

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Terkait dengan analisis susut energi pada sistem jaringan distribusi 20 kV beberapa studi dan penelitian telah dilakukan. Robi (2008) melakukan studi dengan pendekatan aliran daya untuk estimasi rugi-rugi energi pada sistem distribusi radial 20 kV. Pendekatan aliran daya yang digunakan untuk estimasi rugi-rugi energi distribusi radial 20 kV adalah dengan menggunakan kurva beban untuk menentukan karakteristik beban, yakni perubahan beban pada sistem berdasarkan pada fungsi waktu, yang nantinya digunakan dalam pemodelan beban pada simulasi aliran daya yang dikerjakan oleh komputer. Proses perhitungan rugi-rugi energi dilakukan dengan dua metode, yakni Metode *Energy Load Flow* dan Metode *Loss Factor*, dimana semua simulasi dan perhitungan dilakukan dalam kondisi *off-line*.

Pada penelitian yang lain Suropto (2012) melakukan perhitungan susut energi dan upaya menguranginya dengan merekonfigurasi jaringan 20 kV. Upaya yang dilakukan untuk memperkecil susut energi antara lain dengan memindah beban dari satu penyulang ke penyulang yang lain yang sering disebut dengan rekonfigurasi jaringan. Selanjutnya perhitungan susut teknik jaringan dilakukan dengan menggunakan program simulasi ETAP.

Pada studi lain Mahmood (2014) meneliti tentang *studi real time* tentang kerugian teknis dalam sistem distribusi dalam proses penyediaan listrik ke

konsumen akibat kerugian teknis dan komersial. Kerugian teknis yang disebabkan oleh sifat material dan ketahanannya terhadap Arus arus listrik dalam sistem distribusi akan dianalisis dan disimulasikan melalui program analisis transien listrik.

Sedangkan penelitian yang dilakukan Sukmadi (2009) Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk pemerataan beban sehingga meminimalkan perubahan yang diakibatkan oleh beban penuh. Hal ini juga penting karena bermanfaat pada teknik optimasi untuk menghasilkan sistem yang handal dan efisien. Sebuah konfigurasi 1 fasa dengan 3 fasa dapat dikatakan tidak seimbang jika arus netral tidak bernilai nol. Hal ini terjadi karena beban yang dikoneksikan, antara fase dan netral tidak sama. Metode yang dipakai untuk menganalisis beban salah satunya dengan menghitung jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada feeder.

Pada studi lain Dwi (2012) meneliti tentang rugi-rugi daya yang dapat diminimalisir dengan mengubah jaringan 1 fasa ke 3 fasa pada salah satu *tapping* jaringan 1 fasa yang panjang. Sedangkan ketidak seimbangan beban dapat diminimalisir dengan cara pemerataan beban yaitu dengan memindahkan beban sedikit, sehingga beban menjadi seimbang.

Sedangkan Vidyasagar (2015) menganalisis tentang peningkatan profil tegangan dengan menggunakan *Distributed Generation* (DG) untuk merekonfigurasi sistem distribusi, pentingnya implementasi *Distributed Generation* (DG) dalam sistem distribusi (DS) menjadi lebih signifikan sehubungan dengan lokasi, ukuran dan pengurangan kerugian yang tepat. Dalam makalah ini, lokasi dan ukuran DG dibahas berdasarkan *Voltage Limitation Index*

