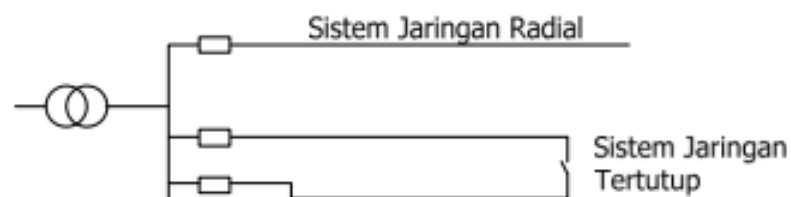


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Konfigurasi Jaringan Distribusi¹

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi yaitu Jaringan Radial dan Jaringan Bentuk Tertutup. Jaringan radial adalah jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok, sedangkan jaringan bentuk tertutup adalah jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



Gambar 2.1 Pola Jaringan Distribusi Dasar

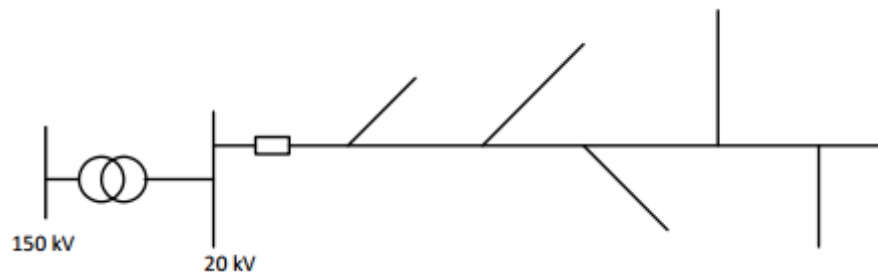
Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut:

2.1.1 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)

Konfigurasi *fishbone* ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan sistem SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*)

¹ Wibowo, ratna dkk. 2010. *Kriteria Disain Enjinerig Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta : PT. PLN (PERSERO).

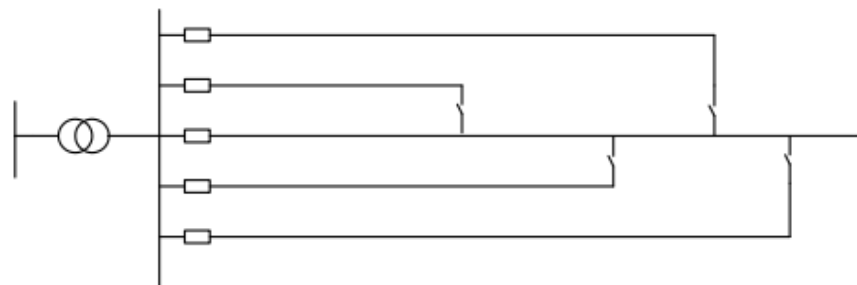
dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.



Gambar 2.2 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fishbone*)

2.1.2 Konfigurasi Kluster (*Cluster/ Leap Frog*)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.



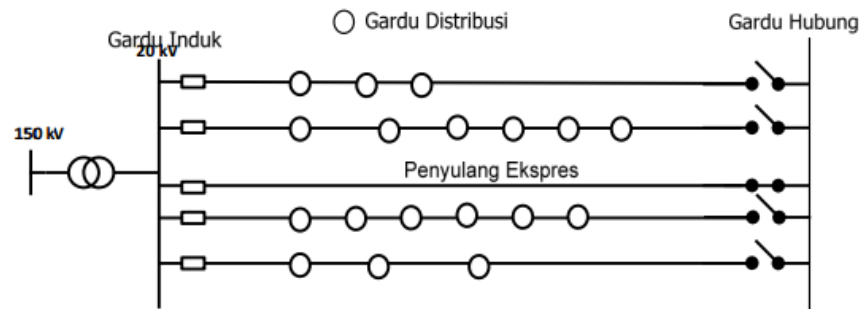
Gambar 2.3 Konfigurasi Kluster (*Leap Frog*)

2.1.3 Konfigurasi Spindel (*Spindel Configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *Spindel* jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6

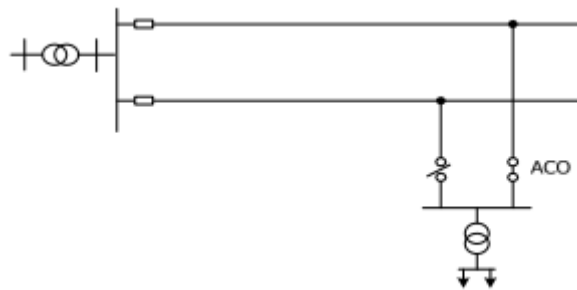
penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung, dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.4 Konfigurasi Spindel (*Spindel Configuration*)

2.1.4 Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan 1(satu)Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee- Off* (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.



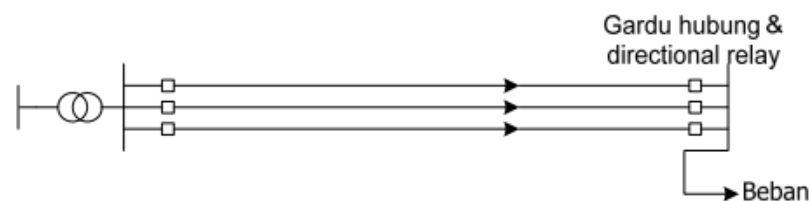
Gambar 2.5 Konfigurasi Fork



2.1.5 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi.

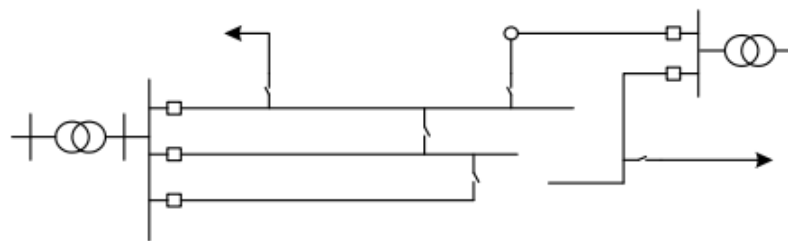
Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.6 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

2.1.6 Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.



