



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari pembangkit, saluran transmisi, gardu induk dan jaringan distribusi. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Proses penyaluran tenaga listrik terdiri dari beberapa tahap, yaitu mula-mula energi listrik dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik dengan tegangan mulai dari 11 kV hingga 24 kV. Lalu, tegangan tersebut dinaikkan dengan menggunakan transformator *step up* menjadi 70 kV, 150 kV, 275 kV, atau 500 kV^[9]. Kemudian energi listrik tersebut disalurkan melalui jaringan transmisi (SUTET) ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar.

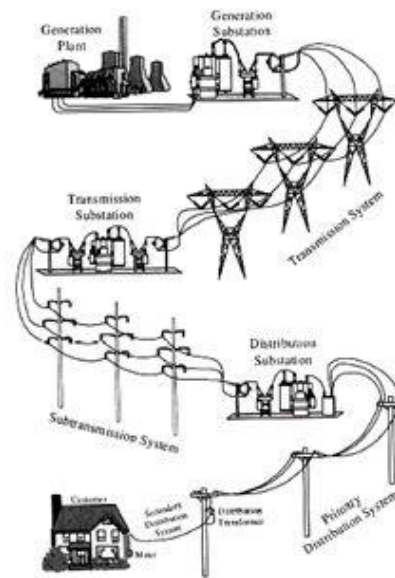
Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui pusat pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, gardu induk, saluran distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik). Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan transformator *step up* sebelum disalurkan melalui jaringan transmisi. Hal ini bertujuan untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi.^[3]

⁹ Suhadi, dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008), hlm. 11

³ Daman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama*, (Padang: Universitas Negeri Padang, 2009), hlm. 1



Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan menggunakan transformator *step down* pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.^[3]



Gambar 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik^[3]

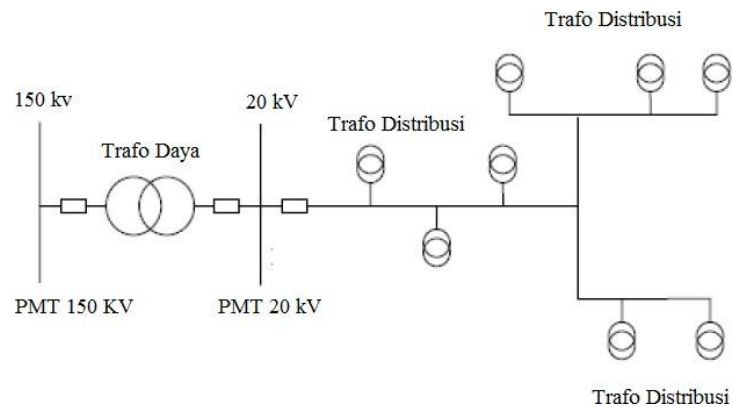
Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

a) Sistem Radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini jaringan hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik dan terhadap penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.^[11]

³ Ibid, Hal : 1

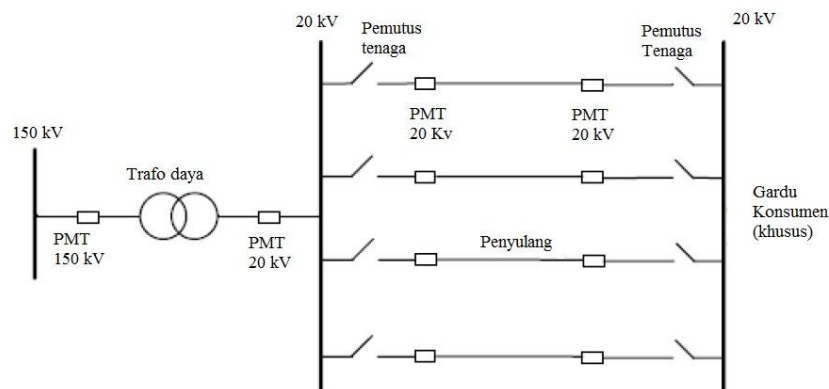
¹¹ <https://iaaceta.org/2017/09/29/tipe-jaringan-distribusi-tegangan-20-kv/>