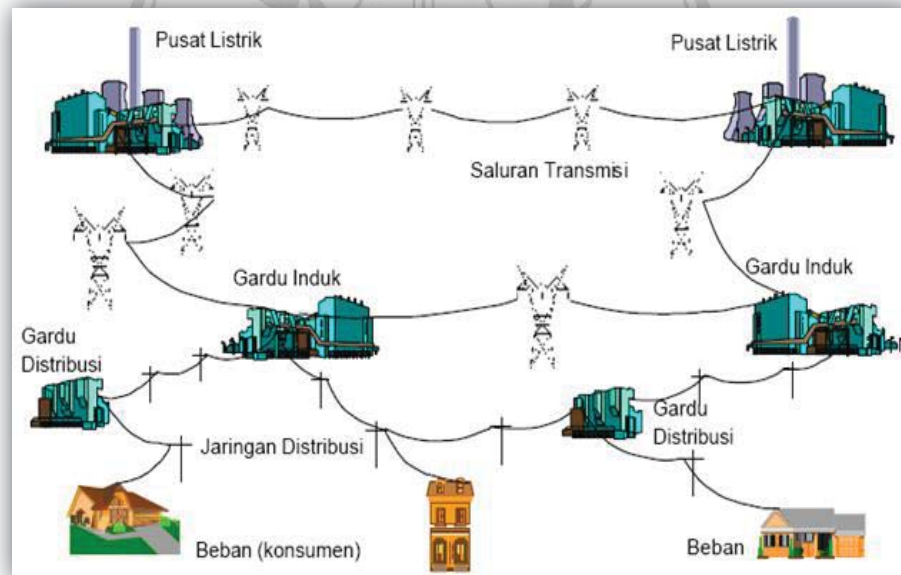
(VLI). Indeks ini digunakan untuk memastikan bahwa semua *feeder* dalam jaringan memiliki profil voltase yang dapat diterima sesuai dengan batas yang diizinkan. Setelah menentukan ukuran DG dan lokasi analisis mengenai biaya DG, terjadi kerugian energi dan penghematan yang diperoleh dalam jaringan. Signifikansi VLI diuji pada *feeder* CDMA IEEE 33 dan 69 di bawah keadaan konfigurasi awal.

Sementara itu Sabputra (2007) usaha untuk menganalisis susut jaringan baik secara teknis maupun non teknis telah dilakukan oleh PLN secara terus menerus dan sebagai indikatornya digunakan besaran susut jaringan (%) yang diperoleh dari perhitungan susut. Karena besarnya susut energi dari PLN berupa prosentase global maka untuk dapat menekan angka susut energi lebih efektif yaitu dengan memisahkan susut antara teknis dengan non teknis. Sehingga dapat diidentifikasi penyebab utama susut distribusi khususnya non teknis, untuk selanjutnya dapat diupayakan solusi untuk menurunkan nilai susut tersebut. Kajian mengenai susut non teknis disini dibahas dengan cara pendekatan rumus *Empiris*, serta menggunakan bantuan program ETAP 4.0 sehingga semua data diproses, adapun langkahnya berdasarkan data *single line* distribusi.

Maka pada penelitian ini akan dianalisis perbaikan susut energi pada salah satu peyulang di wilayah Rayon Purwokerto Kota yaitu penyulang Kalibakal 03 dengan cara satu fasa di *upgrading* ke tiga fasa dan analisa perhitungan ekonominya agar dapat dihitung kerugian pendapatan yang dihasilkan dari penyulang itu sendiri.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Dalam kelistrikan, sering kali timbul persoalan-persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat. Dengan demikian maka penyaluran tenaga listrik dari pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis.



Gambar 2.1 Sistem distribusi tenaga listrik

Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan Gardu Induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi dikatakan sebagai saluran transmisi tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Di lingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 kV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 kV dimana SUTT 150 kV lebih banyak digunakan daripada SUTT 70 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi, yang disingkat dengan SUTET.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 kV.

Jaringan tegangan primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disingkat JTM dan sekarang salurannya masing-masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan

menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (*step down transformer*) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standard 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standard tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi dilingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.

Dalam proses bisnis PLN pelanggan – pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar, aturannya tidak disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan pelanggan yang menggunakan sambungan daya yang sangat besar disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya tersambung.

Dalam praktek karena luasnya jaringan distribusi sehingga diperlukan banyak sekali transformator distribusi, maka Gardu Distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang/Gardu Trafo Tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana.

