

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ditinjau dari aspek kebutuhan energi listrik, konsumsi energi listrik di Malang Raya masih cukup besar di Wilayah Jawa Timur. Pertumbuhan permintaan energi listrik hingga saat ini dinilai masih tinggi karena wilayah ini masih akan terus berkembang sehingga energi listrik dan sarana kelistrikannya seperti pembangkitan, transmisi dan distribusi energi listrik masih perlu ditingkatkan. Sehingga PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang dituntut untuk terus meningkatkan kinerja pelayanannya dalam melayani ketersediaan energi listrik di Malang Raya. Pada sisi lain, kondisi sistem kelistrikan di wilayah ini masih memerlukan banyak perhatian mengingat sistem yang terpasang adalah skala besar mulai dari perkotaan sampai kepegunungan, mulai dari industri, perumahan sampai ke desa-desa, dimana faktor alam sangat mempengaruhi distribusi energi listrik pada wilayah ini. Peralatan distribusi yang sudah cukup tua dan belum dilakukan peremajaan juga menjadi salah satu kondisi yang memerlukan perhatian. PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang memiliki 14 Unit Rayon, dimana Rayon Batu adalah rayon yang sering mengalami gangguan. Gangguan yang terjadi di rayon ini sangatlah bervariasi sehingga pemadaman listrik pada rayon ini juga sering terjadi, terutama daerah yang disuplai oleh penyulang Pujon.

Kontinuitas penyaluran energi listrik dipengaruhi oleh keandalan dari setiap komponen sistem distribusi. Keandalan didefinisikan sebagai kemampuan bekerja suatu komponen. Setiap komponen dalam sistem distribusi memiliki nilai keandalan masing-masing. Komponen-komponen distribusi tersebut akan membentuk suatu sistem distribusi dengan nilai keandalan total. Gangguan atau kerusakan dalam sistem akan mempengaruhi nilai keandalan sistem distribusi tersebut. Selain itu, gangguan atau kerusakan dalam sistem distribusi akan mengakibatkan kemungkinan terjadinya pelepasan beban sehingga terjadi pemadaman dalam sistem.

Oleh sebab itu PLN berusaha memenuhi kebutuhan daya yang meningkat dan juga memperbaiki mutu keandalan pelayanan sehingga suplai daya listrik dan kontinuitas dari suplai daya listrik tetap terjaga. Agar parameter dari keandalan dari peralatan distribusi dapat diketahui maka perlu dikembangkan suatu cara

pengevaluasian terhadap keandalan mutu pelayanan. Sehingga diperlukan suatu indeks keandalan sebagai parameter keandalan peralatan distribusi energi listrik. Adapun indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*). Dengan indeks keandalan ini, maka tingkat keandalan suplai energi listrik dari transmisi ke konsumen dapat termonitor secara sistematis dan akurat.

Metode *Section Technique* adalah suatu metode analisis evaluasi yang dapat digunakan pada beberapa hal meliputi keandalan suatu sistem jaringan distribusi. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui indeks-indeks keandalan yang sering mengalami gangguan. Dengan mengetahui indeks keandalan sistem dapat dilakukan analisis nilai ekonomis terhadap indeks-indeks yang memiliki dampak terhadap penjualan energi.

Analisis nilai ekonomis dari sisi PLN dilakukan berdasarkan harga penjualan energi dan biaya investasi serta biaya perawatan distribusi listrik. Dari hasil analisis nilai ekonomis ini secara komprehensif dapat dikorelasikan dengan aspek keandalannya sehingga dapat dievaluasi kembali tingkat keandalannya untuk memperkecil kerugian yang terjadi di PLN. Baik melalui pemeliharaan jaringan maupun otomatisasi sistem yang diharapkan dapat memperkecil akibat yang timbul serta dapat meningkatkan citra PLN di masyarakat saat ini maupun di masa yang akan datang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini ditekankan pada :

1. Bagaimana cara mendapatkan nilai indeks keandalan, seperti SAIDI, SAIFI, dan CAIDI dari sistem distribusi 20 kV Penyulang Pujon di PT. PLN (PERSERO) Distribusi Area Malang Rayon Batu dengan metode *Section Technique* agar dapat diketahui peralatan distribusi 20 kV yang memiliki indeks keandalan terbaik dan terburuk.
2. Bagaimana cara menganalisis aspek ekonomi sistem distribusi 20 kV di Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) Distribusi Area Malang Rayon Batu dengan analisis nilai ekonomis agar dapat diperoleh wilayah section yang memiliki kerugian ekonomis terbesar dan terkecil berdasarkan energi yang tidak terjual.

1.3. Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Perhitungan keandalan komponen dengan menggunakan standard dari PLN (waktu pemadaman, waktu pemindahan dan λ).
2. Penyulang yang akan dianalisis adalah penyulang Pujon karena merupakan penyulang dengan saluran terpanjang dan sering terjadi gangguan pada penyulang ini.
3. Analisis indeks keandalan menggunakan metode *Section Technique*
4. Indeks keandalan yang akan dibahas dan dianalisis adalah SAIDI, SAIFI dan CAIFI.
5. Analisis nilai ekonomis sistem dengan dibatasi hanya pada perhitungan energi yang tidak terjual dari sisi PLN.
6. Perhitungan ekonomis yang dibahas tidak termasuk perhitungan ekonomis hasil kontribusi dari rugi-rugi jaringan dan biaya investasi peralatan.

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai indeks keandalan (SAIDI, SAIFI, dan CAIDI) dengan metode *Section Technique* dan menganalisis kerugian ekonomis berdasarkan energi yang tidak terjual PLN pada sistem distribusi 20 kV di Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) Distribusi Area Malang Rayon Batu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

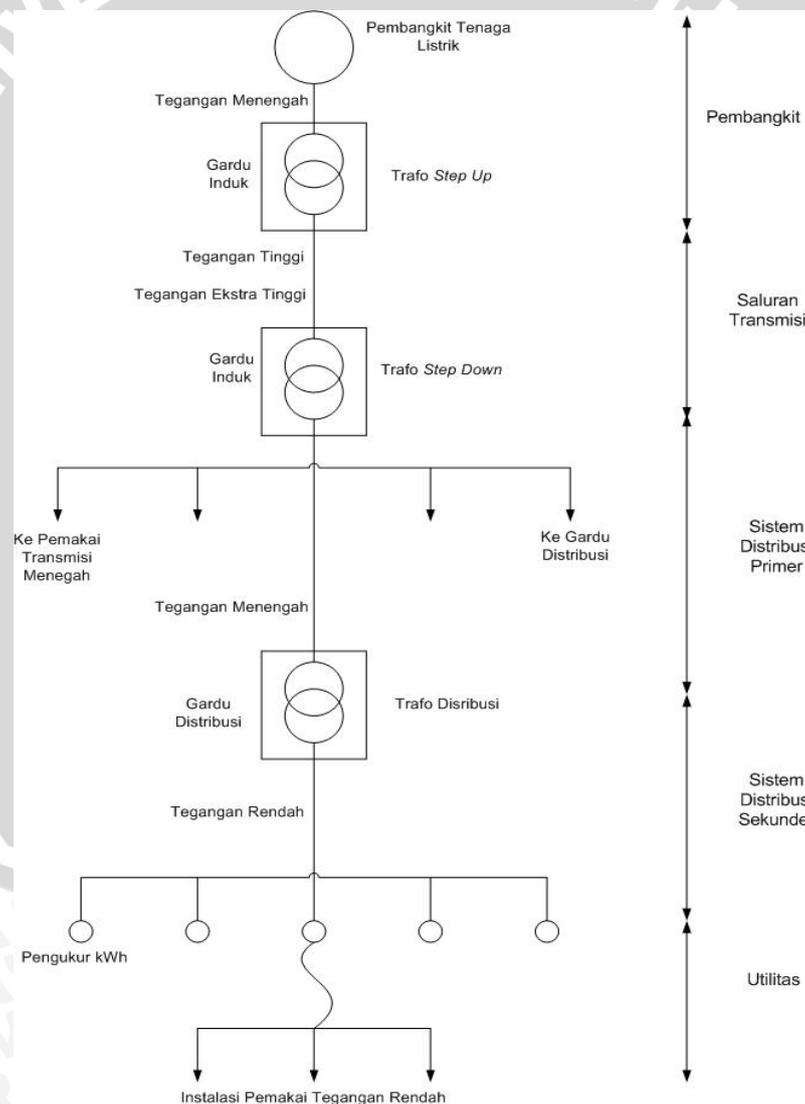
Tanpa listrik infra-struktur masyarakat sekarang tidak akan menyenangkan. Makin bertambahnya konsumsi listrik per kapita diseluruh dunia menunjukkan kenaikan standar kehidupan manusia. Pemanfaatan secara optimum bentuk energi ini oleh masyarakat dapat dibantu dengan sistem distribusi yang efektif (Pabla, A S, 1986).

Suatu sistem energi listrik mengandung empat unsur. Pertama, adanya unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya adalah tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi. Gambar 2.1 menggambarkan skema suatu sistem energi listrik. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sebagai sistem terinterkoneksi (Kadir, 2006).

