

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi daya listrik mencakup seluruh jaringan tegangan menengah 20 kV dan seluruh jaringan tegangan rendah 380/220 Volt hingga ke batas parameter pelanggan.[4] Jaringan tegangan menengah (JTM) juga dapat didefinisikan sebagai jaringan distribusi primer sedangkan jaringan tegangan rendah (JTR) didefinisikan sebagai jaringan distribusi sekunder. Pendistribusian daya listrik dilangsungkan lewat saluran udara atau bawah tanah.

Pemasangan trafo-trafo distribusi pada tiap elemen jaringan distribusi diletakkan pada lokasi tertentu, dimana level tegangan jaringan tegangan menengah 20 kV, diturunkan ke level yang lebih rendah, yaitu pada jaringan tegangan rendah 380/220 Volt. Untuk melayani konsumsi listrik para pelanggan, kabel-kabel tegangan rendah ditarik menjalar dari trafo-trafo distribusi ke sepanjang pusat pemukiman yang terdiri dari pelanggan komersial ataupun industri yang ada di lokasi tersebut.

2.2 Distribusi Primer

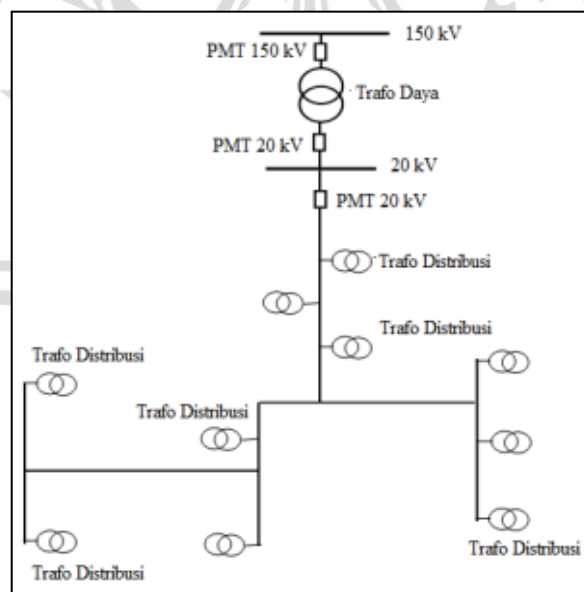
Distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan distribusi primer berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi primer terdiri dari 5 tipe yaitu sistem radial, sistem loop, sistem spindel, sistem spot network dan sistem interkoneksi.

2.2.1 Sistem Radial

Tidak sedikit sistem pada distribusi tenaga listrik yang menerapkan sistem radial. Sistem ini sangat sederhana jika dibandingkan dengan tipe jaringan yang lain. Tenaga listrik yang disalurkan secara radial dilakukan dengan terpisah antara satu dengan lainnya melalui gardu induk ke konsumen-konsumen. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani. Sistem radial terdiri atas feeders atau penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Konfigurasi jaringan sistem radial terbagi atas 2 (dua) bagian yaitu sistem radial terbuka dan sistem radial paralel

2.2.1.1 Sistem Radial Terbuka

Penyaluran tenaga listrik pada sistem radial terbuka hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Maka dari itu, sistem radial sangat tidak bisa diandalkan karena ketika terjadi gangguan, penyaluran tenaga listrik akan terhenti dengan waktu yang cukup lama. Sistem radial dapat beroperasi kembali normal ketika gangguan tersebut telah diperbaiki.



Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Terbuka

Konsumen yang berada jauh dari gardu induk menggunakan saluran yang semakin panjang. Hal ini mengakibatkan rugi rugi tegangan semakin besar, sehingga kualitas tegangan menjadi buruk dan tidak dapat diandalkan.

Kelebihan sistem radial terbuka :

1. Konstruksi lebih sederhana
2. Harga material lebih murah, karena penggunaannya sangat minim
3. Biaya pemeliharaan sistem yang murah
4. Biaya yang murah untuk penyaluran jarak pendek

Kelemahan sistem radial terbuka :

1. Rendahnya keandalan sistem
2. Faktor penggunaan konduktor 100%
3. Makin panjang jaringan (dari gardu induk atau gardu hubung) kondisi tegangan tidak dapat diandalkan
4. Besarnya rugi rugi tegangan
5. Terbatasnya kapasitas pelayanan
6. Penyaluran daya akan terhenti apabila terjadi gangguan

2.2.1.2 Sistem Radial Paralel

Sistem radial paralel dapat menjadi solusi untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka. Tenaga listrik disalurkan melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini terdapat dua saluran yang melayani titik beban, sehingga bila salah satu saluran mengalami kerusakan, maka dapat dibackup oleh saluran yang satunya lagi. Dengan demikian pemadam dapat dihindari.

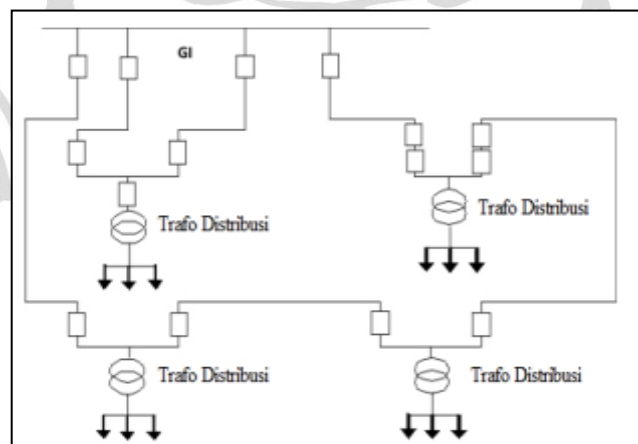
Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban puncak (*peak load*) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran juga dapat difungsikan secara bersamaan untuk melayani satu titik beban.