2. 3 Transformator Distribusi 20 KV

Trafo distribusi adalah merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi menuju ke konsumen. Kerusakan pada trafo distribusi dapat menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau

pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang menyebabkan biaya – biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga KWH yang tidak terjual. Pemilihan rating trafo distribusi yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban akan menyebabkan efisiensi menjadi kecil, begitu juga penempatan lokasi Trafo Distribusi yang tidak cocok dapat mempengaruhi drop tegangan ujung pada konsumen atau jatuhnya/turunnya tegangan ujung saluran/konsumen.

Transformator atau trafo adalah komponen elektromagnetik yang dapat merubah tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya dalam frekuensi yang sama. Trafo merupakan peralatan paling utama dari saluran distribusi dan transmisi yang diharapkan dapat beroperasi dengan maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar transformator dapat berfungsi dengan baik, maka trafo harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Trafo dapat dibedakan berdasarkan tenaganya, trafo 500/150 kV dan 150/70 kV biasanya disebut dengan trafo Interbus Transformator (IBT) dan trafo 150/20 kV dan 70/20 kV disebut trafo distribusi. Trafo pada umumnya ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi.

2.3.1 Jenis – jenis Transformator Distribusi 20 kV

1. Transformator 1 Phasa

Trafo 1 fasa biasa digunakan untuk kapasitas kecil seperti 25 kVA dan 50 kVA. Biasa dipasang di tengah-tengah pemukiman penduduk dengan kapasitas pemakaian yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.2 Transformator distribusi 1 phasa

2. Transformator 3 Phasa

Trafo 3 fasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dengan kapasitas mulai dari 50 kVA sampai dengan 1000 kVA. Biasa dipakai pada pelanggan dengan kebutuhan kapasitas yang besar, industri menengah ke atas, dan gedung – gedung perkantoran.



Gambar 2.3 Transformator distribusi 3 phasa

2.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Konfigurasi jaringan yang diterapkan di suatu daerah merupakan hasil pertimbangan antara alasan-alasan teknis dan ekonomis di lain pihak. Alasan teknis ini berupa keandalan, stabilitas dan kontinuitas pelayanan energi listrik. Sedangkan alasan ekonomis didasarkan pada peralatan material yang digunakan untuk membangun suatu konfigurasi jaringan distribusi.

Dari segi keandalan yang ingin dicapai ada dua pilihan konfigurasi jaringan:

- a. Jaringan dengan satu sumber pengisian : cara penyaluran ini merupakan yang paling sederhana. Gangguan yang timbul akan mengakibatkan pemadaman.
- b. Jaringan dengan beberapa sumber pengisian : keandalannya lebih tinggi. Secara ekonomi lebih mahal karena menggunakan perlengkapan penyaluran yang lebih banyak. Pemadaman akibat gangguan juga dapat diminimalisir.

Terdapat 3 jenis konfigurasi jaringan distribusi yang paling banyak digunakan di dalam sistem distribusi di Indonesia, yaitu :

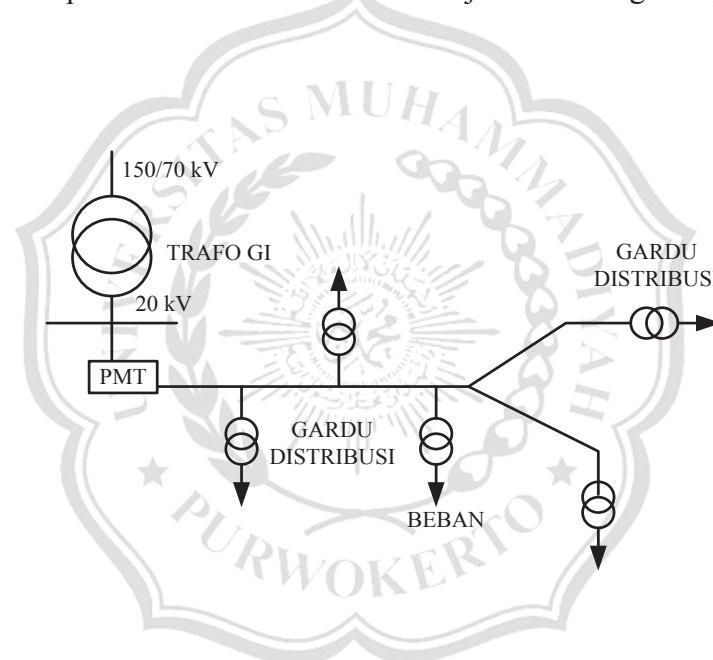
2.4.1 Konfigurasi *Radial*

Ciri dari konfigurasi *Radial* adalah bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran, tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk konfigurasi ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan *radial* karena saluran ini ditarik dari titik sumber ke cabang-cabang atau titik-titik beban yang dilayani.

