

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan pada penelitian yang sebelumnya mengenai analisis rugi-rugi daya disaluran transmisi dengan menggunakan metode dan tempat yang berbeda. Dari penelitian sebelumnya ini dapat digunakan sebagai bahan perbandingan dan bahan untuk penulisan tugas akhir yaitu ;

1. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ubadilah Shiddiq dengan judul “Analisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV pada gardu induk Palur – Gondangrejo” pada penghantar saluran transmisi 150 kV gardu induk Palur ke gardu induk Gondangrejo menggunakan kabel bertipe ACSR dengan memiliki dimensi 240mm². Dengan hasil analisa rugi-rugi daya terbesar pukul 10.00 terjadi pada tanggal 18 Oktober dengan rugi-rugi daya pada tanggal 13 Oktober dengan rugi daya sebesar 0,0295255 MW, sedangkan rugi-rugi daya pada pukul 19.00 terbesar terjadi pada tanggal 3 Oktober 2017 dengan rugi daya sebesar 0,7236 MW dan rugi daya terendah terjadi pada tanggal 18 Oktober 2019 sebesar 0,03645 M. (Shiddiq, 2018)
2. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ibnu Khusnah Fitriayadi dengan judul “Analisa rugi-rugi daya penghantar ACSR 240/40 pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV pada gardu induk Sragen – Masaran” transmisi gardu induk Sragen ke gardu induk Masaran menggunakan penghantar berdimensi 240/40 dengan memiliki resistansi sebesar 0,119 Ω dimana resistansi kawat penghantar dihitung dengan setiap jarak 1000 meter (1 kilometer) jarak dari gar-

du induk Sragen ke gardu induk Masaran yaitu 10,907 kilometer. Dengan Hasil analisis dan hasil perhitungan rugi-rugi daya tertinggi pada siang hari sebesar 0,3702918 MW terjadi pada tanggal 14 dan tidak terjadi rugi-rugi daya pada tanggal 21, 22, 26. Pada malam hari nya terjadi rugi daya pada tanggal 16 sebesar 0,360244 MW . total rugi-rugi daya yang terjadi pada bulan Desember 2017 adalah sebesar 136065,4065 kWh. (Fitriyadi, 2018)

3. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ghofir Barum Kosasih dengan judul “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV pada Gardu Induk Jajar-Gondangrejo” jaringan transmisi gardu induk Jajar ke gardu Induk menggunakan kawat penghantar dengan type ASCR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) dengan dimensi 240/40. Terdapat resistansi dan diperoleh 0,199 , dimana resistansi konduktor dihitung berdasarkan setiap jarak 1000 meter (1 kilometer). Jarak dari gardu induk Jajar ke gardu induk Gondangrejo yaitu 12,86 km dengan menggunakan tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 32 tower. Dari hasil analisa dan perhitungan rugi-rugi daya adalah beban puncak rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada siang hari yaitu sebesar 1,035619 MW dan terjadi pada tanggal 23. Sedangkan rugi daya pada malam hari terjadi pada tanggal 21 dengan rugi adanya lebih besar pada siang hari yaitu sebesar 1,398591 MW, pada penelitian ini menunjukkan jumlah rugi-rugi daya pada bulan November 2016 mencapai 291259,728 kWh. (Kosasih, 2017)
4. Pada penelitian yang dilakukan oleh Amoreza Riyan Abomantoro dengan judul “Analisa perbandingan susut energi penggunaan penghantar ACSR dengan ACCC pada jaringan transmisi tegangan tinggi 150 KV Pedan-Wonosari”. Dari

