

TUGAS AKHIR  
ANALISIS RUGI – RUGI ENERGI LISTRIK PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI



Oleh

Senando Rangga Pitoy  
NIM : 12 023 030

Dosen Pembimbing

Deitje Pongoh, ST. M.pd  
NIP. 19641216 199103 2 001

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
POLITEKNIK NEGERI MANADO  
2016

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Distribusi energi listrik yang berawal dari pembangkit dan diakhiri dengan penggunaan oleh konsumen haruslah bersifat efektif, efisien dan dapat diandalkan. Melihat dari kriteria tersebut maka dalam pembangkitan energi listrik serta distribusi energi listrik haruslah dilakukan secara rasional dan ekonomis.

Pada jaringan distribusi Jumlah energi listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah energi listrik yang dibangkitkan karena terjadi susut atau rugi-rugi (*losses*) energi. Hal ini disebabkan oleh berbagai hal yaitu jarak antara pembangkit dan konsumen yang berjauhan sehingga pada peralatan listrik jaringan distribusi mengalami rugi-rugi serta peralatan yang sudah berumur. Rugi rugi pada jaring sistem tenaga listrik juga disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa system, panas yang timbul pada konduktor saluran maupun transformator, serta panas yang timbul pada sambungan konduktor yang buruk (*losscontact*).

Penentuan jumlah rugi-rugi yang tepat setiap bulan merupakan kebutuhan pengoprasian system tenaga listrik yang paling mendesak. Perhitungan sangat sukar karena kondisi pembebanan sistem yang berbeda setiap saat sesuai dengan kebutuhan konsumen sistem tenaga listrik. Dengan demikian besar rugi-ruginya berbeda dari waktu ke waktu, sehingga total rugi daya listrik setiap bulan berbeda-beda, karena itu dibutuhkan suatu metode perhitungan yang akurat.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut diatas penulis akan mengangkat judul **“Analisis Rugi-Rugi Energi Listrik Pada Jaringan Distribusi di Kotamobagu”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Tahun demi tahun kebutuhan akan energi listrik akan terus bertambah seiring dengan perkembangan zaman. Dengan demikian akan banyak perubahan-perubahan terhadap sistem kelistrikan baik berupa peralatan listrik maupun jumlah beban dan daya yang dibangkitkan. Maka diperlukan pendataan pada sistem distribusi energi listrik untuk mengetahui perkembangan sistem kelistrikan dan rugi-rugi energi.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

- a. Untuk menghitung besarnya rugi/ susut energi yang terjadi pada jaringan distribusi tenaga listrik
- b. Presentasi rugi/ susut energi pada jaringan distribusi tenaga listrik.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Dengan melakukan perhitungan rugi – rugi energi listrik supaya kita bisa tahu berapa besar nilai rugi-rugi energi listrik dan meminimalisir rugi energi listrik pada jaringan distribusi.

## **1.5 Pembatasan Masalah**

Adapun pembahasannya hanya mencakup perhitungan rugi/ susut distribusi pada jaringan distribusi di PT. PLN Area Kotamobagu.

## **1.6 Metodologi Penelitian**

Agar lebih memudahkan dalam menyelesaikan penelitian ini, maka digunakan beberapa metode sehingga kajian yang dilakukan akan mencapai hasil yang lebih baik, yaitu :

- a. Pengambilan data pada perusahaan PT. PLN (persero) Area Kotamobagu.
- b. Analisa data, yaitu menghitung data sistem distribusi listrik Kota Kotamobagu.