Ciri-ciri dari konfigurasi jaringan radial sebagai berikut :

- a. Bentuknya sederhana.

- b. Biaya investasinya relatif murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman. Gambar 2.4 menunjukkan konfigurasi jaringan radial.



Gambar 2.4 Konfigurasi jaringan *radial*

2.4.2 Konfigurasi *Loop*

Konfigurasi jaringan ini merupakan jaringan dengan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan *Ring*. Konfigurasi *Loop* merupakan variasi dari konfigurasi Radial. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring*, yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas

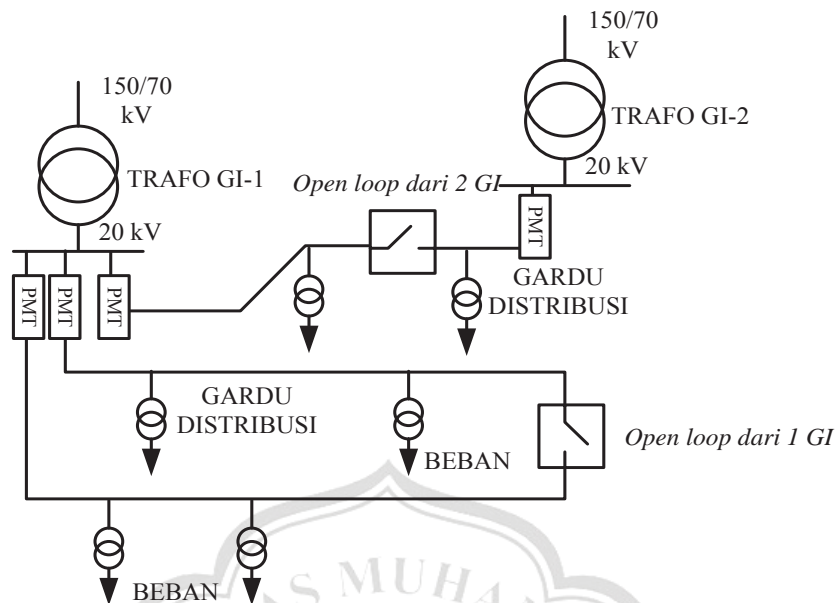
pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena *drop* tegangan dan rugi daya saluran lebih kecil.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan *radial*, dimana pada ujung dari dua buah jaringan di pasang sebuah saklar (*switch*) berupa ABSW atau LBS. Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur *Loop*, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur *radial*. Gambar 2.4 dan gambar 2.5 menunjukkan konfigurasi jaringan *loop*.

Terdapat 2 jenis konfigurasi jaringan *Loop*, yaitu :

a. *open loop*

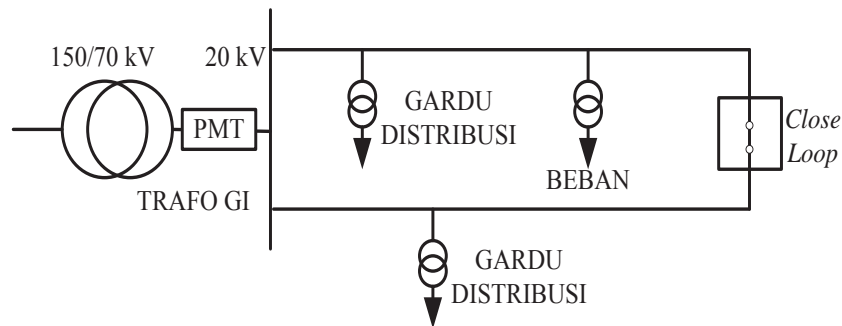
Konfigurasi Jaringan *open loop* ini merupakan pengembangan dari sistem *radial*, sebagai akibat diperlukannya keandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasang dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi karena hal ini diperlukan untuk memudahkan manuver beban pada saat terjadi gangguan atau kondisi-kondisi pengurangan beban. Proteksi untuk sistem ini masih sederhana tetapi harus memperhitungkan panjang jaringan pada titik manuver terjauh disistem tersebut. Sistem ini umumnya banyak digunakan di PLN baik pada SUTM maupun SKTM.



