

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik<sup>2</sup>**

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan – hubungan peralatan dan komponen – komponen listrik seperti generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban listrik.

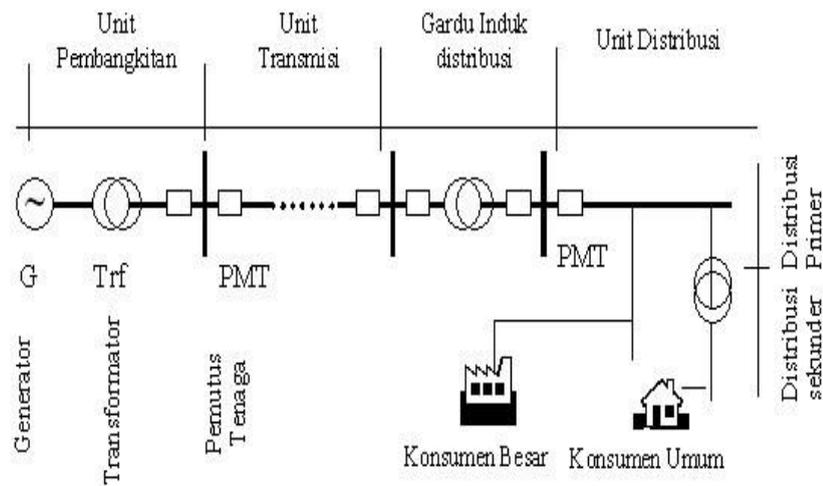
Peranan utama dari sistem tenaga listrik adalah menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan ke bagian subsistan :

1. Bagian Pembangkit
  - a. Generator
  - b. Gardu Induk Sebagian
2. Bagian Penyaluran / Transmisi Daya
  - a. Saluran Transmisi
  - b. Gardu Induk
3. Bagian Distribusi dan Beban
  - a. Gardu Induk Distribusi
  - b. Saluran Distribusi Primer (20 KV)
  - c. Gardu Distribusi
  - d. Saluran Distribusi Sekunder (380 / 220 V)
  - e. Beban Listrik / Konsumen

---

<sup>2</sup> Arizqi, Muhammad Ikhwan. 2021. *Analisis Pemerataan Beban Pada Gardu Distribusi PA0282 Penyulang Surabaya*

*Terhadap Losses Trafo Di Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Rivai Palembang :*  
Politeknik Negeri Sriwijaya. Halaman 6



Gambar 2.1 Single Line Diagram

## 2.2 Jaringan Distribusi<sup>2</sup>

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik ini merupakan proses pembawa listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo.

Distribusi ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

### a. Distribusi Primer

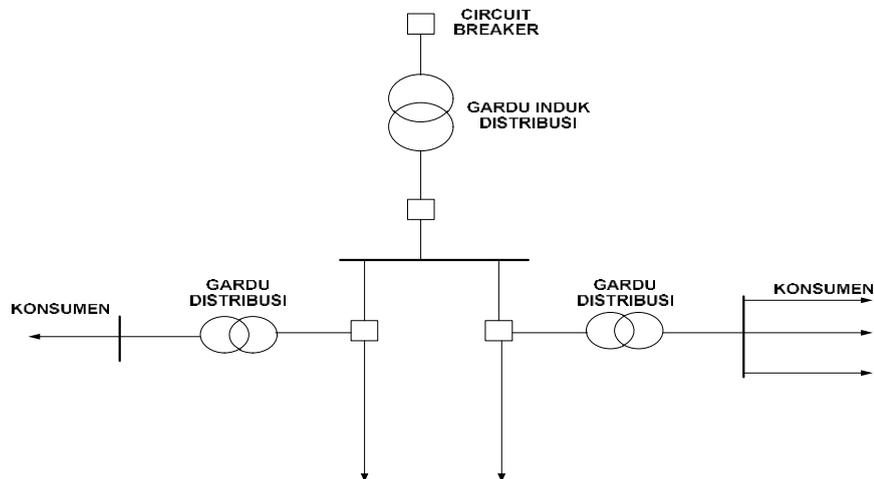
Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 KV yang biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) lalu disalurkan ke lokasi – lokasi pelanggan listrik kemudian diturunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan. Pada distribusi primer terdapat 3 jenis dasar yaitu sistem radial, loop atau lup, dan sistem jaringan primer.