Energi listrik dibangkitkan pada pembangkit tenaga listrik (PTL), yang dapat merupakan suatu pusat listrik tenaga uap (PLTU), pusat tenaga listrik air (PLTA), pusat listrik tenaga gas (PLTG), pusat listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pusat listrik tenaga nuklir (PLTN). Jenis PTL yang dipakai, pada umumnya tergantung dari jenis bahan bakar atau energi primer yang tersedia. Pada sistem besar sering ditemukan beberapa jenis PTL. Perlu pula dikemukakan bahwa PLTD biasanya dipakai pada sistem yang lebih kecil. PTL biasanya membangkitkan energi listrik pada tegangan menengah (TM), yaitu pada umumnya antara 6 dan 20 kV.

Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bilamana PTL terletak jauh dari pemakai, maka energi listrik itu perlu dingkut melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari TM menjadi tegangan tinggi (TT). Pada jarak yang sangat jauh malah digunakan tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan itu dilakukan di gardu induk (GI) dengan mempergunakan transformator penaik (*step-up*

transformer). Tegangan tinggi di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV dan 275 kV. Sedangkan tegangan ekstra tinggi 500 kV. Digunakannya tegangan setinggi mungkin untuk memperkecil arus yang mengalir pada transformator step up, sehingga rugi-rugi daya pada sistem penyaluran daya jarak jauh dapat dikurangi. Bagaimanapun juga untuk sekarang ini, adalah suatu kenyataan pokok bahwa makin besar tegangan, suplai akan semakin murah. Karena $P = VI \cos \phi$ watt, berlaku bahwa suatu pertambahan tegangan memberi pengurangan arus pada jumlah daya dan faktor daya yang diberikan. Dalam keadaan seperti ini, dapat dikatakan bahwa arus sebanding terbalik dengan tegangan. Arus yang lebih kecil jelas menghasilkan pengurangan ukuran kabel dan panel hubung bagi kehilangan I^2R dan penurunan tegangan. Hal ini merupakan kecenderungan pemakaian tegangan yang semakin tinggi (Neidle, 1989).



Gambar 2.1. Skema Sistem Energi Listrik
Sumber : Kadir (2006:5)

Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau suatu kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan mempergunakan transformator penurun (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV. Saluran 20 kV ini menelusuri jalan-jalan di seluruh kota dan merupakan sistem distribusi primer. Bilamana transmisi tenaga listrik dilakukan dengan mempergunakan saluran-saluran udara dengan menara menara transmisi, sistem distribusi primer di kota biasanya terdiri atas kabel-kabel tanah yang tertanam di tepi jalan, sehingga tidak terlihat.

Di tepi-tepi jalan, biasanya berdekatan dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi (GD), yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (TR) melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terlihat di tepi jalanan, energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada para pemakai. Di Indonesia, tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang-tiang TR terpasang pula lampu-lampu penerangan jalan umum.

Energi diterima pemakai dari tiang TR melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR), dan berakhir pada alat pengukur listrik yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN. Setelah titik ini, berawal unsur utilisasi pada instalasi pemakai tenaga listrik (Kadir, 2006).

2.2 Fungsi Komponen - Komponen Jaringan Distribusi

Dalam melakukan distribusi energi listrik, diperlukan beberapa komponen utama sebagai penunjang distribusi energi listrik, yaitu :

1) Jaringan Subtransmisi

Jaringan Subtransmisi berfungsi menyalurkan daya listrik dari sumber daya yang besar menuju gardu induk ke daerah tertentu. Tegangan yang dipergunakan dalam penyalurannya, biasanya adalah tegangan tinggi atau bahkan tegangan ekstra tinggi. Hal ini dilakukan untuk berbagai alasan efisiensi antara lain penggunaan penampang penghantar menjadi efisien karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil ketika dialiri tegangan tinggi atau bahkan tegangan ekstra tinggi.

2) Gardu Induk

Fungsi dari Gardu Induk adalah untuk menerima daya listrik dari jaringan subtransmisi dan menurunkan tegangannya menjadi tegangan distribusi primer. Sehingga pada bagian ini tegangan tinggi atau bahkan tegangan ekstra tinggi tadi di turunkan menjadi 20 kV atau lebih sering disebut sebagai tegangan menengah.

3) Gardu Hubung

Gardu Hubung ini berfungsi menerima aliran daya listrik dari gardu induk yang tegangannya telah diubah menjadi 20 kV. Setelah itu, daya listrik disalurkan atau dibagikan menuju transformator-transformator atau gardu distribusi tanpa diubah dahulu nilai tegangan menengah tersebut.

4) Gardu Distribusi

Fungsi dari Gardu Distribusi adalah menyalurkan atau meneruskan energi listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah, menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah, dan menyalurkan atau meneruskan energi listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung. Pada Gardu Distribusi keluaran tegangannya adalah tegangan sekunder sebesar 220/380 Volt.

5) Jaringan Distribusi Primer / Jaringan Tegangan Menengah

Penyaluran energi listrik dari gardu induk ke gardu atau transformator distribusi menggunakan Jaringan Distribusi Primer. Sistem yang digunakan dapat berupa kabel udara atau kabel bawah tanah tergantung tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi lingkungan sekitar.

6) Jaringan Distribusi Sekunder / Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Distribusi Sekunder digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari gardu-gardu distribusi ke beban-beban yang ada pada konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk sistem yang paling banyak digunakan adalah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung dihubungkan pada konsumen energi listrik.

2.3 Klasifikasi Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi energi listrik dapat diklasifikasikan dari berbagai segi, antara lain adalah:

- 1) Berdasarkan Tegangan Pengenal
- 2) Berdasarkan Sistem Penyaluran
- 3) Berdasarkan Bentuk Jaringan

2.3.1 Berdasarkan Tegangan Pengenal

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- 1) Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- 2) Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

2.3.2 Berdasarkan Sistem Penyaluran

Berdasarkan sistem penyalurannya sistem jaringan distribusi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- 1) Saluran Udara (*overhead line*)
- 2) Saluran Bawah Tanah (*underground line*)

Saluran udara merupakan penghantar energi listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang diatas tiang-tiang listrik di luar bangunan. Sedangkan pada kabel tanah yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, penghantarnya dibungkus dengan bahan isolasi. Kabel tanah dapat dipakai untuk tegangan menengah ataupun tegangan rendah. Sebagaimana namanya, kabel tanah didalam tanah (Kadir, 2006).

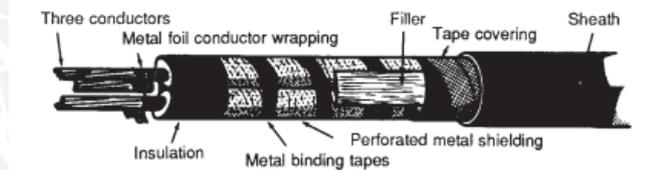
- 1) Saluran Udara (*overhead line*)

Keuntungan:

- Investasi untuk membangun instalasi saluran udara jauh lebih murah daripada instalasi kabel tanah.
- Untuk menambah area pelayanan jaringan lebih fleksibel
- Pemeliharaan lebih mudah dan mencari tempat saluran yang terganggu juga lebih mudah

Kerugian:

- Lebih mudah terganggu karena angin ribut, hujan, petir, pohon tumbang maupun anak-anak yang bermain layang-layang.
- Mengganggu pemandangan.
- Bilamana terjadi kawat putus, dapat membahayakan manusia.



Gambar 2.2. Kabel Bawah Tanah
Sumber : Pansini (2005:118)

2) Saluran Bawah Tanah (*underground line*)

Keuntungan:

- Pengoperasian lebih mudah karena tidak terpengaruh oleh hujan, petir dan angin ribut.
- Tidak mengganggu pemandangan dan lingkungan.
- Dilihat dari sudut keindahannya, kabel bawah tanah lebih enak dipandang.

Kerugian:

- Biaya investasi kabel tanah lebih besar dibandingkan dengan saluran udara.
- Dapat terganggu apabila terjadi bencana banjir, desakan akar pada tanah maupun kestabilan tanah.
- Bilamana terjadi gangguan, tidak mudah untuk menemukan tempat gangguan terjadi.

Dengan memperhatikan apa yang dikemukakan, dapat secara umum disimpulkan bahwa untuk saluran udara lebih menguntungkan pada:

- Tegangan yang tinggi atau ekstra tinggi.
- Penggunaan di luar daerah perkotaan.
- Kota yang penduduknya tidak terlalu padat.

Sedangkan untuk kabel tanah cocok bagi:

- Tegangan menengah
- Kota yang berpenduduk padat dan lalu lintas ramai (Kadir, 2006).

