

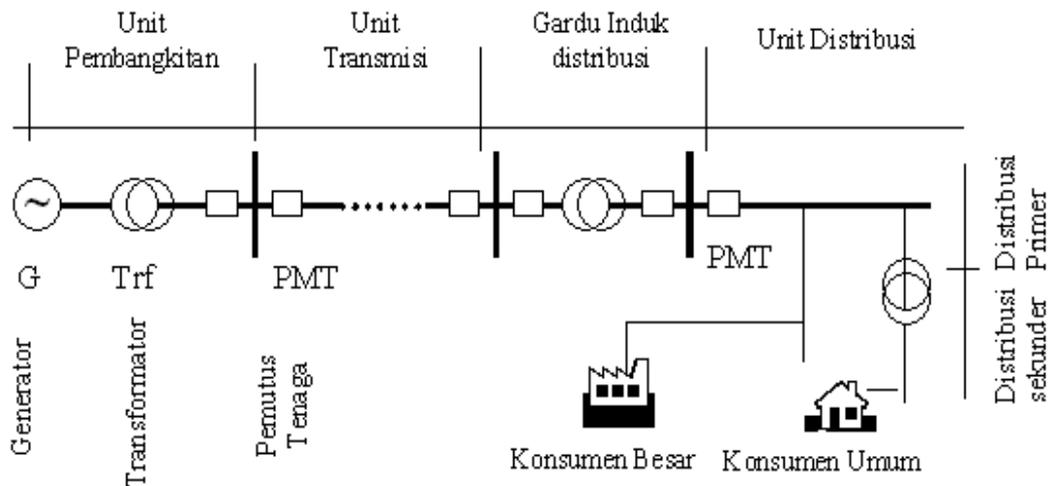
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 3 komponen utama, yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Ketiga bagian komponen utama tersebut bekerja dalam sebuah rangkaian sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik yang berasal dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Pada umumnya pusat-pusat pembangkit terletak jauh dari konsumen atau pusat beban.

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban dapat di gambarkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 *Single Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik

Berikut ini penjelasan terkait komponen-komponen utama dari rangkaian sistem tenaga listrik secara umum:

2.1.1 Pusat pembangkit listrik (*Power Plant*)

Pada bagian pusat pembangkit listrik ini terdapat sebuah turbin yang berfungsi sebagai penggerak awal (*Prime Mover*) serta generator yang akan mengubah

tenaga turbin menjadi tenaga listrik. Biasanya terdapat gardu induk pada pusat pembangkit listrik. Beberapa peralatan utama yang biasanya ada di gardu induk, antara lain seperti transformer, peralatan pengaman, dan peralatan pengatur. Secara umum, pusat pembangkit listrik dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pembangkit *hidro* dan pembangkit *thermal*.

Pembangkit *hidro* merupakan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air). Lalu, pembangkit *thermal* terdiri dari PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap).

2.1.2 Saluran transmisi tenaga listrik

Saluran transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik yang berasal dari pusat pembangkit listrik menuju sistem saluran distribusi listrik sebelum nantinya disalurkan ke pengguna listrik.

2.1.3 Sistem saluran distribusi

Sistem saluran distribusi berfungsi untuk menyalurkan listrik ke beberapa tempat. Sistem saluran distribusi terdiri dari gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV) yang berupa kabel bawah tanah ataupun saluran udara, saluran tegangan rendah (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan (panel pengatur tegangan menengah dan panel pengatur tegangan rendah), dan trafo.^[1]

2.2 Saluran Transmisi

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari suatu tempat ke tempat lain seperti dari pembangkitan ke gardu induk. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan energi listrik. Pemilihan dan penggunaan sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya atau energi listrik yang akan disalurkan dari berbagai pembangkit ke pusat beban

¹ Pratama, Dio Adya, dkk. Jurnal Online. *Economic and Emission Dispatch pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL 2015 – 2024 Menggunakan Modified Artificial Bee Colony Algorithm*. Vol. 5 No. 2 Hal 1-2. 2016.

dengan jarak penyaluran yang cukup jauh. Sistem transmisi energi listrik menyalurkan daya listrik dengan tegangan tinggi dan arus yang relatif kecil yang bertujuan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan.

Dilihat dari jenisnya dikenal dua macam saluran transmisi yaitu:

- a. Saluran udara (*over head line*) yang menyalurkan transmisi melalui kawat-kawat yang di gantungkan pada tiang-tiang transmisi dengan perantara islator.
- b. Saluran bawah tanah (*underground*) yang menyalurkan tenaga listrik melalui kabel bawah tanah.^[2]

Berdasarkan kapasitas tegangan yang disalurkan Saluran Transmisi terdiri dari:

1. Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 200 kV - 500 kV

Di Indonesia umumnya saluran udara yang digunakan adalah pada kapasitas 500 kV. Hal ini bertujuan untuk menghindari jatuh tegangan yang besar dari kawat penghantar, sehingga diharapkan akan memperoleh hasil yang efektif, efisien serta ekonomis namun, dalam pembangunan, konstruksi SUTET memerlukan menara yang tinggi dan ukuran yang lebar, lahan yang luas, sehingga membutuhkan investasi anggaran yang besar.

2. Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 30 kV – 150 kV

Saluran udara tegangan tinggi bekerja pada tegangan 30 kV sampai dengan 150 kV, konfigurasi jaringan menggunakan jalur kawat tunggal maupun ganda, dimana 1 jalur terdiri dari 3 kawat fasa. Kelebihan SUTT yaitu konstruksinya yang lebih kecil dan lebih murah namun *losses* lebih besar dan jatuh tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan SUTET.

3. Saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) 30 kV- 150 kV

Saluran Kabel Tegangan Tinggi adalah saluran daya/energi listrik dengan menggunakan kabel dengan isolasi *PVC* yang ditimbun ditanah. Pemasangan seperti ini biasanya berada didalam kota, dan tidak terpengaruh oleh cuaca buruk

² Modul Bahan Ajar SMK Kelas XI SM 3 Kurikulum 2013. Op.cit. *Transmisi Tenaga Listrik*. Hal 28. <https://bsd.pendidikan.id/> diakses pada 25 April 2020

tetapi memiliki kekurangan yaitu biaya investasi yang mahal serta sulitnya dalam menentukan titik gangguan dan perbaikannya.^[3]

Berikut ini adalah beberapa pertimbangan transmisi menggunakan kabel bawah tanah:

- a. Di dalam kota tidak memungkinkan pembangunan dan pemasangan SUTT karena terbatasnya lahan untuk membangun Menara atau tower.
- b. Padat bangunan dan terdapat gedung perkantoran yang tinggi (bangunan bertingkat).
- c. Lebih estetik, tidak mengganggu pemandangan, serta keamanan lingkungan.

Di Indonesia standar tegangan transmisi adalah 70 kV, 150 kV, 275 kV, dan 500 kV. Klasifikasi menurut tegangan ini belum nyata. Namun, di negara-negara maju dalam bidang kelistrikan seperti USA, Rusia, dan Kanada, tegangan transmisi mencapai 1000 kV, maka disana klasifikasi berdasarkan tegangan adalah :

1. Tegangan tinggi (*high voltage*) 138 kV.
2. Tegangan extra tinggi (*extra high voltage*) 220 sampai 765 kV.
3. Tegangan ultra tinggi (*ultra high voltage*) diatas 765 kV.

Penentuan deret tegangan diatas disesuaikan dengan rekomendasi *International Electrotechnical Commission (IEC)*.^[4]

2.2.1 Kategori saluran transmisi berdasarkan arus listrik

Dalam dunia kelistrikan, dikenal dua kategori arus listrik, yaitu arus bolak-balik (*Alternating Current*) dan arus searah (*Direct Current*).