<sup>2</sup> Ibid. Halaman 7

## b. Distribusi Sekunder

Yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), lalu dari JTR dibagi – bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR) pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

Konsumen rumah tangga maupun komersil biasanya terhubung dengan jaringan distribusi sekunder melalui sambungan rumah. Konsumen yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi dapat mengajukan permohonan untuk langsung terhubung dengan jaringan distribusi primer, atau ke level sub- transmisi.



Gambar 2.2 Single Line Diagram Jaringan Distribusi

### 2.3 Jaringan Tegangan Menengah<sup>14</sup>

Pendistribusian tenaga listrik dalam suatu kawasan, penggunaan sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya untuk menghindari rugi – rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN (Persero) selaku pemegang kuasa usaha utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No. 30 tahun 2009.

Standar Tegangan Menengah di Indonesia adalah 20 kV. Lingkup jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari terminal keluar (*out - going*) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik tegangan pada pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, hingga pemisah / proteksi sisi masuk (*in - coming*) transformator distribusi 20 kV – 231/400 V.

Jaringan tegangan menengah dikelompokkan menjadi 3 macam berdasarkan konstruksinya sebagai berikut (PT PLN Persero, 2010 :3) :

- a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)
- b. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)
- c. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

### 2.4 Saluran Udara Tegangan Menengah<sup>6</sup>

Saluran Udara Tegangan Menengah merupakan konstruksi termurah untuk penyaluran daya listrik pada daya yang dan paling banyak digunakan konsumen jaringan tegangan menengah di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton.

<sup>14</sup> Pasra, ST,MT. Nurmiati, Sumander Rico. *Studi Pemisahan dan Beban Penyulang Baru SKTM GIS Pantai Indah Kapuk*.

<sup>6</sup> Hidayati, Miftahul. 2021. *Perencanaan Penyambungan Baru Pelanggan Premium Pada PT Surya Bintang Lestari Oleh*

*PT PLN (Persero) UP3 Palembang Palembang :*

Politeknik Negeri Sriwijaya. Halaman 5

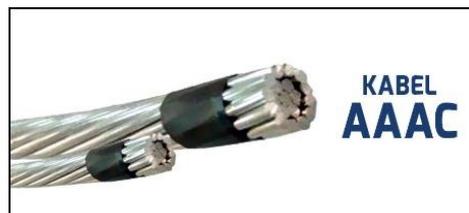
Konstruksi jaringan ini dimulai dari sumber tenaga listrik / Gardu Induk dengan kabel tanah Tegangan Menengah ke arah tiang pertama saluran udara. Tiang pertama disebut tiang awal, tiang tengah disebut tiang penumpu (*line pole*) atau tiang penegang (*suspension pole*), jika jalur SUTM membelok disebut tiang sudut dan berakhir pada tiang ujung (*end pole*). Saluran yang sangat panjang dan lurus pada titik-titik tertentu dipasang tiang penegang. Fungsi tiang penegang adalah untuk mengurangi besarnya tekanan mekanis pada tiang awal / ujung serta untuk memudahkan operasional dan pemeliharaan jaringan.

Topang tarik (*guy wire*) dapat dipakai pada tiang sudut dan tiang ujung tetapi tidak dipasang pada tiang awal. Pada tempat-tempat tertentu jika sulit memasang *guy wire* pada tiang akhir atau tiang sudut, dapat dipakai tiang dengan kekuatan tarik besar.