## BAB II

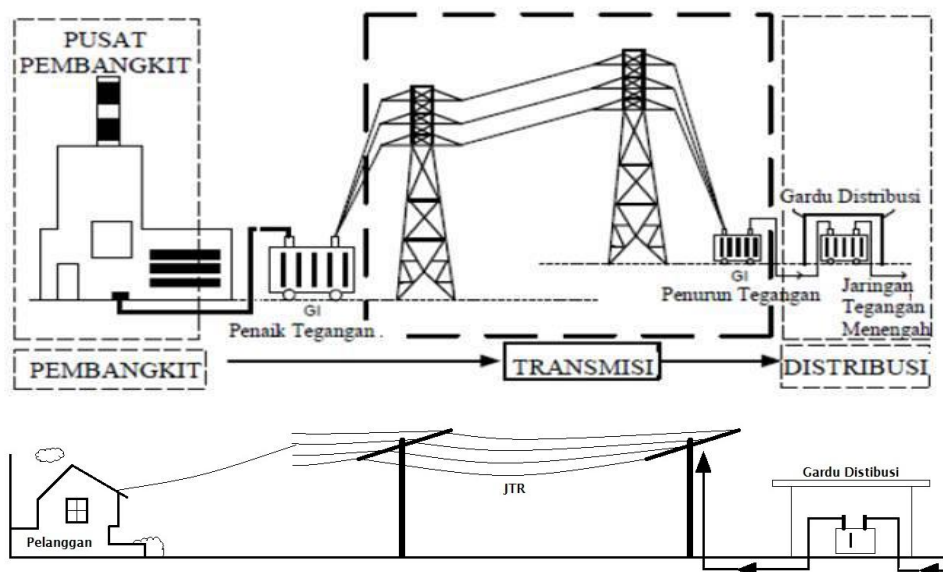
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Umum Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Energi listrik umumnya dibangkitkan oleh pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang jauh dari perkotaan dimana para pelanggan pada umumnya berada. Masalahnya sekarang ialah bagaimana menyalurkan tenaga listrik tersebut secara ekonomis pada jarak yang cukup jauh. Secara umum dapat dikatakan bahwa sistem supply tenaga listrik terdiri dari tiga unsur yaitu:

1. Pusat Pembangkit
2. Transmisi
3. Distribusi

Penyaluran listrik ke para pelanggan secara skematis dapat digambarkan seperti dibawah ini, sudah tercakup ketiga unsur dari sistem supply tenaga listrik sebagaimana yang dimaksudkan diatas.



Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik ke Pelanggan

## 2.2 Transmisi dan Distribusi

Suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, sedangkan saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah. Di pusat tenaga biasanya digunakan generator sinkron yang menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6-20 kV, yang kemudian dengan bantuan transformator tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150-500 kV.

Yang dimaksud dengan karakteristik listrik dari saluran transmisi adalah konstanta-konstanta saluran, yaitu: tahanan  $R$ , Induktansi  $L$ , konduktansi  $G$ , dan kapasitansi  $C$ . pada saluran udara konduktansi  $G$  sangat kecil sehingga dengan mengabaikan konduktansi  $G$  itu perhitungan-perhitungan akan jauh lebih mudah dan pengaruhnya pun masih dalam batas-batas yang dapat diabaikan.

Tahanan dari suatu penghantar dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dimana:  $\rho$  = resistivitas ( $\Omega \cdot m$ )

$l$  = panjang kawat (m)

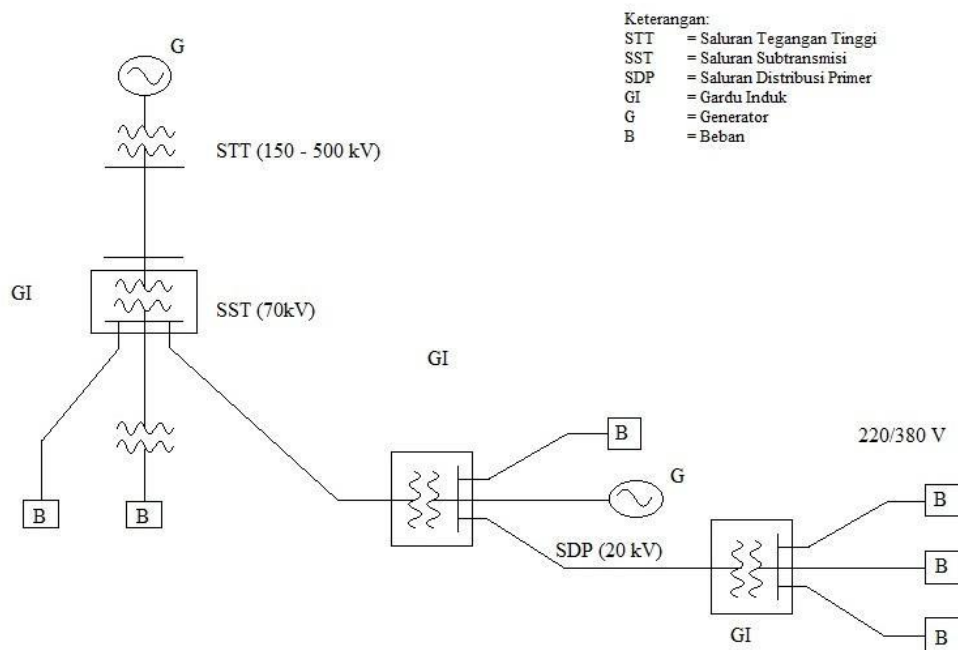
$A$  = luas penampang kawat ( $m^2$ )