Kelebihan sistem radial paralel :

1. Kontinuitas pelayanan lebih andal, karena tidak bergantung hanya pada satu sumber saja
2. Besarnya kapasitas beban tersalurkan dengan maksimal ke konsumen, meskipun pada saat beban puncak
3. Kedua saluran dapat mensuplai titik beban secara bersamaan
4. Jika terjadi kerusakan pada salah satu saluran, saluran yang satu lagi dapat menjadi pengganti agar tidak terjadi pemadaman
5. Dapat menyalurkan daya listrik melalui dua saluran yang diparalelkan

Kelemahan sistem radial paralel :

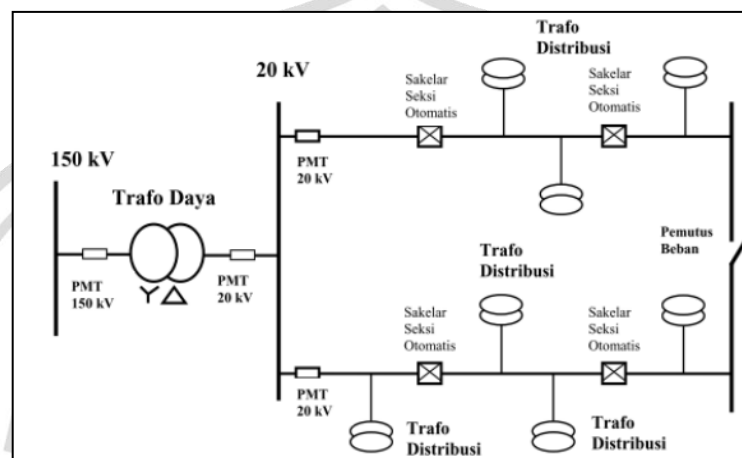
1. Banyaknya peralatan yang harus disediakan, terutama peralatan proteksi
2. Biaya investasi aset lebih mahal[4]



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Paralel

2.2.2 Konfigurasi Sistem Loop

Sistem jaringan loop ialah bentuk tertutup, atau juga dapat dikatakan sebagai jaringan ring. Rangkaian dari saluran ini disusun membentuk seperti ring yang memungkinkan titik beban tersuplai dari dua arah saluran, yang dapat menghasilkan kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas daya menjadi lebih baik.

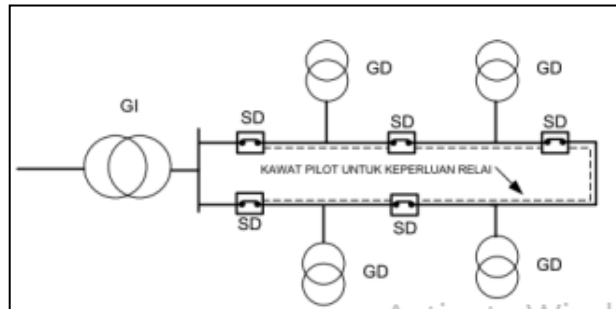


Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Sistem Loop

Jaringan pola loop merupakan jaringan yang dimulai dari pada titik di busbar, berputar di sekitar area beban, dan kembali ke titik busbar semula.. Pola ini juga ditandai dengan adanya dua sumber pengisian yaitu suplai utama dan sebuah suplai cadangan. Jika terjadi gangguan pada salah satu sumber pengisian (suplai utama), maka dapat digantikan dengan sumber pengisian yang lain (suplai cadangan). Jaringan dengan polaini seringdigunakan pada sistem distribusi yang melayani beban denganpersyaratan layanan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pada pola radial).

Kelebihan sistem loop :

1. Daya listrik dapat dialirkan lewat satu atau dua saluran *feeder* yang saling terhubung
2. Meguntungkan dari sudut pandang ekonomis



Gambar 2.5 Skema Rangkaian Loop Tertutup

2.2.3 Konfigurasi Sistem Spindel

Jaringan distribusi spindel adalah jaringan yang menggunakan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTM). Jaringan ini biasanya cocok diterapkan di kota kota besar. Sistem jaringan spindel biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Terdapat 2 macam saluran pada sistem spindel, yaitu working feeder dan express feeder. Working feeder adalah saluran penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban, sedangkan express feeder adalah saluran yang dioperasikan tanpa beban.

Ketika terjadi gangguan pada salah satu working feeder, express feeder dapat berfungsi menjadi saluran cadangan. Express feeder juga berperan untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan saat keadaan operasi normal.