2.2.1.1 Saluran transmisi AC (*Alternating Current*)

Dalam sistem AC, kenaikan dan penurunan tegangan sangat mudah dilakukan dengan bantuan transformator dan juga memiliki dua sistem, sistem fasa tunggal dan sistem tiga fasa sehingga saluran transmisi AC memiliki keuntungan lainnya:

1. Mudah pembangkitannya.

³ Irawan, Roy Fachri. Tugas Akhir. *Analisis Medan Magnetik di Saluran Transmisi Menggunakan Finite Element Method*. 2016. Bab II Hal 3-4.

⁴ Ir.Sulasno, dkk., *Studi Analisis Pemilihan Tegangan Optimal Untuk Saluran Transmisi Daya Listrik*. 2006. op.cit, Hal. 2

2. Mudah mengubah tegangannya.
3. Dapat menghasilkan medan magnet putar.
4. Sistem tiga fasa, daya yang dialirkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan.^[5]

2.2.1.2 Saluran transmisi DC (*Direct Current*)

Dalam saluran transmisi DC, daya guna atau efisiensinya tinggi karena mempunyai faktor daya = 1, tidak memiliki masalah terhadap stabilitas sistem, sehingga dimungkinkan untuk penyaluran jarak jauh dan memiliki isolasi yang sederhana, sistem saluran transmisi DC dianggap ekonomis bila jarak saluran udara lebih jauh dari 640 km atau untuk saluran bawah tanah lebih panjang dari 50 km. Namun, persoalan ekonominya masih harus diperhitungkan mengingat harga peralatan pengubah arus dari AC ke DC sangat mahal.^[6]

Peningkatan tegangan pada saluran transmisi mempunyai nilai ekonomis yang sangat penting, keuntungannya sebagai berikut:

1. Penyaluran daya yang sama arus yang dialirkan menjadi berkurang, ini berarti penggunaan bahan tembaga pada kawat penghantar akan berkurang dengan bertambahnya tegangan transmisi.
2. Luas penampang konduktor yang di gunakan berkurang karena itu struktur penyangga konduktor lebih kecil.
3. Arus yang mengalir di saluran transmisi menjadi lebih kecil maka jatuh tegangan menjadi lebih kecil.^[7]

Peninggian tegangan pada aliran transmisi harus dibatasi karena dapat menimbulkan beberapa masalah antara lain :

1. Tegangan tinggi dapat menimbulkan korona pada kawat transmisi dimana korona ini pun akan menimbulkan rugi-rugi daya dan dapat menyebabkan gangguan terhadap komunikasi radio.
2. Jika tegangan semakin tinggi, maka peralatan transmisi dan gardu induk

⁵ Syamsuddin, Zalmadi, dkk. *Evaluasi Perencanaan Kelistrikan*. Jurnal Online. Vol 6 No 1 Januari-Mei 2016. Hal 29

⁶ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 4

⁷ Mohd. Dipanegara Lubis. *Analisis Kerugian Daya Transmisi 150 kV Pada Saluran Transmisi Binjai – Pangkalan Berandan*. Skripsi. 2015. Hal 13

membutuhkan isolasi yang andal agar peralatan tersebut mampu memikul tegangan tinggi yang mengalir. Hal ini mengakibatkan kenaikan biaya investasi.

3. Saat terjadi pemutusan dan penutupan (*switching*) akan timbul tegangan lebih surja hubung sehingga peralatan sistem tenaga listrik harus dirancang untuk mampu memikul tegangan lebih tersebut. Hal ini mengakibatkan kenaikan biaya operasional.
4. Jika tegangan transmisi dinaikkan, maka menara transmisi harus semakin tinggi untuk menjamin keselamatan makhluk hidup di sekitar transmisi, peninggian menara ini akan mengakibatkan transmisi rentan tersambar petir, sambaran petir ini akan menimbulkan tegangan lebih surja petir pada sistem.
5. Peralatan sistem perlu dilengkapi dengan proteksi untuk menghindari kerusakan akibat adanya tegangan lebih surja hubung dan surja petir. Penambahan peralatan proteksi ini akan menambah biaya investasi dan biaya perawatan.^[8]

2.2.2 Komponen utama saluran transmisi

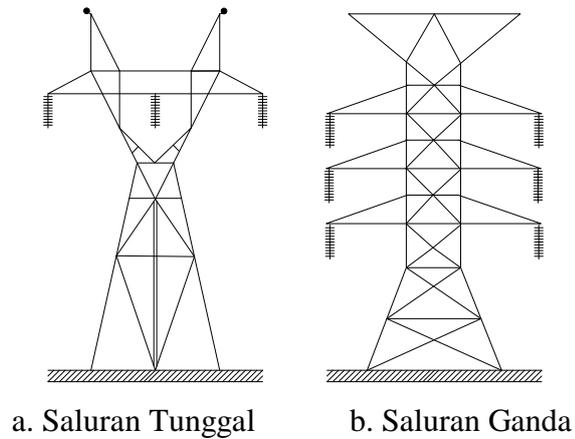
Komponen-komponen utama dari saluran transmisi udara adalah sebagai berikut:

2.2.2.1 Menara atau tiang transmisi

Menara transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, ataupun tiang beton. Menara baja dibagi sesuai dengan fungsinya, yaitu menara dukung, menara sudut, menara ujung, menara percabangan, dan menara transposisi.^[9]

⁸ Mohd. Dipanegara Lubis. *Ibid.* Hal 14

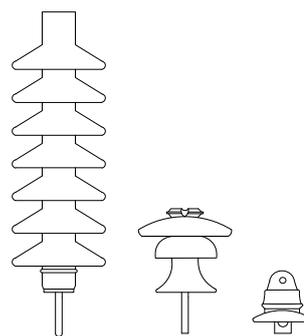
⁹ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 6



Gambar 2.2 Menara Transmisi

2.2.2.2 Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselen atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator yaitu: isolator jenis pasak, isolator jenis batang panjang (*long rod*), isolator jenis pos saluran, dan isolator gantung. Pada umumnya untuk transmisi tegangan tinggi digunakan isolator gantung karena dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan, sedangkan untuk isolator batang panjang dipakai pada daerah dengan kondisi debu yang cukup tinggi, dan untuk dua jenis yang lain dipakai pada saluran transmisi yang relatif rendah, kurang dari 22-33 kV.^[10] Jenis-jenis isolator dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Jenis-jenis isolator porselen: (a) pasak, (b) pos saluran, dan (c) gantung.

¹⁰ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 6



2.2.2.3 Kawat penghantar

Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT), jarak antara menara/tiang dengan yang lain terletak berjauhan sehingga diperlukan penghantar dengan kemampuan yang lebih baik dalam menyalurkan energi listrik. Jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%), atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).^[11] Berikut ini adalah jenis-jenis kawat penghantar Aluminium:

- a. AAC = *All-Aluminium Conductor*, adalah kawat penghantar/konduktor saluran transmisi yang seluruhnya terbuat dari aluminium.



Gambar 2.4 Kawat Konduktor Tipe AAC

- b. AAAC = *All-Aluminium-Alloy Conductor*, adalah kawat penghantar/konduktor saluran transmisi yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium. Biasanya AAAC memiliki minyak pelumas di tiap lapisan kawatnya. Suhu titik jenuh dari minyak pelumasnya tidak kurang dari 120°C.



Gambar 2.5 Kawat Konduktor Tipe A3C

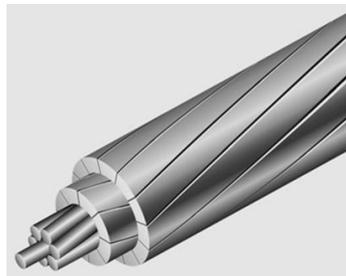
¹¹ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Ibid.* Hal 7

- c. ACSR = *All Conductor Steel-Reinforced*, adalah kawat penghantar/konduktor aluminium yang berinti baja sehingga mempunyai kekuatan yang tinggi.