Gambar 2.2 Skema Saluran Sistem Radial^[11]

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran.

b) Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.3 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).^[11]

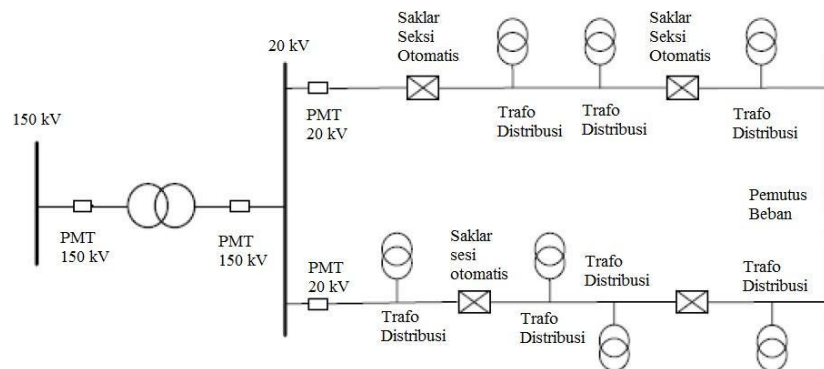
Gambar 2.3 Skema Saluran Tie Line^[11]

¹¹ Ibid



c) Sistem Loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.



Gambar 2.4 Skema Saluran Sistem Loop^[11]

d) Sistem Spindel

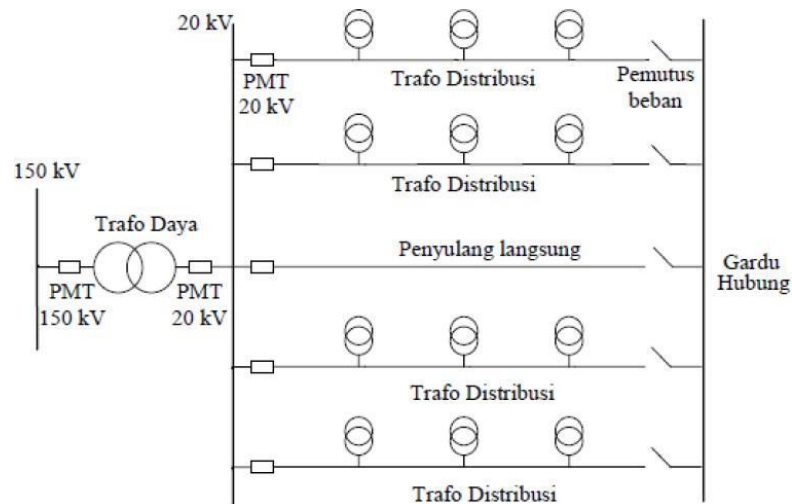
Sistem spindle adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring^[3]. Sistem spindle menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, hanya saja investasi pembangunannya juga lebih besar. Proteksinya masih sederhana, mirip dengan sistem loop. Pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manuver. Ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

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

¹¹ Ibid



penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindle 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*).

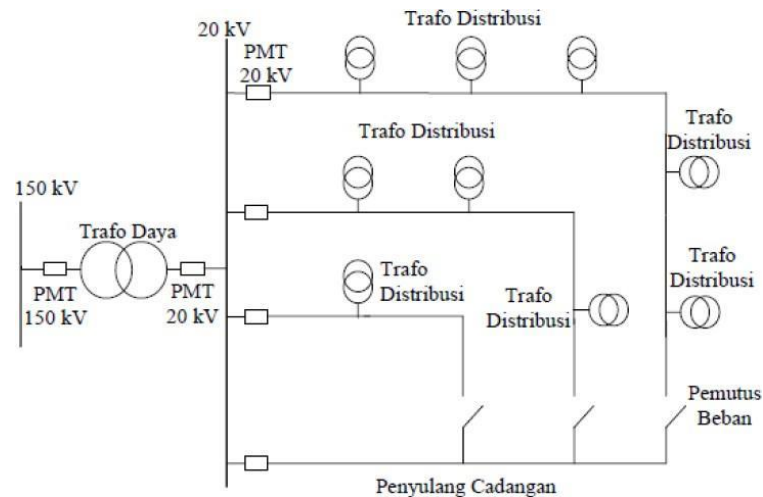


Gambar 2.5 Skema Saluran Sistem Spindel^[11]

