informasi yang dapat dimengerti oleh user.
3. Mendistribusikan informasi tersebut ke MMI, *Mimic Board* dan Printer Logger dan mendokumentasikan informasi tersebut.

b. Remote Terminal Unit (RTU)

Remote terminal unit adalah salah satu komponen / perangkat sistem SCADA yang terletak pada gardu induk, gardu distribusi dan gardu hubung yang bertugas mengeksekusi semua perintah dari *master station*. Agar semua kejadian yang terjadi di gardu PLN dapat dipantau dan dikontrol dari pusat kontrol, maka disetiap gardu tersebut dipasang alat yang dapat melaksanakan fungsi *Tele status*, *Remote Control*, dan *Tele Meter*. Alat tersebut adalah RTU (*Remote Terminal Unit*).



Gambar 2.8 Remote Terminal Unit Recloser Schneider

Fungsi utama dari RTU ini sendiri adalah :

1. Mendeteksi perubahan posisi saklar (*Open/Close/Invalid*).
2. Mengetahui besaran tegangan, arus, dan frekuensi (di Gardu Induk)
3. Menerima perintah *remote control* dari pusat kontrol untuk membuka atau menutup.

c. Telekomunikasi Data

Media telekomunikasi sebagai media untuk menyampaikan pesan/sinyal antara RTU dengan *control center* dan sebaliknya. Media komunikasi bisa berupa kabel, *power line carrier*, serat optic maupun frekuensi radio. Untuk menghubungkan dua perangkat yaitu komputer di pusat kontrol dengan Remote Terminal Unit diperlukan subsistem komunikasi sehingga dua perangkat tersebut dapat saling komunikasi satu dengan yang lain. Apabila dua perangkat sudah terhubung dan dapat berkomunikasi pusat kontrol (*master station*) maka dapat melakukan perintah kontrol seperti membuka / menutup LBS / melalui RTU. RTU dapat melakukan pengiriman status *switch*, alarm dan data pengukuran ke pusat kontrol apabila terdapat subsistem komunikasi yang baik yang terdiri dari komponen utama yaitu, media komunikasi, modem (*Modulator Demodulator*), protokol komunikasi, dll. Media komunikasi merupakan sarana fisik yang menghubungkan RTU dengan master station meliputi, *Pilot Cable* (Kabel Kontrol), modem GPRS (DF 7119) pada frekuensi 900 – 907,5 MHz dan Radio Link, yaitu Radio Racom 1 (378.050 MHz), Radio Racom 2 (379.050 MHz), Radio MDS 1 (371.050 MHz – 376.050 MHz), dan Radio MDS 2 (372.000 – 377.000 MHz).

2.6 Pengertian & Fungsi HMI (*Human Machine Interface*)⁹

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat real time. Sistem HMI biasanya bekerja secara online dan real time dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem controller-nya. Port yang biasanya digunakan untuk controller dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah port com, port USB, port RS232 dan ada pula yang menggunakan port serial.

⁹ SPLN S3.001. Peralatan SCADA Sistem Tenaga Listrik. 2008.Hal 4

Secara umum HMI memiliki beberapa fungsi diantaranya memberikan informasi yang *up to date* kepada operator, menerjemahkan instruksi operator ke mesin, memonitor keadaan, mengambil tindakan yang sesuai dgn keadaan yg terjadi, memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi sesuatu yang tidak normal, menampilkan pola data kejadian yang ada pada mesin baik secara *real* maupun secara *historical*, dsb.



Gambar 2.9 Layar HMI di ruang SCADA Kantor PLN UP2D WS2JB

2.7 Pengertian dan Fungsi *Dispatcher*¹⁰

Pada PT.PLN, *Dispatcher* merupakan petugas yang melaksanakan pengaturan, pengoperasian, dan pemantauan sistem tenaga listrik (*Dispatching*).

Adapun fungsi utama dari *Dispatcher* yakni :

- Petugas pelaksana operasi “*real time*” yang mampu menjaga mutu dan keandalan operasi sistem tenaga listrik.
- Berperan melaksanakan Rencana Operasi Harian (ROH) dan mampu mengatasi penyimpangannya.

Tugas utama dari *Dispatcher* yakni mengatasi penyimpangan (deviasi) yang terjadi dari Rencana Operasi Harian. Penyimpangan dapat terjadi antara lain karena gangguan sistem (gangguan partial dan gangguan total/blackout).

¹⁰ SPLN S6.001. Perencanaan dan Pembangunan Sistem SCADA. 2008.Hal 2

2.8 Resistansi Saluran

Resistansi adalah kemampuan tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya pada saluran transmisi maupun distribusi.

Resistansi efektif dari konduktor adalah :

$$R = \frac{\text{Power Loss dalam induktor}}{(I)^2} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.1)$$

Resistansi direct-current (R_{dc}) diberikan dengan formula :

$$R_{dc} = \frac{\rho \times l}{A} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.2)^{11}$$

Dimana :

ρ = resistivity konduktor ($\Omega.m$)

l = panjang konduktor (m)

A = *cross sectional area* (m^2)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik

Nilai resistivity konduktor pada temperature 20° C adalah :

- Untuk tembaga, $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$ atau $= 1,77 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Untuk aluminium, $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$ atau $= 2,83 \times 10^{-8} \Omega.m$

Konduktor pilin 3 strand menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan strand terkonsentrasi menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 2%. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari formula berikut ini :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots \dots \dots (2.3)^{12}$$

Dimana R_1 dan R_2 adalah resistansi masing-masing konduktor pada temperatur t_1 dan t_2 dan T adalah suatu konstanta yang nilainya sebagai berikut :

$T = 234,5$ untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

¹¹ Stevenson, William D. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. 1994.Hal. 39

¹² Stevenson, William D,loc.cit.