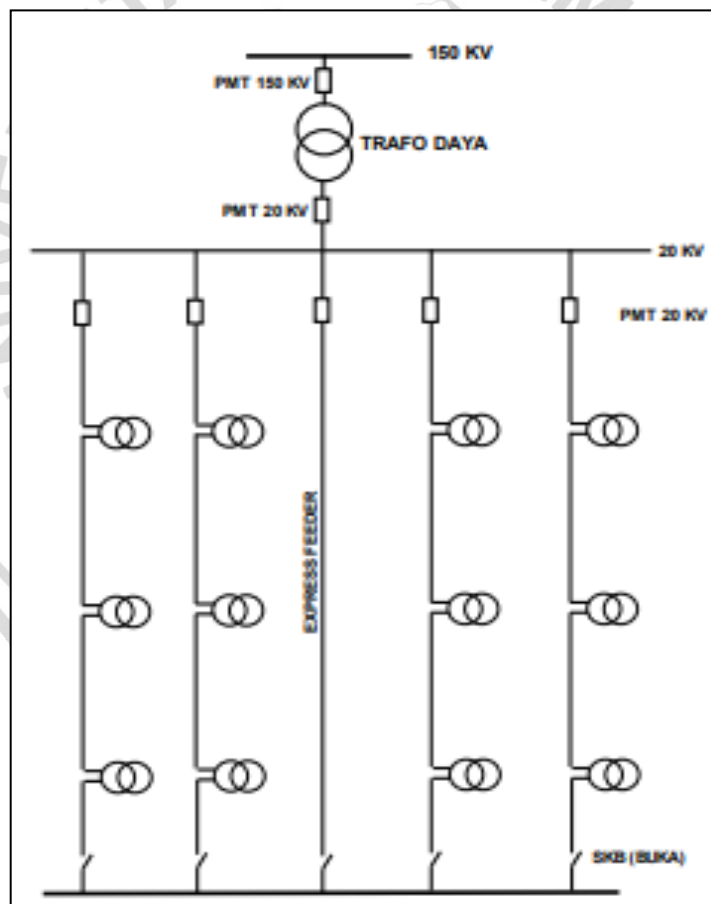
Berikut adalah operasi jaringan spindel :

1. Dalam keadaan normal semua saluran di gardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
2. Dalam keadaan normal saluran ekspress tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian sisi

gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan gardu hubung mendapat supply dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat tepat untuk melengkapi kebutuhan kebutuhan antara lain :

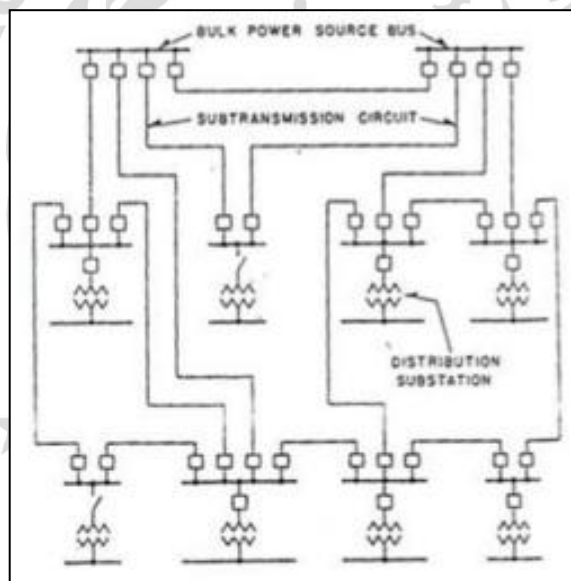
1. Penambahan keandalan atau keberlangsungan pelayanan sistem
2. Rugi-rugi karena gangguan dapat ditekan atau diturunkan
3. Sangat baik guna menyuplai wilayah beban yang mempunyai kerapatan beban yang cukup tinggi
4. Ekspansi jaringan lebih mudah



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel

2.2.4 Konfigurasi Sistem Spot Network

Untuk konsumen yang tidak boleh padam sewaktu waktu seperti Istana Presiden, Gedung MPR, bandar udara dan rumah sakit, maka guna memenuhi kebutuhan tenaga listrik digunakan minimal 2 penyulang sekaligus. Tidak lupa dilengkapi juga dengan Automatic Charge Over. Sistem Spot network didefinisikan sebagai sistem penyaluran tenaga listrik yang mengenakan 2 penyulang atau lebih, yang disalurkan secara terus menerus, bekerja secara paralel pada gardu gardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik. Mengingat sistem ini disuplai dari dua atau lebih sumber tenaga listrik, Sistem ini dapat dikategorikan menjadi sistem yang paling baik dan kendalanya terjamin, karena merupakan pengembangan dari sistem - sistem terdahulu. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder.



Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Sistem Spot Network

Karena memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik, sistem spot network juga sangat cocok diterapkan di daerah daerah yang padat, seperti perkotaan. Kerusakan yang ditimbulkan oleh salah satu penyulang juga

tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanannya, sebab sumber tenaga listrik dipasang pada titik beban yang terhubung secara paralel.

Kelebihan sistem spot network :

1. Penyaluran tenaga listrik dapat dilangsungkan selama 24 jam tanpa henti dengan menggunakan dua atau lebih penyulang
2. Merupakan peningkatan inovasi dari sistem - sistem sebelumnya
3. Tingginya tingkat keandalanya
4. Jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik penyulang
5. Cocok diterapkan di daerah yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi
6. Memilikikapasitasyangsangatbaikdanpelayananyangberkesinambungan
7. Kerusakan yang ditimbulkan oleh saluran manapuntidak akan mengganggu kontinuitas pelayanannya