Saluran Tegangan Tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima dimana tegangan akan diturunkan menjadi tegangan subtransmisi 70 kV. Pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju trafo distribusi dalam bentuk tegangan menengah 20 kV. Melalui trafo distribusi yang tersebar diberbagai pusat beban, tegangan distribusi primer ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 Volt yang akhirnya diterima pihak pemakai.

Sistem distribusi ini dapat pula di kelompokkan kedalam dua tingkat yaitu:

1. Sistem jaringan distribusi primer dan biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM).
2. Sistem jaringan distribusi sekunder dan biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

Gambar berikut merupakan contoh saluran transmisi dan distribusi:



Gambar 2.2 Saluran Transmisi dan Distribusi

## 2.3 Struktur Jaringan Tegangan Menengah

### 2.3.1 Pengertian Umum

Struktur jaringan yang berkembang disuatu daerah merupakan kompromi antara alasan-alasan teknis di satu pihak dan ekonomis di lain pihak. Keduanya ditekankan kepada kebutuhan penggunaan dimana dipersyaratkan batas-batas keandalan, stabilitas dari kelangsungan pelayanan.

Dari segi keandalan yang ingin dicapai ada 2 pilihan struktur jaringan:

- a. Jaringan dengan satu sumber pengisian: cara penyaluran ini merupakan yang paling sederhana. Gangguan yang timbul akan menyebabkan pemadaman.
- b. Jaringan dengan beberapa sumber pengisian: keandalannya lebih tinggi. Dilihat dari segi ekonomi investasinya lebih mahal karena menggunakan perlengkapan penyaluran yang lebih banyak. Pemadaman akibat gangguan dapat ditiadakan atau setidaknya dapat dikurangi.

Struktur jaringan secara umum ada 3 bentuk yaitu:

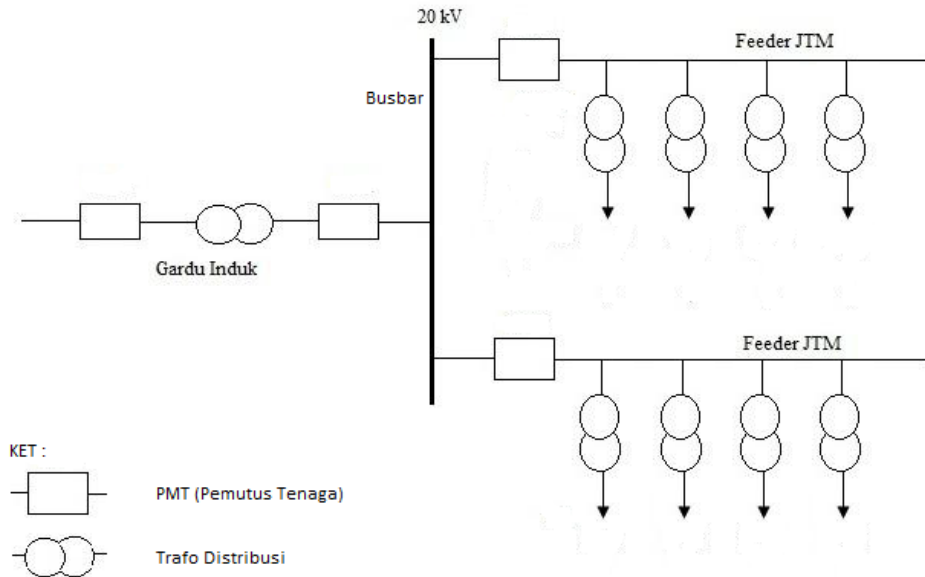
1. Radial
2. Lingkaran (Loop)
3. Spindel

Pemilihan struktur jaringan tegangan menengah (JTM) tergantung pada kualitas pelayanan yang diinginkan, dimana kualitas yang dimaksud memiliki beberapa unsur yaitu: Kontinuitas pelayanan, pengaturan tegangan dan tegangan kedip yang diizinkan.