Gambar 2.5 Konfigurasi jaringan *open loop*

b. close loop

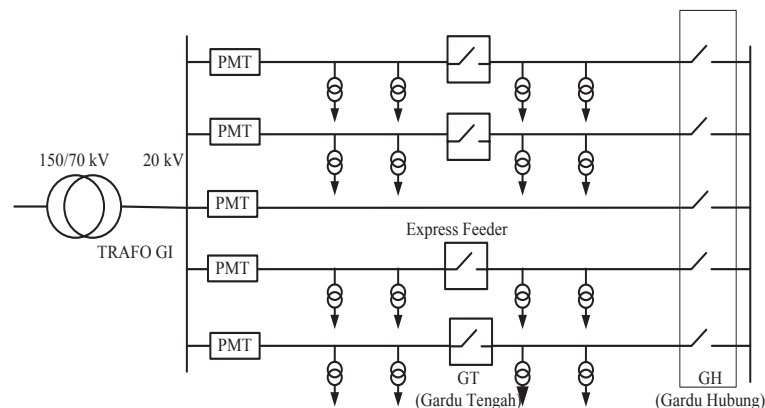
Konfigurasi Jaringan *close loop* ini layak digunakan untuk jaringan yang dipasok dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang cukup rumit biasanya menggunakan rele arah (*directional relay*). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibandingkan sistem lainnya, dan sistem ini jarang digunakan di PLN tetapi biasanya dipakai untuk pelanggan-pelanggan khusus yang membutuhkan keandalan tinggi.



Gambar 2.6 Konfigurasi jaringan *close loop*

2.4.3 Konfigurasi *Spindle*

Sistem *spindle* merupakan sistem yang relatif handal karena disediakan satu buah *express feeder* yang merupakan *feeder* atau penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai Gardu Hubung, banyak digunakan pada jaringan SKTM. Sistem ini relatif mahal karena pembangunannya mempertimbangkan perkembangan beban di masa yang akan datang, proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem *open loop*. Biasanya di tiap-tiap *feeder* dalam sistem *spindle* disediakan gardu tengah (*middle point*) yang berfungsi untuk titik manuver apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut. Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi jaringan *spindle*.



Gambar 2.7 Konfigurasi jaringan *spindle*

2.5 Rugi – Rugi Energi

Susut energi sangat berpengaruh besar terhadap faktor ekonomis. Rugi-rugi energi dapat berarti pemborosan biaya produksi listrik. Penyaluran energi listrik ini harus diusahakan seefisien mungkin sehingga akan mengurangi biaya produksi energi listrik yang disalurkan. Hal ini dapat berarti penghematan energi listrik sehingga jika kelebihan pasokan energi listrik dapat disalurkan ke wilayah lain yang kekurangan pasokan energi listrik melalui sistem interkoneksi.

Susut energi juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti jauhnya daerah penyaluran tenaga listrik dari sumber atau suplai, *voltage drop*, ketidakseimbangan beban, umur peralatan, diameter penghantar dan lain-lain. Bila susut terlalu besar, sistem penyaluran energi listrik menjadi tidak efisien.