e) Sistem Cluster

Sistem ini mirip dengan sistem spindle. bedanya pada sistem cluster tidak digunakan gardu hubung atau gardu switching, sehingga express feeder dari gardu hubung ke tiap jaringan. Express feeder ini dapat berguna sebagai titik manuver Ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan.

¹¹ Ibid

Gambar 2.6 Skema Saluran Sistem Cluster^[11]

2.2 Kendala Sistem Distribusi

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 beberapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran Kembali tenaga listrik. Tingkat keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi lima hal antara lain (SPLN 52-3,1983:5):

- Tingkat 1 : Dimungkinkan padam berjam-jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.
- Tingkat 2 : Padam beberapa jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas kelapangan, 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.

¹¹ Ibid



- Tingkat 4 : Padam beberapa detik, pengaman dan manipulasi otomatis.
- Tingkat 5 : Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis.

Keputusan untuk mendesain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalan penyaluran tersebut tersebut adalah faktor utama yang mendasari memilih suatu bentuk konfigurasi sistem jaringan distribusi dengan memperhatikan aspek pelayanan teknis, jenis pelanggan dan biaya. Pada prinsipnya dengan memperhatikan bentuk konfigurasi jaringan, desain suatu sistem jaringan adalah sisi hulu mempunyai tingkat kontinuitas yang lebih tinggi dari sisi hilir. Lama waktu pemulihan penyaluran dapat dipersingkat dengan mengurangi akibat dari penyebab gangguan, misalnya pemakaian PBO, SSO, penghantar berisolasi atau menambah sistem SCADA.

2.3 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)* dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik.

LBS digunakan untuk pemutus local apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik, seperti gempa, angin rebut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang. Pada kasus seperti itu diperlakukan Tindakan yang cepat dalam memutuskan saluran listrik untuk menghindari bahaya yang dapat ditimbulkan.



Gambar 2.7 Load Break Switch (LBS)^[14]

LBS yang biasa dipakai PT.PLN (Persero) yaitu LBS tipe SF₆ yaitu Tegangan Line Maksimum pada Switthger Ratings antara 12kV atau 24kV dengan arus kontinyu 630 A RMS. Media Isolasi Gas SF₆ dengan tekanan operasional gas SF₆ pada suhu 20 C adalah 200 kPa Gauge. Pengoperasian secara manual dapat dilakukan secara independent oleh operator. Tekanan untuk mengoperasian 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 masing memenuhi spesifikasi yang ditentukan^[10]. Kabel standar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1

¹⁴ <https://www.se.com/id/en/product-range/1408-rl/?parent-subcategory-id=86887#overview>

¹⁰ <https://ezkhelenergy.blogspot.com/2011/12/load-break-switch-lbs.html>

Tabel 2.1 Standar Kabel yang Digunakan pada LBS SF6^[10]

Lug Size	Stranding	Material	Rating
240	19/4.01	Aluminium	630
185	19/3.5	Aluminium	400
80	7/3.75	Aluminium	250

Gambar 2.8 LBS dengan Gas^[10]

Konstruksi dan Operasi Load Break Switch dan Sectionalizer pada Gambar 2.8 dapat diuraikan sebagai berikut. *Load Break Switch* menggunakan *puffer interrupter* di dalam sebuah tangka baja anti kara yang dilas penuh yang diisi dengan gas SF6. Interrupter tersebut diletakkan secara berkelompok dan digerakkan oleh mekanisme pegas. Ini dioperasikan baik secara manual maupun dengan sebuah motor DC dalam kompartemen motor di bawah tangka. Listrik motor berasal dari batre-batere 24V dalam ruang control. Transformer-transformer arus dipasang di dalam tangki dan dihubungkan ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan indikasi gangguan dan line measurement. Terdapat bushing-bushing epoksi dengan transformer tegangan kapasitif, ini terhubung ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan line sensing dan pengukuran. Elemen-elemen elektronik control terletak dalam ruang control memiliki standar yang sama yang digunakan untuk mengoperasikan switchgear intelijen, yang dihubungkan ke *switchgear* dengan