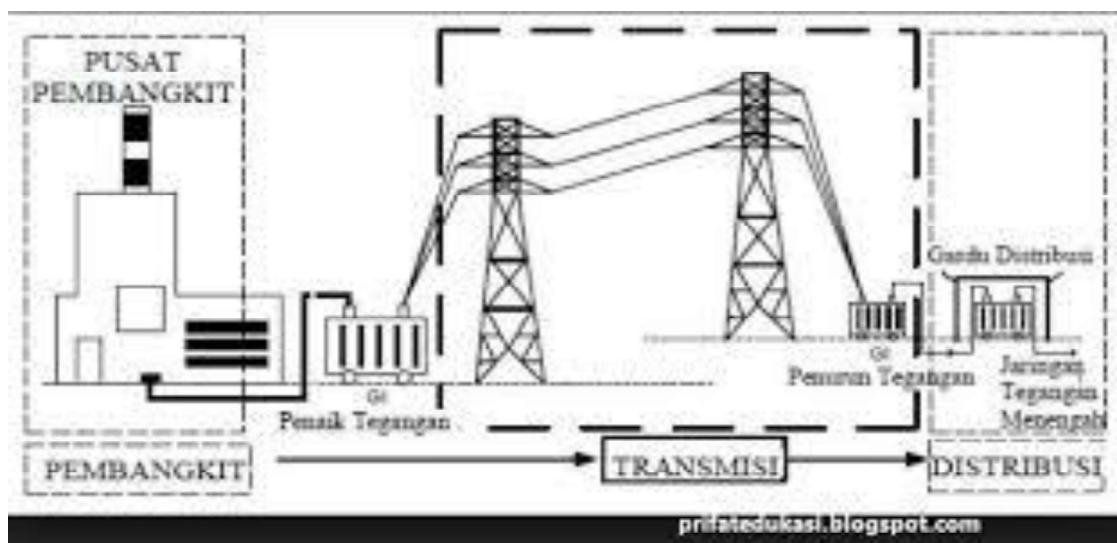
hasil penelitian penghantar yang digunakan yaitu ACSR 240 mm² dan ACCC 310mm² dengan nilai tahanan ACSR 0,119 Ω dan nilai tahanan ACCC 0,126 Ω /km. Perhitungan menggunakan metoda rata-rata tarif tenaga listrik dikalikan dengan *losses* tiap penghantar. Total rugi-rugi daya yang terjadi penghantar ACCC adalah 1.059,715 MWh. Total kerugian pada penghantar 310mm² adalah Rp 1.227.276.950,36. Total rugi-rugi untuk penghantar ACSR adalah 489,74 MWh. (Abimantoro, 2018)

5. Pada penelitian yang dilakukan oleh Aulia Okta Imani Trimulyatin dengan judul “Analisis perhitungan daya pada saluran tegangan tinggi 150 KV Gardu Induk Bumiayu-Blapulang”. Saluran transmisi ini menggunakan tipe kawat penghantar ACSR 240/40 mm². Dengan panjang saluran 61 km. Dari hasil yang dianalisis, perhitungan memperlihatkan rugi daya terendah pada pukul 10.00 WIB terjadi pada tanggal 28 Januari sebesar 0,050766144 MW. Dan rugi-rugi daya yang tertinggi terjadi pada tanggal 27 Januari sebesar 0,812258304 MW. Untuk rugi daya tertinggi pada pukul 19.00 WIB terjadi pada tanggal 16 Januari sebesar 0,02629296 kWh. (Trimulyatin, 2018)
6. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mahardira Dewantara dengan judul “Analisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 KV dari Gardu Induk Wonogiri sampai Gardu Induk Wonosari” pada penelitian yang dilakukan Mahardira Dewantara pada saluran transmisi menggunakan kawat penghantar TACSR 400mm². Dan hasil dari penelitian ini didapatkan rugi-rugi daya tertinggi pada tanggal 24 Oktober saat siang hari sebesar 0,181516 MW dan rugi-rugi daya saat malam hari sebesar 0,263164 MW. Rata-rata per hari rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada tanggal 24 Oktober dengan *losses* 0,22234