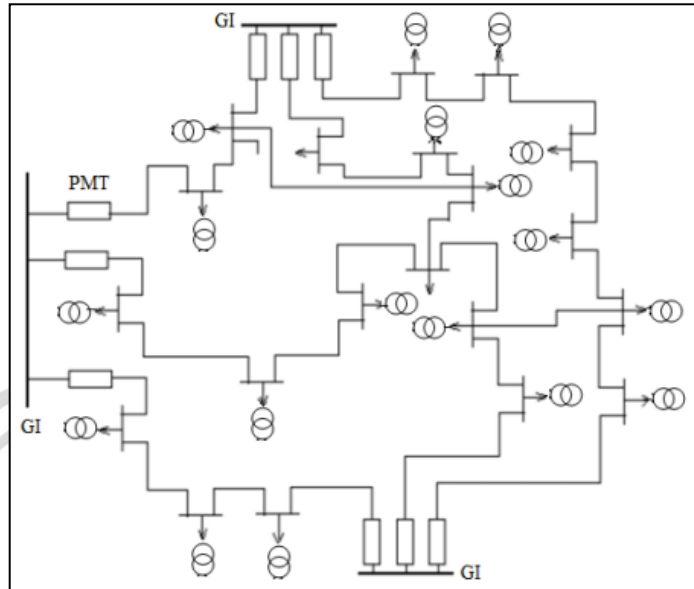
Kelemahan sistem spot network :

1. Anggaran yang dibutuhkan untuk pembangunan konstruksi mahal
2. Penyetelan perangkat pelindung lebih sulit

2.2.5 Konfigurasi Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi ini merupakan peningkatan dari sistem spot network. Sistem ini mendistribusikan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang dimaksudkan beroperasi secara paralel. Pada sistem ini, tenaga listrik juga dapat dialirkan secara terus menerus tanpa terputus, meski cukup tinggi dan luasnya daerah kepadatan beban. Sama halnya dengan sistem yang memiliki dua

atau lebih sumber tenaga listrik, anggaran yang dibutuhkan untuk pembangunan konstruksi sangat mahal.



Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Sistem Interkoneksi

Pada sistem interkoneksi, ketika salah satu pembangkit tenaga listrik mengalami kerusakan, listrik masih bisa dialirkan ke pusat pembangkit lain. Pusat pembangkit utama yang memiliki kapasitas tenaga listrik yang lebih besar, dioperasikan dengan dibantu dengan pusat pembangkit dengan kapasitas yang lebih kecil.

Pada sistem interkoneksi ini pusat pembangkit tenaga listrik tidak beroperasi secara terus menerus, melainkan beroperasi secara bergantian berdasarkan jadwal yang sebelumnya telah direncanakan dan disetujui oleh pihak terkait. Hal ini diterapkan guna memperpanjang usia pusat pembangkit, serta diharapkan juga dapat berpengaruh pada kestabilan sistem pembangkitan.

Kelebihan Sistem Interkoneksi :

1. Merupakan pengembangan sistem spot network

2. Kebutuhan tenaga listrik dapat dipenuhi dengan mengalirkannya melalui beberapa pusat pembangkit tenaga listrik
3. Pada daerah dengan kepadatan beban yang cukup tinggi dan luas, tenaga listrik dapat dialirkan secara terus menerus tanpa berhenti
4. Keterandalan dan kualitas sistem sangat terjamin
5. Apabila salah satu pembangkit mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke pusat pembangkit lainnya.
6. Pembangkit dengan kapasitas lebih kecil dapat difungsikan sebagai backup atau cadangan bagi pusat pembangkit utama yang memiliki kapasitas tenaga listrik lebih besar
7. Biaya operasional pembangkitan sangat minimalis
8. Sistem ini dapat dijalankan secara bergantian sesuai jadwal yang telah direncanakan sebelumnya
9. Dapat memperbaiki lifetime pusat pembangkit
10. Dapat menjaga kestabilan sistem pembangkitan
11. Tingkat keterandalan yang lebih baik

Kelemahan Sistem Interkoneksi

1. Anggaran yang dibutuhkan untuk pembangunan konstruksi mahal
2. Membutuhkan perancangan yang lebih matang
3. Saat terjadi gangguan hubung singkat pada penghantar jaringan, maka semua pusat pembangkit akan tergabung di dalam sistem dan akan ikut menyumbang arus hubung singkat ke tempat gangguan tersebut
4. Apabila unit - unit mesin pada pusat pembangkit mengalami gangguan, maka sebagian atau seluruh sistem akan jatuh
5. Diperlukan penyesuaian produksi tenaga listrik yang dapat mengimbangi besarnya kapasitas pemakain beban
6. Terjadinya petir sangat menyulitkan untuk sistem ini.

2.3 Kualitas Daya Listrik

Terdapat 2 faktor yang menjadi patokan mutu listrik[5]

1. Tegangan

Baik dan buruknya sistem pendistribusian tenaga listrik ditinjau dari kualitasnya penerimaan daya pada konsumen. Kualitas daya yang baik yang dimaksud adalah kapasitas daya yang cukup dan tegangan nominal yang selalu konstan. Batas toleransi tegangan pelayanan bagi pelanggan TM adalah $\pm 5\%$, sementara untuk pelanggan TR adalah minimal 10% dan maksimal 5%.