Gambar 2.6 Kawat Konduktor Tipe ACSR

- d. AACSR = *Aluminium Alloy Conductor Steel-Reinforced Conductors*, adalah konduktor yang terbuat dari campuran aluminium yang diperkuat dengan baja. Konduktor ini memiliki kombinasi baja dan campuran aluminium. Konduktor AACSR memiliki kekuatan 40-60% lebih besar daripada ACSR, dengan hanya 8-10% penurunan konduktivitas.



Gambar 2.7 Kawat Konduktor Tipe AACSR

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi dimana jarak antara dua tiang atau menara jauh, dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.^[12]

¹² Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Ibid.* Hal 8

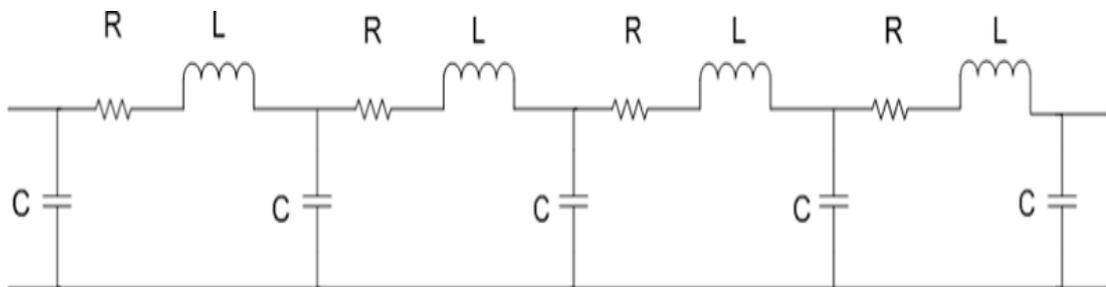


2.2.2.4 Kawat tanah

Kawat tanah atau *Ground Wires* adalah pelindung kawat fasa atau penghantar dari gangguan sambaran petir sehingga disebut juga sebagai kawat pelindung (*shield wires*). Pada umumnya kawat yang dipakai adalah kawat baja (*steel wires*) yang berukuran lebih kecil tetapi terkadang juga memakai kawat ACSR sebagai kawat tanah.¹³

2.2.3 Model saluran transmisi

Tidak seperti generator, motor, atau transformator, saluran transmisi secara fisik mempunyai panjang yang terbentang sejauh puluhan atau ratusan kilometer. Sebagai akibatnya, resistansi, induktansi, dan kapasitansi yang berkaitan dengan saluran transmisi juga terdistribusi sepanjang saluran tersebut. Elemen seri dan paralel yang terdistribusi dari saluran transmisi membuatnya lebih sulit dimodelkan dari pada motor dan transformator. Distribusi tersebut mungkin dapat didekatkan dengan menggunakan resistor, induktor, dan kapasitor sebagaimana yang tergambar pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Model Saluran Transmisi

Akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk menghitung tegangan dan arus yang mengalir melalui saluran transmisi akan sangat banyak karena harus melakukan perhitungan tegangan dan arus pada tiap-tiap simpul dari saluran transmisi.

¹³ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 9



2.3 Karakteristik dari Saluran Transmisi

Karakteristik dari Saluran Transmisi dimaksud dengan karakteristik listrik dari saluran transmisi adalah konstanta-konstanta saluran yaitu: induktansi (L), konduktansi (G), kapasitansi (C), dan Tahanan (R).

2.3.1 Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah salah satu penyebab terpenting dari rugi daya (*power loss*) pada saluran transmisi. Nilai resistansi saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor dan temperatur.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

R = Resistan arus searah (Ωm)

ρ = resistivitasnya (Ω)

A = Luas penampang (m^2)

l = Panjang konduktor (m)

Resistan (R) dari sebuah penghantar sebanding dengan panjang (l) dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya artinya semakin panjang kawat penghantarnya, semakin besar pula nilai hambatannya, semakin kecil luas penampang maka semakin besar pula nilai hambatannya. Tabel dibawah adalah tabel nilai koefisien dan temperatur dari resistansi.^[14]

Tabel 2.1 Koefisien Resistivitas dan Temperatur dari Resistansi^[15]

No.	Material	Resistivitas ρ saat 20° $\mu\Omega.cm$	Temperatur koefisien α saat 20°C. ($/^\circ C$)
1.	Aluminium	2,83	0,0039
2.	Brass	6,4-8,4	0,0020
3.	Copper hard-drawn	1,77	0,00382
4.	Copper anealed	1,72	0,00393

¹⁴Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. Loc.it. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 63



No.	Material	Resistivitas ρ saat 20° $\mu\Omega.cm$	Temperatur koefisien α saat 20°C. (/°C)
5.	Iron	10,0	0,0050
6.	Silver	1,59	0,0038
7.	Steel	12-88	0,001-0,005

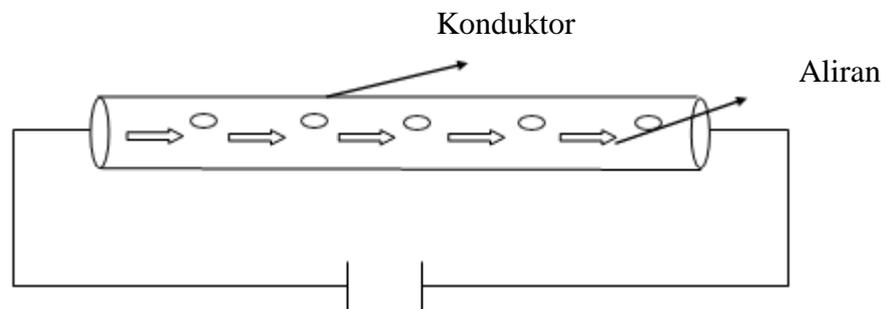
Dalam tabel yang tersedia sering kita jumpai penampang kawat diberikan dalam satuan “Circular Mil”, disingkat CM, defenisi dari CM ialah penampang kawat diberikan dalam mm^2 maka penampang kawat dalam CM adalah :

$$CM = 1973 \times (\text{penampang dalam } mm^2)$$

atau

$$mm^2 = 5,067 \times 10^{-4} \times (\text{penampang dalam CM})$$

Resistansi ini juga terdistribusi sepanjang saluran penghantar seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



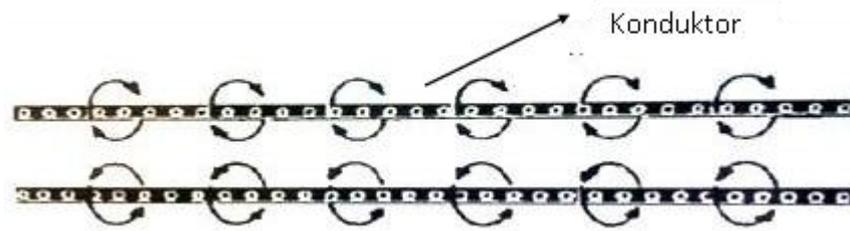
Gambar 2.9. Aliran resistansi pada kawat penghantar

2.3.2 Induktansi^[16]

Sewaktu arus mengalir pada kawat penghantar pada aliran transmisi, maka di sekeliling penghantar akan timbul garis gaya magnet dalam arah tertentu, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