Isolator digunakan sebagai penumpu dan pemegang penghantar pada tiang, hanya dipakai 2 jenis isolator yaitu isolator penegang dan isolator penumpu. Isolator penegang dipasang pada tiang awal / akhir / sudut. Isolator penumpu dipasang pada tiang penumpu dan sudut.

Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dapat berupa:

1. A3C (*All Aluminium Alloy Conductor*)



Gambar 2. 3 Kabel A3C  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

## 2. A3C – S (*Half insulated* A3C, HIC) ; atau *full insulated* (FIC).



Gambar 2.4 Kabel A3C-S  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

## 3. *Full insulated* A3C twisted (A3C-TC)



Gambar 2.5 Kabel A3C – TC  
Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

Luas penampang penghantar 35 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 70 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup>.

### 2.5 Saluran Kabel Tegangan Menengah<sup>14</sup>

Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) merupakan jaringan kabel yang berisolasi yang ditanam didalam tanah sepanjang jaringan. Secara umum, SKTM digunakan pada daerah dengan kepadatan beban tinggi seperti perkotaan. Jaringan penghantar SKTM memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Sesuai standar pabrik, kabel tanah pada kondisi tanah (*specific thermal resistivity of soil*) 1000C cm/w dengan kedalaman 70 cm, untuk penggelaran 1 kabel mempunyai Kemampuan Hantar Arus (KHA) 100 %. Kabel harus dilindungi terhadap kemungkinan gangguan mekanis dengan pasir, pipa pelindung, buis beton atau pelat beton. Jalur jaringan

<sup>14</sup> Pasra, ST,MT. Nurmiati, Sumander Rico. Loc.cit

kabel, titik belok dan sambungan kabel harus diberi tanda guna memudahkan inspeksi, pemeliharaan, dll.

Jenis kabel yang dipasang bermacam-macam, namun saat ini dari jenis yang berisolasi XLPE berpelindung mekanis, berbalut pita tembaga dan bahan semi konduktif dengan inti penghantar jenis aluminium.

Terdapat dua jenis kabel bawah tanah yaitu berinti tunggal (single-core) dan berinti banyak (multi-core) dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup> dan 300 mm<sup>2</sup>.

Pada konstruksi Saluran Kabel Bawah Tanah sangat tidak dianjurkan penggunaan jenis kabel Tegangan Menengah tanpa berpelindung mekanis plat/pita/kawat besi atau aluminium.



Gambar 2.6 Kabel Tanah Berisolasi XLPE  
Sumber : Buku I PLN Tahun 2010

## 2.6 Pengertian Susut (*Losses*)<sup>16</sup>

Pada dasarnya pengertian tentang kebocoran atau kerugian listrik adalah selisih antara jumlah energi listrik yang dibangkitkan dibandingkan dengan jumlah rekening listrik yang ditanggung atau terjual ke pelanggan PLN.

---

<sup>16</sup> Siska Diyah Rosmawati. *Pengaruh Susut (Losses) Energi Listrik Terhadap Pendapatan Pada PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten*

Pengertian susut (*losses*), dapat dipaparkan menurut beberapa pendapat sebagai berikut :

- a. Sofyan Syafri Harahap (2007 : 241), mendefinisikan bahwa:

*Losses* adalah turunnya nilai ekuitas dari transaksi yang sifatnya insidental dan bukan kegiatan utama entitas dan dari seluruh transaksi kejadian lainnya yang berasal dari biaya atau pemberian kepada pemilik (*prive*).

- b. Keputusan Menteri Keuangan Nomor : 431/KMK.06/2002, mendefinisikan bahwa :

Susut (*losses*) adalah sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran energi listrik mulai dari Gardu Induk sampai dengan konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk, susut (*losses*) dimulai dari gardu distribusi sampai dengan konsumen.