¹⁰ Ibid



kabel kontrol yang dimasukkan ke *Switch Cable Entry Module (SCEM)* yang terletak di dalam kompartemen motor.^[10]

Karena LBS ingin dioperasikan dengan menggunakan sistem SCADA atau secara remote, maka pada LBS ditambahkan sebuah panel kontrol yang dihubungkan dengan RTU (*remote Terminal Unit*). Berikut adalah gambar dari box panel rangkaian kontrol RTU dan LBS (Gambar 2.9)



Gambar 2. 9 Kotak Panel RTU dan LBS^[13]

Berdasarkan Gambar 2.9 diatas dapat kita lihat bahwa dengan menggunakan sistem SCADA LBS memiliki panel kontrol yang terhubung dengan RTU. Beberapa macam tombol dan socket panel kontrol tersebut. Fungsi dari masing-masing bagian panel tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Battery Test Terminal*: digunakan untuk mengecek *power (battery)* yang digunakan pada LBS untuk menggerakkan motornya.

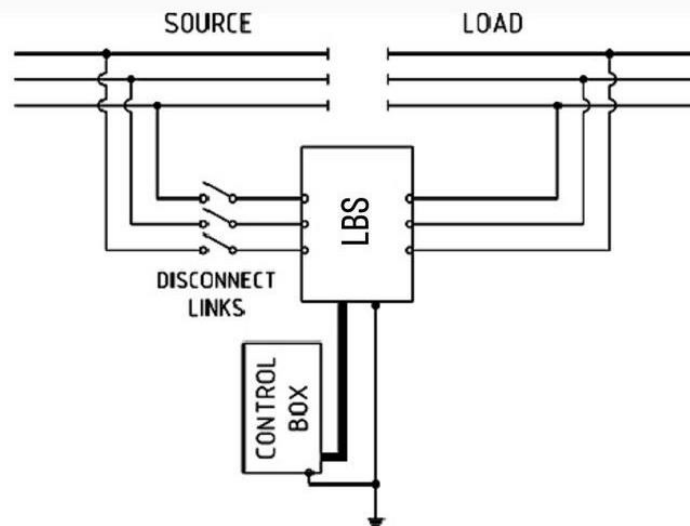
¹⁰ Ibid

¹³https://www.hannovermesse.de/apollo/hannover_messe_2021/obs/Binary/A1088979/JW_SF6%20Gas%20LBS%20Catalog_200210%20%28S%29.pdf



2. *LED for Locking (Control & Switch)*: sebuah lampu tanda yang berfungsi untuk menunjukkan bahwa LBS dalam posisi kontrol (*remote*) atau *switch* (manual)
3. *LED for Low Gas Pressure*: lampu tanda yang berfungsi untuk memberitahukan kepada operator (*dispatcher*) yang ada di UPD bahwa Gas SF6 yang ada pada LBS dalam keadaan *low*/kurang.
4. *Lamp Test Button*: lampu yang digunakan untuk mengetes panel apakah sudah dapat beroperasi / sumber sudah masuk kedalam rangkaian panel
5. *Operation Local / Remote*: saklar yang digunakan untuk memosisikan LBS dioperasikan secara lokal atau remote (menggunakan sistem SCADA)
6. *Control Lock / Unlock*: saklar yang berfungsi untuk mengunci atau membuka kontrol remote.
7. *Open / Close & LED Indicator*: merupakan tombol tekan dan lampu tanda yang berfungsi untuk mengetes rangkaian kontrol LBS sudah dapat beroperasi dengan normal. Apabila ditekan tombol *open* maka lampu diatas *open* akan menyala dan sebaliknya.
8. *Fuse for Control Circuit Protection*: sebagaimana dengan fungsi fuse pada umumnya, fuse ini digunakan sebagai pengaman rangkaian dari arus lebih atau *short circuit* pada rangkaian.
9. *Power ON / OFF*: sebagai saklat utama untuk menghidupkan atau mematikan panel kontrol LBS
10. *LED Indicator for Battery charging, Low Battery & battery test button*: merupakan lampu tanda dan tombol yang menunjukkan bahwa baterai sedang di *charge* atau baterai dalam keadaan lemah (*low*), serta tombol yang digunakan untuk mengetes baterai apakah sudah terpasang pada rangkaian atau tidak.