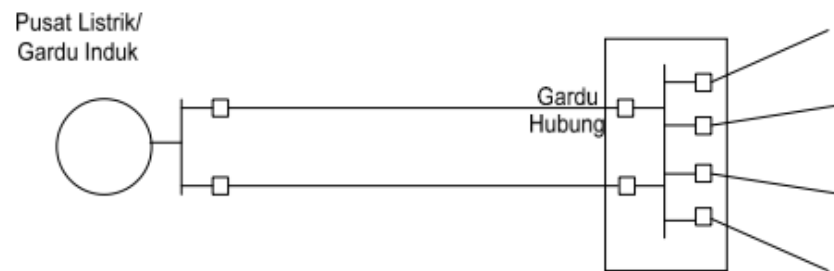
Gambar 2.7 Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

2.1.7 Konfigurasi Garpu, Bunga dan Rantai.

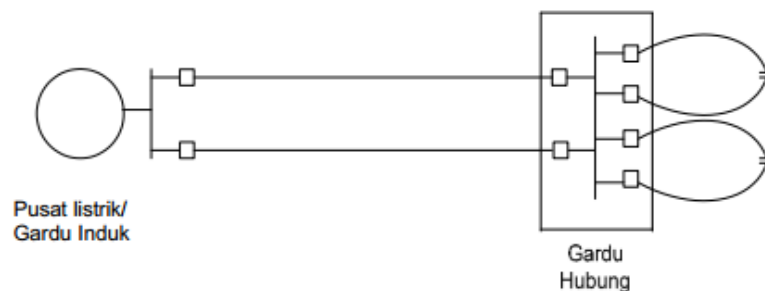
Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana di atas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan, yaitu struktur garpu dan bunga, serta struktur rantai.



Struktur Garpu dan Bunga dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik / Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengamanan dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.

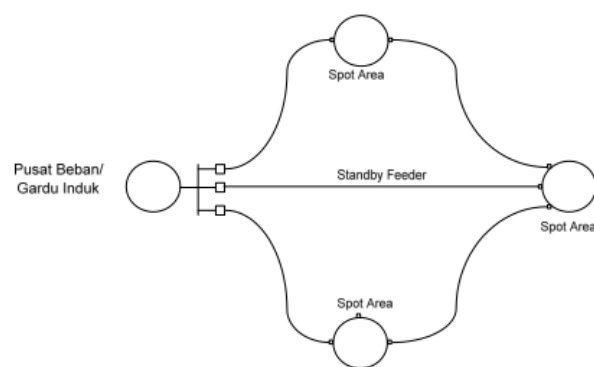


Gambar 2.8 Konfigurasi Struktur Garpu



Gambar 2.9 Konfigurasi Struktur Bunga

Sedangkan Struktur Rantai dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.10 Konfigurasi Struktur Rantai



2.2 Jaringan Distribusi Berdasarkan Sistem Penyaluran

2.2.1 Jaringan Hantaran Udara (*Over Head Line*).

Jaringan udara dapat berupa kawat terbuka atau kabel udara. Jaringan ini direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban yang rendah atau sangat rendah. Jaringan hantaran udara ini salah satunya menggunakan penghantar AAAC dan Kabel AAACS. Adapun beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan jaringan ini, antara lain adalah:

Keuntungannya:

1. Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban.
2. Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan di Atas 66 KV.
3. Harga material relatif lebih rendah dari jaringan bawah tanah.
4. Lebih mudah dalam pemasangannya.
5. Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi.

Kerugiannya:

1. Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
2. Untuk wilayah yang penuh dengan bangunan yang tinggi, sukar untuk menempatkan saluran.
3. Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi.
4. Ongkos pemeliharaan lebih mahal, karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

Jaringan udara memiliki gardu-gardu tiang berkapasitas kecil dan semua peralatannya berupa jenis pasangan luar (*outdoor type*). Kemampuan penyalurannya relatif lebih kecil dibanding jaringan bawah tanah dan dari sistem kehandalan, jaringan ini lebih rendah dari jaringan bawah tanah. Hantaran udara, terutama hantaran udara telanjang digunakan pada pemasangan di luar bangunan, direnggangkan pada isolator di antara tiang-tiang yang disediakan secara khusus.



2.2.2 Jaringan Hantaran Bawah Tanah (*Underground Cable*).

Jaringan bawah tanah direncanakan untuk kawasan padat beban tinggi seperti di pusat kota, pusat industri, yang mengutamakan kehandalan dan estetika pada tata tempat dan lokasi, pemasangan hantaran jaringan di bawah tanah lebih baik jika dibandingkan dengan pemasangan hantaran jaringan udara. Pada jaringan ini jenis penghantar yang digunakan adalah kabel tanah (Kabel NYFGBY). Jaringan ini lebih handal dibandingkan dengan hantaran jaringan udara di karenakan sistem pengamanan yang dimiliki lebih banyak di bandingkan penghantar telanjang. Gardunya merupakan gardu beban berkapasitas besar dan peralatan-peralatannya berupa pasangan dalam (*indoor type*). Adapun keuntungan dan kerugian jaringan ini adalah:

Keuntungannya:

1. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
2. Tidak mengganggu pandangan, bila adanya bangunan yang tinggi.
3. Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang.
4. Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara.
5. Ongkos pemeliharaan lebih murah, karena tidak perlu adanya pengecatan.
6. Tegangan drop lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan.

Kerugiannya:

1. Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara.
2. Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah (susah).
3. Perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui.



2.3 Gardu Distribusi²

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB - TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemerintah daerah(Pemda) setempat. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

a. Jenis pemasangannya :

Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol

Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

b. Jenis Konstruksinya :

1) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)

2) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol

3) Gardu Kios

c. Jenis Penggunaannya :

1) Gardu Pelanggan Umum

2) Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (Remote Terminal Unit). Untuk

² Wibowo, ratna dkk. 2010. *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*.