¹⁵Mohd. Dipanegara Lubis. *Ibid.* Hal. 20

¹⁶Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 66-67



Gambar 2.10 Aliran induktansi pada kawat penghantar

Untuk mendefinisikan induktansi pada suatu rangkaian, tentukan tegangan induksi pada suatu rangkaian. Tegangan induksi pada suatu rangkaian dinyatakan sebagai:

$$e = \frac{d\Psi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan Ψ menyatakan garis-garis fluks pada rangkaian dalam satuan *Weber-Turns* (Wb-T). Jika garis-garis fluks ini berbanding lurus dengan arus, dan tegangan induksi adalah sebanding dengan kecepatan arus, jadi persamaan dasar kedua adalah :

$$e = L \frac{di(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan L adalah induksi rangkaian dalam satuan *Henry*, yang merupakan fungsi dari arus $i(t)$. Dalam suatu rangkaian magnetik, seperti rangkaian dengan permeabilitas konstan, garis-garis fluks sebanding dengan arus, begitu pula dengan induktansi, sehingga:

$$L = \frac{\Psi}{i(t)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau

$$\Psi = L i(t) \dots\dots\dots(2.5)$$

Jika arus bolak-balik, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

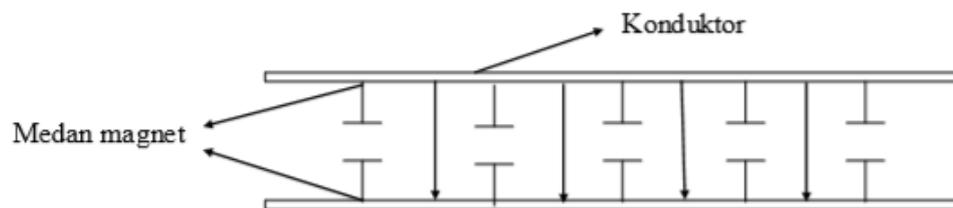
$$\Psi = LI \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan mengubah d/dt menjadi $j\omega$ dapat diperoleh tegangan jatuh arus bolak-balik dalam kondisi stabil sehingga sehubungan dengan garis- garis fluks ini adalah:

$$V = j\omega LI = j\omega \Psi \dots\dots\dots(2.7)$$

2.3.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah kemampuan dua konduktor yang dipisahkan oleh isolator untuk menyimpan muatan listrik pada tegangan yang diberikan diantara keduanya, kapasitansi saluran transmisi terjadi akibat beda potensial antara penghantar (konduktor).



Gambar 2.11 Aliran kapasitansi pada kawat penghantar

Saluran transmisi dengan panjang kurang dari 80 km, pengaruh kapasitansinya kecil dan biasanya dapat diabaikan. Untuk saluran-saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi menjadi bertambah penting.^[17]

2.3.4 Impedansi

Impedansi di bentuk oleh resistansi dan induktansi yang terbagi rata disepanjang saluran penghantar-penghantar berfasa tunggal atau di antara sebuah penghantar dan netral dari suatu saluran tiga fasa, membentuk admitansi paralel, meskipun resistansi, induktansi dan kapasitansi terbagi rata di sepanjang saluran, rangkaian ekuivalen dibentuk dari parameter-parameter yang dijadikan satu.^[18]

Perbandingan tegangan fasor dengan arus fasor di sebut impedansi (Z), jadi:

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : Z = Impedansi (Ohm)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

¹⁷ Mohd. Dipanegara Lubis. Skripsi. Analisis Kerugian Daya Saluran Transmisi 150 kV Binjai-Pangkalan Berandan. 2016. Hal. 26

¹⁸ Mohd. Dipanegara Lubis. Skripsi. Analisis Kerugian Daya Saluran Transmisi 150 kV Binjai-Pangkalan Berandan. 2016. Hal. 27



Bentuk umum dari suatu impedansi dalam bentuk polar adalah :

$$Z = R + jX_L \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana : Z = Impedansi (Ohm)

R = Resistansi (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

2.4 Arus listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik dari satu titik ke titik yang lain. Arus listrik terjadi karena adanya media penghantar antara dua titik yang mempunyai beda potensial. Semakin besar beda potensial listrik antara dua titik tersebut maka semakin besar pula arus listrik yang mengalir. Arus listrik yang mengalir dalam sebuah penghantar diakibatkan oleh pergerakan muatan negatif, disimbolkan dengan huruf I sehingga

$$I = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana : I = Arus listrik (Ampere)

dq = Perubahan muatan coloumb (Coloumb)

dt = Perubahan waktu (Second)

Satuan arus listrik adalah Ampere (A) yang diambil dari nama seorang fisikawan asal Perancis yaitu M. Ampere.

1. Arus listrik itu ibarat air yang mengalir, air mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah sedangkan arus listrik mengalir dari titik yang berpotensi tinggi ke titik yang berpotensi rendah.
2. Arus terbagi dua yaitu arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC).
3. Arus mengalir bolak balik terjadi karena pada tegangan sumber terjadi perubahan polaritas secara bolak-balik, bukan karena sifat arus listriknya.
4. Arus listrik yang masuk ke titik percabangan, maka arus tersebut akan terbagi, artinya jumlah arus yang mengalir pada semua percabangan adalah sama dengan arus sumber (sebelum memasuki titik percabangan), ini sesuai dengan hukum kirchoff.



5. Besarnya arus yang mengalir pada suatu rangkaian tergantung dari besarnya beda potensial dan tahanan total yang ada dalam rangkaian, ini sesuai dengan hukum ohm.

Adapun hubungan antara arus listrik dengan daya adalah :

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.11)$$

Persamaan di atas berlaku untuk satu fasa. Sedangkan untuk tiga fasa berlaku rumus

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana: I = Arus listrik (Ampere)
P = Daya listrik (Watt)
V = Tegangan listrik (Volt)
Cos φ = Faktor daya

2.5 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah Watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir persatuan waktu (joule/detik). Daya listrik seperti daya mekanik, dilambangkan oleh huruf P dalam persamaan listrik.

2.5.1 Daya aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $V \cdot I \cos \theta$ dengan simbol P, jadi :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan di atas untuk menghitung daya aktif satu fasa, sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.14)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.



2.5.2 Daya reaktif^[19]

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet, dari pembentukan medan magnet maka akan timbul fluks medan magnet, daya reaktif adalah daya imajiner yang menunjukkan adanya pergeseran grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC, dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $V \cdot I \cos \theta$ dengan simbol Q, jadi :

Untuk menghitung daya reaktif satu fasa

$$Q = V \cdot I \sin \theta \dots\dots\dots(2.15)$$

Sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

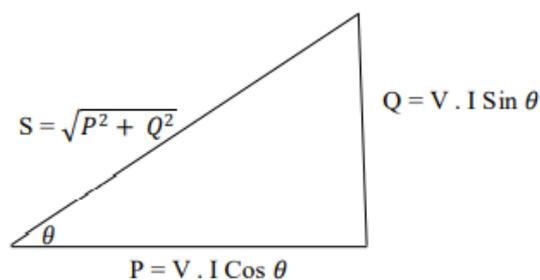
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.16)$$

2.5.3 Daya semu^[20]

Oleh karena Volt-Ampere sama dengan VI dan daya nyatanya adalah $VI \cos \theta$ dan Volt-Ampere reaktifnya $VI \sin \theta$ juga terjadi hubungan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dapat dilihat pada gambar segitiga daya pada gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 Segitiga Daya

2.5.4 Faktor daya

Faktor daya memiliki kaitan yang erat terhadap adanya rugi-rugi daya listrik, dimana faktor daya memiliki perbandingan daya aktif dan daya semu, sehingga dirumuskan dengan persamaan:

¹⁹ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 17

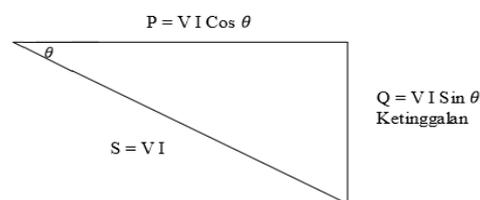
²⁰ *Ibid.*



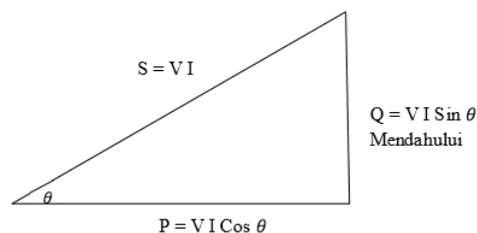
$$\text{Faktor Daya } \cos \theta = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.18)$$

Suatu rangkaian induktif dikatakan mempunyai faktor daya yang tertinggal, dan rangkaian kapasitif mempunyai faktor daya yang mendahului, dengan demikian istilah faktor daya yang ketinggalan dan mendahului berturut-turut menunjukkan apakah arus itu tertinggal dari atau mendahului tegangan terpasang.