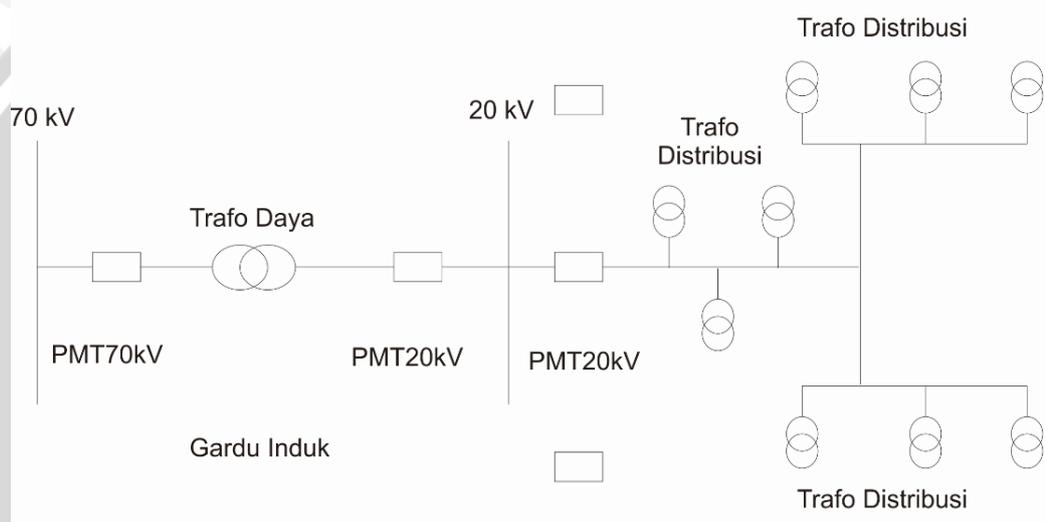
2.3.3 Berdasarkan Bentuk Jaringan

Sistem jaringan distribusi berdasarkan bentuk jaringannya terdapat dua bagian; yaitu distribusi primer, yang mempergunakan tegangan menengah, dan distribusi sekunder, yang mempergunakan tegangan rendah (Kadir, 2006).

2.3.3.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan pada sistem distribusi primer (tegangan menengah 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan *loop*, jaringan spindel dan jaringan gusur.

a. Sistem Jaringan Radial



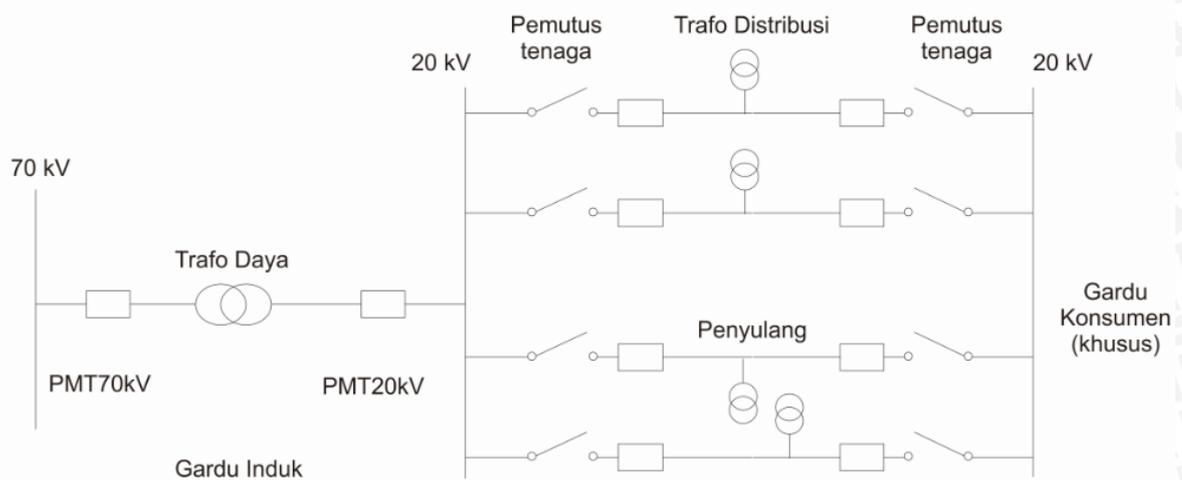
Gambar 2.3. Sistem Jaringan Radial

(<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

Sistem radial adalah sistem yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas fider (*feeders*) atau rangkaian sendiri, yang seolah-olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Fider itu juga dianggap sebagai terdiri atas suatu bagian utama dari lateral lain bersumber dan dihubungkan dengan transformasi distribusi (Kadir, 2006).

b. Sistem *tie line*

Sistem distribusi *tie line* adalah pengembangan dari sistem jaringan distribusi radial yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sistem distribusi *tie line* digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam, seperti bandara, rumah sakit, dan lain-lain.



Gambar 2.4. Sistem Jaringan Tie Line

(<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

Sistem ini memiliki dua penyulang sekaligus dengan tambahan *switch* pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi pemakai atau konsumen. Setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan pindah ke penyulang lain dengan cara melepas *switch* yang terhubung ke titik gangguan dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang yang disekitarnya.

c. Loop

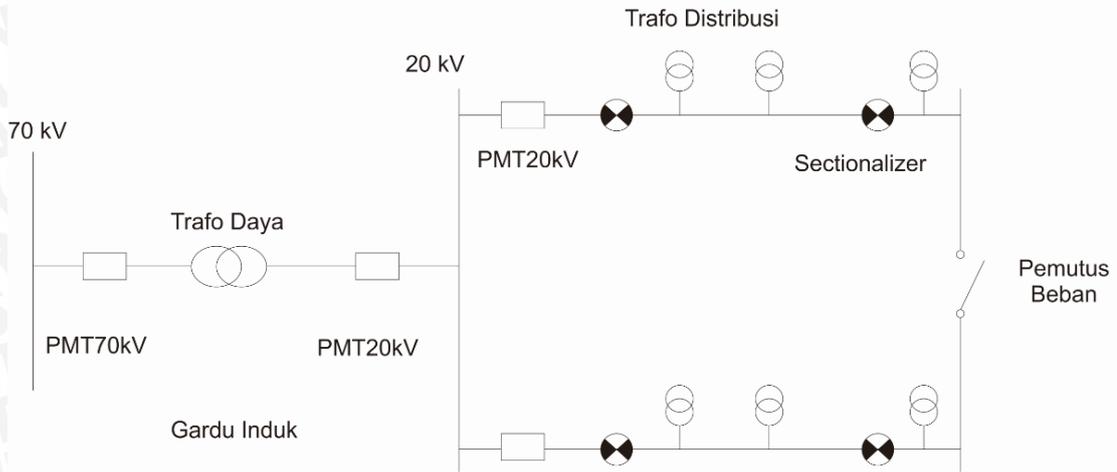
Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain *feeder* sebagai *loop* dengan menyambung kedua ujung saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Hal ini mengakibatkan bahwa suatu pemakai dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bilamana pasokan dari salah satu arah terganggu, pemakai itu akan disambung pada pasokan arah lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada *feeder*. Sistem *loop* dapat dioperasikan secara terbuka ataupun tertutup (Kadir, 2006).

- Tipe *loop* terbuka

Pada tipe ini dilengkapi dengan *normally open switch* dimana dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

- Tipe *loop* tertutup

Pada tipe ini dilengkapi dengan *normally close switch* dimana dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

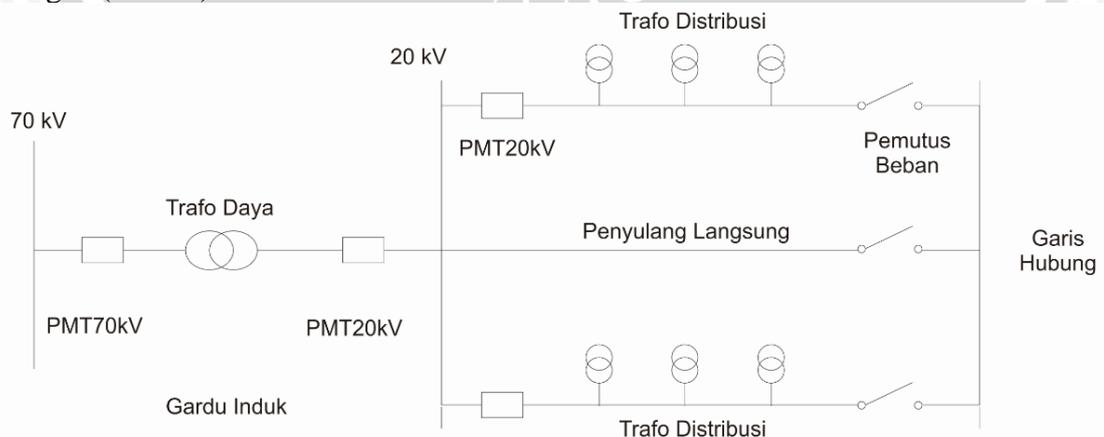


Gambar 2.5. Sistem Jaringan *Loop*
 (<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

d. Spindel

Jaringan spindel merupakan suatu pola gabungan jaringan dari pola *loop* dan radial. Jaringan ini terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang dayanya disuplai dari gardu induk dan terhubung pada sebuah gardu hubung.