Jakarta : PT. PLN (PERSERO).



fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC Supply dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

2.4 Gardu Hubung

Gardu Hubung disingkat GH atau Switching Substation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan.

Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (Load Break switch – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah.

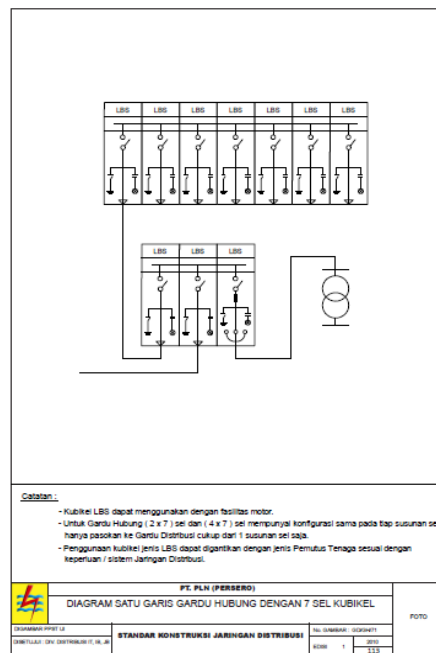
Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

Berdasarkan kebutuhannya Gardu Hubung dibagi menjadi:

1. Gardu Hubung untuk 7 buah sel kubikel.
2. Gardu Hubung untuk (7 + 7) buah sel kubikel.
3. Gardu Hubung untuk (7 + 7 + 7 + 7) buah sel kubikel.

Berikut merupakan diagram satu garis dan denah dari Gardu Hubung dengan 7 sel kubikel :



Gambar 2.11 Diagram satu garis gardu hubung dengan 7 sel kubikel



Gambar 2.12 Kondisi Gadu Hubung 7 sel kubikel tegangan menengah.

2.5 Load Breaker Switch (LBS)³

Saklar pemutus beban (*Load Break Switch, LBS*) merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban atau bertegangan. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)* tetapi yang membedakannya adalah LBS bias juga hanya sebagai pemisah atau untuk meminimalisir jika sudah terjadi gangguan dan trip alat proteksi yang seperti recloser. Untuk penempatan LBS ini 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. Saklar 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.

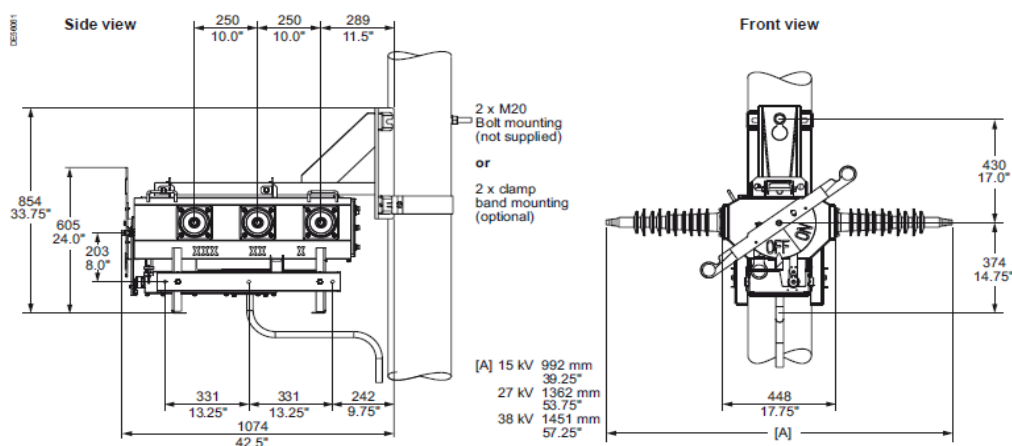


Gambar 2.13 Bentuk fisik *Load Breaker Switch*.

LBS yang biasa dipakai PT.PLN (Persero) yaitu LBS tipe SF₆ yaitu Tegangan Line Maksimum pada Switcgear Ratings antara 15kV atau 27kV dan 38kV dengan arus kontinyu 630 A RMS. Media Isolasi Gas SF₆ dengan tekanan

³ Schneider Electric. Medium Voltage Distribution. 2013. *RL-Series Load Break Switch/Sectionalizer with ADVC controller*.

operasional gas SF₆ pada suhu 20 °C adalah 65 kPa Gauge. Pengoperasian secara manual dapat dilakukan secara independent oleh operator. Tekanan untuk mengoperasikan tuas Max 20 kg. Switch pemutus beban dilengkapi dengan bushing boots elastomeric untuk ruang terbuka. Boots tersebut dapat menampung kabel berisolasi dengan ukuran diameter antara 16 – 32 mm dan akan menghasilkan sistem yang terisolir penuh. Kabel pre-cut yang telah diberi terminal dapat digunakan langsung untuk bushing switch Pemutus Beban dan telah memenuhi persyaratan yang sesuai dengan peralatan tersebut. Namun demikian, untuk kabel, dapat menggunakan yang telah disediakan oleh peralatan tersebut sepanjang masih memenuhi spesifikasi yang ditentukan.



Gambar 2.14 Konstruksi LBS dengan Gas SF₆

2.5.1 Spesifikasi Load Breaker Switch (LBS)

a. Tipe Load Breaker Switch (LBS)

Berikut tipe-tipe dari LBS berdasarkan spesifikasi nya :

1. Rated Voltage (tegangan rata-rata) adalah Tegangan rata - rata merupakan tegangan yang mengalir dalam Load Break Switch setiap waktunya, memiliki rated voltage sebesar 25.8 kV.
2. Rated Current (rata-rata arus) adalah Arus rata-rata yang mengalir melalui Load Break Switch setiap waktunya, memiliki rated current sebesar 630 A.