2. Frekuensi

Stabilitas frekuensi juga berpengaruh bagi konsumen tenaga listrik khususnya pemakai listrik jenis industri yang pekerjaannya dibantu oleh mesin mesin yang memiliki *setting* waktu atau frekuensi. Batas toleransi frekuensi adalah $\pm 1\%$ dari frekuensi standar 50 Hz

2.4 Manuver Jaringan Distribusi

Manuver jaringan adalah serangkaian tindakan perubahan fungsi operasi normal jaringan karena imbas gangguan atau pekerjaan jaringan yang memerlukan pemutusan pasokan tenaga listrik dengan tujuan mengurangi area pemadaman dan untuk mempertahankan kondisi pendistribusian tenaga listrik yang maksimal.[2]

Kegiatan yang dilakukan dalam manuver :

1. Memutuskan bagian-bagian jaringan yang sebelumnya terkoneksi dalam kondisi bertegangan/tidak bertegangan.
2. Mengaitkan bagian-bagian jaringan yang terpisah sesuai dengan kondisi operasinya dalam keadaan bertegangan/ tidak bertegangan.

Dari sudut pandang teknis, hasil optimal atas keberhasilan manuver bergantung pada konfigurasi jaringan dan perangkat manuver yang tersedia di sepanjang jaringan. Peralatan jaringan yang dimaksud adalah peralatan pemutus dan penghubung yang terdiri dari berbagai macam seperti PMT, ABSW, Recloser, LBS, FCO, Sectionalizer. Masing-masing peralatan manuver ini memiliki spesifikasi dan fungsi kerja yang berbeda-beda.

2.4.1 Tujuan Pelaksanaan Manuver Jaringan Distribusi

Guna menjaga keandalan jaringan, yang mana di dalamnya terdapat konsumen listrik di suatu daerah, ada beberapa tujuan yang mengharuskan pelaksanaan manuver pada jaringan distribusi. Beberapa tujuan tersebut diantaranya adalah :

1. Percepatan penormalan jaringan akibat gangguan
2. Membatasi jumlah pelanggan padam saat pemeliharaan
3. Rekonfigurasi beban jaringan distribusi
4. Meninjau keandalan suatu jaringan distribusi
5. Untuk menjaga keamanan instalasi atau peralatan saat pemeliharaan
6. Untuk menjaga keselamatan pekerja saat melakukan pekerjaan perbaikan atau pengamanan dari tegangan.

2.4.2 Syarat Manuver Jaringan Distribusi

Syarat-syarat yang wajib diperhatikan sebelum pelaksanaan manuver jaringan distribusi:

1. Frekuensi kedua penyulang harus sama. Dalam hal ini, berdasarkan data pada monitoring mini scada, frekuensi di PLN UP2D Jawa Timur semuanya sama

2. Tegangan pada kedua penyulang dari trafo yang berbeda harus sama, atau dengan toleransi maksimal selisih 0.5 KV. Apabila besarnya tegangan belum sesuai syarat tersebut, maka bisa dimintakan penyamaan terlebih dahulu ke UP2D selaku Dispatcher
3. Urutan fasa penyulang utama dan penyulang backup harus sama
4. Peralatan manuver yang akan digunakan switching harus dalam keadaan yang baik saat dioperasikan, baik ketika membuka atau menutup
5. Kapasitas penyulang backup harus mampu menerima beban penyulang utama.[6]

2.4.3 Akibat dari Manuver Jaringan Distribusi

Di dalam proses pelaksanaan manuver jaringan distribusi dapat menimbulkan beberapa perubahan sistem secara keseluruhan, diantaranya :

1. Berubahnya sumber daya pembebanan secara sementara atau permanen. Suplai ini akan menjadi informasi sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan prioritas skenario pemadaman.
2. Perubahan beban jaringan. Perubahan beban akan terjadi untuk beban yang terpasang dan beban yang terukur. Informasi ini begitu penting guna mengetahui perkembangan beban dari tiap level jaringan mulai dari transmisi utama sampai kesetiap pencabangan dan memprediksi beban puncak agar tidak terjadi kegagalan sistem.
3. Rugi rugi tegangan atau juga dapat dikatakan sebagai drop tegangan. Secara umum, drop tegangan terjadi pada penyulang yang memiliki saluran yang panjang dengan beban besar. Guna mencegah meningkatnya rugi-rugi, salah satu teknik sederhana yaitu dengan mempertahankan keseimbangan beban antar penyulang. [7]

2.4.4 Standing Operation Procedure (SOP) Manuver Jaringan Distribusi

2.4.4.1 Personil yang terkait

1. Manager Bagian Jaringan UP3
2. Manager ULP
3. SPV Opdis UP3
4. SPV Teknik ULP
5. Koordinator ULP
6. Petugas Dispatcher UP2D
7. Pengatur TM atau Operator UP3
8. Petugas Lapangan atau Unit Mobil