Loss situation didalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah suatu kondisi atau keadaan dimana suatu sistem distribusi didalam pendistribusian tenaga listriknya mengalami rugi-rugi energi yang tinggi. *Loss situation* ini dapat diketahui dengan peninjauan terhadap beberapa daerah yang memiliki tingkat

pembebanan yang tinggi karena pada daerah dengan tingkat pembebanan yang tinggi kemungkinan terjadi rugi-rugi energi yang terjadi juga sangat besar. Sedangkan *loss source* adalah sumber atau penyebab terjadinya rugi-rugi energi tersebut. *Loss source* dapat disebabkan karena adanya penurunan tegangan (*voltage drop*), panjang saluran diameter, diameter penghantar, dan lain-lain yang berhubungan dengan *power quality*. Dengan menganalisa *loss situation* dan mengidentifikasi *loss source* maka rugi-rugi energi jaringan distribusi tenaga listrik dapat diketahui.

Losses total dapat ditentukan jika jumlah energi yang masuk dan meninggalkan daerah kerugian (*loss district*) diketahui. Jumlah energi yang masuk pada pelanggan seringkali dicatat oleh petugas untuk mengetahui berapa besar energi yang dikonsumsi. Pencatatan energi umumnya dilakukan setiap bulan sehingga memungkinkan untuk menemukan *losses total* setiap bulan.

Setiap kondisi di dalam sistem distribusi dan mungkin juga didalam daerah kerugian memiliki informasi yang berbeda karena disebabkan adanya parameter-parameter yang berbeda pula. Didalam perhitungan *technical losses*, berbagai informasi operasional dapat digunakan, namun ketersediaan data yang akan digunakan didalam metode perhitungan yang dipilih harus terpenuhi agar hasil yang diperoleh tepat.

Parameter-parameter operasional utama yang digunakan dalam perhitungan *technical losses* adalah :

1. Jumlah energi yang melalui gardu induk, penyulang atau suplai energi ke konsumen.

2. Pembacaan pada telemetri.
3. Pemeriksaan pengukuran yang dilaksanakan dalam satu bulan.

Ketersediaan informasi seperti itu seharusnya dapat diterima sebagai suatu metode dalam menyederhanakan perhitungan *technical losses* berdasarkan pengukuran energi yang utama.

Jika objek yang akan dianalisa dan informasi awal tentang jaringan yang memiliki rugi-rugi energi telah terpenuhi, maka langkah-langkah untuk menganalisa *loss situation* dan mengidentifikasi *loss source* dalam jaringan distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan :

- a. Memilih *loss district*
- b. Perhitungan *losses total*
- c. Perhitungan *technical losses*
- d. Perhitungan *non – technical losses*

2.5.1 Pemilihan *Losses District*

Untuk memepermudah perhitungan rugi-rugi energi, suatu jaringan distribusi dapat dibagi kedalam daerah-daerah yang lebih kecil dan selain itu hubungan antara total, *technical* dan *non technical losses* disetiap daerah dapat dianalisa.

Pemilihan daerah kerugian seperti itu tidak dapat dipisahkan dari hubungannya dengan informasi awal yang diperlukan untuk menganalisis kerugian. Setiap daerah yang mengalami kerugian paling tidak memiliki data *incoming* dan *outgoing* atau data konsumsi energi masuk dan keluar yang

diperlukan pada perhitungan *total losses*. Perhitungan dari *technical losses* juga diperlukan dalam menentukan *non – technical losses*.

2.5.2 Perhitungan *Total Losses*

Penyaluran energi listrik yang berlangsung di dalam jaringan merupakan bagian yang tidak dapat dihindarkan dari biaya, dimana adanya selisih dari jumlah energi yang memasuki dan meninggalkan suatu jaringan ini menunjukkan adanya rugi-rugi yang terdapat dalam jaringan tersebut.

Dalam kenyataannya nilai rugi – rugi energi dapat ditentukan sebagai perbedaan dari pengukuran atau tagihan energi yang masuk dan energi yang keluar.