Gambar di bawah menjelaskan bagaimana bentuk segitiga daya yang mempunyai beban induktif dan beban kapasitif.



Gambar 2.13 Segitiga daya yang bersifat induktif



Gambar 2.14 Segitiga daya yang bersifat kapasitif

Pengaruh nyata dari peningkatan *power* faktor pada suatu sirkuit adalah untuk mengurangi arus yang mengalir lewat sirkuit tersebut sehingga memperoleh beberapa keuntungan antara lain:

1. Mengurangi rugi tegangan.
2. Daya semu S lebih kecil untuk P yang tetap.

2.5.5 Rugi-rugi daya saluran

Dalam proses transmisi tenaga listrik sering kali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh komponen-komponen kawat penghantar itu sendiri, rugi-rugi daya yang terjadi akibat adanya daya yang hilang pada saluran, kerugian daya ini memengaruhi kualitas daya yang disalurkan ke sisi penerimaan, rugi-rugi daya yang besar menyebabkan kerugian finansial disisi perusahaan pengolah listrik.



Rugi-rugi pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi :

1. Rugi- rugi teknis

Rugi-rugi teknis muncul akibat sifat daya hantar material atau peralatan listrik itu sendiri yang sangat bergantung dari kualitas bahan dari material atau peralatan listrik tersebut, jika pada jaringan maka akan sangat bergantung pada konfigurasi pada jaringannya.

2. Rugi-rugi non teknis

Rugi-rugi non teknis muncul akibat adanya masalah pada penyaluran sistem tenaga listrik. Untuk mengantisipasi rugi non teknis yang sering terjadi seperti pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal maka PLN harus melakukan langkah seperti melakukan pemeriksaan ke setiap pelanggan dan melakukan tindakan pemutusan aliran listrik serta melaporkan kepihak berwajib jika terbukti adanya pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal.^[21]

Pemilihan jenis kabel merupakan faktor paling penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem transmisi daya listrik adapun besar rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dinyatakan dengan:

$$P_{\text{Loss}} = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots (2.19)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \text{Cos } \theta}$$

$$P_{\text{Loss}} = \frac{3 P^2 R}{(\sqrt{3} V)^2 \text{Cos}^2 \theta}$$

$$P_{\text{Loss}} = \frac{3 P^2 R}{3 V^2 \text{Cos}^2 \theta}$$

$$= \frac{I^2 R}{V^2 \text{Cos}^2 \theta} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana: P_{Loss} = Rugi-rugi daya (Watt)

I = Besar arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

$\text{Cos } \theta$ = Faktor daya

²¹ Mohd. Dipanegara Lubis. Skripsi. Analisis Kerugian Daya Saluran Transmisi 150 kV Binjai-Pangkalan Berandan. 2016. Hal. 33



Untuk mencari persentase rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dicari dengan rumus:

$$\% \text{ rugi-rugi daya} = \frac{P_S - P_R}{P_R} \times 100 \% \quad \text{.....(2.21)}$$

2.6 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada awal pengirim dan tegangan pada ujung terima jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \% \quad \text{.....(2.22)}$$

Dimana: V_S = Tegangan pada pangkal pengiriman

V_R = Tegangan pada ujung penerima

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui kawat, tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I didalam penghantar semakin besar jika tahanan penghantar R semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban.^[22]

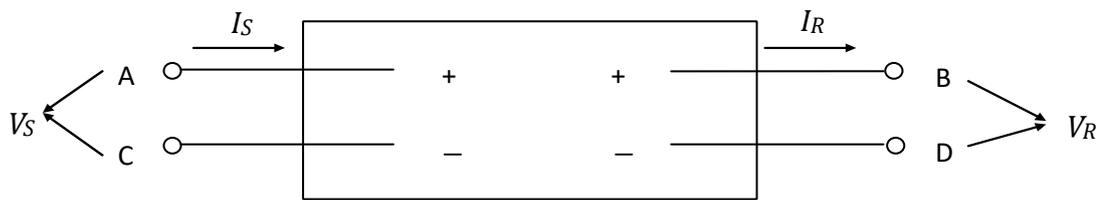
2.7 Rangkaian Katub Empat^[23]

Dalam banyak keperluan didalam teknik transmisi daya listrik, misalnya diagram-diagram lingkaran, perencanaan saluran transmisi dan lain-lain, perlu menyatakan konstanta-konstanta saluran transmisi ke dalam konstanta-konstanta umum saluran.

Saluran transmisi tersebut selalu dapat digambarkan sebagai kotak dengan dua jepitan masuk serta dua jepitan keluar dan karena memenuhi persyaratan dari katub empat, maka saluran transmisi dapat dinyatakan sebagai katub empat, sebagai mana terlihat pada gambar di bawah ini.

²² Artono Arismunandar dan Susumu Kuwahara. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. (Jakarta: Pradnya Paramita). 2004. Hal. 2.

²³ Mohd. Dipanegara Lubis. Skripsi. *Analisis Kerugian Daya Saluran Transmisi 150 kV Binjai-Pangkalan Berandan*. 2016. Hal. 35



Gambar 2.15 Rangkaian katub empat

A, B, C, D adalah konstanta konstanta umum dari rangkaian itu, jika jaringan bersifat linier maka teorema rangkaian dasar menyatakan hubungan antara tegangan pengirim dan tegangan penerima dan juga arus dapat saling dihubungkan melalui persamaan berikut:

$$V_S = AV_R - BI_R \dots\dots\dots (2.23)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \dots\dots\dots (2.24)$$

$$V_R = DV_S - BI_S \dots\dots\dots (2.25)$$

$$I_R = -CV_S + AI_S \dots\dots\dots (2.26)$$

- Dimana: V_S = Tegangan pada pangkal pengirim
 I_S = Arus pada pangkal pengiriman
 V_R = Tegangan pada ujung penerima
 I_R = Arus pada ujung penerima
A, B, C, D = Konstanta

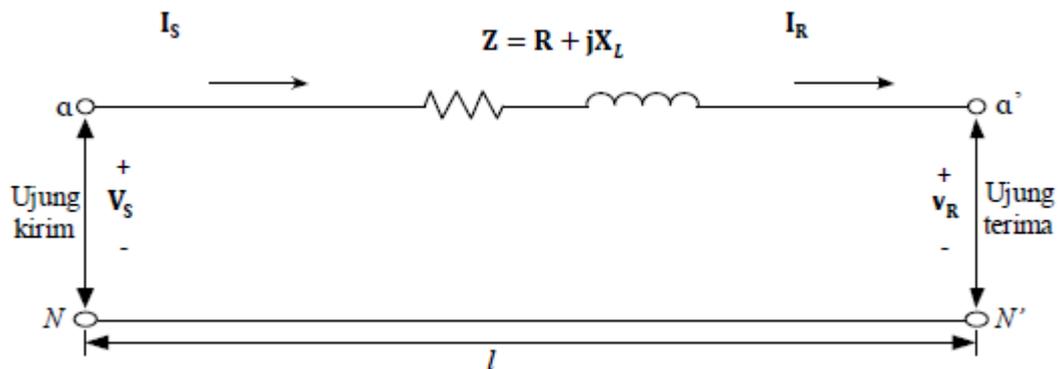
Konstanta A, B, C, D saluran transmisi jarak pendek yang telah ditetapkan:

$$\begin{aligned} A &= 1 & B &= Z \\ C &= 0 & D &= 1 \end{aligned}$$

Dimana konstanta A dan D mempunyai nilai = 1 tetapi tidak mempunyai dimensi, konstanta B mempunyai satuan Ohm dan konstanta C tidak memiliki nilai maupun dimensi. Konstanta- konstanta ini sering di sebut sebagai konstanta A, B, C, D, konstanta-konstanta ini diperkenalkan karena dapat menyederhanakan pekerjaan dengan persamaan-persamaan diatas. Saluran transmisi adalah salah satu contoh rangkaian katub empat yang linier yang sering dipresentasikan dengan model A, B, C, D.