### **2.3.2 Radial**

Sistem distribusi dengan pola Radial seperti gambar di bawah ini adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Jaringan radial adalah jaringan yang saat ini banyak dipakai karena jaringan sangatlah sederhana dalam segi konstruksi dan biaya yang relatif murah, selain itu jaringan ini mungkin yang paling banyak dipakai di Indonesia.

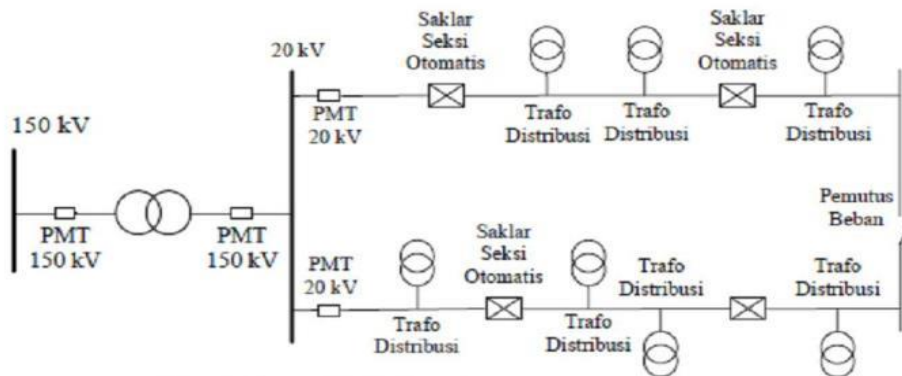
Kerugian tipe jaringan ini apabila jalur utama pasokan terputus maka seluruh penyulang akan padam. Kerugian lain mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling akhir kurang baik, hal ini dikarenakan besarnya rugi-rugi pada saluran.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial

### 2.3.3 Lingkaran (Loop)

Pada sistem ini terdapat penyulang yang terkoneksi membentuk loop atau rangkaian tertutup untuk menyuplai gardu distribusi. Gabungan dari dua struktur radial menjadi keuntungan pada pola loop karena pasokan daya lebih terjamin dan memiliki keandalan yang cukup.

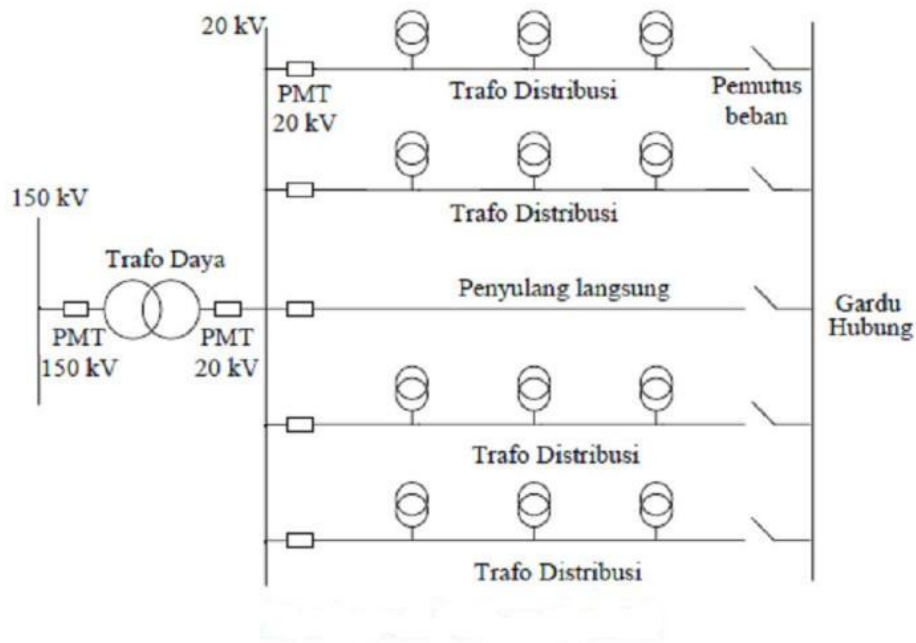


Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Loop



### 2.3.4 Spindle

Pada sebuah spindle biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).



