

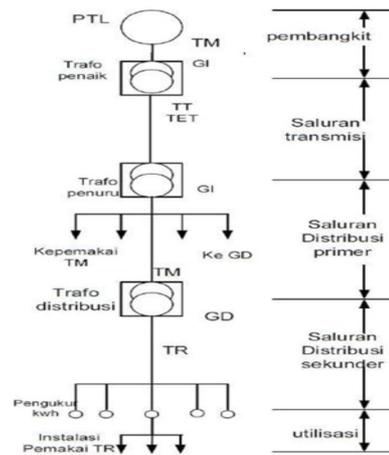
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik¹

Sekalipun tidak terdapat suatu system tenaga listrik yang tipikal namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu system yang lengkap mengandung empat unsur . Pertama, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM) . Kedua, suatu system transmisi, lengkap dengan gardu induk . Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET) . Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR) . Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri menggunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi . Gambar dibawah ini memperlihatkan skema suatu system tenaga listrik .

¹ Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI Press. 2006. Hal 5



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Keterangan gambar :

PTL : Pembangkit Tenaga Listrik

GI : Gardu Induk

TT : Tegangan Tinggi

TET : Tegangan Ekstra Tinggi

TM : Tegangan Menengah

GD : Gardu Distribusi

TR : Tegangan Rendah

2.2 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan dari berbagai segi, antara lain adalah :

1. Berdasarkan ukuran tegangan
2. Berdasarkan ukuran arus



2.2.1 Menurut Ukuran Tegangannya

Secara umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi terbagi menjadi dua, yaitu :

- a. Jaringan Distribusi Primer²
Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan suatu jaringan tegangan menengah atau jaringan primer.
- b. Jaringan Distribusi Sekunder
Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu ke konsumen . Jaringan ini merupakan suatu jaringan tegangan rendah .

2.2.2 Menurut Ukuran Arus³

- a. Saluran distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah.
- b. Saluran Distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik

2.3 Macam – Macam Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan suatu saluran tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk ke beberapa gardu hubung dan gardu distribusi pada suatu tegangan primer. Dalam penyaluran jaringan distribusi primer ini memiliki beberapa variasi jaringan distribusi, dimana masing-masing bentuk jaringan distribusi primer ini memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan tersendiri. Pada

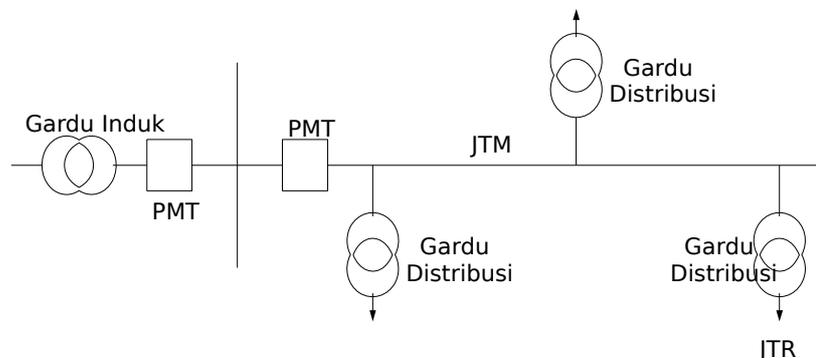
² Abdul Kadir, 2006. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik*, Jakarta:UI Press. 2006. Hal 21

³ Darman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi pertama. 2009, UNP

umumnya terdapat lima bentuk dasar dari sistem jaringan distribusi primer yaitu sebagai berikut :

2.3.1 Jaringan Distribusi Primer Radial

Merupakan jaringan distribusi primer yang paling banyak dipakai terutama pada daerah dengan tingkat kepadatan bebannya rendah. Jaringan ini mempunyai satu jalur daya ke beban maka semua beban pada saluran itu akan kehilangan daya. Keuntungan dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial ini adalah bentuknya yang sederhana dan biaya pertamanya yang rendah. Salah satu kelemahan sistem ini adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan kehandalannya rendah serta jatuh tegangan yang terjadi sangat besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran. Kepadatan arus yang besar pada jaringan tipe radial ini terdapat pada saluran antara sumber daya dan gardu distribusi berikutnya, sedangkan yang terkecil pada bagian ujung saluran sesuai dengan tingkat kepadatan arusnya maka besar penampang penghantar tersebut dapat berbeda-beda.