3. Frekuensi adalah Frekuensi yang dapat mengalir di Load Break Switch ini adalah 50 Hz dan 60 Hz.
4. Operasi adalah Pengoperasian Load Break Switch ini dapat secara manual dan otomatis.
5. Berat Load Break Switch adalah 128 kg.
6. Peredam Busur api di Load Break Switch ini menggunakan peredam busur api berupa SF6.
7. Media isolasi pada Load Break Switch ini berupa isolasi polimer.
8. Mekanisme saklar pemutus dan penghubung menggunakan mekanisme pegas.
9. Basic Impulse Level merupakan kemampuan menahan sambaran petir. Alat ini mampu menahan tegangan sambaran petir Fasa-fasa dan fasa ke tanah sebesar 170kV.

2.5.2 Load Break Capacity

Kemampuan Load Break Switch untuk memutuskan beban dengan pengoperasian mekanik pada Load Break Switch ini adalah sebanyak 10.000 kali.

2.5.3 Short Time Current

Berikut adapun juga kemampuan memutus dan menahan arus di LBS :

- a. Rated Short Time Current merupakan kemampuan memutus arus sesaat. Besar kemampuan Load Break Switch ini adalah sebesar 16 RMS/detik.
- b. Making Current adalah kemampuan menahan kenaikan arus sesaat. Kemampuan Load Break Switch ini adalah sebesar 40 KA sebanyak 5 kali.

Berikut adalah gambar dari box panel rangkaian kontrol RTU dan LBS :



Gambar 2.15 Kotak Panel RTU dan LBS



Berdasarkan gambar 2.15 diatas dapat kita lihat bahwa dengan menggunakan sistem SCADA LBS memiliki panel kontrol yang terhubung dengan RTU. Berikut tabel spesifikasi dari RTU LBS tersebut :

Tabel 2.1 Spesifikasi isi dari panel LBS.

NO	Peralatan dan Jenisnya	
1	Bahan dari box panel	316 stainless steel
2	Power supply bantu	115/230 Vac
3	DC power supply	24 Vdc, 7 Ah atau 12 Ah
4	Trafo PT	220 V ke 24 V AC
5	Temperature	-40°C sampai 50°C

Agar dapat dioperasikan dengan menggunakan sistem SCADA panel kontrol LBS harus dihubungkan dengan RTU, menghubungkan panel kontrol dengan RTU diperlukan sebuah pengkabelan (wiring) yang benar agar dapat beroperasi dengan benar dan normal. Panel pengendali (*user-friendly*) dan tahan segala kondisi cuaca. Sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh juga dapat ditambahkan tanpa perlu menambahkan Remote Terminal Unit (RTU).

2.6 Manuver Beban

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 :

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



Tujuan dan manfaat dari manuver beban pasokan daya listrik adalah untuk :

1. Mengurangi daerah pemadaman listrik pada saat terjadi gangguan atau pekerjaan jaringan.
2. Menghindari jaringan listrik untuk pelanggan dengan kategori beban kritis.
3. Memaksimalkan oenyaluran tenaga listrik.

2.6.1 Jenis-jenis manuver beban antar penyulang

Adapun juga jenis-jenis dari manuver beban antar jaringan yaitu sebagai berikut :

a. 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.

b. Manuver beban secara otomatis

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan FDIR yang terdapat dalam sebuah aplikasi Master Station.

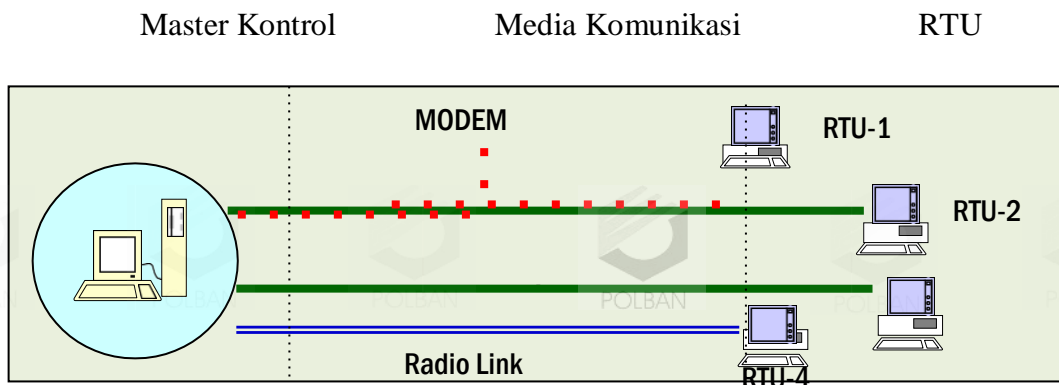
2.7 SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*)

2.7.1 Pengertian sistem SCADA⁴

SCADA, sebagaimana yang tertulis dalam SPLN S6.001:2008, yang dikutip dari [IEC 870-1-3] merupakan singkatan dari Supervisory Control And Data Acquisition, yang berarti sebuah sistem yang mengawasi dan mengendalikan peralatan proses yang tersebar secara geografis. Sistem SCADA terdiri dari 3 bagian utama yaitu: Master Station, Link Komunikasi Data, dan Remote Station. Master Control mempunyai fungsi memantau (monitoring), mengendalikan (controlling) dan mengukur (metering) data

⁴ Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) S6.001:2008. *Perencanaan dan Pembangunan Sistem SCADA* Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.

secara terpadu dalam satuan waktu tertentu pada sistem yang luas (baca: jauh atau tele), sedangkan Remote Station adalah stasiun yang dipantau, atau diperintah dan dipantau oleh master station, yang terdiri dari gateway, IED (Intelligent electronic device), lokal HMI, RTU (Remote Terminal Unit) dan meter energi analog. Blok diagram sistem SCADA dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.16 Blok diagram sistem SCADA

2.7.2 Elemen-elemen sistem SCADA

Elemen penting pada sistem SCADA terdiri dari 3 bagian utama yaitu : *Master Control Unit* , *Remote Terminal Unit* (RTU), dan media komunikasi data. Dalam proyek akhir ini penulis mengambil fokus pada bagian Master Stationnya / Master Control Unit sistem SCADA.