Pada sebuah jaringan spindel terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express feeder*) yang dihubungkan melalui gardu hubung. Fungsi dari *express feeder* dalam hal ini sebagai cadangan apabila terjadi suatu gangguan pada salah satu *working feeder*. *Express feeder ini* selalu menghubungi kedua gardu tersebut (GI dan GH), sedangkan penyulang aktif hanya dapat memilih suplai dari salah satu gardu saja (GI dan GH). Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran bawah tanah tegangan menengah (SKTM).



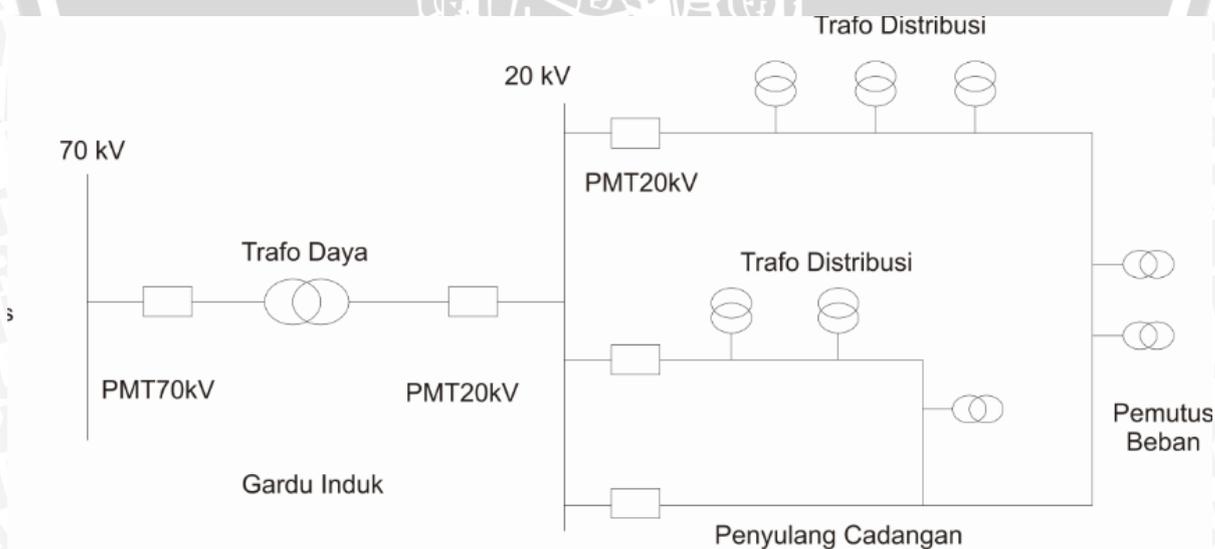
Gambar 2.6. Sistem Jaringan *Spindel*
 (<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)



Gambar 2.6 merupakan skema prinsip dari sistem spindel. Spindel ini menghubungkan rel dari satu GI (atau GH) dengan rel dari GI (atau GH) lain. Keistimewanya adalah bahwa selain kabel-kabel, atau fider, yang mengisi beberapa buah GD, terdapat satu kabel (penyulang langsung), yang tidak mendapat beban GD. Penyulang langsung ini selalu menghubungkan rel kedua GI (atau GH). Sedangkan kabel lain (penyulang yang tidak langsung) memperoleh pengisian hanya dari salah satu GI (atau GH). Bilamana salah satu GD terganggu, maka pengisian dapat diatur sedemikian rupa hingga dapat dihindari terjadinya suatu pemadaman, ataupun pemadaman terjadi secara minimal (Kadir, 2006).

e. Gugus

Jaringan ini adalah perkembangan dari jaringan primer sistem spindel, tetapi pada dasarnya sama dengan sistem spindel, karena keduanya mempunyai jaringan cadangan. Hanya saja pada sistem kluster tidak menggunakan gardu hubung. Sistem Gugus seperti pada Gambar 2.7 di bawah ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

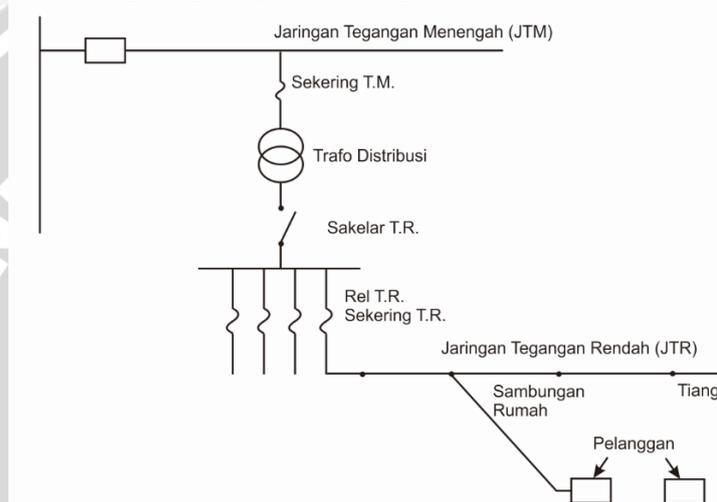


Gambar 2.7. Sistem Jaringan Gugus
 (<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

2.3.3.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder yang ditunjukkan pada gambar 8.9 merupakan salah satu sistem distribusi yang menyalurkan energi listrik dari gardu-gardu distribusi sampai ke pelanggan atau konsumen.

Jaringan tegangan rendah dapat berupa saluran kabel udara ataupun kabel bawah tanah. Namun untuk kabel tanah hal ini jarang sekali digunakan di Indonesia dikarenakan harganya yang mahal. Konfigurasi jaringan tegangan rendah berupa radial dan pengamannya hanya dengan sekering saja. Dilihat dari letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen atau pemakai.



Gambar 2.8. Hubungan Tegangan Menengah ke Rendah dan ke Konsumen
Sumber: Kadir (2006:30)

Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini memberitahukan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggungjawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang diperlukan. Pada keadaan tertentu dapat terjadi bahwa satu pelanggan tunggal mendapat penyediaan energi listrik dengan jenis sistem yang dikenal dengan *spot networks* (Kadir, 2006).

2.4 Sistem Pengamanan Jaringan Distribusi 20 kV

Jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke pihak konsumen/pelanggan. Karena fungsinya tersebut, maka keandalan menjadi sangat penting dan untuk itu jaringan distribusi perlu dilengkapi oleh alat pengaman.

Pada dasarnya semua konstruksi jaringan distribusi tidak ada yang benar-benar aman dari gangguan yang datangnya dari dalam sistem itu sendiri maupun dari luar sistem. Gangguan tersebut merupakan potensi yang merugikan ditinjau dari beberapa hal, maka perlunya dipasang sistem proteksi yang berfungsi sebagai berikut:

Ada tiga fungsi sistem pengaman dalam jaringan distribusi, antara lain:

- Mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya dari akibat adanya gangguan listrik
- Menjaga keselamatan umum dari akibat gangguan listrik
- Meningkatkan kelangsungan pelayanan tenaga listrik kepada konsumen

Pada sistem distribusi 20 kV hal yang terpenting pada sistem proteksi selain alat proteksi itu sendiri, sistem pentanahan juga merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam sistem proteksi itu sendiri. Misalnya ada gangguan fasa yang bocor ke tanah, maka bila sistem pentanahan tidak sesuai dengan sistem distribusi yang diproteksi, maka alat proteksi tidak akan bekerja dengan benar, sehingga dapat merusak peralatan jaringan maupun membahayakan keselamatan manusia. Secara umum peralatan pemisah atau penghubung tidak bisa lepas dari sistem tenaga listrik. Fungsi dari pemutus daya atau pemutus beban (PMT) adalah untuk mempermudah dalam membuka dan menutup suatu saluran yang menghubungkan sumber dengan beban, baik pada kondisi normal maupun saat mengalami gangguan. Jenis pemutus yang digunakan pada gardu adalah *Circuit Breaker* (Pemutus Tenaga). Sedangkan Jenis pemutus yang digunakan pada jaringan adalah *Sectionalizer*.

1) **Circuit Breaker (Pemutus Tenaga)**

Pemutus tenaga (PMT) adalah adalah alat pemutus tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik (switching equipment) baik dalam kondisi normal (sesuai rencana dengan tujuan pemeliharaan), abnormal (gangguan), atau manuver sistem, sehingga dapat memonitor kontinuitas system tenaga listrik dan keandalan pekerjaan pemeliharaan.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus tenaga atau *Circuit Breaker* (CB) adalah:

- a. Harus mampu untuk menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu yang lama.
- b. Dapat membuka otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih.
- c. Harus dapat memutus dengan cepat bila terjadi hubung singkat.
- d. Celah (*Gap*) harus tahan dengan tegangan rangkaian, bila kontak membuka.
- e. Mampu dialiri arus hubung singkat dengan waktu tertentu.
- f. Mampu memutuskan arus magnetisasi trafo atau jaringan serta arus pemuatan (*Charging Current*)

- g. Mampu menahan efek dari arching kontakannya, gaya elektromagnetik atau kondisi termal yang tinggi akibat hubung singkat. Dilengkapi satu atau lebih relay pengaman.