Dari penjelasan diatas susut (*losses*) adalah suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih sejumlah energi listrik yang tersedia dengan sejumlah energi listrik yang terjual. Susut (*losses*) ini diakibatkan oleh dua faktor yaitu faktor teknis yang berupa masalah jaringan dan faktor non teknis yaitu ketidakserempakkan dalam pencatatan pemakaian atau dalam perhitungan kWh. Dalam istilah ekonomi *losses* ini erat kaitannya dalam masalah biaya tinggi efisiensi, sehingga bisa ditarik kesimpulan semakin tidak efisien (biaya tinggi) maka akan semakin kecil keuntungan dari pendapatan yang diperoleh, ketidakefisienan biaya yang terjadi dalam aliran energi listrik erat kaitannya dengan permasalahan dalam segi teknologi dan peranan sumber daya manusia.

## **2.7 Parameter Saluran Distribusi**

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat-sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisis sistem tenaga.

### 2.7.1 Resistansi Saluran

Resistansi adalah kemampuan tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya pada saluran transmisi maupun distribusi.

Resistansi efektif dari konduktor adalah :

$$R = \frac{\text{Power Loss dalam induktor}}{(I)^2} (\Omega) \dots \dots \dots (2.1)$$

Resistansi *direct-current* ( $R_{dc}$ ) diberikan dengan formula :

$$R_{dc} = \frac{\rho \times l}{A} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.2)^4$$

Dimana :

$\rho$  = resistivity konduktor (  $\Omega.m$  )

$l$  = panjang konduktor ( m )

$A$  = *cross sectional area* (diameter) (  $m^2$  )

Nilai resistivity konduktor pada temperature  $20^\circ$  C adalah :

- a. Untuk tembaga,  $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$  atau  $= 1,77 \times 10^{-8} \Omega.m$
- b. Untuk aluminium,  $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$  atau  $= 2,83 \times 10^{-8} \Omega.m$

---

<sup>4</sup> Cekdin, Cekmas. 2013. Transmisi Daya Listrik. Yogyakarta : Andi

Konduktor pilin 3 strand menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan strand terkonsentrasi menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 2%.

Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari formula berikut ini :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots\dots\dots(2.3)^4$$

Dimana :

- R<sub>1</sub> = resistansi penghantar pada suhu t<sub>1</sub> (temperatur sebelum operasi konduktor)
- R<sub>2</sub> = resistansi penghantar pada suhu t<sub>12</sub> (temperatur operasi konduktor)
- t<sub>1</sub> = temperatur awal ( °C)
- t<sub>2</sub> = temperarur akhir (°C)
- T = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan komduktivitas 97,3%

T = 228 untuk alluminium dengan konduktivitas 61%

### 2.7.2 Induktansi Saluran

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4

$$L = \{ 0,5 + 4,6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \} \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots(2.4)^{12}$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada

<sup>4</sup> Ibid

<sup>12</sup> Zuhail, 1995. Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya. Hal 152

persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Induktansi dihitung dengan konsep *Geometric Means Radius* (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature.

Pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar. Untuk menghitung nilai luas penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.6)$$

**2.7.3 Reaktansi Saluran**

Jika induktansi dalam satuan Henry dikalikan dengan  $2 \cdot \pi \cdot f$  ( frekuensi dalam satuan Hz ), maka hasilnya dikenal sebagai reaktansi induktif yang diukur dalam satuan ohm. Jadi besarnya nilai satuan reaktansi induktif saluran:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.7)^3$$

Dimana :

- $X_L$  = Reaktansi induktif saluran
- $L$  = Induktansi saluran ( H)
- $f$  = Frekuensi ( Hz)

**2.7.4 Impedansi Saluran**

Impedansi Saluran Impedansi suatu saluran distribusi dapat kita tentukan dengan persamaan dasar sebagai berikut :

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot \theta \dots\dots\dots(2.7)^9$$

Dimana :

- $Z_L$  = Impedansi Saluran

<sup>3</sup> B.I Theraja. Worked Examples in Electrical Technology, Techouse.1983. Hal 261