2.4.4.2 Alat Kerja

1. Radio Komunikasi
2. Kendaraan Roda dua atau empat
3. Kunci elektrik
4. Grip All Stick
5. Stang LBS
6. Tool Set

2.4.4.3 Perlengkapan K3 atau Pelindung Diri

1. Sarung tangan
2. Pakaian kerja
3. Helm Pengaman

4. Sepatu Safety 20KV

2.4.4.4 Prosedur dan Persiapan Manuver

1. SPV teknik ULP merencanakan pelimpahan beban penyulang dan membuat SOP manuver penyulang dengan persetujuan Manager ULP.
2. SOP manuver diserahkan kepada SPV Opdis UP3 untuk direview ulang terkait tujuan dari manuver, peralatan switching mana yang akan digunakan dan perkiraan perhitungan kapasitas beban penyulang supply maupun backup.
3. Setelah direview ulang, dengan persetujuan Manager Bagian Jaringan UP3 SOP tersebut dientry ke Website UP2D selaku Dispatcher.
4. Koordinasi personil manuver terkait dilakukan menggunakan radio komunikasi.
5. Unit mobil datang ke lokasi LBS, LBSM atau Recloser yang dimaksud untuk melakukan dokumentasi, persiapan peralatan kerja dan menggunakan alat K3 atau pelindung diri.
6. Koordinator ULP atau SPV Teknik ULP selaku pengawas Unit mobil menginfokan kepada Operator UP3 bahwa Unit mobil sudah siap.
7. Operator UP3 mencatat beban sebelum dan sesudah manuver, memintakan disable penyulang dan penyamaan tegangan kepada UP2D serta melakukan pencatatan jam lepas masuk LBS, LBSM atau Recloser.
8. Manuver yang menggunakan Recloser, sebelum dieksekusi lepas atau masuk, Operator UP3 meminta ijin terlebih dahulu ke SPV Opdis UP3 sebagai bagian dari SOP yang berlaku.
9. Manuver dilakukan dengan memasukkan LBS dari penyulang backup terlebih dahulu, lalu melepas LBS dari penyulang supply.

10. Apabila keypoint (LBSM atau Recloser) dapat dikontrol dari Scada, manuver dilakukan online dari UP2D.
11. Apabila keypoint tidak bisa dikontrol dari Scada, baik salah satu keypoint atau kedua keypoint, maka Unit mobil akan mengeksekusi secara manual menggunakan control panel, stik atau grip LBS di lapangan.
12. Unit mobil menginformasikan kepada Koordinator ULP atau SPV Teknik ULP jika keypoint telah berhasil tereksekusi secara sempurna, baik online dari Scada atau offline sebagaimana SOP manuver yang dimaksud.[8]

2.5 Peralatan *Switching* Jaringan Tegangan Menengah

Dari segi teknis konfigurasi jaringan dan peralatan manuver yang berada di sepanjang jaringan dapat mempengaruhi optimalisasi atas keberhasilan manuver. peralatan manuver tersebut adalah :

2.5.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 dinyatakan jika Circuit Breaker (CB) atau yang sering juga disebut dengan Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan saklar/switching mekanis, yang sanggup menutup, mengalirkan dan memutus arus beban pada keadaan normal serta sanggup menutup, mengalirkan (saat kurun waktu tertentu) dan memutus arus beban pada keadaan abnormal/gangguan semacam keadaan hubung singkat (shortcircuit).[9]

Sedangkan pengertian PMT menurut IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) yaitu peralatan saklar/ switching mekanis, yang sanggup menutup, mengalirkan dan memutus arus beban pada keadaan normal sesuai dengan ratingnya serta sanggup menutup, mengalirkan (pada kurun waktu

tertentu) dan memutus arus beban pada spesifik keadaan abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

Kegunaan utamanya yaitu sebagai perangkat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik pada keadaan berbeban, serta sanggup membuka atau menutup ketika terjadi arusgangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh sebuah PMT adalah :

1. Dalam waktu yang lama, PMT diharuskan untuk mampu menutup dan mengalirkan arus beban penuh
2. Dapat membuka secara otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih
3. Ketika terjadi hubung singkat, PMT diwajibkan dengan cepat dapat memutus beban
4. Apabila kontak terbuka, celah (Gap) harus mampu menahan tegangan rangkaian
5. Sanguup dialiri arus hubung singkat dengan periode waktu tertentu
6. Sanggup memutuskan arus magnetisasi trafo atau jaringan serta arus pemuatan (*Charging current*)
7. Ketika terjadi hubung singkat, PMT juga diwajibkan untuk sanggup menahan efek dari arching kontaknya, gaya elektromagnetik atau kondisi termal yang tinggi

Pemasangan PMT tegangan menengah umumnya diletakkan pada Gardu Induk pada kabel masuk ke busbar ttegangannya menengah (*Incoming cable*) maupun pada setiap rel / busbar keluar (*outgoing cable*) yang menuju penyulang keluar dari gardu induk. Macam-macam PMT dilihat dari media pemadam busur apinya adalah :

1. PMT menggunakan media minyak (*Oil Circuit Breaker*)
2. PMT menggunakan media gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*)
3. PMT menggunakan media vakum (*Vacuum Circuit Breaker*). [2]



Gambar 2.9 PMT 20kV

2.5.2 Recloser

Recloser merupakan suatu perangkat sirkuit yang terdiri dari pemutus tenaga dan kontrol elektronik yang memiliki fungsi sebagai alat pendeteksi arus lebih karena gangguan hubung singkat.[10]Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan distribusi membutuhkan suatu sistem proteksi yang dapat memperkecil dampak terjadinya gangguan.Jika terjadi gangguan temporer, recloser akan terbuka seketika dalam beberapa saat sesuai setting waktu yang telah ditentukan, hingga akhirnya menutup kembali. Sedangkan jika terjadi gangguan permanent, recloser akan terus terbuka dan tidak akan menutup kembali. Pada keadaan ini, recloser harus direset oleh petugas terkait kemudian dapat dimasukkan secara manual.

Pada jaringan distribusi, penempatan recloser berada di depan PMT penyulang, yang bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak langsung mengenai sistem yang lebih besar lagi, sehingga peralatan listrik tidak mudah rusak. Recloser secara otomatis akan membuka dan menutup sebanyak *setting* yang telah ditentukan sebelumnya, hingga pada akhirnya recloser akan *lock out*.