Untuk macam-macam relay yang sering digunakan, yaitu:

1. Relay Arus Lebih (*Over Current Relay/OCR*)

Relay digunakan sebagai pengaman gangguan antar fasa, dimana pengamannya cukup menggunakan dua buah relay arus lebih saja.

2. Relay Gangguan Tanah Berarah (*Directional Ground Relay/DGR*)

Untuk gangguan satu fasa ke tanah, maka arus digunakan relay arus gangguan berarah, mengingat pentanahan netralnya melalui tahanan tinggi 500 sehingga arus gangguannya sangat kecil.

PMT tegangan menengah ini biasanya dipasang pada Gardu Induk, pada kabel masuk ke busbar tegangan menengah (*Incoming Cubicle*) maupun pada setiap rel/busbar keluar (*Outgoing Cubicle*) yang menuju penyulang keluar dari Gardu Induk (Yang menjadi kewenangan operator tegangan menengah adalah sisi *Incoming Cubicle*). Ditinjau dari media pemadam busur apinya PMT dibedakan atas:

- PMT dengan media minyak (*Oil Circuit Breaker*)
- PMT dengan media gas SF6 (*SF6 Circuit Breaker*)
- PMT dengan media vacum (*Vacum Circuit Breaker*)
- Konstruksi PMT sistem 20 kV pada Gardu Induk biasanya dibuat agar PMT dan mekanisme penggerakannya dapat ditarik keluar / drawable (agar dapat ditest posisi apabila ada pemadaman karena pekerjaan pemeliharaan maupun gangguan).

2) *Sectionalizer*

SSO atau *Auto Sectionalizer* adalah saklar otomatis yang dilengkapi dengan kontrol elektronik/mekanik yang digunakan sebagai pengaman seksi Jaringan Tegangan Menengah. SSO sebagai alat pemutus rangkaian/beban untuk memisah-misahkan saluran utama dalam beberapa seksi, agar pada keadaan gangguan permanen, luas daerah (jaringan) yang harus dibebaskan di sekitar lokasi gangguan sekecil mungkin.

Bila tidak ada PBO atau relai *recloser* di sisi sumber maka SSO tidak berfungsi otomatis (sebagai saklar biasa).

Sectionalizer sendiri dapat diklasifikasikan menjadi:

- Penginderaan : berdasarkan tegangan (*Automatic Vacuum Switch*) atau dengan Arus (*Sectionalizer*).
- Media Pemutus : Minyak, Vacuum, Gas SF₆.
- Kontrol : Hidraulik atau Elektronik
- Phase : Fasa tunggal atau Fasa tiga

SSO bekerjanya dikoordinasikan dengan pengamanan di sisi sumber (seperti relai *recloser* atau PBO) untuk mengisolir secara otomatis seksi SUTM yang terganggu. SSO pada pola ini membuka pada saat rangkaian tidak ada tegangan tetapi dalam keadaan bertegangan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat. SSO ini dapat juga dipakai untuk membuka dan menutup rangkaian berbeban. Saklar ini bekerja atas dasar penginderaan tegangan. SSO dilengkapi dengan alat pengatur dan trafo tegangan sebagai sumber tenaga penggerak dan pengindera.

2.5 Transformator

Transformator merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan daya listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya. Bentuk fisik transformator dapat dilihat pada Gambar 2.9. Proses pemindahan ini dilakukan secara elektromagnetik atau merubah besar nilai suatu tegangan ke tegangan yang lainnya. Pada aplikasinya transformator distribusi ditempatkan pada gardu-gardu distribusi dan digunakan sebagai penurun tegangan, yaitu merubah atau menurunkan tegangan 20kV menjadi 220/380 kV.

Berdasarkan letak pemasangannya trafo distribusi dibedakan menjadi dua jenis, antara lain:

- a) Jenis pemasangan dalam (*indoor*)
Trafo jenis ini dipasang di dalam ruangan atau gedung.
- b) Jenis pemasangan luar (*outdoor*)
Trafo jenis ini umumnya dipasang pada tiang.



Gambar 2.9. Bentuk Fisik Transformator

Pada transformator distribusi juga terdapat bagian-bagian utama transformator distribusi, antara lain:

a. Minyak Transformator

Sebagian besar pada transformator distribusi kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak trafo. Karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai pemindah panas atau pendingin dan bersifat sebagai isolasi. Dalam pemakaiannya, pengaruh panas dan rugi-rugi dalam trafo menimbulkan hidrokarbon yang akan menurunkan tegangan tembus minyak trafo.

b. Kumparan Transformator

Kumparan berfungsi untuk mentransformasikan besaran-besaran ukur tegangan listrik dari tingkat satu ke tingkat yang lainnya. Kumparan tersebut diisolasi terhadap inti atau kumparan yang lain dengan isolasi padat seperti karbon, pertinak dan lain-lain.

c. Inti Transformator

Inti transformator berfungsi sebagai tempat mengalirnya garis-garis gaya magnet. Inti transformator tersebut terbuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang untuk mengurangi panas (rugi besi) yang ditimbulkan oleh *arus eddy*. Inti transformator tersebut dijepit dengan kuat untuk menjamin kekuatan mekanik dan mengurangi getaran dan tingkat kebisingan.

d. Bushing

Bushing adalah sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator untuk menghubungkan kumparan transformator ke jaringan luar. Bushing berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator.

e. Tangki *Conservator* Transformator

Apabila suatu trafo mempunyai beban yang tinggi atau kenaikan suhu udara luar, maka minyak trafo akan mengembang. Pengembangan minyak ini diterima oleh *Conservator expansion tank*. Udara diatas permukaan minyak didalam *conservator* terdesak keluar melalui *silica-gel* dan alat pernafasan udara (*air breather*) apabila minyak trafo dingin, maka udara dari luar akan masuk melalui alat pernafasan, *silica-gel* dan kembali ke *conservator*. Tinggi rendahnya minyak didalam *conservator* dapat dilihat dalam gelas pendingin yang menempel pada *conservator* tersebut.

2.6 Gangguan Sistem Distribusi

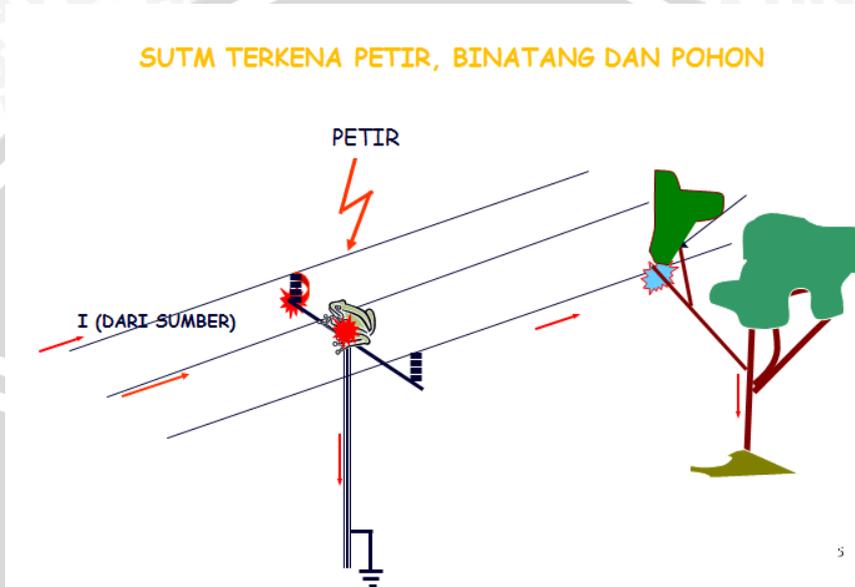
Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem energi listrik yang menyebabkan suplai energi listrik terputus. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran udara (SUTM) yang umumnya lebih rentan dibandingkan dengan saluran distribusi yang ditanam pada tanah (SKTM). Gambar 2.10 menunjukkan salah satu dari penyebab gangguan di saluran udara (SUTM). Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

1. Gangguan distribusi dari dalam sistem
 - a) Arus lebih atau tegangan lebih
 - b) Pemasangan yang kurang tepat
 - c) Usia pemakaian peralatan
2. Gangguan distribusi dari luar sistem
 - a) Sambaran petir
 - b) Hujan atau cuaca
 - c) Penggalian tanah
 - d) Hewan
 - e) SUTM yang terkena dahan/ranting pohon

Berdasarkan sifat gangguannya, gangguan pada sistem distribusi dapat dibagi menjadi:

2.6.1 Gangguan temporer

Gangguan yang terjadi dalam hanya pada waktu yang singkat saja dimana kemudian sistem kembali pada keadaan normal. Misalnya gangguan yang disebabkan oleh petir, hewan atau pohon, dimana terjadi loncatan api pada isolasi udara atau minyak.



Gambar 2.10 Contoh gangguan temporer

Sumber : Dr., Ir., Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc., Handout kuliah Sistem Distribusi dan Instalasi Daya Elektrik

2.6.2 Gangguan permanen

Gangguan yang baru dapat dihilangkan atau diperbaiki setelah bagian yang terganggu itu diisolir dengan bekerjanya pemutus daya (Hutahuruk, 1991).