2.8 Saluran Transmisi Jarak Pendek^[24]

Pada sebuah saluran transmisi jarak pendek kapasitansi bocor ke tanah biasanya diabaikan karena nilainya mendekati nol dan tidak memengaruhi perhitungan, kecuali tegangan kerja transmisi jarak pendek tersebut tinggi diatas 275 kV, tegangan yang tinggi dapat menyebabkan *corona effect* dan korona memperbesar kapasitansi sehingga kapasitansi bocor ke tanah tidak dapat diabaikan lagi. Gambar dibawah adalah gambar rangkaian ekuivalen transmisi jarak pendek yang mengabaikan kapasitansi bocor ke tanah.



Gambar 2.16 Rangkaian ekuivalen transmisi jarak pendek

Rangkaian ekuivalen saluran transmisi jarak pendek di atas, dimana I_S dan I_R merupakan arus pada ujung pengirim dan ujung penerima, sedangkan V_S dan V_R adalah tegangan saluran terhadap netral pada ujung pengirim dan ujung penerima.

Rangkaian itu dapat di selesaikan seperti halnya rangkaian AC seri yang sederhana. Tidak terdapat cabang paralel pada ujung-ujung pengiriman dan penerima, arus yang masuk di ujung kirim saluran akan sama besarnya dengan arus yang keluar di ujung terima saluran.

$$I_S = I_R$$

Oleh karena itu saluran transmisi jarak pendek dapat disederhanakan dengan membuat konstanta impedansi:

$$Z = R + jX_L$$

²⁴ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. *Transmisi Daya Listrik*. (Yogyakarta: Penerbit Andi). Hal 111

$$= zl$$

$$= r_l + jx_l (\Omega) \dots\dots\dots (2.27)$$

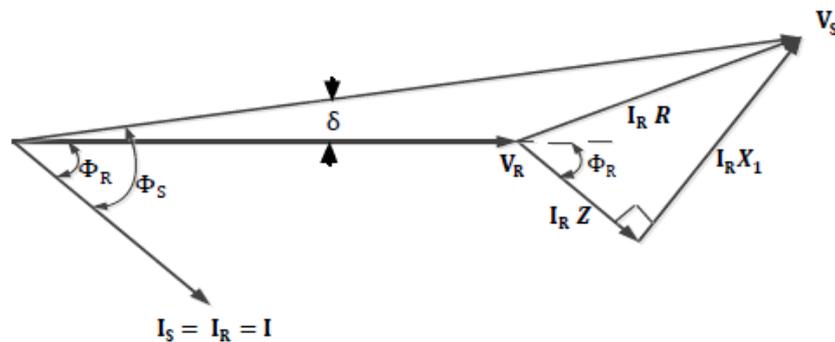
Dimana: Z = Impedansi seri total per fasa (Ohm).

Z_L = Impedansi seri penghantar (Ohm per satuan unit panjang).

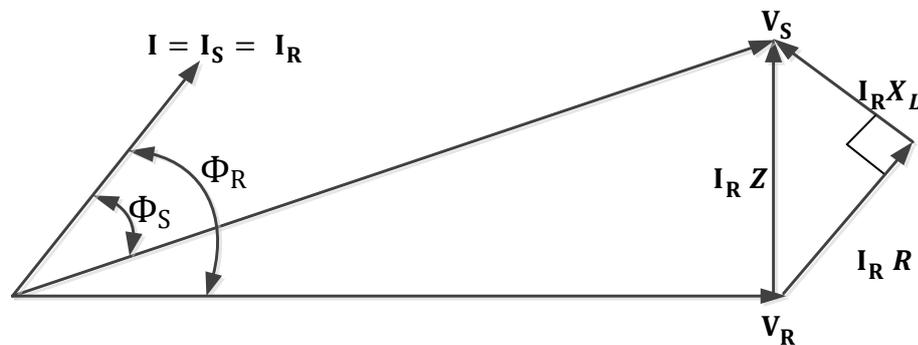
X_L = Reaktansi induktif total dari penghantar (Ohm).

x = Reaktansi induktif dari penghantar (Ohm per satuan panjang).

l = Panjang saluran.



Gambar 2.17 Diagram fasor transmisi jarak pendek yang terhubung pada beban induktif



Gambar 2.18 Diagram fasor transmisi jarak pendek yang terhubung pada beban kapasitif

Gambar di atas menunjukkan diagram vektor atau fasor pada sebuah saluran transmisi yang dihubungkan dengan beban induktif dan beban kapasitif. Dapat diamati dari gambar bahwa:

$$V_S = V_R + I_R Z \dots\dots\dots (2.28)$$

$$I_S = I_R = I \dots\dots\dots (2.29)$$



$$V_R = V_S - I_R Z \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana: V_S = Tegangan fasa (saluran ke netral) diujung pengirim

V_R = Tegangan fasa (saluran ke netral) diujung penerima

I_S = Arus fasa diujung pengirim

I_R = Arus fasa diujung penerima

Z = Impedansi seri total per fasa

2.9 ETAP 16.0.0

ETAP merupakan program analisis grafik transient kelistrikan yang dapat dijalankan dengan menggunakan program Microsoft® Windows® 2000, XP, Vista, 7, dan 8. ETAP merupakan alat analisis yang komprehensif untuk desain dan testing power sistem. Program ETAP dibuat oleh perusahaan *Operation Technology, Inc* (OTI) dari tahun 1983. ETAP versi 16.0.0 merupakan salah satu produk OTI. Tujuan program ETAP 16.6.0 dibuat adalah untuk memperoleh perhitungan dan analisis sistem tenaga pada sistem yang besar menggunakan komputer. ETAP mempunyai kemampuan untuk menghitung analisis:

1. *Load Flow Analysis*
2. *Short Circuit Analysis*
3. *Harmonic Analysis*
4. *Transient Stability Analysis*
5. *Relai Coordination*
6. *Optimal Power Flow Analysis*
7. *Reliability Analysis*
8. *DC Load Flow Analysis*
9. *DC Short Circuit Analysis*
10. *Battery Sizing Cable*
11. *Raceways Ground Grid*

ETAP memungkinkan penggunaanya dengan mudah untuk membuat dan mengedit *single line diagram* (SLD), sistem kabel bawah tanah, sistem kabel tiga



dimensi, dan grounding grid tiga dimensi. Program ini didesain dengan tiga konsep utama, yaitu :

1. Operasi Nyata Secara Virtual (*Virtual Reality Operation*)

Pengoperasian program ini menyerupai dan mendekati sistem kelistrikan yang ada pada kenyataan. Seperti ketika menutup dan atau membuka CB, menempatkan elemen yang rusak, mengganti status operasi motor dan lain sebagainya. ETAP versi 16.0.0 memasukan konsep-konsep baru untuk menentukan koordinasi peralatan pengaman secara langsung dari single line diagram.