2.5.2.1 Cara Kerja Recloser

Pada saat terjadi gangguan arus akan mengalir melewati trafo arus, relay yang ada pada kontrol recloser akan merasakan gangguan tersebut dan mengirimkan perintah kepada pemutus tenaga untuk membuka. Arus lebih yang disebabkan gangguan akan masuk *vacuum interrupter* dan busur api yang terjadi diredam sehingga tidak ada peralatan listrik yang rusak dikarenakan percikan api.

2.5.2.2 Sifat Kerja Recloser

Terdapat dua sifat kerja pada recloser :

1. Dual Timming, recloser bisa melaksanakan operasi cepat dan operasi lambat. Recloser dengan operasi cepat digunakan untuk mengantisipasi akibat dari gangguan temporer. Recloser dengan operasi lambat digunakan sebagai koordinasi dengan pengaman yang berada di sisi hilir.
2. Reset otomatis, jika gangguan telah hilang pada operasi cepat maka recloser akan reset ke status awal. Bila muncul gangguan setelah waktu reset, maka recloser mulai mengitung waktu dari awal.[6]



Gambar 2.10 Recloser di jaringan distribusi 20 kV

2.5.3 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch(LBS) atau yang lebih sering disebut saklar pemutus beban merupakan suatu alat hubung yang dikenakan sebagai pemisah maupun pemutus tenaga dengan beban normal.[2] Tahap pemutusan atau pelepasan jaringan bisa diperhatikan secara visual pandangan mata. Berbeda dengan PMT atau recloser, LBS tidak dilengkapi dengan suatu proteksi, sehingga tidak dapat membuka atau menutup secara otomatis ketika terjadi gangguan. LBS juga digunakan sebagai alat pendukung untuk melakukan manuver atau memanipulasi beban.



Gambar 2.11 LBS manual di jaringan distribusi 20 kV



Gambar 2.12 LBS Motorized di jaringan distribusi 20 kV

2.6 Rugi-Rugi Jaringan Distribusi Primer

Rugi-rugi atau losses dapat didefinisikan sebagai selisih antara energi listrik yang dikirimkan dengan energi yang diterima.[3] Beberapa faktor yang menyebabkan kerugian tersebut diantaranya seperti jarak sumber atau suplai dari daerah penyaluran tenaga listrik yang terlalu jauh, ketidakseimbangan beban, umur peralatan, ukuran dan jenis penghantar, dan sebagainya.

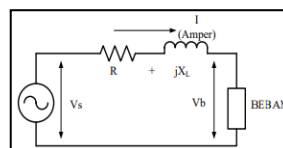
Rugi-rugi energi yang dikirimkan tidak dapat dihapuskan sepenuhnya tetapi bisa diminimalkan (direduksi). Kerugian pada sistem tenaga listrik dari pembangkit sampai ke pelanggan diperkirakan $\pm 14\%$ dari total daya pembangkitan, kerugian tersebut terdiri dari 3% susut transmisi dan 11% susut distribusi. Pada tabel 1 disampaikan prosentase kerugian daya yang diizinkan pada saluran distribusi.

Tabel 2.1 Kerugian Daya pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Distribution System	Losses at Full Load
Cable	1% - 4%
Transformer	0,4% - 3%
Capacitors	0,5% - 2%
Low Voltage Switchgear	0,13% - 0,34%
Busbar	0,05% - 0,5%
Motor Control Centers	0,01% - 0,4%
Medium Voltage Switchgear	0,006% - 0,02%
Load Break Switches	0,003% - 0,025%
Outdoor Circuit Breaker	0,002% - 0,015%

2.7 Perhitungan Jatuh Tegangan

Sebagai langkah memudahkan perhitungan jatuh tegangan digunakan diagram beban satu beban satu garis seperti gambar di bawah ini. [3]



Gambar 2.13 Diagram Rangkaian Beban

Nilai jatuh tegangan yang disebabkan oleh penghantar dipengaruhi oleh besarnya arus dan impedansi penghantar ($V=I.Z$), dimana $Z = R+jX = Z \angle \theta_C$ dan nilai arus (I) tertinggal terhadap tegangan (V_b) sebesar “ θ_L ” seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13. Besar sudut “ θ_L ” adalah sudut pada faktor beban = $\cos \theta_L$. Sehingga diperoleh persamaan

$$V_D = I \angle -\theta_L \times Z \angle \theta_C \quad 2.1$$

atau,

$$V_D = I (R \cos \theta_L + X \sin \theta_L) \quad 2.2$$

Dengan demikian besarnya tegangan beban :

$$V_b = V_s - I (R \cos \theta_L + X \sin \theta_L) \quad 2.3$$

Keterangan :

V_s = Tegangan sumber (Volt)

V_b = Tegangan pada beban (Volt)

V_D = Tegangan Drop (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi penghantar (ohm)

X = Reaktansi penghantar (ohm)

2.8 Gangguan pada Jaringan Distribusi

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya pendistribusian tenaga listrik ke konsumen. Gangguan didefinisikan sebagai penghalang dari suatu sistem yang sedang bekerja atau suatu kondisi dari sistem pendistribusian tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan pada peralatan listrik juga dapat didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.[11]