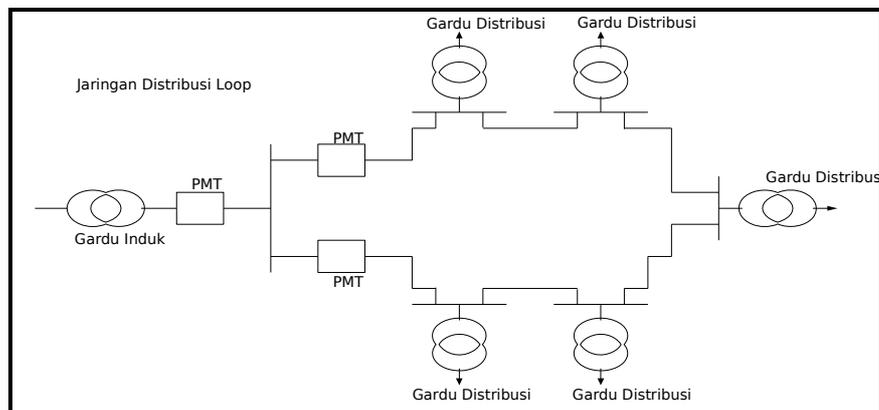


2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial

2.3.2 Jaringan Distribusi Primer Loop

Jaringan distribusi primer tipe loop biasanya digunakan untuk melayani beban yang membutuhkan kontinuitas pelayanan lebih baik, seperti pabrik-pabrik dan bangunan-bangunan komersil yang mempunyai beban yang sedang dan besar. Pada prinsipnya jaringan distribusi primer tipe ini adalah suatu jaringan distribusi yang dimulai dari suatu titik sumber atau rel daya keliling ke daerah

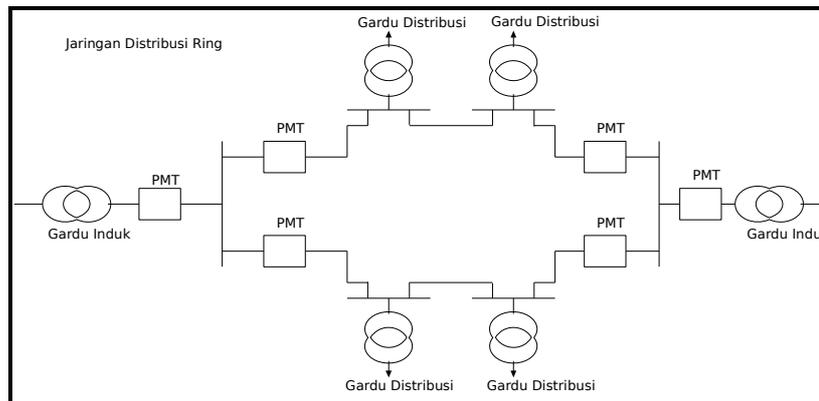
beban, kemudian kembali ke titik sumber atau rel daya semula. Kelebihan dari sistem jaringan distribusi tipe loop ini adalah dari segi keandalannya lebih baik dari sistem jaringan distribusi radial, sedangkan kelemahannya adalah dalam hal besar penampang yang semua hantarnya sama sehingga sanggup memikul beban secara keseluruhan dan juga arus hubung singkat yang terjadi lebih besar dari sistem jaring distribusi primer tipe radial.



2.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi Loop

2.3.3 Jaringan Distribusi Ring

Jaringan distribusi primer tipe ring ini hampir sama dengan jaringan distribusi primer tipe loop, perbedaannya adalah hanya pada jumlah sumber daya yang lebih dari satu. Dengan kata lain jaringan distribusi primer tipe ring ini adalah jaringan distribusi primer tipe loop yang pada gardu distribusinya dapat menerima daya lebih dari satu titik sumber atau rel daya. Bila sistemnya berkembang jaringan distribusi primer tipe ring ini sering berkembang menjadi bentuk grid.