Jumlah total susut energi yang terjadi dalam sistem dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Susut Energi} = \text{Jumlah Energi Kirim} - \text{Jumlah Energi Diterima} \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk mencari presentase dari susut energi tersebut adalah :

$$\% \text{Susut} = \frac{\text{Jumlah Energi Kirim} - \text{Jumlah Energi Diterima}}{\text{Jumlah Energi Kirim}} \times 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dalam pendistribusian energi listrik, terjadi selisih antara jumlah energi yang masuk ke jaringan (input) dan energi yang keluar dari jaringan (output). Selisih itulah yang merupakan susut distribusi yang terjadi secara alamiah dan merupakan sejumlah energi yang tidak mungkin dimanfaatkan. Energi *output* adalah energi yang diambil dari jaringan distribusi yang merupakan energi yang termanfaatkan. Energi *output* ini terdiri dari empat kelompok yaitu energi yang dimanfaatkan oleh pelanggan, energi yang dimanfaatkan untuk pemakaian sendiri

sistem distribusi, energi yang dimanfaatkan oleh pihak lain secara tidak sah dan energi yang dimanfaatkan pelanggan namun tidak tercatat. Jumlah dua jenis *output* yang terakhir ini bisa disebut susut non teknik sedangkan susut yang terjadi secara alami disebut susut teknik. Jadi sesungguhnya susut non teknik adalah *output*. Namun dipandang dari sisi perusahaan tenaga listrik itu menjadi susut. Susut ini disebabkan oleh kekeliruan manusia, baik di sisi pengguna tenaga listrik maupun di sisi administratif. Jumlah dari susut teknik dan susut non teknik disebut susut total. Kedua macam susut ini harus ditekan secara optimal karena susut di jaringan merupakan pemborosan energi jika persentasinya melebihi kewajaran.

2.5.3 Perhitungan *Technical Losses*

Perhitungan disini berkaitan dengan susut terjadi sebagai akibat adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat daya yang hilang berupa panas.

Dengan data yang telah tersedia yang nantinya akan disimulasikan dengan analisa aliran daya yang mengalir pada sistem dan juga besar rugi-rugi daya yang terjadi. Hasil aliran daya dan rugi-rugi daya tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung aliran energi dan rugi-rugi energi dengan menggunakan metode, yakni : Metode *Energy Load Flow* dan Metode *Loss Factor*.

1) Metode *Energy Load Flow*

Untuk metode *Energy Load Flow*, data yang dibutuhkan adalah kurva beban yang selanjutnya dibagi menjadi interval-interval. Data-data tersebut nantinya akan digunakan untuk mengestimasi total aliran energi dan juga rugi-rugi energi tersebut diestimasi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = k \times \sum_{k=1}^n P_k \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- E = Aliran energi / rugi-rugi energi
- k = Konstanta hari dalam setahun (363)
- $\sum_{k=1}^n P_k$ = Besar interval ke – k (jam)
- P = aliran daya / rugi-rugi daya

2) Metode *Loss Factor*

Untuk perhitungan aliran energi dengan menggunakan metode ini, digunakan untuk acuan yang sama dengan metode *Energy Load Flow*. Sedangkan untuk menghitung rugi-rugi energi dengan metode *Loss Factor*, dibutuhkan data rugi-rugi daya saat terjadi beban puncak. Aliran rugi-rugi energi diestimasi dengan menggunakan batuan *load factor* pada sistem, yang selanjutnya dipergunakan dalam menghitung nilai *loss factor* untuk perhitungan rugi-rugi energi.

Untuk menghitung rugi-rugi energi dengan metode *load factor*, dibutuhkan data rugi-rugi daya saat terjadi beban puncak.

$$E_{loss} = H \times 24 \times kW_{loss} \times LF \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

E_{loss} = Rugi-rugi energi (kWH)

H = Jumlah hari

kW_{loss} = Rugi-rugi daya saluran (kW)

LF = *Loss Factor*

Loss Factor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$LF = (0,3 \times lossfactor) + (0,7 \times (lossfactor)^2) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$lossfactor = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Beban puncak}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Sedangkan untuk menentukan besarnya prosentase dari rugi-rugi energi yang terjadi pada jaringan digunakan persamaan :

$$\%E_{lossJTM} = \frac{\text{Jumlah Energi Kirim} - \text{Jumlah Energi Diterima}}{\text{Jumlah Energi Kirim}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk menghitung besarnya rugi-rugi trafo pada kondisi berbeban dapat digunakan persamaan :

$$kW_{loss-trf-Lf} = \left[\frac{kVA_{load}}{kVA_{rated}} \right] \times kW_{loss-rated} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