1) Master Control Unit

Berupa Main Komputer (Server). Main Komputer biasanya berjumlah 2 buah. Hal ini dimaksudkan untuk membentuk dual sistem (Master/Slave) sehingga sistem tidak bergantung hanya pada 1 main komputer saja. Hal ini dimungkinkan karena jika terjadi gangguan pada komputer Master, aplikasi komputer Master secara otomatis akan stop, dan komputer Slave secara otomatis akan menggantikannya sebagai Master sehingga availibilitas sistem secara keseluruhan lebih terjamin. Master Control Unit terdiri atas :

a) Human Machine Interface

Human machine interface (HMI) berfungsi sebagai perantara antara dispatcher



dengan sistem komputer. HMI memudahkan dispatcher dalam memonitor sistem tenaga listrik yang ada. Peralatan HMI diantaranya adalah: keyboard, Video Display Unit (VDU) , recorder, printer, logger.

b) Server

Server berfungsi untuk mengolah data yang diterima dari RTU yang dimonitor oleh dispatcher di Control Center melalui Human Machine Interface, SCADA Energy Management System, Dispatcher Training Simulation.

c) Front End Processor

Setelah data dikirim ke Control Centre melalui media komunikasi, data ini diterima melalui Front End komputer dan selanjutnya didistribusikan ke fungsi pengolahan.

Fungsi utama dari Master Control Unit adalah untuk :

- a). Mengatur komunikasi antara dirinya sendiri dengan RTU
- b). Mengirim dan menerima data dari RTU kemudian menterjemahkan ke dalam bentuk informasi yang dapat dimengerti oleh user
- c). Mendistribusikan informasi tersebut ke HMI, Mimic Board dan Printer Logger dan mem-file informasi tersebut
- d). Memanagement semua peralatan pusat kontrol yg lain.

Selain 2 buah main komputer, biasanya Pusat Kontrol juga dilengkapi dengan peripheral lain yang bersama-sama dengan main komputer terhubung dalam suatu jaringan lokal (LAN). Perihperal tersebut adalah :



Tabel 2.2 Tabel Peripheral Master Control Station

No.	Nama	Jumlah	Fungsi
1.	Human Machine Interface (HMI)	2	Sebagai antar muka antara user dengan sistem
2.	Mimic Board	1	Menampilkan sistem yang dikontrol dalam bentuk diagram statistik display angka hasil pengukuran
3.	Printer	3	Mencetak informasi yg didapat, Mencetak data, gambar & grafik

2) Remote Terminal Unit (RTU)⁵

Agar semua kejadian yang terjadi di gardu PLN, baik Gardu Induk (GI), Gardu Hubung (GH) dan Gardu Tengah (CDS) dapat dipantau dan dikontrol dari Pusat Kontrol, maka disetiap gardu tersebut harus dipasang alat yang dapat melaksanakan fungsi TeleSignallings (TS), TeleControlling (TC) dan TeleMetering (TM). Alat tersebut adalah RTU (Remote Terminal Unit). RTU sebenarnya sama saja dengan sebuah komputer, hanya saja tidak dilengkapi dengan monitor.

Fungsi utama dari suatu RTU adalah :

- a). Mendeteksi perubahan posisi saklar (Open/Close/Invalid)
- b). Mengetahui besaran tegangan, arus dan frekwensi (di Gardu Induk)
- c). Menerima perintah Remote Control dari Pusat Kontrol untuk membuka atau menutup.
- d). Mengirim data dan informasi ke Pusat Kontrol yang terdiri atas :Status saklar (Open/Close/Invalid) jika ada, hasil eksekusi Remote Control, nilai besar tegangan, arus dan frekwensi

⁵ Pati, Teguh. 2012. *Pengertian SCADA Supervisory Control*. (<http://teguhpati.blogspot.com/2012/11/pengertian-scada-supervisory-control.html>, diakses 2015).



Gambar 2.17 *Remote Terminal Unit (RTU)*

Fungsi utama dari suatu RTU adalah:

- a. Mendeteksi perubahan posisi saklar (*Open/Close/Invalid*).
- b. Mengetahui besaran tegangan, arus dan frekwensi (di Gardu Induk).
- c. Menerima perintah *remote control* untuk membuka atau menutup.

3) Media Komunikasi

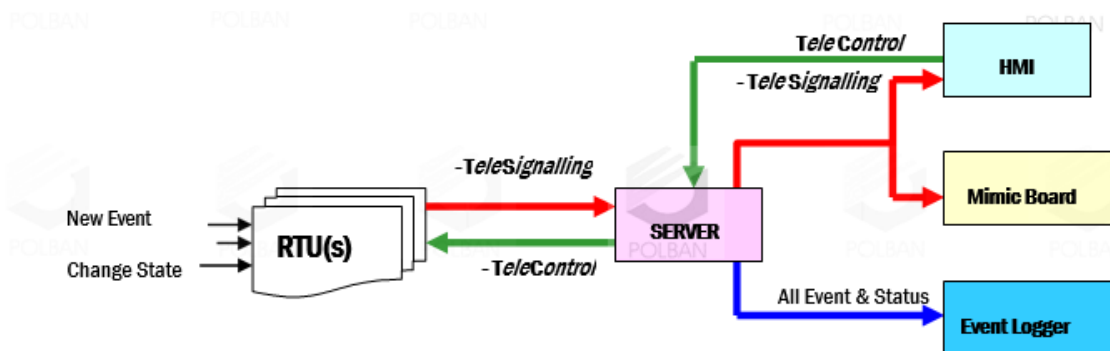
Media Komunikasi yaitu perangkat/sarana fisik yang menghubungkan antara pusat kontrol dengan RTU di gardu distribusi. Pengiriman data dari pusat kontrol ke RTU atau sebaliknya dari RTU ke pusat kontrol. Sistem komunikasi ini adalah bagaimana dua perangkat komputer di pusat kontrol dan RTU dapat saling dihubungkan dan dapat saling berkomunikasi satu dengan yang lainnya.

Pada awalnya, SCADA melakukan komunikasi data melalui radio, modem atau jalur kabel serial khusus. Saat ini data-data SCADA dapat disalurkan melalui jaringan Ethernet atau TCP/IP. Untuk alasan keamanan, jaringan komputer untuk SCADA adalah jaringan komputer lokal (LAN - Local Area Network) tanpa harus mengekspos data-data penting di Internet.