MW. Rugi-rugi daya terendah pada tanggal 16,17,18,19, dan 20 Oktober dengan *losses* 0,051106 MW dan rugi-rugi daya saat malam hari terjadi pada tanggal 17 Oktober dengan *losses* 0,049812 MW. Rata-rata per hari rugi-rugi daya terendah terjadi pada tanggal 21 Oktober 2017 sebesar 0,025553 MW. Rugi-rugi energi selama bulan Oktober 2017 sebesar 68,887836 MWh. (Dewantara, 2018)

2.2. Sistem Tenaga Listrik

Komponen-komponen listrik dari suatu sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Komponen-komponen tersebut adalah bagian utama di suatu rangkaian sistem tenaga listrik. Gambar 2.1 merupakan rangkaian sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1.Sistem Tenaga Listrik

Dari pembangkit listrik, energi listrik dihasilkan disalurkan melalui saluran transmisi dan disalurkan lagi melalui saluran distribusi sehingga energi listrik akan sampai ke konsumen. Pembangkit tenaga listrik berfungsi untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber. Pada pembangkit listrik sumber-sumber energi alam dirubah oleh penggerak mulai menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan atau putaran, kemudian energi mekanis dirubah menjadi

energi listrik oleh generator. Macam-macam sumber energi alam yang dapat membangkitkan energi listrik:

1. Bahan bakar yang berasal dari fosil; batubara, minyak bumi, gas alam. Bahan galian; uranium, thorium.
2. Tenaga air, tinggi jatuh air dan debitnya.
3. Tenaga angin, daerah pantai dan pegunungan.
4. Tenaga matahari.

Pembangkit listrik yang sumber dayanya berasal dari fosil adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB). Untuk pembangkit listrik yang sumber dayanya berasal dari galian adalah Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Untuk pembangkit listrik yang sumber dayanya berasal dari tenaga air adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Untuk energi listrik berupa tenaga angin yaitu tenaga pasang naik pasang surut air laut. Untuk energi alam yang berasal dari tenaga matahari masih dikembangkan terus, sehingga belum dipasarkan secara komersial.

2.3. Sistem Transmisi

Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi dari satu tempat menuju ke tempat lain, seperti dari pembangkit listrik ke gardu induk, dari gardu induk satu ke gardu induk lain, dan yang tahap terakhir dalam pengirim penyaluran listrik yaitu ke gardu distribusi.

2.3.1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) pada umumnya mempunyai kapasitas 500MW. Tujuannya untuk mereduksi secara maksimal drop tegangan dan

penampang kawat, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien.

Permasalahan dalam pembangunan SUTET adalah konstruksi tiang (Tower) yang besar dan memerlukan lahan luas, juga memerlukan isolator yang banyak sehingga pembangunannya membutuhkan biaya yang sangat besar, serta permasalahan yang lain dalam pembangunan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) ialah masalah sosial yang pada akhirnya akan berdampak kepada masalah pembiayaan, diantaranya mendapat protes dari warga setempat yang menentang pembangunan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), permintaan ganti rugi tanah untuk pembangunan tower dan adanya permintaan ganti rugi sepanjang jalur Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dan lain-lainnya. Pembangunan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) ini cukup efektif untuk jarak 100 km sampai dengan 500 km.

2.3.2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah salah satu sistem penyalur tenaga listrik dari pusat pembangkit listrik dengan skala besar ke Gardu Induk (GI) atau dari Gardu Induk ke Gardu Induk lain. Dengan kawat atau konduktor yang rentan antara tiang-tiang melalui isolator udara dengan sistem tegangan tinggi (30 KV sampai 150 KV).