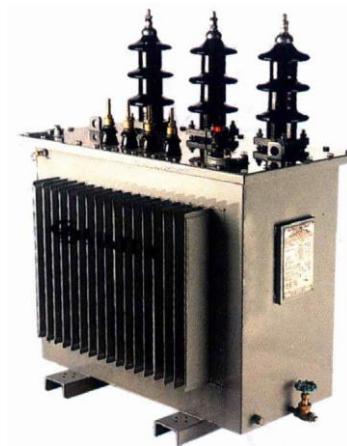
Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindle

### 2.4 Trafo Distribusi

Trafo Distribusi adalah merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Kerusakan pada Trafo Distribusi 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 mempengaruhi drop tegangan ujung pada konsumen atau jatuhnya / turunnya tegangan ujung saluran / konsumen.

Transformator atau trafo adalah komponen elektromagnet yang dapat merubah tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya dalam frekuensi sama. Trafo merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar 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 biasa disebut trafo Interbus Transformator (IBT) dan trafo 150/20 kV dan 70/20 kV disebut trafo distribusi.



Gambar 2.6 Transformator Distribusi

## 2.5 Kawat Penghantar

Kawat penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara dari Pusat Pembangkit ke Pusat-Pusat Beban , baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu.

Penghantar SUTM dipasang di udara terbuka dengan tiang penyangga serta lengan-lengan pemegang . kabel-kabel yang biasa digunakan adalah :

- a. AAAC (ALL Alluminium alloy konduktor) yaitu kabel yang mempunyai inti konduktor yang terbuat dari campuran logam alluminium tanpa isolasi.



Gambar 2.7 Kabel Penghantar AAAC

- b. ACSR (Alluminium konduktor steell reinforced) yaitu kabel yang berinti alluminium dengan selubung pita baja.



Gambar 2.8 Kabel Penghantar ACSR

- c. ACAR, Alluminium konduktor aloy reinforced yaitu kabel yang berinti alluminium dengan selubung campuran logam.



Gambar 2.9 Kabel Penghantar ACAR

## 2.6 Daya pada Rangkaian Tiga Fasa Seimbang

Daya merupakan banyaknya perubahan tenaga terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus. Satuannya adalah watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan sesaat diantara beban dalam volt dengan arus sesaat yang mengalir dalam beban tersebut adalah ampere. Guna keperluan analisa, daya dalam sirkuit arus bolak-balik, dirinci lagi sesuai dengan tipe dari daya tersebut.

Faktor daya merupakan rasio antara daya (dalam satuan watt) terhadap perkalian antara tegangan dan arus (dalam satuan VA) yang berbeda fase, disebabkan reaktansi rangkaian, termasuk alat yang merupakan beban. Karena fasilitas sistem perlu dirancang untuk dapat menyalurkan arus listrik dan memikul rugi-rugi yang berbanding pangkat dua dari arus, serta pula untuk turun tegangan yang kira-kira berbanding lurus dengan arus, maka perlu diketahui nilai-nilai arus. Semua fasilitas sistem, berupa transformator, kabel, kawat, sekring, saklar dan lain sebagainya, semuanya berdasarkan pada nilai-nilai arus yang harus dialirkan secara aman dan ekonomis.

Total daya yang diberikan oleh sebuah alternator tiga fasa yang diserap suatu beban tiga fasa dapat diperoleh dengan menjumlahkan daya pada ketiga fasanya. Pada suatu rangkaian yang seimbang, sama saja dengan 3 kali pada daya fasa yang mana juga, karena daya pada semua fasa adalah sama.

Jika besarnya tegangan ke netral  $V_p$  untuk suatu beban yang terhubung Y adalah:

$$V_p = |V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan jika besarnya arus fasa  $I_p$  untuk suatu beban yang terhubung Y adalah:

$$I_p = |I_{an}| = |I_{bn}| = |I_{cn}| \dots\dots\dots (2.2)$$

1. Daya semu

Daya semu untuk sistem fasa tunggal, sirkuit dua kawat adalah perkalian skalar arus efektif dan beda tegangan efektifnya

$$S = |V| \cdot |I| \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk sistem fasa-tiga daya semunya adalah:

$$S = 3 |V| \cdot |I| \dots\dots\dots (2.4)$$

- Dimana,
- S = Daya Semu
  - V = Tegangan fasa (Volt)
  - I = Arus jala (Ampere)

2. Daya aktif:

Daya aktif untuk sistem fasa tunggal,

$$P = \frac{V_{maks}.I_{maks}}{2} \cos \varphi \dots\dots\dots (2.5)$$

Atau,

$$P = |V| \cdot |I| \cos \varphi \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk daya tiga fasa total adalah:

$$P = 3 V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots (2.7)$$

- Dimana,
- P = Daya Aktif
  - V = Tegangan (Volt)
  - I = Arus (Ampere)
  - $\cos \varphi$  = Faktor Daya