Komunikasi SCADA diatur melalui suatu protokol, jika jaman dahulu digunakan protokol khusus yang sesuai dengan produsen SCADA-nya, sekarang sudah ada beberapa standar protokol yang ditetapkan, sehingga tidak perlu khawatir masalah kecocokan komunikasi lagi.

Karena kebanyakan sensor dan relai kontrol hanyalah peralatan listrik yang sederhana, alat-alat tersebut tidak bisa menghasilkan atau menerjemahkan protokol komunikasi. Dengan demikian dibutuhkan RTU yang menjembatani antara sensor dan jaringan SCADA. RTU mengubah masukan-masukan sensor ke format protokol yang bersangkutan dan mengirimkan ke master SCADA, selain itu RTU juga menerima perintah dalam format protokol dan memberikan sinyal listrik yang sesuai ke relai kontrol yang bersangkutan. Fungsi Utama media komunikasi di SCADA ini adalah :

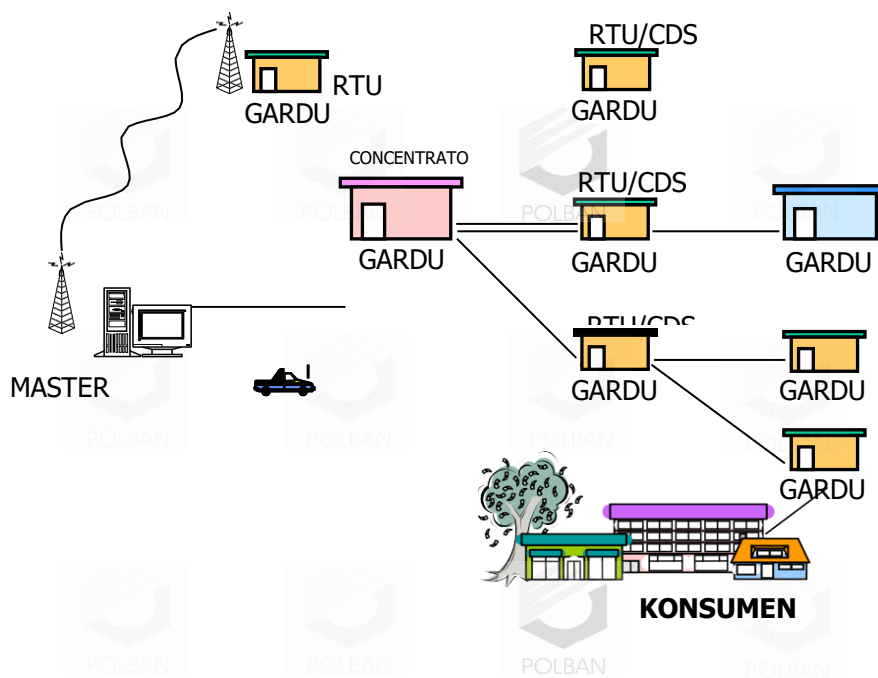
- a). Untuk mengetahui posisi saklar (Terbuka atau Tertutup)
- b). Remote Control untuk membuka/menutup saklar
- c). Mengetahui besaran tegangan, arus dan frekwensi di GI



Gambar 2.18 Blok diagram komunikasi sistem SCADA

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 / PMT melalui Remote Terminal Unit. *Remote Terminal Unit* 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 (WL-R210H4) pada frekuensi 900/2100 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).



Gambar 2.19 Alur diagram SCADA sistem distribusi.

2.7.3 SCADA DMS (*Distribution Management System*)

SCADA DMS adalah aplikasi yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan teknis yang menyangkut pengoperasian jaringan dan *engineering* distribusi seperti analisa beban dan tegangan, perencanaan operasi serta sebagai pendukung perencanaan perluasan jaringan distribusi.

SCADA DMS harus menggunakan data pengukuran yang terintegrasi dengan SCADA serta parameter jaringan yang tersimpan dalam database jaringan ataupun dari aplikasi data induk jaringan. Aplikasi SCADA DMS menampilkan gambaran skema, gambaran *geographical*, penyajian dari informasi yang



diinginkan, perubahan dan keterangan data pasca perhitungan serta hal-hal yang berkaitan dengan perintah kontrol.

Karena aplikasi SCADA DMS menggunakan data pengukuran yang terintegrasi dengan SCADA serta parameter jaringan dari aplikasi data induk jaringan, maka ketersediaan data tersebut merupakan persyaratan mutlak agar aplikasi SCADA DMS menghasilkan perhitungan dan analisa yang valid. Data dan parameter jaringan harus selalu dalam kondisi update untuk menjamin output aplikasi mendekati kondisi real di jaringan. Bilamana karena kondisi tertentu, belum semua data dan parameter keseluruhan sistem dapat terjamin kebenarannya, minimal harus tersedia data sebesar 50 % untuk bisa mengaplikasikan SCADA DMS secara benar. Setelah itu data dan parameter keseluruhan sistem harus segera dilengkapi agar SCADA DMS dapat digunakan keseluruhan sistem.

Dengan persyaratan yang terpenuhi tersebut, maka SCADA DMS minimum berfungsi secara tepat dalam hal :

- a. Sebagai simulasi atas rencana operasi yang akan dilaksanakan sehingga mutu, keandalan dan keamanan operasi lebih terjamin.
- b. Mengevaluasi alternatif manuver beban dispatcher dapat menampilkan perkiraan keamanan manuver beban dari satu penyulang ke penyulang yang lain
- c. Hasil aplikasi memberi pertimbangan kepada dispatcher untuk langkah terbaik pemulihan beban setelah gangguan secara cepat, tepat, dan optimal.
- d. Memberikan pengamanan terhadap ancaman sistem yang dikarenakan beban lebih atau tegangan di bawah standar sehubungan dengan kapasitas jaringan maupun trafo.
- e. Meningkatkan power factor dan menurunkan losses dengan pengaturan tegangan dan daya reaktif.
- f. Mengevaluasi dampak dari setting dan rating perlengkapan proteksi dalam konfigurasi penyulang.
- g. Sebagai bahan analisa teknis yang tepat dalam rangka rekonfigurasi serta perencanaan perluasan jaringan.