2. Data Gabungan Total (*Total Integration Data*)

ETAP menggabungkan pemikiran elektrik, mekanika, dan yang berkaitan dengan listrik dari unsur yang terdapat pada system dalam database yang sama. Sebagai contoh: sebuah kabel, tidak hanya terdiri dari data peralatan listrik dan dimensi fisik, tetapi juga informasi yang mengindikasikan jalur yang dilalui.

3. Kesederhanaan dalam memasukkan data (*Simplicity in Data Entry*)

ETAP membuat alur dari data terperinci untuk setiap peralatan kelistrikan yang kadang hanya membutuhkan satu jenis pemasukan data. Data editor dapat mempercepat proses pemasukan data dengan permintaan data minimum untuk pembelajaran tertentu. Untuk mencapai tujuan ini, ETAP telah membangun struktur editor properti dengan cara yang paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisis atau desain.^[25] Gambar *toolbar* pada ETAP 16.0.0 disajikan pada gambar 2.23

^[25]Pramono, Tri Joko dkk. *Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah Dengan Menggunakan Simulasi Program ETAP*. Jurnal Energi & Kelistrikan, Vol.10, No.1, Juni 2018. hal.29-30



Gambar 2.19 Toolbar pada ETAP 16.0.0

Gambar 2.23 ETAP menyajikan beberapa fitur yang dapat mempermudah penggunaannya untuk menyelesaikan suatu masalah dalam bentuk single line diagram untuk berbagai bentuk analisis, seperti: hubung singkat, koordinasi relay proteksi, starting motor, transient stability, dan aliran daya. Elemen-elemen yang dibutuhkan untuk melakukan analisis tersebut terdapat dalam ETAP. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan.

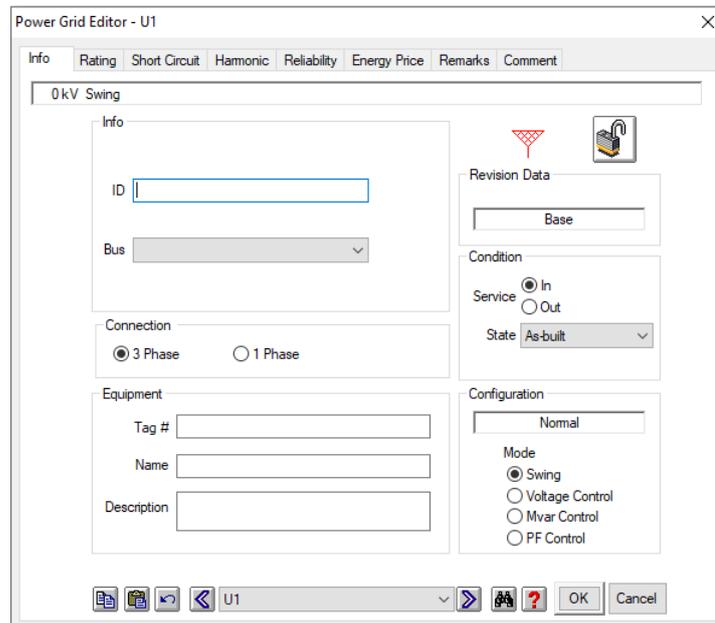
Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Dalam menganalisis jaringan terutama untuk mengetahui tegangan dan arus yang mengalir digunakan analisis load flow. Pada fitur analisis ini, dapat diketahui besar tegangan, arus daya dan rugi-rugi dari suatu jaringan yang disimulasikan dengan memasukkan data asli jaringan yang disimulasikan dalam bentuk single line diagram pada lembar kerja ETAP 16.0.0



Komponen yang biasa digunakan dalam menganalisis suatu jaringan pada ETAP adalah generator, high voltage circuit breaker, transformer, saluran transmisi, bus, beban static, dan/atau beban lump.

Berikut cara penggunaan ETAP untuk menganalisis jaringan dengan sistem load flow:

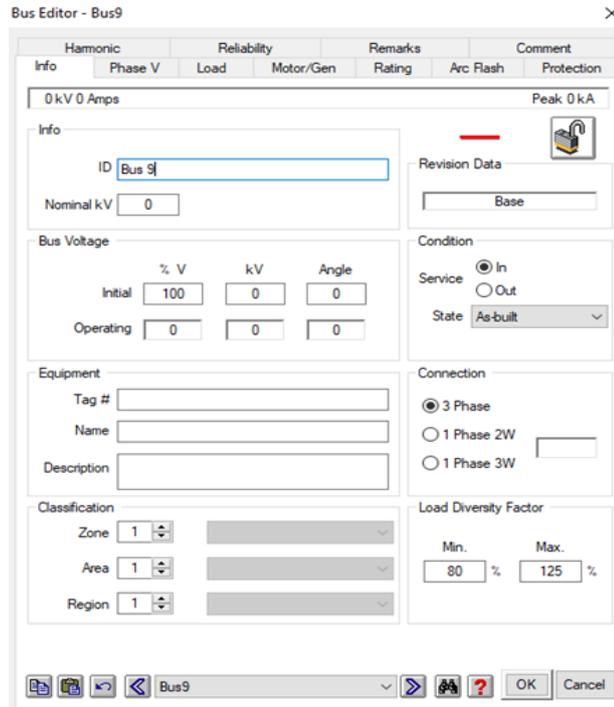
1. Jalankan aplikasi ETAP 16.0.0
2. Buat lembar kerja baru dengan memilih menu file kemudian memilih new project
3. Masukkan nama proyek untuk file kemudian pilih standar sistem metric
4. Klik ok
5. Membuat single line diagram pada lembar kerja ETAP yang pertama-tama dimulai dari sumber, transformer, CB, bus, saluran transmisi kemudian ke beban. Pembuatan single line diagram pada ETAP 16.0.0 berdasarkan single line diagram asli jaringan yang ingin dianalisis.
6. Memasukkan data dan parameter setiap elemen
 - a. Pengisian data untuk *power grid*
 - 1) Double klik simbol *power grid* pada lembar kerja ETAP 16.0.0;
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *grid*, sesuai dengan data dan pilih mode konfigurasi *swing*;
 - 3) Pilih jendela *rating*, masukkan nominal tegangan;
 - 4) Kemudian pilih jendela *short-circuit*, masukkan data hubung singkat *grid* sesuai dengan hasil pengukuran asli;
 - 5) Klik ok.



Gambar 2.20 Pengaturan *Power Grid* ETAP 16.0.0

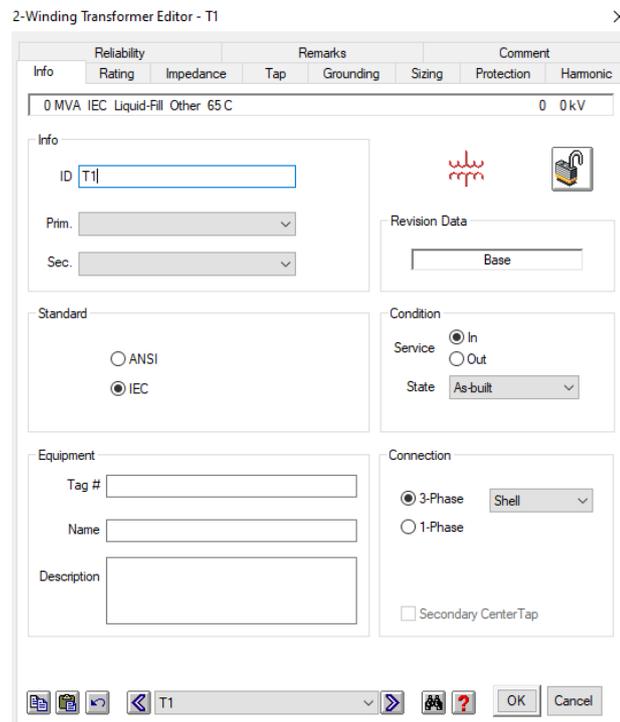
b. Pengisian data untuk *bus bar*

- 1) Double klik simbol *bus bar* pada lembar kerja ETAP 16.0.0;
- 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *bus*, sesuai dengan data;
- 3) Pilih jendela *info*, masukkan nominal tegangan;
- 4) Klik ok.