<sup>9</sup> T.S. Hutaaruk, Transmisi Daya Listrik, P.T Gelora Aksara Pratama. 1996. Hal.61

R = Resistansi Saluran

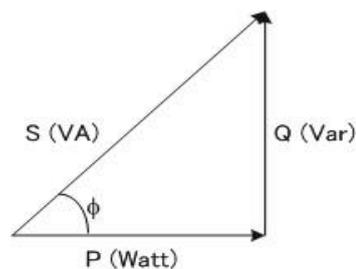
$X_L$  = Reaktansi Induktif

## 2.8 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Dalam sistem listrik AC atau arus bolak-balik ada tiga jenis daya yang dikenal dalam segitiga daya, yaitu :

### 2.8.1 Segitiga daya

Dari bermacam daya maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultannya adalah daya semu.



Gambar 2.7 Segitiga daya

### 2.8.2 Daya Semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

$$\text{Untuk 1 fasa : } S = V \times I \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \dots\dots\dots (2.9)^7$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

$V_{L-L}$  = Tegangan antar saluran (Volt)

$I_L$  = Arus saluran (Ampere)

<sup>7</sup> Kadaffi, Muhammar. 2013. *Perencanaan Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Pusat Pengembangan Bahan Ajar

### 2.8.3 Daya Aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk 1 fasa : } P = V \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$V_{L-L}$  = Tegangan antar saluran (Volt)

$I_L$  = Arus saluran (Ampere)

$\cos \emptyset$  = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

### 2.8.4 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.12)^5$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.13)^5$$

Dimana :

$Q$  = Daya reaktif (VAR)

$V_{L-L}$  = Tegangan antar saluran (Volt)

$I_L$  = Arus saluran (Ampere)

$\sin \emptyset$  = Faktor Daya (tergantung nilai  $\emptyset$ )

---

<sup>5</sup> Gonen, Turan. 2008. *Electrical Power Distribution System Engineering Second Edition*. London : CRC Press

### 2.8.5 Faktor beban (*load factor*)

Faktor beban / *Load Factor* adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata-rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt ampere, ampere, dan sebagainya, tetapi satuan dari keduanya harus sama. Faktor beban dapat dihitung untuk periode tertentu, seperti per harian, bulanan, ataupun tahunan.

Beban puncak yang dimaksud disini adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu (*demand maksimum*). Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\text{Faktor Beban (LF)} = \frac{\text{Beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{Beban puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots\dots (2.14)$$

### 2.8.6 Faktor rugi - rugi beban (*losses load factor*)<sup>1</sup>

Faktor rugi-rugi merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Definisinya merupakan perbandingan dari jumlah susut energi total pada periode tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada periode tersebut. Nilai faktor kerugian mendekati nilai faktor beban.

Oleh karena faktor kehilangan tidak dapat ditentukan secara langsung dari faktor beban. Alasannya adalah bahwa faktor kerugian ditentukan dari kerugian sebagai fungsi waktu yang pada gilirannya sebanding dengan fungsi waktu dari beban kuadrat.

Namun *Buller* dan *Woodrow* mengembangkan rumus perkiraan untuk menghubungkan faktor kehilangan dengan faktor beban sebagai :

$$\text{LLF} = 0,3 (L_f) + 0,7 (L_f)^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$L_f$  = Faktor Beban

LLF = Faktor Rugi Beban

---

<sup>1</sup> Arismunandar, Artono. 2004. Teknik Tenaga Listrik Jilid II, Jakarta : PT Pradnya Paramit.

### 2.8.7 Susut daya

Dalam suatu saluran distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar susut daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampau berkurang. Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator.