3. Daya reaktif:

Daya aktif untuk sistem fasa tunggal,

$$Q = \frac{V_{maks} \cdot I_{maks}}{2} \sin \varphi \dots\dots\dots (2.8)$$

Atau

$$Q = |V| \cdot |I| \sin \varphi \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk daya tiga fasa,

$$Q = 3 |V| \cdot |I| \sin \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dan voltampere dari beban adalah:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Dimana,
- Q = Daya Reaktif (VAR)
  - V = Tegangan (Volt)
  - I = Arus (Ampere)
  - $\sin \varphi$  = Faktor Daya

Atau  $P = |S| \cos \varphi \dots\dots\dots (2.12)$

$$Q = |S| \sin \varphi \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan-persamaan (2.4), (2.7) dan (2.8) adalah persamaan-persamaan yang biasa dipakai untuk menghitung P, Q dan S pada jaringan tiga fasa yang seimbang, karena kualitas yang biasanya diketahui adalah tegangan antar saluran, arus kawat dan faktor daya atau  $\cos \varphi$ .

## 2.7 Perhitungan Rugi Beban Puncak Saluran Distribusi

Dalam perhitungan rugi beban puncak terlebih dahulu kita harus mencari berapa besar nilai dari beban puncak. Berdasarkan rumus:

$$E_{in} = E_{in\ JTM} / (\text{Jumlah Penyulang} \times LF \times FK \times \text{waktu}) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana,  $E_{in\ JTM}$  = kWh input JTM

LF = Faktor Beban

FK = Faktot Kerja Cos  $\varphi$

Jumlah penyulang pada JTM

Waktu (jam)

Dalam perhitungan node pada setiap saluran berbeda, dengan perhitungan yang berbeda itu didapat perhitungan sebagai berikut,

1. untuk node per penyulang pada JTM = Jumlah Trafo / Jumlah Jurusan
2. untuk node per jurusan pada JTR = Panjang jurusan / 0,05

Sehingga untuk beban per node didapat,

$$E_{Out} = E_{in} / \text{Node} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dalam penyaluran energi melalui jaringan distribusi, terjadi rugi teknis, yaitu rugi beban puncak ( $I^2 R$ ) yang disebabkan adanya tahanan (R) pada saluran.

Rugi Beban Puncak yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada penghantar adalah:

$$\Delta P_{3\phi} = 3 \times I^2 \times R \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\Delta P_{3\phi} = 3 \times I^2 \times R \times L \times Fk \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana,        I        = Arus (Ampere)  
                   R        = Resistansi (Ohm)  
                   L        = Panjang saluran (km)  
                   Fk        = Faktor koreksi berdasarkan asumsi

Bila bebannya S, maka arus yang mengalir pada penghantar adalah:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \text{ (ampere)} \dots\dots\dots (2.18)$$

Atau,

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \cos\phi} \text{ (ampere)} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:        I        = Arus (Ampere)  
                   S        = Beban Penyulang (VA)  
                   V        = Tegangan (Volt)  
                   Cos  $\phi$  = Faktor Daya

Untuk beban S dimana, beban penyulang berdasarkan

$$E_{ek} = \sqrt{\frac{E_{in}^2 + E_{in} \cdot E_{out} + E_{out}^2}{3}} \text{ (kVA)} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :        E<sub>in</sub>    = Beban puncak penyulang  
                   E<sub>out</sub> = Beban puncak per node

## 2.8 Rugi Energi pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam menentukan rugi energi pada saluran distribusi, cara yang dilakukan adalah dengan membandingkan energi yang disalurkan oleh gardu induk dengan energi yang terjual dalam selang waktu tertentu dengan menurunkan atau mengansumsikan nilai faktor rugi, maka rugi energi dalam periode tertentu didapat dari hubungan berikut:

$$\Delta E = 3 \times I^2 \times R \times t \text{ (kWh)} \dots\dots\dots (2.21)$$



Dimana:  $I = \text{Arus (Ampere)}$

$R = \text{Resistansi } \Omega/\text{km}$

$t = \text{Waktu}$

$\text{Rugi Energi} = \text{Rugi daya pada beban puncak} \times \text{Faktor rugi} \times \text{Jumlah jam dari periode tersebut (kWh)} \dots\dots\dots (2.22)$