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.



Gambar 2. 10 Power recloser dengan skema disconnect link^[15]

2.4 Fault Indicator / Pengindikasikan Gangguan

Pengindikasi Gangguan dalam hal ini menggunakan *Line Troll* 110 Eµr. *Line Troll* dipasang pada saluran distribusi dengan range 6 – 69 kV. Pengaplikasian dari *LINETROLL* 110 Eµr biasanya memerlukan survei saluran sebelumnya sehingga dapat diperoleh penggunaan terbaik dari indikator. *Fault indicator* digunakan untuk menentukan titik atau KPL mana yang terdapat gangguan dalam hal ini juga mensupport pengoperasian LBS dalam operasi *open / close*. Agar terhubung dengan sistem SCADA *Fault Indicator* juga memiliki kotak kontrol yang terhubung dengan RTU dan KPL, kotak kontrol tersebut dinamakan dengan *Quick Link*. Ketika arus gangguan dideteksi oleh *fault indicator* maka *fault indicator* akan mengirimkan sinyal gangguan tersebut ke kotak kontrol atau *Quick Link*, kemudian sinyal tersebut diteruskan ke RTU yang akan mengirimkan sinyal tersebut ke Master Station yang ada pada UPD PT PLN (Persero) kemudian dari master station sinyal tersebut diterjemahkan kedalam bahasa program yang ditampilkan pada monitor operator (dispatcher) sebagai sinyal gangguan.

¹⁵ <https://www.semanticscholar.org/paper/Auto-Recloser-Circuit-Breaker-in-Power-System-Based-Abdulwahid/d67d8f3cecad4498a79551edc9e21b7fa7d022ec>



2.5 Manuver Beban

Manuver atau memanipulasi jaringan distribusi adalah serangkaian kegiatan membuat modifikasi 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 pasokan daya listrik adalah untuk:

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

2.5.1 Jenis-jenis Manuver Beban Antara Penyulang

1. 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.

2. Manuver Beban Secara Otomatis

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan ATS (*Automatic Transfer Switch*), apabila terjadi gangguan pada penyulang (prioritas 1) maka ATS akan langsung bekerja memindahkan aliran listrik pada penyulang (prioritas 2)



2.6 SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*)

SCADA (*supervisory control and data acquisition*) adalah sistem yang mengacu pada kombinasi telemetri dan akuisisi data. Terdiri dari pengumpulan informasi, mentasfer Kembali ke pusat kendali, melakukan analisis yang di perlukan dan kontrol, kemudian menampilkan data ini pada sejumlah operator display. SCADA digunakan untuk memantau dan mengendalikan peralatan^[6]. SCADA 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, pengelolaan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi. Sistem pengendalian berbasis SCADA banyak diterapkan karena memiliki fungsi pengukuran (*Tele Status*) dalam pengoperasiannya dan juga berfungsi sebagai pengendali berbagai sistem misalnya pada sistem tenaga listrik, 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 layer operator. SCADA bertujuan untuk membantu mendapatkan sintem pengoperasian optimum sesuai dengan berbagai kenyataan kekurangan-kekurangan mampu segala kelebihan yang terdapat pada suatu sistem.

⁶ Pati, Teguh. 2012. Pengertian SCADA Supervisory Control. (<http://teguhpati.blogspot.com/2012/11/pengertian-scada-supervisory-control.html>).