Dari penjelasan diatas, maka penjelasan diatas, maka besar susut daya pada saluran tiga fasa :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \dots\dots\dots(2.16)^{17}$$

Dimana :

I = Arus

R = Resistansi Saluran

L = Panjang Saluran

LLF = Nilai Faktor *Losses*

Jika besar susut daya sudah diperoleh maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_Z \dots\dots\dots(2.17)^{17}$$

Maka besar nilai persentasi (%) susut daya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_{Totalrugi}}{P} \times 100 \dots\dots\dots(2.18)^{17}$$

## 2.9 Electrical Transient and Analysis Program (ETAP)<sup>8</sup>

*Power Station* adalah *software* untuk *power sistem* yang bekerja berdasarkan *plant (project)*. Setiap *plant* harus menyediakan *modelling* peralatan dan alat – alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan

<sup>17</sup> Anonim. <https://rq2k.wordpress.com/losses/>. Diakses pada tanggal 6 Juni 2022 pukul 20:53 WIB

<sup>8</sup> L Multa and R.P. Aridani, “Modul Pelatihan ETAP”. Modul Pelatih. ETAP, 20 Stevenson William D. 2020. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : Erlangga.

dilakukan. Misalnya generator, data motor, data kabel dan lain - lain. Sebuah *plant* terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektris yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan *data base* untuk keperluan itu. ETAP *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu<sup>15</sup>.

Etap merupakan software yang digunakan untuk melakukan desain/perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri atau Wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan. Seorang *electrical power engineer* wajib untuk bisa memakai software etap mulai dari mendisain *Single Line Diagram* (SLD) sampai menganalisa sistem secara keseluruhan.

Berikut ini hal yang ada di dalam ETAP 19.0.1 :

1. *Single Line Diagram*
2. *Load Flow Analysis*
3. *Optimal Capacitor Placement*
4. *Starting motor*
5. *Short Circuit Analysis*
6. *Koordinasi Proteksi*
7. *Transient Stability Analysis*
8. *Unbalance Load*

Etap hanyalah alat bantu untuk mempermudah dalam membantu menyelesaikan masalah ketenagalistrikan, yang dapat dijadikan rujukan dalam mengambil keputusan. Untuk itu seorang *electrical engineering* harus

---

<sup>15</sup> Saadah Ayati dkk. *Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Untuk Pembagian Beban Penyulang Sahang 1 dan Raya 17 PT PLN (Persero) ULP Siantan*

sudah bisa dan paham akan semua materi di atas terlebih dahulu sehingga diharapkan mempunyai kemampuan penguasaan materi dan penguasaan software.

### 2.9.1 Load Flow Analysis<sup>18</sup>

Percobaan *load flow* atau aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban.

Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Impedansi di saluran transmisi.

Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.

2. Tipe beban yang tersambung jalur

Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi P.F. sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

---

<sup>18</sup> Novikaginanto. 2012. <https://novikaginanto.wordpress.com/2012/03/24/etap-electric-transient-analysis-program/>. Diakses pada tanggal 7 juni 2022 pukul 10 : 36 WIB

## 2.10 Drop Tegangan<sup>11</sup>

Panjang sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan (*Voltage Drop*). Drop tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (*sending end*) dan tegangan pada sisi terima (*receiving end*).

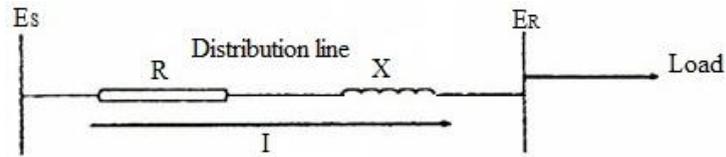
Dengan semakin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada pada sisi terima, Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran transmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perancangan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Berdasarkan dari standar SPLN No 1 tahun 1995, dimana variasi tegangan pelayanan sebagai akibat rugi tegangan adalah maksimal sebesar +5% dan minimal 10% pada sisi pelayanan. Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Jika karakteristik beban resistansi (R) dan reaktansi (X) dari saluran distribusi diketahui dan juga power faktor ( $\cos \phi$ ) beban diketahui maka dapat langsung dihitung *Voltage Drop*-nya.