2.7 Sistem Keandalan

Dari sudut pandang keteknikan definisi sederhana keandalan adalah kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dan periode waktu yang ditentukan. Periode yang ditentukan merupakan bagian yang sangat penting dari spesifikasi keandalan. Periode mungkin merupakan daur hidup dari benda atau periode lain selama dalam pemeliharaan.

Teknik keandalan untuk sistem distribusi melibatkan pengumpulan data dari luar dan mengevaluasi desain sistem. Desain sistem dievaluasi dan dibandingkan dengan

rangkaian pilihan yang lain, syarat-syarat tiap bagian skema perlindungan dan otomasi. Karenanya, kebutuhan data yang penting adalah banyaknya kerusakan yang terjadi untuk periode waktu tertentu dan waktu pemulihan komponen-komponen yang dipakai pada sistem distribusi sehingga perhitungan keandalan dapat lebih berarti (Pabla, 1994).

Didalam suatu sistem keandalan terdapat beberapa istilah-istilah penting, antara lain :

- Gangguan

Suatu kondisi yang mempengaruhi sistem sehingga sistem tersebut tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Gangguan ini memiliki banyak sekali penyebabnya antara lain disebabkan kurangnya perawatan (*maintenance*) peralatan/sistem, arus yang melebihi kapasitas peralatan, tegangan yang melebihi kapasitas peralatan, binatang yang tiba-tiba mengganggu suatu kerja peralatan, cuaca buruk yang menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan-gangguan lainnya.

- Kemampuan

Setiap peralatan memiliki kualitas dan kualifikasi yang berbeda-beda. Keandalan peralatan bergantung pada kemampuan dari setiap peralatan untuk berfungsi sesuai dengan kualifikasi dan waktu yang ditetapkan. Tetapi bila peralatan yang berangkutan digunakan melebihi kapasitas yang ditetapkan, maka akan menyebabkan gangguan pada peralatan tersebut.

- Lingkungan

Stabilitas dan kontinuitas dari operasional setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi lingkungan dimana peralatan tersebut berfungsi. Konteks lingkungan secara umum meliputi faktor alam, faktor manusia dan faktor umum peralatan.

- Waktu

Probabilitas kegagalan suatu peralatan sangat bergantung pada durasi waktu operasional suatu peralatan. Pada saat terjadi penambahan waktu operasional peralatan, maka faktor keandalan suatu peralatan akan menurun.

Perlu diadakan suatu evaluasi suatu sistem untuk dapat menentukan tingkat keandalannya dengan cara melalui berbagai perhitungan maupun metode analisis terhadap tingkat kerja keberhasilan untuk kerja atau operasi dari sistem yang dievaluasi pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang telah ditentukan. Masalah keandalan sistem distribusi belum terlalu dipertimbangkan

dibandingkan sistem pembangkit. Hal ini disebabkan sistem pembangkit menelan biaya investasi yang lebih besar dan kegagalan dalam pembangkit dapat menyebabkan dampak yang lebih luas bagi kehidupan manusia dan sekitarnya.

Dalam konteks keandalan harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja secara dengan fungsi yang diharapkan. Beberapa konsep evaluasi kegagalan, antara lain :

- **Kegagalan**
Kegagalan adalah suatu kondisi ketidakmampuan suatu peralatan untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan.
- **Penyebab kegagalan**
Banyak faktor yang menyebabkan suatu peralatan mengalami kegagalan antara lain, faktor alam, faktor manusia dan faktor dari peralatan tersebut. Keadaan lingkungan juga berpengaruh. Keadaan lingkungan selama desain, pembuatan dan operasional akan menuntun kepada kegagalan.
- **Mode Kegagalan**
Pada saat terjadi suatu kegagalan maka suatu peralatan yang mengalami kegagalan akan mengintervensi peralatan lain. Mode kegagalan adalah proses pengamatan dan pengevaluasian efek berantai dari suatu kegagalan peralatan.
- **Mekanisme Kegagalan**
Pada saat terjadi suatu kegagalan pada suatu peralatan, pasti ada penyebab-penyebabnya. Pada mekanisme kegagalan ini akan dievaluasi penyebab-penyebab kegagalan beserta kronologis terjadinya kegagalan. Masing-masing peralatan dari sistem distribusi memiliki probabilitas untuk mengalami kegagalan. Beberapa peralatan akan mengalami kegagalan secara spontan karena beberapa alasan antara lain, umur operasional peralatan, mengalami dekomposisi zat kimia, umur operasional isolator dan umur operasional mekanik dari peralatan.

2.8 Indeks Keandalan

Indeks keandalan didefinisikan sebagai suatu besaran untuk membandingkan penampilan sistem distribusi. Dua indeks keandalan yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (d) (SPLN 59, 1985).

Faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi sesuai standar IEEE P1366, yaitu:

- Pemadaman/*Interruption of supply*
Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen yang mendapat gangguan.
- Keluar/*outage*
Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagai mana 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 dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- Lama pemadaman
Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai menyala kembali.

Indeks keandalan merupakan sebuah metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi energi listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada konsumen atau pelanggan. Indeks ini antara lain adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*).

Indeks keandalan suatu sistem distribusi digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari tiap titik beban (*load point*). Yang merupakan indeks keandalan dasar meliputi antara lain:

- λ = frekuensi kegagalan tahunan rata-rata (fault/year)
- r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (hours/year)
- U = lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (hours/year)

Sebelum melakukan perhitungan atau analisis keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, perhitungan terhadap indeks titik beban harus dilakukan terlebih dahulu. Pada indeks titik beban ini terdapat dua perhitungan, yaitu:

- a. Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap titik beban

Frekuensi gangguan merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh pada titik beban, dengan persamaan:

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=k} \lambda_i \quad (2.1)$$

Dimana:

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan sejumlah k

k = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*

- b. Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk titik beban U_{TB}

Untuk mengetahui durasi gangguan tahunan rata-rata ini dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan:

$$U_{TB} = \sum_{i=k} U_i = \sum_{i=k} \lambda_i \times r_j \lambda_{LP} = \sum_{i=k} \lambda_i \quad (2.2)$$

Dimana:

r_j = waktu pemulihan (waktu pemadaman atau waktu pemindahan)

2.8.1 System Average Interruption Frequency Index

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah indeks frekuensi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Menginformasikan tentang frekuensi gangguan permanen rata-rata tiap pelanggan dalam suatu area yang dievaluasi. Definisinya adalah

$$SAIFI = \frac{\text{jumlah total banyaknya gangguan pada pelanggan}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}} \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan nilai SAIFI pada metode ini dilakukan perhitungan menggunakan persamaan:

$$SAIFI = \frac{\sum N_{TB} \times \lambda_{TB}}{N} \quad (2.4)$$

Dimana:

N_{TB} = jumlah konsumen pada titik beban

N = jumlah konsumen pada sistem

λ_{TB} = frekuensi gangguan peralatan (kali pemadaman/tahun)

2.8.2 System Average Interruption Duration Index

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

$$SAIDI = \frac{\text{jumlah total durasi gangguan pada pelanggan}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}} \quad (2.5)$$

Untuk mendapatkan nilai SAIDI pada metode ini dilakukan perhitungan menggunakan persamaan:

$$SAIDI = \frac{\sum \lambda_{TB} \times U_{TB}}{N} \quad (2.6)$$

Dimana:

λ_{TB} = frekuensi gangguan peralatan (kali pemadaman/tahun)

N = jumlah konsumen pada sistem

U_{LP} = durasi gangguan peralatan (jam)

2.8.3 Costumer Average Interruption Duration Index

CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*) adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata yang terganggu tiap tahun. Menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan yang mengalami gangguan dalam satu tahun. Definisinya adalah :

$$CAIDI = \frac{\text{jumlah total durasi gangguan pada pelanggan}}{\text{jumlah total pelanggan yang terganggu}} \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan nilai CAIDI ini dilakukan perhitungan dengan persamaan:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.8)$$

Dalam menghitung indeks keandalan suatu sistem harus memiliki acuan indeks kegagalan suatu peralatan distribusi. Berikut adalah tabel data indeks kegagalan peralatan distribusi :

Tabel 2.1 Data Indeks Kegagalan Peralatan Distribusi

Komponen	Laju Kegagalan	r (waktu pemadaman)	rs (waktu pemindahan)
Saluran udara	0,02/km/tahun	3	0,15
Trafo distribusi	0,005/unit/tahun	10	0,15
Pemutus Tenaga	0,004/unit/tahun	10	0,15
Kabel Saluran Bawah Tanah	0,07/km/tahun	15	5
<i>Sectionalizer</i>	0,003/unit/tahun	10	0,15
Saklar beban	0,003/unit/tahun	10	0,15
Penutup Balik	0,005/unit/tahun	10	0,15
Penyambung Kabel	0,001/unit/tahun	15	0,15
Pelindung Jaringan	0,005/unit/tahun	10	0,15
Rel Tegangan Rendah	0,001/unit/tahun	10	0,15

Sumber : SPLN No. 59 (1985)

Data yang berada pada tabel 2.1 diatas berdasarkan SPLN No. 59 tahun 1985 mengenai Keandalan Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV. Dan ini berlaku umum di seluruh Indonesia. Pada tabel terdapat beberapa istilah sebagai berikut :

- Frekuensi kegagalan atau *failure rate* adalah frekuensi gangguan suatu saluran mengalami kegagalan tiap unitnya dalam jangka waktu satu tahun.
- Waktu pemadaman atau *repair time* adalah lama waktu mulai terjadinya kegagalan saluran udara atau peralatan sampai saluran udara atau peralatan tersebut bereoperasi kembali. Dalam hal ini peralatan yang mengalami gangguan diperbaiki atau diganti.
- Waktu pemindahan atau *switching time* adalah lama waktu yang diperlukan operator untuk menemukan gangguan dan mengisolir gangguan, kemudian memasukkan kembali dengan menggunakan *sectionalizer*.