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. Pemantauan dan pengaturan beban.
4. Pengendalian yang dilakukan secara otomatis untuk keseragaman dan pengendalian perintah berurutan, misalnya merubah konfigurasi jaringan.

Adapun Fungsi dasar Scada terbagi menjadi 3:

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 MV, tegangan dalam KV, dan arus dalam A. Dengan demikian dispatcher dapat memantau keseluruhan informasi yang dibutuhkan terpusat.

b. Telesignal (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 indicator*) atau ganda (*double indicator*). Status peralatan dinyatakan dengan cara indikasi ganda. Indikasi tunggal untuk menyatakan alarm.

c. Telecontrol (TC)

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



2.7 SCADA DMS (Distribusi 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 gambar 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. Aplikasi SCADA DMS menampilkan gambaran skema, gambaran *geographical*, penyajian dari informasi yang diinginkan, perubahan dan keterangan data pasca perhitungan serta hal-hal 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 memberikan 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.

1. 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 studio (*study mode*), menggunakan data yang dibangun secara terpisah dan tidak bergantung kepada sistem *real time* atau kombinasi dengan beberapa data yang dibuat secara terpisah / di input oleh pengguna.

Sedangkan menurut model 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. 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 disuplai melalui proses



manuver lebih dari satu sumber. Sistem jaringan FDIR harus menyediakan kemampuan untuk membantu operator sistem 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 menganalisis 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 dimasukkan 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 maupun diantara beberapa penyulang dalam konfigurasi jaringan distribusi spindle secara khusus.

Aplikasi perhitungan titik lokasi gangguan dapat dioperasikan 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 dan GI
- f. Arus gangguan yang diambil dari IED proteksi di GI
- g. Indikasi fault indikator



- h. Data statistic gangguan (opsional jika menggunakan metode statistic gangguan) Output berupa jarak titik gangguan dari pangkal penyulang dalam table.

2.8 Komponen SCADA

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

1. Pusat kontrol.
2. Remote Terminal Unit (RTU).
3. Jalur komunikasi yang menghubungkan pusat kontrol dan RTU.

a. Subsistem 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 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. Subsistem RTU (Remote Terminal Unit)

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*^[12]. Agar semua kejadian yang terjadi di gardu PLN dapat di pantau dan di kontrol dari pusat kontrol, maka di setiap gardu tersebut dipasang alat yang dapat melaksanakan fungsi *Tele Status*

¹² https://www.academia.edu/9847509/Remote_Terminal_Unit_RTU



(TS), *Remote Control* (RC), *Tele Meter* (TM). Alat tersebut adalah RTU (*Remote Terminal Unit*). Salah satu contoh dari RTU di bawah ini:



Gambar 2. 11 *Remote Terminal Unit* (RTU)^[12]

Fungsi utama dari suatu RTU 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. Subsistem 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*, serta 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*

¹² Ibid



Demodulator), protokol komunikasi, dll. Media komunikasi merupakan sarana fisik yang menghubungkan RTU dengan *master station*.

2.9 Keuntungan Sistem SCADA

Dengan menggunakan sistem SCADA, maka akan didapatkan beberapa keuntungan, yaitu:

1. Sistem pengoperasian dengan organisasi yang ramping dan sederhana.
2. Lebih ekonomis, karena tidak perlu menggunakan jasa operator.
3. Data – data yang didapat lebih akurat dan tepat.
4. Peningkatan keandalan sistem jaringan tenaga listrik.
5. Berkurangnya rugi – rugi jaringan distribusi tenaga listrik.
6. Waktu pemulihan jaringan distribusi tenaga listrik yang cepat.
7. Tingkat keamanan yang lebih baik.
8. Sebagai simulasi atas rencana pengembangan jaringan distribusi tenaga listrik yang akan dilaksanakan sehingga mutu, keandalan dan keamanan operasi lebih terjamin.
9. Menganalisa dan mengevaluasi hasil – hasil pengoperasian jaringan tenaga listrik.
10. Hasil aplikasi memberikan pertimbangan kepada *dispatcher* untuk Langkah terbaik pemulihan beban setelah gangguan secara cepat, tepat, dan optimal.
11. Meningkatkan *power factor* dan menurunkan *losses* dengan pengaturan tegangan dan daya reaktif.
12. Mengevaluasi dampak dari *setting* dan rating perlengkapan proteksi dalam konfigurasi penyulang.
13. Sebagai bahan Analisa teknis yang tepat dalam rangka rekonfigurasi serta perencanaan perluasan jaringan.