2.3.3. Komponen Utama Saluran Udara Tegangan Tinggi

Bagian-bagian Saluran Tegangan Tinggi (SUTT) dikelompokkan sebagai berikut:

A. Tiang atau menara transmisi

Tiang atau menara transmisi sebagai penompang saluran transmisi, konstruksi menara menurut bentuk dan fungsinya adalah:

1. Menara menurut bentuk dan konstruksinya:

- a. Tiang konstruksi baja , tiang-tiang ini biasa disebut tower karena dari bentuk konstruksinya. Tiang ini terbuat dari baja profil dan disusun dengan sedemikian rupa sehingga terlihat seperti menara yang telah di perhitungkan kekuatannya dan disesuaikan dengan kebutuhan.
 - b. Tiang manesman, yang terbuat dari baja dengan ukuran panjang, diameter dan ketebalan disesuaikan dengan kebutuhan.
 - c. Tiang kayu terbuat dari kayu ulin dan kayu besi yang tidak perlu diawetkan lagi. Sedangkan kayu rasa mala dan damar laut sebelum digunakan harus melalui proses pengawetan terlebih dahulu agar umur tiang kayu dapat bertahan lebih lama.
2. Tiang transmisi menurut fungsinya:
- a. Tiang penegang (*Lension tower*)
Tiang penegang berfungsi untuk menahan gaya berat dan menahan gaya tarik dari kawat-kawat SUTT.
 - b. Tiang Penyangga (*Supension tower*)
Tiang penyangga berfungsi untuk menyangga peralatan listrik yang ada pada tiang dan tiang penyangga harus kuat terhadap gaya berat.
 - c. Tiang sudut (*Eangle tower*)
Tiang sudut berfungsi sebagai untuk menerima gaya tarik akibat dari perubahan arah SUTT.
 - d. Tiang transposisi
Tiang penegang yang berfungsi sebagai perpindahan susunan letak phasa kawat-kawat SUTT.

e. Tiang akhir (*Dead end tower*)

Tiang akhir merupakan tiang penegang dan dirancang dengan sedemikian rupa sehingga kuat karena menahan gaya tarik kawat dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung SUTT yang akan masuk ke *switch yard* gardu induk.

Faktor-faktor yang digunakan untuk pemilihan tiang adalah sebagai berikut:

1. Lokasi atau keadaan medan yang akan dilewati saluran.
2. Biaya pembangunan tiang.
3. Biaya perawatan tiang yang diperoleh.
4. Perkiraan jangka pemakaian saluran.

Adapun jenis tiang atau menara yang banyak digunakan pada saluran transmisi 150 KV adalah pembangunan menara baja yang biasa disebut dengan tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT 150 KV). Hal ini disebabkan karena jenis tower kurang memerlukan pengawasan khusus, dan biaya perawatannya pun tidak terlalu mahal dan dapat bertahan lebih lama.



Gambar 2.2. Kontruksi Baja SUTT

B. Isolator-isolator

Isolator saluran transmisi yang digunakan pada tower SUTT 150 KV merupakan terbuat dari bahan porselin atau gelas. Adapun jenis isolator yang digunakan pada SUTT adalah jenis isolator piring, sebagai isolator penegang dari isolator gantung dimana jumlah piringan isolator disesuaikan tegangan sistem pada SUTT tersebut. Satu piring isolator untuk isolator sebesar 15 KV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 KV maka butuh 10 piringan isolator untuk tegangan tersebut. (Afandi, 2005)

C. Kawat Penghantar (Konduktor)

Penghantar yang digunakan yaitu kawat penghantar jenis:

1. Tembaga dengan konduktivitas 100%(Cu 100%).
2. Tembaga dengan konduktivitas 97,5%(Cu 97,5%).
3. Aluminium dengan konduktivitas 61%(Al 61%)

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya yang lebih tinggi tetapi juga memiliki kelemahan, yaitu untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah mulai menggantikan kedudukan kawat penghantar tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak menara atau tiang berjauhan, mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kawat tarik yang lebih tinggi. Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut:

1. AAC (*All-Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
4. ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

2.4. Gardu Induk

Gardu induk merupakan suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat yang terdiri dari transmisi dan distribusi, pelengkapan hubung transformator dan peralatan pengaman dan peralatan kontrol. Fungsi gardu induk diantaranya yaitu:

1. Untuk mengatur dan mengalirkan daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya, dan distribusikan ke konsumen.
2. Sebagai tempat kontrol.
3. Sebagai pengaman operasi sistem.
4. Untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

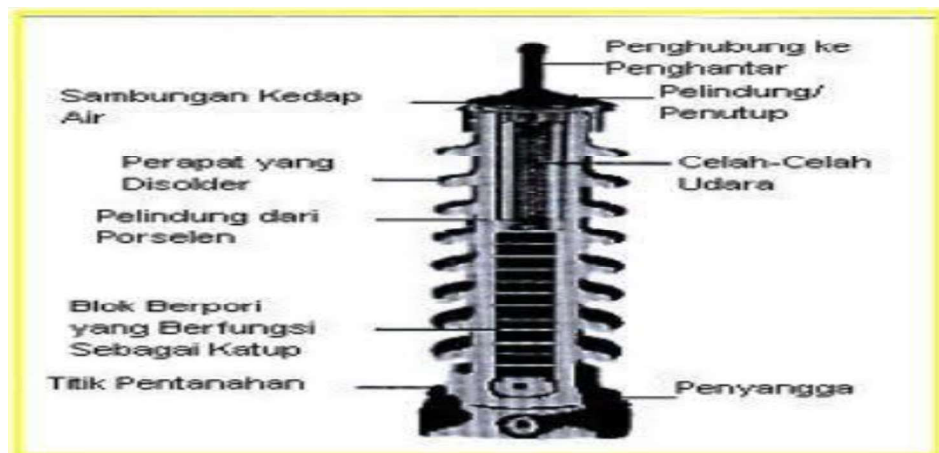
Bila dilihat dari segi manfaat dan kegunaan gardu induk, peralatan dan komponen harus mempunyai kehandalan yang tinggi dan kualitasnya tidak diragukan dan harus optimal kinerjanya sehingga masyarakat sebagai konsumen tidak merasa diragukan atas kinerjanya. Oleh sebab itu gardu induk harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Operasi
2. Fleksibel
3. Kontruksi sederhana dan kuat
4. Memiliki tingkat keandalan dan daya guna tinggi
5. Memiliki tingkat keamanan tinggi.

2.4.1. Peralatan Gardu Induk

1. *Lightning Arrester*

Lightning arrester alat proteksi untuk melindungi perlatan lain dari tegangan lebih, baik surja hubung maupun surja petir. *Lightning arrester* bersifat sebagai *by-pass* disekitar isolasi dan membentuk jalan supaya mudah bila dilalui arus kilat menuju sistem pertahanan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada isolasi peralatan listrik.



Gambar 2.3. Struktur Lighting Arrester

2. Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan tegangan peralatan tegangan tinggi. PMS memiliki 2 macam fungsi, yaitu:

1. Pemisah peralatan: berfungsi memisahkan peraltan listrik dari peralatan

lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban.

2. Pemisah tanah (Pisau Pertanahan atau Pembumian): berfungsi mengamankan dari arus tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau induksi tegangan dari penghantar atau kabel lainnya. Hal ini diperlukan untuk menjaga keamanan bagi orang-orang yang bekerja pada peralatan instalasi.



Gambar 2.4. Pemisah Perlatan

3. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) adalah peralatan yang mampu membuka dan menutup rangkaian listrik dalam semua kondisi, termasuk hubung singkat, sesuai dengan rating dan kondisi tegangan yang normal atau tidak normal. Fungsi Pemutus Tenaga (PMT) adalah melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem.

Fungsi utama pemutus tenaga adalah pembuka atau penutup rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta dapat membuka atau menutup saat terjadinya arus gangguan (hubung singkat) pada peralatan

atau jaringan. Syarat yang harus dipenuhi Pemutus Tegangan adalah sebagai berikut:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutus dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemustus tenaga.
3. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar sistem tetap stabil dan tidak merusak pemutus tegangan itu sendiri.