2.9 Analisis Nilai Ekonomis

Teknik *value analysis* atau analisis nilai adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menuju keberhasilan dalam penekanan biaya atau pengefektifan biaya. Hal ini bisa dikatakan bahwa pengfokusan terhadap kebutuhan fungsional dan spesifikasinya. Produk yang dihasilkan terus ditinjau bagaimana proses dan pelayanannya dengan tetap meninjau peryaratannya. Selain itu faktor biaya juga tetap diperhatikan.

Tujuan utama dari *value analysis* atau analisis nilai adalah memperbaiki nilai dari produk dengan menganalisis data sehingga dapat mengurangi biaya tanpa mengurangi kualitas suatu produk. Kualitas produk dapat didefinisikan dengan beberapa hal yang berkaitan fungsional, finansial dan keperluan lebih. Namun banyak yang menganggap bahwa hal ini terlalu subjektif. Sehingga pemikiran kualitas suatu produk adalah sebuah opini atau keputusan perseorangan. Dan untuk mendapatkan hal yang obyektif maka pemikiran-pemikiran subjektif harus dihilangkan atau dibuat konstan (Pennathur, 1988).

Dalam konteks analisis keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, *value analysis* berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomis suatu indeks keandalan. Sehingga pada penelitian ini perhitungan aspek ekonomi keandalan disebut dengan analisis nilai ekonomis. Analisis nilai ekonomis bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku. Dalam melaksanakan analisis nilai ekonomis dibutuhkan beberapa data. Data-data yang dibutuhkan antara lain topologi jaringan, data beban dan data pelanggan/konsumen. Dari data-data tersebut dapat dievaluasi mengenai mode kegagalannya. Mode kegagalan ini yang dijadikan dasar dalam melakukan analisis dan evaluasi terhadap waktu pemadaman suatu sistem. Pemadaman suatu sistem mengacu terhadap waktu pemadaman atau *repair time* dan Waktu pemindahan atau *switching time*. Efek mode kegagalan tersebut disimulasikan terhadap setiap titik beban atau *load point*. Dengan data setiap titik beban tersebut dapat ditentukan besar energi yang tidak tersalurkan. Sehingga berdasarkan setiap titik beban pula dapat dilakukan sebuah evaluasi nilai kerugian bagi penyedia energi listrik.

Dalam analisis nilai ekonomis suatu sistem distribusi diperlukan sebuah perhitungan energi yang tidak tersalurkan sebagai dasar dalam menghitung aspek ekonomis yang berupa biaya-biaya kerugian yang dialami PT. PLN (PERSERO). Energi yang tidak tersalurkan merupakan jumlah rata-rata energi listrik yang tidak tersalurkan dalam suatu sistem distribusi tiap tahun. Hal ini didefinisikan sebagai rasio dari total energi tidak diberikan untuk jumlah pelanggan.

Dalam perhitungan *value analysis* terdapat beberapa peramaan yang berkaitan dengan perhitungan aspek ekonomis. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu :

- Energi yang tidak terjual atau *Non Delivery Energy (NDE)*

$$NDE = P_C t_{CA} \quad (2.9)$$

Dimana :

NDE = Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu

P_C = Jumlah total energi yang tidak terkirim

t_{CA} = Durasi waktu pemadaman

- Biaya kerugian per titik beban

$$\text{Biaya pada titik beban } N = NDE \times TDL \quad (2.10)$$

Dimana :

NDE = Jumlah total energi yang tidak terkirim dalam durasi waktu tertentu.

TDL = Tarif dasar listrik yang berlaku

- Total biaya kerugian setiap peralatan

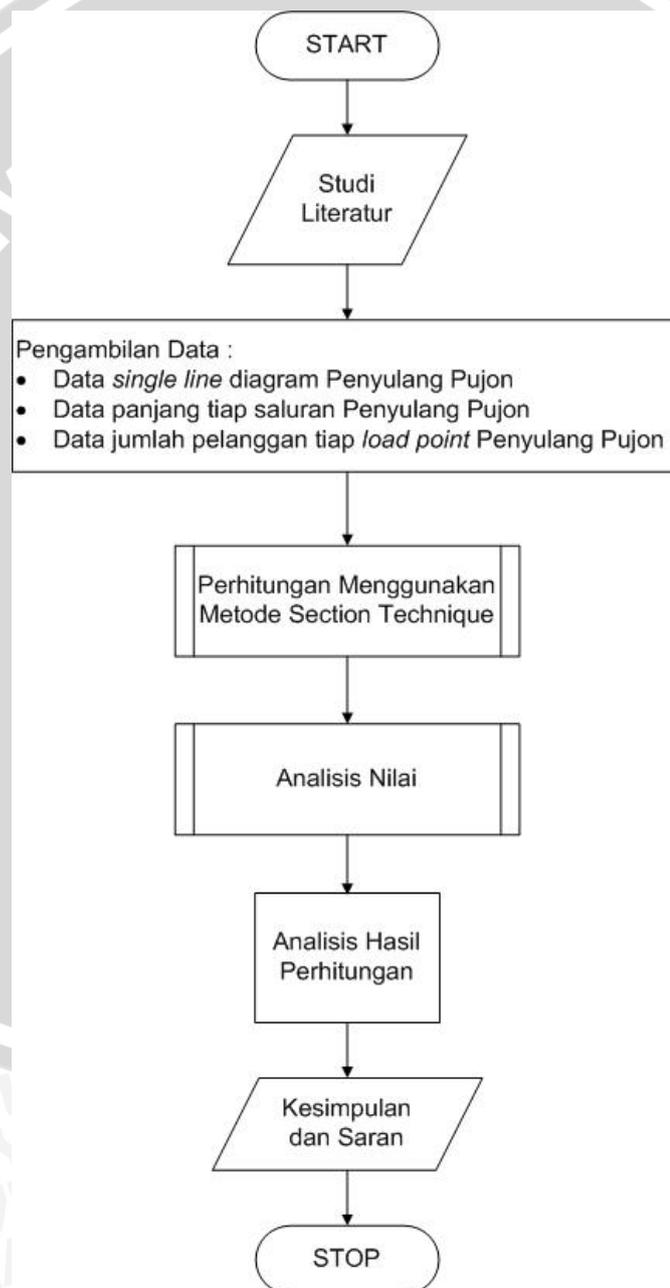
$$\text{Kerugian} = \sum \text{biaya pada load point } N \quad (2.11)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan metode penelitian yang akan dilakukan dalam proses analisis keandalan dan nilai ekonomis di Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) Area Malang. Pola berpikir dari metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan pada diagram alir dibawah :



Gambar 3.1. Diagram alir metodologi penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari dan memahami konsep mengenai sistem dan keandalan jaringan distribusi 20 kV, yang mencakup sistem jaringan distribusi, karakteristik jaringan distribusi, fungsi komponen-komponen bagian dari sistem distribusi, klasifikasi jaringan distribusi, gangguan pada sistem distribusi, keandalan sistem distribusi, dan juga indeks keandalan dari sistem jaringan distribusi 20 kV. Selain itu dilakukan pula studi literatur mengenai metode *section technique* sebagai metode penyelesaiannya dan teknik *value analysis* sebagai perhitungan aspek ekonomis pada analisis nilai ekonomis sistem keandalan tersebut.

3.2 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data berupa data jenis peralatan distribusi, data panjang saluran, data jumlah pelanggan dari sistem distribusi 20 kV pada Penyulang Pujon. Data-data yang diperlukan adalah data *single line* diagram Penyulang Pujon, data pelanggan tiap titik beban Penyulang Pujon, data panjang tiap saluran Penyulang Pujon dan data beban dari trafo distribusi Penyulang Pujon. Dari data *single line* diagram Penyulang Pujon dapat diperoleh jumlah titik beban dan jumlah saluran. Dalam *single line* diagram penyulang Pujon juga dapat diketahui berapa jumlah *sectionalizer* yang ada sehingga dapat dijadikan acuan akan dibagi berapa *section* sebagai dasar analisis keandalan dengan metode *section technique*. Data pelanggan tiap titik beban Penyulang Pujon diperlukan untuk mengetahui berapa jumlah pelanggan yang disuplai oleh sebuah trafo distribusi. Data panjang tiap saluran penyulang Pujon diperlukan agar diketahui berapa panjang tiap *line* atau saluran udara yang ada pada penyulang Pujon. Dan data beban dari trafo distribusi Penyulang Pujon digunakan sebagai acuan dalam menghitung energi yang tidak tersalurkan pada analisis nilai ekonomis.