T = 241 untuk tembaga dengan komduktivitas 97,3%

T = 228 untuk alluminium dengan konduktivitas 61%

2.9 Daya Listrik¹³

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Dalam sistem listrik AC atau arus bolak-balik ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu:

2.9.1 Daya Semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

Untuk 1 fasa : $S = V \times I$ (2.4)¹⁴

Untuk 3 fasa : $S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L$ (2.5)¹⁵

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V_{L-L} = Tegangan antar saluran (Volt)

I_L = Arus saluran (Amper)

2.9.2 Daya Aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 fasa : $P = V \times I \times \text{Cos } \emptyset$ (2.6)¹⁶

¹³ Stevenson, William D. 2000. *Analisis Sistem tenaga Listrik*. Hal. 28

¹⁴ Cekdin.cekmas. *Transmisi daya listrik*. Andi Yogyakarta. 2013. Hal 16

¹⁵ Cekdin.cekmas, loc.cit.

$$\text{Untuk 3 fasa : } P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \emptyset \dots \dots \dots (2.7)^{17}$$

Dimana :

V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

$\cos \emptyset$ = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

2.9.3 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \times I \times \sin \emptyset \dots \dots \dots (2.8)^{18}$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \emptyset \dots \dots \dots (2.9)^{19}$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

$\sin \emptyset$ = Faktor Daya (tergantng nilai \emptyset)

2.9.4 Segitiga Daya

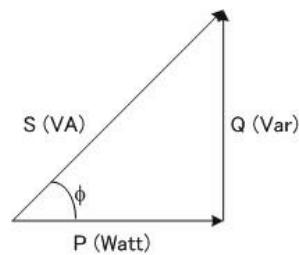
Dari bermacam daya diatas maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultannya adalah daya semu.

¹⁶ Ibid., Hal 17

¹⁷ Cekdin.cekmas, loc.cit.

¹⁸ Cekdin.cekmas, loc.cit.

¹⁹ Cekdin.cekmas, loc.cit.



Gambar 2.10 Segitiga daya

Sumber : Stevenson, William D. 1994.

2.10 Faktor Beban (*Load Factor*)²⁰

Faktor beban / *Load Factor* adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata-rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt ampere, ampere, dan sebagainya, tetapi satuan dari keduanya harus sama. Faktor beban dapat dihitung untuk periode tertentu, seperti per harian, bulanan, ataupun tahunan.

Beban puncak yang dimaksud disini adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu (demand maksimum. Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\text{Faktor Beban (LF)} = \frac{\text{Beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{Beban puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots(2.10)$$

2.11 Faktor Rugi-Rugi Beban (*Losses Load Factor*)²¹

Faktor rugi-rugi merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Definisinya merupakan perbandingan dari jumlah susut energi total pada periode tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada periode tersebut. Nilai faktor kerugian mendekati nilai faktor beban. Oleh karena itu secara umum nilai faktor kerugian adalah :

²⁰ Kadaffi, Muhamar. *Perancangan Sistem Tenaga Listrik*. 2013. Hal 3

²¹ Gonen, Turan. *Electrical Power Distribution System Engineering Second Edition*. 2008.



$$L_f^2 < LLF < L_f \dots\dots\dots(2.11)$$

Oleh karena itu faktor kehilangan tidak dapat ditentukan secara langsung dari faktor beban. Alasannya adalah bahwa faktor kerugian ditentukan dari kerugian sebagai fungsi waktu yang pada gilirannya sebanding dengan fungsi waktu dari beban kuadrat.

Namun *Buller* dan *Woodrow* mengembangkan rumus perkiraan untuk menghubungkan faktor kehilangan dengan faktor beban sebagai :

$$LLF = 0,3 (L_f) + 0,7 (L_f)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

L_f = Faktor Beban

LLF = Faktor Rugi Beban

V = Tegangan antar saluran (Volt)

2.12 Rugi Daya

Dalam suatu saluran distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar rugirugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator.

Dari penjelasan diatas, maka penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga fasa :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \dots\dots\dots(2.13)^{22}$$

Jika besar kerugian daya sudah diperoleh maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_Z \dots\dots\dots(2.14)^{23}$$

²² Arismunandar, Artono. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. 2004. Hal.3

²³ Arismunandar, loc.cit.

Maka besar nilai persentasi (%) kerugian daya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_{Total\ rugi}}{P} \times 100 \dots\dots\dots(2.15)^{24}$$

Dimana :

P = Rugi daya (kw)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

R = Resistansi saluran (ohm)

P_z = Rugi daya pada saluran (MW)

P_R = Besar Daya yang Diterima (MW)

2.13 Energi Listrik (KWh Terselamatkan)

Energi (KWh) terselamatkan adalah energi listrik yang masih dapat tersalurkan saat dilakukan pekerjaan tanpa dilakukan pemadaman. Sedangkan energi tak terselamatkan adalah energi yang hilang akibat pemadaman untuk pekerjaan pemeliharaan, perbaikan, dan perluasan jaringan. Pada sistem 3 fasa, formulasi perhitungan energi terselamatkan dalam Kilo Watt hour (KWH).

(KWh) adalah :

$$E_{safe} = I \cdot V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot t \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

E safe = Energi terselamatkan (KWH)

V = Tegangan fasa ke fasa (KV)

I = Arus saluran (ampere)

cos Φ = faktor daya

t = Lama padam (jam)

²⁴ Arismunandar, loc.cit.