2.10 Gangguan Pada Penyulang

Pada suatu sistem jaringan saluran udara tegangan menengah tidak akan luput dari gangguan baik yang disebabkan oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Gangguan ini dapat mempengaruhi kinerja dari jaringan SUTM itu



sendiri terutama mempengaruhi terhadap keandalan jaringan pada penyulang tersebut.

2.10.1 Pengertian gangguan

Gangguan itu sendiri dapat diartikan sebagai kondisi fisik yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan pada penyulang ini hampir selalu ditimbulkan karena terjadinya hubung singkat antara *fasa* atau hubung singkat *fasa* ke tanah^[1]. Gangguan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu gangguan secara teknis dan gangguan non teknis. Gangguan secara teknis merupakan gangguan yang terjadi akibat adanya komponen kelistrikan yang sudah tidak layak pakai ataupun rusak. Sedangkan gangguan non teknis merupakan gangguan yang disebabkan oleh beberapa hal di sekitar penyulang yang dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat antar *fasa*.

2.10.2 Faktor penyebab gangguan

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada penyulang SUTM. Setiap gangguan tersebut dapat menyebabkan kerugian pada PT PLN itu sendiri karena adanya energi listrik yang tidak tersalurkan atau bisa disebut dengan *Energy Not Supply* (ENS). Dari beberapa faktor tersebut, gangguan akibat adanya ranting pohon merupakan faktor terbanyak yang menyebabkan terjadinya pemadaman. Berikut merupakan faktor-faktor terjadinya gangguan pada penyulang saluran udara tegangan menengah (SUTM):

A. Komponen JTM

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada bahan-bahan listrik yang digunakan pada jaringan tegangan menengah, seperti kawat penghantar, *fuse cut out*, *arrester*, isolator dan sebagainya. Pada gambar dibawah ini merupakan salah satu contoh gangguan akibat komponen JTM yang tidak boleh digunakan lagi karena dapat dilihat bahwa *arrester* yang terpasang sudah

¹ Asnawi, dkk. 2010. Analisa Gangguan SUTM 20KV Penyulang Senggiring 3 di PT PLN (PERSERO) Area Pontianak. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Hal 2.



terbakar dan tidak layak pakai lagi. Karena apabila terus digunakan tidak diganti, memungkinkan apabila terjadinya sambaran petir maka menyebabkan *trip* karena akan ada lonjakan tegangan yang akan menuju peralasan listrik yang tidak dapat dibumikan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik.



Gambar 2.12 Gangguan Akibat Komponen

B. Bencana Alam

Bencana alam merupakan salah satu faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada penyulang. Faktor ini merupakan faktor yang sangat sulit untuk diatasi karena kita tidak dapat memprediksi kapan dan dimana bencana alam itu akan terjadi.

C. Hewan / Pihak Ketiga

Faktor selanjutnya yang dapat menyebabkan gangguan pada penyulang SUTM yaitu adanya pihak ketiga/Hewan yang melakukan interaksi dengan kabel SUTM dalam kondisi hewan tersebut menyentuh dua atau tiga fasa R,S dan T sehingga terjadi trip antar fasa dan menyebabkan padam listrik ke pelanggan. Gambar 2.15 menunjukkan contoh faktor yang menyebabkan gangguan pada penyulang SUTM oleh hewan sehingga terjadi trip antar fasa.