Hasil perhitungan DMS harus dapat diperbandingkan dan dikalibrasi dengan hasil perhitungan yang menggunakan metode berbeda yang sudah diakui ketepatannya, atau dengan pengukuran langsung.

2.7.4 Mode Pengoperasian

Berdasarkan time frame, maka DMS harus dapat dioperasikan dalam kerangka waktu pengoperasian, yaitu :

- a. Mode *real time*, menggunakan data sistem yang berasal langsung dari parameter dan telemetering akuisisi dari sistem SCADA.
- b. Mode studi (*study mode*), menggunakan data yang dibangun secara terpisah dan tidak bergantung kepada sistem *real time* atau kombinasi dengan beberapa data yang dibuat secara terpisah / diinput oleh pengguna.

Sedangkan menurut mode pelaksanaan, aplikasi DMS dapat dijalankan dengan fungsi online dan fungsi offline.

- a. Fungsi *online*, dioperasikan secara langsung di konsol dalam lingkup jaringan LAN *control center* yang sedang beroperasi, baik dalam kerangka waktu real-time ataupun *study mode*
- b. Fungsi *offline*, dioperasikan pada konsol yang berbeda, dan tidak terhubung / tidak akan terpengaruh dengan sistem *online*.

2.7.5 Fungsi SCADA DMS

Fungsi SCADA DMS yang tersedia harus bisa melakukan tugas teknik dalam keperluan distribusi secara praktis dalam 4 (empat) mode aplikasi, yakni :

- a. Pengaturan operasi
- b. Perencanaan operasi
- c. Pendukung perencanaan pengembangan
- d. Simulasi, analisa dan training.

Seluruh fungsi analisa dikembangkan berbasis algoritma khususnya untuk jaringan distribusi, yang bisa melakukan analisa dan optimasi dari operasi dan pengembangan radial yang sangat luas dan jaringan distribusi mesh. Salah satu fungsi yang dipersyaratkan dalam SCADA-DMS sehingga kebutuhan atas empat



point aplikasi di atas bisa terpenuhi adalah *Fault Detection Insulation and Restoration* (FDIR).

Aplikasi *Fault Detection Insulation dan Restoration* (FDIR) bekerja atas perhitungan berdasarkan besarnya arus gangguan yang mengalir pada impedansi jaringan untuk prediksi titik lokasi gangguan di jaringan. Aplikasi ini harus bisa memberikan semacam panduan kepada operator untuk menangani suatu gangguan yang terjadi. Informasi kepada operator meliputi dimana lokasi gangguan terjadi. Kemudian memberikan informasi yang optimum bagaimana cara melakukan isolasi gangguan tersebut serta melakukan penyelesaian (*re-energize*) penyulang yang mengalami gangguan tersebut. Hal ini akan membantu dalam mengurangi waktu pemadaman yang diakibatkan gangguan yang terjadi.

Aplikasi FDIR akan digunakan efektif untuk kebutuhan operasi pada konfigurasi jaringan spindle, atau jaringan yang bisa disuplay melalui proses manuver lebih dari satu sumber. Sistem aplikasi FDIR harus menyediakan kemampuan untuk membantu operator system distribusi dalam memperkirakan lokasi gangguan dan memberikan saran untuk melakukan *switching* yang akan mengisolasi gangguan dan mengirim tegangan kembali ke segmen jaringan yang telah terbebas dari akibat gangguan sehingga wilayah yang padam akan minimal.

Fungsi penentuan lokasi gangguan harus menggunakan data yang berasal dari telemetri dan relay proteksi, dan mempunyai kemampuan menganalisa informasi adanya petunjuk kelompok pelanggan yang padam. Tahap isolasi dan pemulihan harus menunjukkan LBS mana yang dibuka untuk mengisolasi gangguan dan LBS mana yang dapat dimasukan untuk memasok kembali tegangan ke bagian jaringan yang telah terbebas dari gangguan dengan cara menata kembali topologi hubungan kelistrikan dari jaringan baik dalam penyulang itu sendiri ataupun diantara beberapa penyulang dalam konfigurasi jaringan distribusi spindle secara khusus.

Aplikasi perhitungan titik lokasi gangguan dapat di operasikan dengan menggunakan data real time. Metode yang digunakan bisa berdasarkan arus gangguan, impedansi, dan statistik gangguan. Fitur yang harus dicakup juga harus meliputi perhitungan besar beban yang hilang akibat terjadinya gangguan dan



memperkirakan besarnya beban yang dapat dipulihkan oleh pengaturan kembali jaringan (rekonfigurasi yang direkomendasikan).

Data yang diperlukan :

- a. Panjang jaringan
- b. Impedansi jaringan
- c. Tipe penghantar
- d. Konektivitas (titik manuver)
- e. Data trafo tenaga di GI
- f. Arus gangguan yang diambil dari IED proteksi di GI
- g. Indikasi fault indikator
- h. Data statistik gangguan (opsional jika menggunakan metode statistic gangguan)

Output berupa jarak titik gangguan dari pangkal penyulang dalam tabel.

2.8 Definisi dan Teori Dasar Keandalan⁶

Di dalam pengoperasian jaringan distribusi selalu diinginkan tercapainya hal-hal sebagai berikut :

1. Cara penanganan gangguan secepat mungkin
2. Keandalan cukup baik dalam arti :
 - a) Kontinuitas cukup baik
 - b) Bila terjadi gangguan, daerah yang mengalami pemadaman sesedikit mungkin
 - c) Tegangan sumber cukup baik
 - d) Losses tidak terlalu besar

Tetapi untuk mencapai semuanya itu tergantung dari sistem dan tipe peralatan pengaman yang diterapkan.