Gambar 2.5. Macam-Macam Pemutus Tegangan

2.5. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi salah satu sistem bagian dari suatu tenaga listrik yang dimulai dari PMT *incoming* pada gardu induk hingga alat penghitung dan pembatas (APP) di instalasi konsumen yang fungsinya untuk mendistribusikan dan menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk sebagai pusat beban ke pelanggan-pelanggan secara langsung atau melalui gardu induk distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai dan sesuai dengan standar pelayanan yang berlaku.

Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk atau pusat pembangkit listrik dengan konsumen. Sedangkan jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga

listrik di dalam menyalurkan energi ke konsumen. Dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya. Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

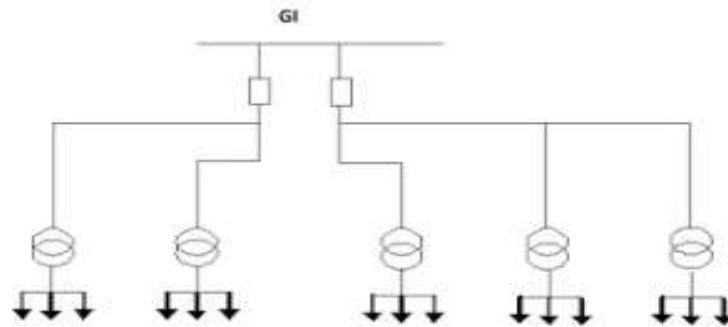
1. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya gardu induk menuju ke gardu distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah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

Berdasarkan konfigurasi jaringan primer konfigurasi jaringan distribusi pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

1. Jaringan distribusi pola radial

Pola Radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungan ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban

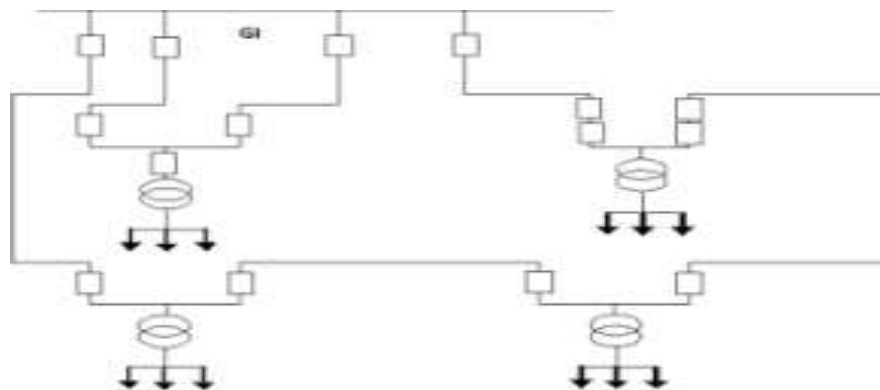
saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.



Gambar 2.6. Jaringan Polar Radial

2. Jaringan distribusi pola loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayan yang baik (lebih baik dari pola radial).



Gambar 2.7. Jaringan Pola Loop

Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

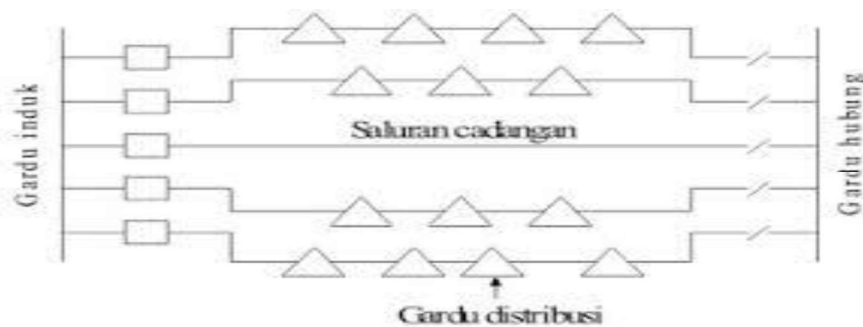
- a. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop
- b. Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban

c. Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

3. Jaringan distribusi pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radian dan *loop* terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut *express feeder*. Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dihubungkan oleh sebuah saklar beban. Jadi sistem ini dalam keadaan normal bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan GH.