$kW_{loss-trf-Lf}$ = Rugi-rugi berbeban trafo (kW)

kVA_{load} = Beban trafo (kVA)

kVA_{rated} = Kapasitas trafo (kVA)

$kW_{loss-rated}$ = Rugi-rugi berbeban trafo (kW)

Selanjutnya hasil yang didapat dari rugi-rugi energi pada trafo tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total rugi- rugi energi pada trafo. Dalam persamaan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E_{loss-rafo} = E_{LL} + E_{NL} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$= (H \times 24 \times kW_{LL} \times LF) + (k \times 24 \times kW_{LN}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

H = Jumlah hari dalam satu bulan

K = Jumlah hari gangguan dalam satu bulan

kW_{LL} = Total rugi-rugi beban trafo (kW)

kW_{LN} = Total rugi-rugi tanpa beban

Dan untuk menentukan prosentase dari rugi-rugi trafo yang digunakan persamaan :

$$\%E_{loss-rafo} = \frac{E_{loss-rafo}}{\text{Jumlah energi yang diterima}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

Total *technical losses* di dalam jaringan distribusi ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta WT\% = \%E_{lossJTM} + E_{loss-rafo} \dots \dots \dots (2.12)$$

2.5.4 Perhitungan *Non – Technical Losses*

Dalam perhitungan nilai dari total *losses*, kemungkinan terjadi kesalahan pada perhitungan sistem sangat mungkin terjadi sehingga hasil yang diperoleh tidak akurat. Tidak akurat dan perhitungan rugi-rugi ini disebut perhitungan *non-teknis*.

Maka *losses non – teknik* adalah :

$$\text{Total losses} - \text{Technical losses} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.5.5 Perhitungan Secara Ekonomis

Dalam istilah ekonomi *losses* ini erat kaitanya dalam masalah biaya efisiensi, sehingga bisa ditarik kesimpulan semakin tidak efisien (biaya tinggi) maka akan semakin kecil keuntungan dari pendapatan yang diperoleh. Tidak efisiensi biaya yang terjadi dalam aliran energi listrik erat kaitanya dengan permasalahan dalam segi teknologi dan peranan sumber daya manusia.

Dengan demikian PT. PLN (Persero) dapat menghitung susut (*losses*) distribusi energi listrik dengan cara membandingkan antara energi listrik yang tersedia dengan energi yang terjual, sehingga rasio dapat dihitung secara singkat dengan format :

$$\text{Susut} = \frac{\text{Biaya TTL} + \text{Pembelian TL}}{\text{kWh Beli}} \times \text{kWh Susut} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

- Biaya TTL = Biaya Transfer Tenaga Listrik
- Pembelian TL = Pembelian Tenaga Listrik
- kWh Susut = Nilai kehilangan energi
- kWh Beli = Jumlah energi yang tersedia

dan untuk menghitung kerugian pendapatan (*Losses Cost*) dari distribusi listrik adalah :

$$\text{Losses Cost (Rp)} = \text{Susut Energi (kWh)} \times \text{Tarif Dasar Listrik} \dots \dots (2.14)$$

2.6 ETAP (Electric Transient and Analysis Program)

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk

pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting motor*, *transient stability*, koordinasi *relay proteksi* dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis (*Operation Technology, Inc, 2009*).

Etap Power Station memungkinkan kita untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram*/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

1. *Virtual Reality Operation*

Sistem operasional yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Contohnya, ketika membuka atau menutup sebuah *circuit breaker*, menempatkan suatu elemen pada sistem.

2. *Total Integration Data*

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya

berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut.

3. *Simplicity in Data Entry*

Etap Power Station memiliki data detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