2.8.1 Gangguan yang bersifat Temporer

Apabila terjadi gangguan yang bersifat temporer pada jaringan distribusi, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini juga dapat hilang dengan sendirinya, lalu setelah itu peralatan hubung akan kembali menutup kembali dan jaringan akan kembali normal seperti sebelumnya. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer diantaranya adalah akibat terlalu dekatnya jarak ranting atau pohon yang berada di sepanjang jaringan dengan kawat penghantar. Gangguan temporer juga terjadi karena binatang, layang-layang atau sentuhan benda asing lainnya. Berulangnya gangguan temporer pada suatu jaringan distribusi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan hingga akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

2.8.2 Gangguan yang bersifat Permanen

Gangguan yang bersifat permanen tidak akan bisa normal sebelum penyebab gangguan bisa ditemukan dan diamankan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga penyulang baru bisa dinormalkan apabila gangguan telah hilang dan setelah kerusakan yang ditimbulkan sudah diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Saat terjadi gangguan permanen, penormalan dilakukan secara bertahap oleh petugas unit terkait. Beberapa penyebab yang dapat menimbulkan gangguan permanen yaitu seperti adanya petir yang mengakibatkan kawatkonduktor putus, terjadinya gangguan hubung singkat, pohon roboh yang menimpa saluran udara dan tiang TM yang tertabrak truk.

2.8.3 Pemeliharaan pada Jaringan Distribusi

Dikarenakan begitu luas dan kompleksnya keadaan jaringan distribusi dan banyaknya sistem jaringan yang ada, maka dibutuhkan rencana pemeliharaan untuk meminimalisir gangguan yang berpotensi muncul, serta agar dapat mengamankan aset-aset peralatan sistem distribusi.

2.8.4 Pemeliharaan Rutin (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan rutin yaitu pemeliharaan guna mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan sistem secara tiba tiba. Pemeliharaan rutin juga dapat menjaga pendistribusian tenaga listrik secara kontinyu agar dapat beroperasi maksimal dan dengan keadaan efisiensi yang tinggi.

2.8.4.1 Pemeriksaan Rutin

Pemeriksaan rutin atau yang juga biasanya disebut inspeksi adalah pekerjaan pemeriksaan jaringan secara visual. Hasil yang diperoleh setelah melakukan inspeksi, ditindaklanjuti dan dijadwalkan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan berdasarkan rekomendasi dari hasil inspeksi sebelumnya. Pemeliharaan yang dilakukan adalah berupa penggantian, pembersihan dan pengujian.

Hasil pekerjaan yang diharapkan dari pekerjaan pemeriksaan rutin ini adalah agar dapat ditemukannya anomaly pada sistem atau beberapa hal yang dicemaskan dapat menjadi penyebab gangguan sebelum periode pemeliharaan rutin berikutnya terselenggara. Suatu sistem jaringan dapat disimpulkan telah melalui pemeriksaan rutin jika sistem jaringan sudah diperiksa secara visual dan rekomendasi hasil inspeksi sebelumnya telah terealisasi, kecuali rekomendasi pekerjaan yang mengharuskan untuk dilakukan perubahan atau rehabilitasi jaringan.

2.8.4.2 Pemeriksaan Rutin Sistematis

Pemeriksaan rutin sistematis merupakan pekerjaan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan atau gejala kerusakan yang tidak ditemukan ketika dilaksanakannya inspeksi. Pekerjaan yang dilaksanakan dalam tahap ini memiliki jangkauan yang lebih luas, lebih teliti dan akan melakukan bongkar pasang peralatan jika diperlukan. Suatu sistem jaringan dapat disimpulkan telah melalui pemeriksaan rutin sistematis jika sistem jaringan sudah dipelihara secara sistematis termasuk pekerjaan-pekerjaan yang sifatnya penyempurnaan atau perubahan.

2.8.5 Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan korektif dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu terencana dan tidak terencana. Contoh kegiatan terencana diantaranya adalah pekerjaan perubahan atau penyempurnaan yang dilakukan pada jaringan untuk mendapatkan keandalan yang lebih baik tanpa mengubah kapasitas semula. Sedangkan contoh kegiatan tidak terencana adalah mengatasi atau perbaikan kerusakan peralatan maupun gangguan untuk mempertahankan atau mengembalikan kondisi sistem atau peralatan yang mengalami kerusakan hingga dapat beroperasi kembali seperti kondisi

Pekerjaan-pekerjaan yang termasuk dalam pemeliharaan korektif adalah :

1. Penggantian jumperan kabel yang rusak
2. Penyambungan JTM yang putus
3. Penggantian bushing trafo yang pecah
4. Penggantian tiang yang retak [2]

2.9 ETAP

ETAP Power Station adalah perangkat lunak yang memiliki keunggulan dalam menganalisis berbagai jenis data, parameter dan komponen yang dimasukkan seperti itu memudahkan untuk menemukan bug dalam sistem listrik. Perangkat lunak ini dapat digunakan analisis tenaga listrik, seperti *Load Flow Analysis*, *Short Circuit Analysis*, *Harmonic Analysis*, *Transient Stability Analysis*, *Relay Coordination*, *Optimal Power Flow Analysis*, *Reliability Analysis*, *DC Load Flow Analysis*, *DC Short Circuit Analysis*, *Battery Sizing*, *Cable Raceways*, dan *Ground Grid*. Menggunakan *software* ETAP bisa digunakan untuk melakukan analisis jaringan secara bersamaan menjelaskan respons jaringan saat ini terjadi perubahan dinamis parameter daya. [12]