Gambar 2.8. Sistem Jaringan Spindel

Keuntungan pola jaringan ini adalah sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop.

- a. Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola *grid*
- b. Penentuan bagian jaringan yang tegangan akan lebih mudah dibandingkan

dengan pola grid dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.

- c. Baik untuk dipakai didaerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

2.6. Parameter Saluran Transmisi

Dalam saluran transmisi mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga, yaitu resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Impedansi seri dibentuk oleh resistansi dan induktansi yang terbagi rata disepanjang saluran. Sedangkan konduktansi dan kapasitansi yang terdapat diantara penghantar-penghantar dari suatu saluran fasa-tunggal atau diantara sebuah penghantar dan netral dari suatu saluran 3-fasa membentuk admintansi paralel. Dalam perhitungan, rangkaian saluran ekuivalen yang dibentuk dari parameter-parameter dijadikan satu meskipun resistansi, induktansi dan kapasitansi tersebut terbagi merata disepanjang saluran.

2.6.1. Resistansi Saluran

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Nilai suatu tahanan penghantar dapat ditentukan dari persamaan 2.1:

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

Dimana : R = Resistensi kawat penghantar (Ω/km)

ρ = Resistivitas penghantar ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

l = Panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat (mm^2)

Untuk mengetahui nilai resistansi total, dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.2 berikut:

$$R_{total} = R \times l \quad (2.2)$$

Nilai resistansi total ini digunakan untuk memperhitungkan nilai rugi-rugi daya dengan satuan Ω/m . Dan l pada persamaan 2.2 merupakan panjang saluran dengan satuan km.

2.6.2. Induktansi

Induktansi merupakan rangkaian yang menghubungkan tegangan imbas dari perubahan fluks dengan perubahan arus persamaan awal induktansi merupakan tegangan imbas dengan perubahan kecepatan dan fluks yang meliputi suatu rangkaian. Tegangan imbas dapat dirumuskan menggunakan persamaan 2.3 berikut ini:

$$e = \frac{dt}{dt} \quad (2.3)$$

Dimana: e = impuls tegangan (volt)

t = banyak impulsan dengan rangkaian (weber-turn)

2.6.3. Kapasitansi

Kapasitansi saluran terjadi akibat selisih antara penghantar-penghantar dan muatan per unit selisih potensial. Kapasitansi antara kawat penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang bergantung pada ukuran kawat penghantar dan jarak pemisah antara kawat penghantar.

2.7. Rugi-Rugi Daya Listrik

Susut daya atau rugi daya listrik adalah berkurangnya pasokan daya yang dikirimkan oleh sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) yang disebabkan oleh adanya tahanan jenis penghantar yang dipengaruhi oleh arus dan tegangan saat penyaluran energi listrik dilakukan sehingga menghasilkan nilai tahanan yang mengakibatkan munculnya nilai jatuh tegangan, berikut merupakan persamaan 2.4 yang berfungsi untuk mencari rugi-rugi daya:

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R_{total} \quad (2.4)$$

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

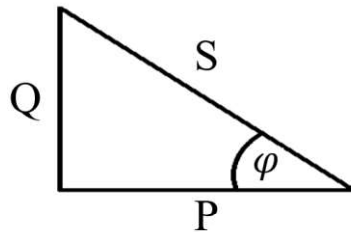
I = Arus yang mengalir (Ampere)

R_{total} = Tahanan penghantar (Ω/m)

2.8. Faktor Daya

Faktor daya yang biasanya di lambangkan dengan $\cos \varphi$, didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Daya reaktif yang tinggi akan mengakibatkan meningkatnya sudut dan dari hasil tersebut faktor daya menjadi lebih rendah. Faktor daya dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Faktor *unity*, merupakan posisi arus listrik yang mengalir satu fasa dengan tegangan.
2. Faktor *leading*, merupakan posisi dimana fasa drop tegangan pada beban mendahului tegangan sumbernya.
3. Faktor *lagging*, merupakan posisi fasa arus listrik tertinggal dengan tegangan sumbernya.