Gambar 2.21 Pengaturan *Bus Bar* ETAP 16.0.0

c. Pengisian data untuk transformator:

- 1) Double klik simbol transformator pada lembar kerja ETAP 16.0.0;
- 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID transformator;
- 3) Pilih jendela *rating*, masukkan *rating* daya dan tegangan primer serta tegangan sekundernya sesuai dengan data pada single line diagram;
- 4) Pilih jendela *Impedansi*, klik *Typical Z & X/R*;
- 5) Klik ok; *single line diagram*
- 6) Lakukan hal yang sama untuk semua transformator lainnya sesuai dengan data pada.



Gambar 2.22 Pengaturan Transformator ETAP 16.0.0

d. Pengisian data untuk *line transmission* :

- 1) *Double* klik simbol *line transmission* pada lembar kerja ETAP 16.0.0;
- 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *Line Transmission* dan panjang dari *Line Transmission*;
- 3) Pilih jendela *parameter*, pilih jenis penghantar pada menu *Library* sesuai dengan data pada *single line diagram*. Penghantar yang digunakan pada simulasi ini sesuai dengan SPLN;
- 4) Pilih jendel *configuration*, masukkan tinggi tiang listrik 9 meter dan spacing antar isolator sebesar 0,6 m;
- 5) Klik ok.



Transmission Line Editor - Line1

Protection	Sag & Tension	Ampacity	Reliability	Remarks	Comment
Info	Parameter	Configuration	Grouping	Earth	Impedance

Info

ID

From

To

Equipment

Tag #

Name

Description

Revision Data

Base

Condition

Service In
 Out

State

Connection

3 Phase
 1 Phase

Length

Length

Unit

Tolerance %

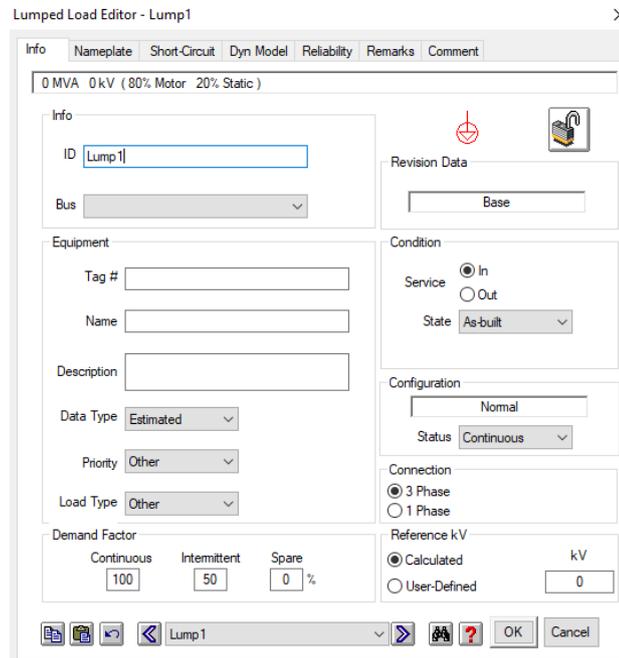
Line1

OK Cancel

Gambar 2.23 Pengaturan *Line Transmission* ETAP 16.0.0

e. Pengisian untuk beban Lump

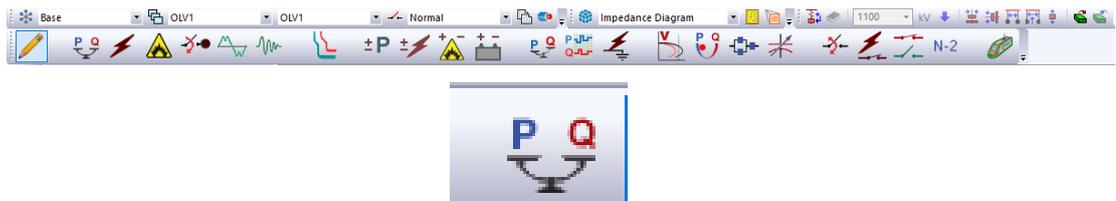
- 1) Double klik simbol *Lump Load* pada lembar kerja ETAP 16.0.0;
- 2) Pilih jendela *nameplate*, masukkan nilai pembebanannya sesuai dengan ID trafo distribusinya;
- 3) Klik Ok.

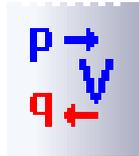
Gambar 2.24 Pengaturan *Lump Load* ETAP 16.0.0

2.9.1 Simulasi dengan menggunakan *load flow analysis*

Pada fitur analisis ini, dapat diketahui besar tegangan, arus daya, dan *losses* dari suatu jaringan yang disimulasikan dengan memasukkan data jaringan yang disimulasikan dalam bentuk single line diagram pada lembar kerja ETAP 16.0.0. Komponen yang biasa digunakan dalam menganalisis suatu jaringan pada ETAP adalah generator, *high volage circuit breaker*, transformator, *transmission line*, *bus bar*, dan *lump load*.

Untuk menganalisis jaringan dengan *load flow* di ETAP 16.0.0, dilakukan dengan mengklik *load flow analysis* terlebih dahulu dengan cara memilih *sub menu load flow analysis* (gambar 2.29) pada ETAP, lalu pilih *icon Run Load Flow* (gambar 2.30).

Gambar 2.25 Menu *Load Flow Analysis* ETAP 16.0.0



Gambar 2.26 Icon Run Load Flow ETAP 16.0.0

Di dalam simulasi aliran daya menggunakan ETAP 16.0.0, parameter yang terbaca kurang tepat akan menyebabkan error.

Error 900-01: [Gandus-Talang Kelapa] Cable length equals 0.

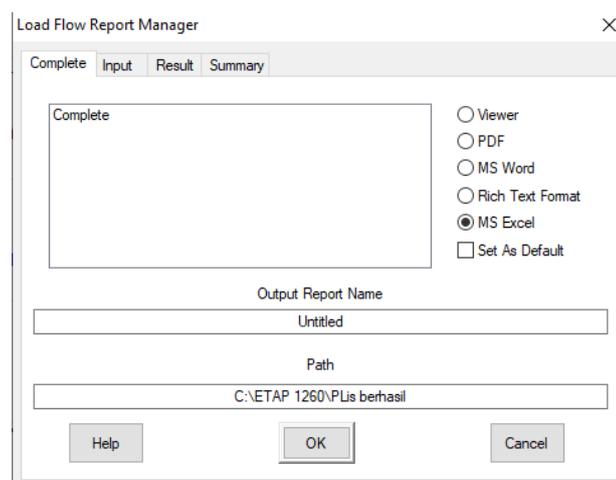
Gambar 2.27 Error ETAP 16.0.0

Apabila proses *Run Load Flow* berhasil maka nilai parameter-parameter yang diinginkan akan tampil. Simulasi akan terpenuhi apabila parameter data yang dimasukkan telah memenuhi standar tegangan bus dan pembebanan saluran yang telah ditentukan. Untuk menyimpan hasil simulasi, klik *icon Report Manager* (Gambar 2.32)



Gambar 2.28 Icon Report Manager ETAP 16.0.0

Hasil dari simulasi ini dapat disimpan dalam bentuk file *viewer*, pdf, ms word, .txt, dan excel sesuai keinginan.



Gambar 2.29 Output Report Manager ETAP 16.0.0