Sistem pengaman bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya yang disebabkan karena adanya gangguan serta

⁶ Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No. 59. 1985. *Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV* Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.



meningkatkan kontinuitas pelayanan pada konsumen dan menjaga keselamatan umum.

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Analisa bentuk kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks. Keandalan menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem sesuai dengan fungsinya untuk suatu selang waktu tertentu dan kondisi tertentu. Dengan demikian keandalan dapat digunakan untuk membandingkan suatu peralatan atau sistem dengan peralatan atau sistem yang lain. Evaluasi keandalan ada dua macam, yaitu penilaian secara qualitative dan secara quantitative.

Sistem merupakan sekumpulan komponen-komponen sistem yang disusun menurut pola tertentu. Keandalan dari suatu sistem distribusi ditentukan oleh keandalan dari kompoen-komponen yang membentuk suatu sistem tersebut dan komponen itu sendiri.

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu yang ditetapkan. Definisi keandalan mengandung empat istilah penting yaitu :

a. Fungsi

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

b. Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasi lingkungan. Secara umum lingkungan tersebut menyangkut pemakaian, transportasi, penyimpanan, instalasi, pemakai, ketersediaan, alat-alat perawatan, debu, kimia, dan polutan lain.



c. Waktu

Keandalan menurun sesuai dengan penambahan waktu. Waktu operasi meningkat sehingga probabilitas gagal lebih tinggi. Waktu operasi ini diukur tidak hanya dalam unit waktu tetapi bisa dalam jarak operasi.

d. Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang berubah terhadap waktu dan masuk dalam bidang statistic dan analisa statistic.

2.8.1 Konsep Dasar Keandalan

Dalam membicarakan keandalan, terlebih dahulu harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Adapun konsep keandalan meliputi :

a) Kegagalan

Kegagalan adalah berakhirnya kemampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.

b) Penyebab Kegagalan

Keadaan lingkungan selama disain, pembuatan atau yang akan menuntun kepada kegagalan.

c) Mode Kegagalan

Akibat yang diamati untuk mengetahui kegagalan, misalnya suatu keadaan rangkaian terbuka atau hubung singkat.

d) Mekanisme Kegagalan

Proses fisik, kimia atau proses lain yang menghasilkan kegagalan. Kata kegagalan adalah istilah dasar yang menunjukkan berakhirnya untuk kerja yang diperlukan. Hal ini berlaku untuk peralatan bagian-bagiannya dalam segala keadaan lingkungan.

Besaran yang dapat digunakan untuk menentukan nilai keandalan suatu peralatan listrik adalah besarnya suatu laju kegagalan/kecepatan kegagalan (failure rate) yang dinyatakan dengan simbol λ .



2.8.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Hal ini dapat dilihat dari sejauh mana supply tenaga listrik dilaksanakan secara kontinyu dalam satu tahun ke konsumen. Tingkat pertumbuhan beban listrik di Surabaya dan sekitarnya adalah yang tertinggi di Jawa Timur yang ditandai dengan tumbuhnya daerah kawasan yaitu : industri, bisnis dan pemukiman berakibat makin tingginya permintaan supply tenaga listrik yang kontinyu dan handal.

Beberapa definisi ini diberikan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi sesuai standart IEEE P1366 antara lain :

- a. Pemadaman (*Interruption of Supply*). Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
- b. Keluar (*Outage*). Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu outage dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem. Lama keluar/*Outage Duration*. Periode dari saat permulaan komponen mengalami outage sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- c. Lama pemadaman (*Interruption Duration*). Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali. Jumlah total konsumen terlayani/*Total Number of Costumer Served*. Jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir. Periode laporan. Periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

2.9 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV

Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu priode tertentu dengan kondisi operasi yang sesuai. Dan keandalan merupakan salah satu syarat yang tidak



boleh diabaikan dalam sistem tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik sangat tergantung pada keandalan peralatan pendukung sistem, proses alamiah dari peralatan serta kesalahan dalam mengoperasikan peralatan tersebut. Ada beberapa definisi kegagalan yang sering dipakai adalah :

- a. Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 1$ cycle
- b. Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 10$ cycle
- c. Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 5$ detik
- d. Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 2$ menit

Pemilihan kriteria kegagalan tersebut sangat tergantung pada macam beban pada titik perhatian kita, yaitu sesuai dengan waktu maksimum pemadaman yang tidak mengganggu kerja beban. Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap-tiap titik beban/load point. Yang merupakan indeks-indeks keandalan dasar antara lain :

λ = frekuensi kegagalan tahunan rata-rata (*fault/year*)

r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (*hours/fault*)

U = lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*)

Berdasarkan indeks-indeks keandalan dasar ini, didapat sejumlah indeks keandalan untuk sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi atau lama pemadaman rata-rata tahunan. Indeks keandalan yang sering dipakai pada sistem distribusi antara lain :

2.9.1 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI (*System Average Interruption Durasi Index*) adalah indeks durasi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Menginformasikan tentang frekuensi gangguan permanen rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Definisinya adalah :

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah Total Durasi Gangguan Pada Konsumen}}{\text{Jumlah Pada Konsumen yang terlayani}}$$



- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

Persamaannya adalah:

$$SAIDI = \frac{\sum N_{LP} U_{LP}}{\sum N} \dots\dots\dots(2.1)^7$$

2.9.2 ENS (*Energy Not Sell*)

Menghitung ENS (Energy Not Sell) atau dengan kata lain energi yang tidak terjual atau tidak dipakai oleh pelanggan akibat adanya pemadaman. di salah satu gangguan di LBS di penyulang Ogan ini. Dapat dihitung ENS yang timbul akibat dari satu kali padam yaitu dengan rumus:

$$ENS = I . V . \sqrt{3} . \cos \varphi . \text{Lama Padam (Hour)} \dots\dots\dots(2.2)^8$$

⁷ Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No. 52-3. 1983:5. *Tingkat keandalan dalam pelayanan*. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.

⁸ Mukhammad, N. 2017. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Dengan Metode Reliability Index Assessment Pada Penyulang KTN 4 Gardu Induk Kentungan (Skripsi)*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.