Rugi energi dalam persen adalah rugi energi yang dinyatakan dalam presentase dari energi yang dikirim atau disalurkan dalam periode waktu yang sama. Untuk rugi energi dalam persen didefinisikan sebagai berikut:

$\text{Rugi energi dalam } \% \frac{\text{Susut / Rugi energi}}{\text{Energi yang disalurkan GI}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.23)$

Dengan cara tersebut terdapat dua sumber kesalahan pokok, walaupun cara ini biasanya dipakai sebagai metoda untuk menghitung rugi-rugi. Dua sumber kesalahan pokok tersebut adalah:

1. Selisih kWh (energi) yang disalurkan GI dan kWh yang terjual atau energi yang dipakai oleh pelanggan tidak menggambarkan keadaan sebenarnya, karena ada energi yang tidak terukur seperti pencurian listrik, meteran rusak, kesalahan pembacaan kwh-meter dan sebagainya. Dari sini jelaslah selisih kWh (energi) yang sebenarnya tidak dapat diukur secara pasti.
2. Pembacaan meteran pada GI mungkin dapat dilakukan pada hari yang sama, dengan demikian kWh (energi) yang diukur benar-benar merupakan kWh yang disalurkan, sedangkan pembacaan meteran pelanggan tidak bersamaan waktunya sehingga hal ini akan merupakan kesalahan dalam analisis selanjutnya.

Jadi rugi energi atau susut energi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$\text{Rugi energi} = \text{Rugi daya rata-rata dalam periode tertentu} \times \text{Jumlah jam dari periode tersebut}$

Rugi energi dalam persen adalah rugi energi yang dinyatakan dalam presentase dari energi yang dikirim/dialurkan dalam periode waktu yang sama. Energi yang dikirim atau energi yang dialurkan adalah sama dengan beban rata-rata untuk periode tertentu dikalikan jumlah jam dari periode tersebut.

Jadi, *Energi yang dialurkan = Beban rata-rata dalam periode tertentu x*

*Jumlah jam periode tersebut*

Dengan mengambil data beban, data energi pembangkitan, data pemakaian sendiri dan data energi jual. Maka diperoleh rugi non teknis sebagai berikut:

*Rugi Non Teknis = Energi Beli - Energi Pemakaian Sendiri - Energi Jual - Rugi Teknis*

Dan dari hasil perhitungan diatas maka dapat diperoleh rugi energi distribusi listrik sebagai berikut:

*Rugi Energi Distribusi (kWh) = Rugi Teknis + Rugi Non Teknis*

*Perhitungan Untuk Rugi Jaringanmenyeluruh*

*Rugi Jaringan ( $I^2 R$ ) = Susut TM + Susut Trafo + Susut TR + Susut SR*

*Rugi TM = Jumlah Penyulang TM x Rugi beban puncak per penyulang x LLF TM x Periode Hitung (jam)*

*Rugi Trafo = Jumlah Trafo x Rugi Beban Puncak per Trafo x LLF Trafo x Periode Hitung (jam)*

*Rugi TR = Jumlah Jurusan TR x Rugi Beban Puncak per Jurusan x LLF TR x Periode Hitung (jam)*

*Rugi SR = Jumlah Konstruksi SR x Rugi Beban Puncak per Konstruksi x LLF TM x Periode Hitung (jam)*

### Presentase Susut

$$\% \text{ Susut Jaringan} = (\text{Susut Jaringan} / \text{Susut Total}) \times 100$$

$$\% \text{ Susut Non Jaringan} = (\text{Susut Non Jaringan} / \text{Susut Total}) \times 100$$

$$\% \text{ Susut Total} = (\text{Susut Total} / \text{KWH Penerimaan}) \times 100$$

### Penerimaan Kwh

$$\text{KWH TM} = \text{KWH Penerima} - \text{KWH TT} - \text{KWH Kirim ke unit lain}$$

$$\text{KWH Gardu} = \text{KWH TM} - \text{KWH Penjualan TM} - \text{Susut TM}$$

$$\text{KWH TR} = \text{KWH Gardu} - \text{KWH Gardu Pemakaian Sendiri} - \text{Susut Trafo}$$

$$\text{KWH SR} = \text{KWH TR} - \text{Susut TR}$$