3.3 Perhitungan dan Analisis Data

Setelah pengambilan data yang berupa data *single line* diagram Penyulang Pujon, data pelanggan tiap titik beban Penyulang Pujon, data panjang tiap saluran Penyulang Pujon maka akan dilakukan perhitungan menggunakan metode *section technique*. Dalam melaksanakan metode *section technique* ini dilakukan langkah awal pembagian sebuah sistem menjadi beberapa *section*. Setelah pembagian *section* dilakukan pendaftaran mode kegagalan tiap *section* dengan tujuan untuk mengetahui

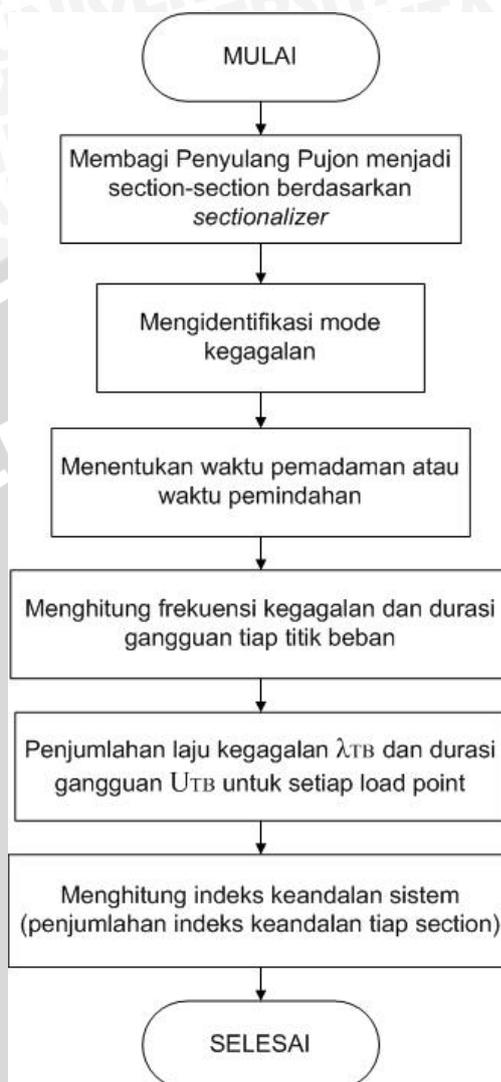
pengaruh kegagalan dalam suatu sistem. Setelah mendapatkan daftar mode kegagalan tiap *section* selanjutnya menghitung nilai frekuensi kegagalan durasi/lama kegagalan tiap titik beban. Data-data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besar λ (frekuensi kegagalan) dan nilai U (durasi gangguan). Dengan mengetahui nilai indeks kegagalan tiap titik beban maka dapat diperoleh nilai indeks keandalan tiap *section*. Perhitungan indeks keandalan tiap *section* ini terus dilakukan sesuai jumlah berapa pembagian *section* dari Penyulang Pujon. Ketika semua perhitungan indeks keandalan tiap *section* selesai dilakukan kemudian data-data indeks keandalan tiap *section* tadi dijumlahkan, dimana nantinya akan didapatkan nilai-nilai dari indeks keandalan yang dapat dilihat tingkat keandalan pada sistem jaringan distribusi 20 kV. Setelah dianalisis indeks keandalannya, berikutnya di analisis aspek ekonomis sistem dengan mengacu pada indeks keandalan dengan analisis nilai ekonomis. Analisis nilai ekonomis berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomis suatu indeks keandalan. Perhitungan aspek ekonomi keandalan, bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku

Metode *Section technique* ini sendiri secara fungsional mengasumsikan sebuah kegagalan, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis bagaimana efek kegagalan tersebut. Suatu sistem pendekatan yang biasanya melibatkan analisis *bottom-up* dimana suatu analisis mode kegagalan spesifik dari sub sistem, dilihat pengaruhnya terhadap keseluruhan sistem. Dengan menggunakan metode ini, dapat diketahui area mana pada jaringan yang perlu diperbaiki keandalannya. Sedangkan analisis nilai ekonomis adalah sebuah analisis yang digunakan untuk menghitung biaya kerugian dari sisi penyedia energi listrik berdasarkan penentuan energi listrik yang tidak tersalurkan.

Dalam penelitian ini juga akan dilakukan beberapa cara untuk meningkatkan keandalan suatu sistem jaringan distribusi. Ada dua cara yang dilakukan. Langkah pertama adalah mengurangi laju kegagalan. Sedangkan cara yang kedua adalah dengan rekonfigurasi jaringan Penyulang Pujon yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dibawah ini, dengan penambahan *tie switch*. Sehingga ada perubahan terhadap *single line* diagram Penyulang Pujon.

3.3.1 Metode Section Technique

Berikut ini adalah urutan pengerjaan metode *Section Technique* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Diagram alir metode *Section Technique*

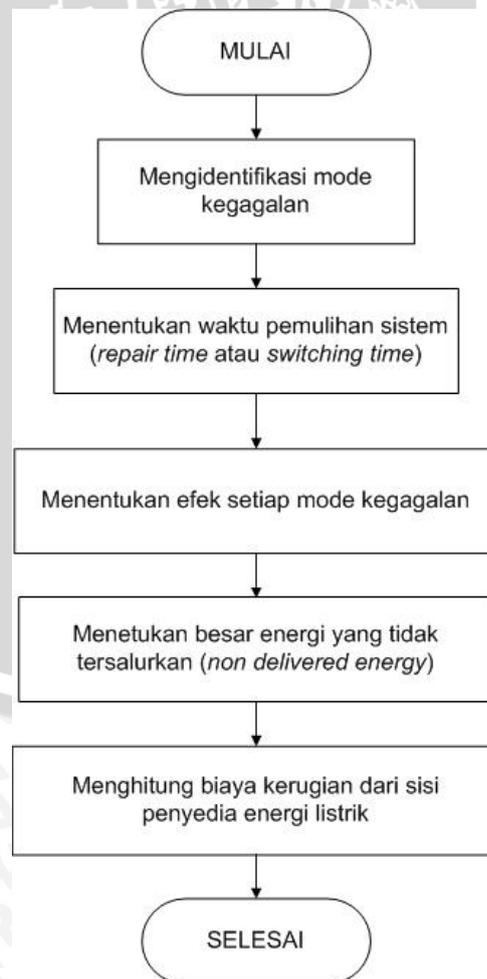
Langkah-langkah pengerjaan metode *Section Technique* adalah sebagai berikut :

- Membagi suatu topologi jaringan yang berupa *single line* diagram menjadi *section-section* berdasarkan jumlah *sectionalizer*
- Memasukkan data panjang saluran *section*, data jumlah pelanggan tiap titik beban, dan data keandalan peralatan
- Mengevaluasi suatu mode kegagalan
- Mendaftarkan semua mode kegagalan pada *Section Technique Worksheet*
- Mengevaluasi waktu pemadaman dan waktu pemindahan

- f. Menghitung frekuensi kegagalan dan durasi gangguan terhadap tiap titik beban
- g. Mengalikan frekuensi kegagalan λ_{TB} dan durasi gangguan U_{TB} pada setiap titik beban dengan jumlah pelanggan setiap titik beban kemudian membaginya dengan jumlah total pelanggan satu sistem
- h. Mengevaluasi indeks keandalan setiap *section* dengan menjumlahkan indeks keandalan setiap titik beban
- i. Mengevaluasi indeks keandalan sistem dengan menjumlahkan indeks keandalan setiap *section*

3.3.2 Analisis Nilai Ekonomis

Analisis nilai ekonomis atau perhitungan aspek ekonomi keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik bebandan tarif dasar listrik yang berlaku. Berikut ini adalah urutan pengerjaan analisis nilai ekonomis sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. Diagram alir analisis nilai ekonomis

Langkah-langkah pengerjaan analisis nilai ekonomis adalah sebagai berikut :

- a. Memasukkan data topologi jaringan, data beban dan data konsumen Penyulang Pujon
- b. Mengevaluasi bentuk mode kegagalan setiap peralatan yang sudah terbagi dalam setiap section yang ada sesuai *section technique worksheet*
- c. Mendaftarkan semua mode kegagalan pada aspek nilai ekonomis *worksheet*
- d. Mengevaluasi waktu pemadaman dan waktu pemindahan
- e. Mensimulasikan efek setiap mode kegagalan terhadap setiap titik beban
- f. Mengevaluasi nilai kerugian yang dialami oleh PLN berdasarkan energi yang tidak tersalurkan dari setiap titik beban
- g. Mengevaluasi nilai kerugian sistem secara komprehensif dari setiap peralatan sesuai dengan mode kegagalan