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa beban pada saluran distribusi merupakan beban R (resistif) dan X (reaktif). Contoh beban ini adalah motor yang bersifat reaktif yang mengakibatkan arus lagging terhadap tegangan.

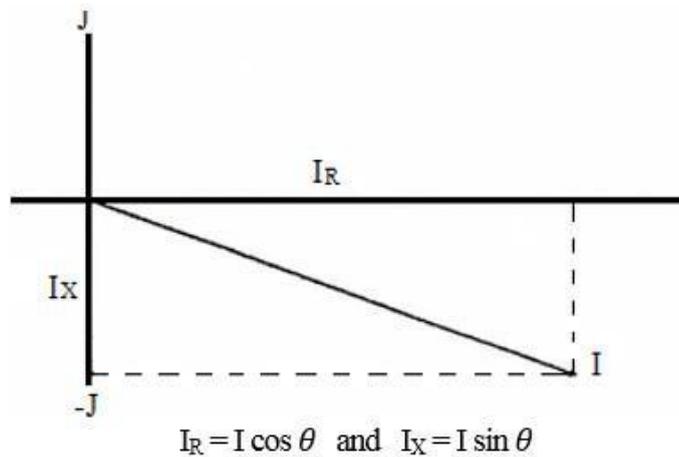
---

<sup>11</sup> William D, Stevenson, Jr. 1994. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Hal 28



Gambar 2.8 Voltage drop pada saluran distribusi.

Penurunan tegangan sama dengan  $E_S - E_R$ . Jika diproyeksikan pada sumbu axis  $E_R$  dapat dilihat pada gambar bahwa penurunan tegangan hampir sama dengan  $I R \cos \theta + I X \sin \theta$  dan komponen penurunan tegangan di luar fasa ( $-j I X \cos \theta$  dan  $j I R \sin \theta$ ) tidak mempengaruhi hasil totalnya. Untuk alasan ini, persamaan berikut ini berlaku untuk hampir seluruh penggunaan:



Gambar 2.9. Hubungan fasa dengan beban induktif.

Formula ini memberikan penurunan tegangan pada satu konduktor, *line to neutral*. Satu fasa penurunan tegangan adalah 2 kali nilai persamaan di atas. Tiga fasa *line to line* penurunan tegangan adalah  $\sqrt{3}$  kali dari nilai persamaan di atas. Dengan demikian persamaan untuk penurunan tegangan 3 fasa menjadi sebagai berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos \phi + X \sin \phi) \dots \dots \dots (2.19)^{13}$$

<sup>13</sup> Hadisusanto, Feri. *Analisa Penurunan Tegangan (Voltage Drop) dan Rugi – Rugi (Losses) Penyulang Menggunakan ETAP di Gardu Induk Bandung Selatan*.

Besar presentasi drop tegangan pada saluran transmisi dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \Delta V / V \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

$\Delta V$  = Drop tegangan (Volt)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

$X$  = Reaktansi saluran ( $\Omega$ )

$I$  = Arus beban (A)

$l$  = Panjang hantaran tegangan menengah (km)

SPLN No 1 tahun 1995, dimana variasi tegangan pelayanan sebagai akibat rugi tegangan adalah maksimal sebesar +5% dan minimal 10% pada sisi pelayanan tegangan nominalnya. Salah satu penyebab adanya drop tegangan sendiri adalah jauhnya sistem pentransmision tenaga listrik ke pelanggan khusus yang jauh dari pusat - pusat konsumsi tenaga listrik atau Gardu Induk (GI). Jarak pentransmision bisa mencapai ratusan kms agar pelanggan dapat menikmati listrik walaupun menimbulkan drop tegangan ujung yang buruk. Titik drop tegangan yang buruk adalah titik dimana drop tegangannya dibawah standar PLN atau tegangan nya dibawah 18 kV dan tegangan yang baik berada pada range standart PLN antara 18 kV sampai dengan 21 kV yang dapat diukur tegangannya per *section* setiap penyulang.