Gambar 2.9. Segitiga Daya

Gambar 2.9 menunjukkan segitiga daya. Dari gambar tersebut dapat diketahui cara mencari salah satu nilai dari data dua nilai lainnya. Untuk mencari $\cos \varphi$ dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.5: (Barlian et al., 2020)

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.5)$$

2.8.1. Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya aktif dapat di tunjukan dengan adanya aliran energi listrik dari pembangkit ke jaringan beban. Daya aktif digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi lain seperti cahaya, gerak maupun bunyi. Daya aktif merupakan daya yang mengalir kearah beban listrik dan tidak ada aliran balik ke arah pembangkit. Daya aktif merupakan daya yang di serap oleh daya resistif. Satuan daya aktif sendiri ialah W (watt) dan dilambangkan oleh symbol P dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 seperti di bawah ini:

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad (2.6)$$

Dimana : P = daya nyata (w)

V = tegangan 1 fasa (volt)

I = Arus (ampere)

Cos θ = Faktor daya

Untuk mengetahui nilai P pada jaringan listrik tiga fasa, maka dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.7: (Barlian et al., 2020)

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad (2.7)$$

Dari Gambar 2.9 dapat diketahui bahwa cara lain menghitung nilai P, Q, ataupun S berdasarkan segitiga daya adalah dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.8, persamaan 2.9, ataupun persamaan 2.10:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.8)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.9)$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (2.10)$$

2.8.2. Daya Semu

Daya semu adalah suatu energi yang melewati saluran transmisi atau distribusi. Daya semu dihasilkan oleh perkalian antara tegangan efektif (RMS). Tegangan RMS (*root, mean, square*) adalah nilai dari tegangan listrik AC (*alternating current*) yang sama hasilnya dengan daya listrik DC (*direct current*) pada suatu beban resistif yang sama. Ketika beban listrik yang digunakan bersifat resistif maka nilai daya semu (S) sama dengan nilainya dengan daya aktif (P). Ketika beban memiliki sifat induktif atau kapasitif, maka nilai dari daya nyata akan menjadi $\cos \varphi$ dari daya total dan penjelasan tersebut dapat dirumuskan menggunakan persamaan 2.11 di bawah ini:

$$S = V \times I \quad (2.11)$$

Dimana S merupakan daya semu (VA), I merupakan arus (A), dan V merupakan tegangan 1 fasa (V). Untuk mengetahui nilai S pada jaringan listrik 3 fasa, dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.12: (Barlian et al., 2020)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.12)$$

2.8.3. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dapat ditunjukkan dengan adanya geseran grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC yang diakibatkan oleh beban reaktif. Daya reaktif merupakan daya yang diserap oleh beban-beban induktif, namun daya tersebut dihasilkan oleh beban kapasitif. Daya reaktif dinyatakan dengan simbol Q dengan satuan VAR. Fungsi dari daya reaktif yaitu untuk membangkitkan magnet menginduksikan kumparan sekunder. Nilai daya reaktif dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 seperti di bawah ini:

$$Q = V \times I \times \sin \theta \quad (2.13)$$

Dimana Q merupakan daya reaktif (VAR), V merupakan tegangan 1 fasa (Volt) dan $\sin \varphi$ merupakan faktor daya untuk daya reaktif. Dan untuk mengetahui nilai Q pada jaringan 3 fasa, dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.14:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi$$