Gambar 2.13 Gangguan Akibat Hewan

D. Pohon

Pohon merupakan salah satu faktor yang paling sering terjadi dalam menyebabkan gangguan pada penyulang. Di daerah-daerah yang masih belum termasuk perkotaan besar merupakan tempat paling sering terjadi gangguan yang disebabkan oleh faktor pohon ini. Adapun jarak standar PLN antar pohon ke kabel SUTM yaitu 3 meter dari kanan dan kiri.



Gambar 2.14 Gangguan Akibat Pohon

E. Layang-layang

Faktor lainnya penyebab gangguan penyulang merupakan adanya layang-layang yang menyentuh 2 hingga 3 fasa sekaligus. Faktor ini sering terjadi di daerah pada penduduk dan sering terjadi saat musim layang-layang tiba. Biasanya penyebab sering terjadinya gangguan akibat layang-layang ini karena anak-anak bahkan orang dewasa yang belum memahami akibat dari layang-layang yang menyentuh kabel dari jaringan SUTM.



Gambar 2.15 Gangguan Akibat Layang-layang

F. Tidak diketahui

Faktor terakhir yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan ini adalah faktor yang tidak diketahui atau tidak bisa diidentifikasi kenapa bisa terjadi trip selain dari ke 5 faktor diatas. Hal ini dikarenakan saat melakukan investigasi ke titik padam, tidak adanya barang bukti yang mendukung kenapa bisa terjadi gangguan pada penyulang tersebut.

2.11 Akibat terjadinya gangguan penyulang

Gangguan pada penyulang merupakan suatu hal yang tak dapat diprediksi kapan akan terjadi, tetapi dapat mencegah dan diminimalisir. Tetapi apabila proses pencegahan itu tidak dilakukan dengan baik atau dalam artian tidak secara terus menerus maka akan menimbulkan hal-hal yang dapat merugikan baik merugikan masyarakat maupun merugikan pihak PLN itu sendiri.

2.11.1 Dampak terhadap pelanggan

Salah satu dampak dari terjadinya gangguan pada penyulang yaitu dapat menyebabkan adanya pemadaman pada pelanggan. Pemadaman ini dapat berlangsung di area *section*, maupun *zone* ataupun langsung ke Gardu induk sesuai dimana letak gangguan itu terjadi.

2.11.2 Dampak terhadap PT PLN (Persero)

A. *Energy not supply* (ENS)

ENS (*Energy Not Supplied*) adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan. Ini didefinisikan



sebagai penjumlahan energi yang hilang akibat adanya gangguan terhadap pasokan daya selama satu periode. Secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Daya (P)} = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{ENS} = I \times V \times \cos \phi \times \sqrt{3} \times T^{[7]} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

I = arus sebelum terjadi pemadaman (A)

V = tegangan penyulang (20KV) (V)

cos phi = 0,85

T = Durasi Padam (Jam)

B. Kerugian PLN (rupiah)

Saat melakukan pemeliharaan yang membutuhkan pemadaman, tentu PLN akan mengalami kerugian karena tidak tersalurkannya energi kepada pelanggan. Kerugian pln ini tergantung dari tinggi atau rendahnya nilai *energy not supplied*. Secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$\text{Kerugian PLN} = \text{ENS} \times 1.444,7^{[2]}$$

Dimana:

$$\text{Tarif Rupiah / Kwh} = 1.444,7$$

⁷ Randa, Y. M., dkk. 2018. *Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV dan Rugi-Rugi Energi yang Tidak Tersalurkan Pada Feeder Raya 10/Adisucipto*. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

² Boby. 2022. *Tarif Listrik Terbaru 2022 Kementerian ESDM (Harga kwh)*. Jakarta



C. Faktor penyebab gangguan penyulang

Dengan menggunakan data yang ada akan dilakukan indentifikasi penyebab gangguan untuk mengetahui jumlah gangguan yang terjadi per sectionnya, mengetahui faktor penyebab gangguan dan seberapa besar persentase gangguan yang terjadi sesuai dengan penyebab gangguan tersebut. Presentase gangguan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Peresentase Gangguan} = \frac{\text{Jumlah Gangguan Berdasarkan jenisnya}}{\text{jumlah total gangguan}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$