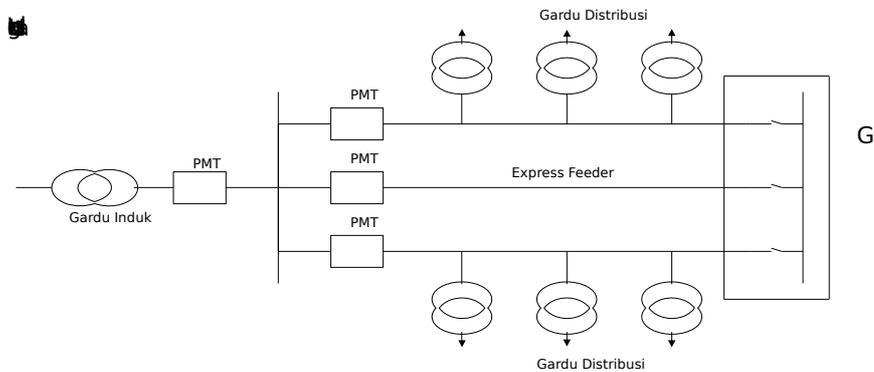


2.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi Ring

2.3.4 Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan distribusi primer tipe spindel ini adalah hasil perkembangan dari sistem jaringan distribusi primer tipe loop terpisah dengan cara menambahkan sebuah saluran cadangan (express feeder) serta gardu hubung. Adapun tujuan dari modifikasi dari sistem jaringan distribusi adalah untuk mendapatkan efisiensi sistem yang handal. Pada sistem jaringan distribusi primer tipe spindel ini saluran dari sumber ke gardu induk diteruskan ke gardu hubung. Ada dua bagian saluran yang menuju gardu hubung yaitu saluran bebas dan saluran langsung. Beban-beban dihubungkan dengan pengisian utama dan saluran pengisian utama dan saluran langsung yang tidak dihubungkan dengan bena, saluran ini merupakan saluran pengisi cadangan yang berfungsi apabila salurann pengisi utama mengalami gangguan.

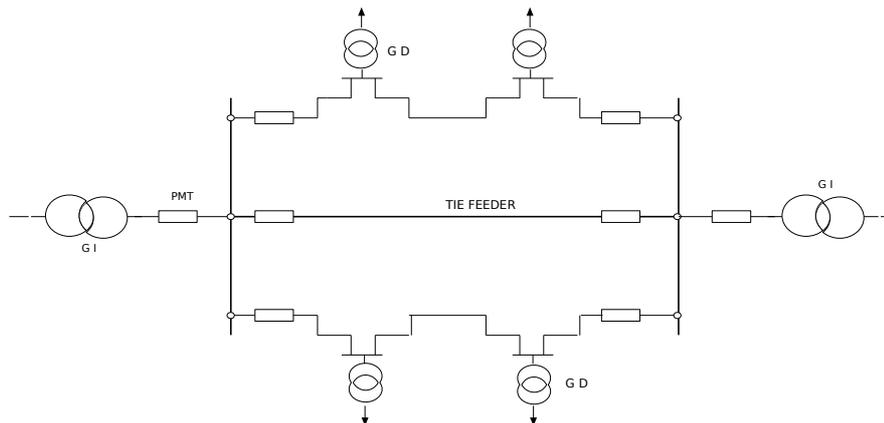
Pada keadaan operasi normal semua pemutus daya yang ada di gardu hubung dalam posisi terbuka, dengan tujuan apabila terjadi gangguan pada saluran utama dan setelah diisolir maka beban yang lain pada pengisi saluran utama tersebut dapat dilayani melalui saluran cadangan dengan pemutus daya di gardu hubung untuk saluran yang bersangkutan sehingga beban-beban tersebut hanya mengalami pemutusan sementara saja.



2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel

2.3.5 Jaringan Distribusi Grid/Network

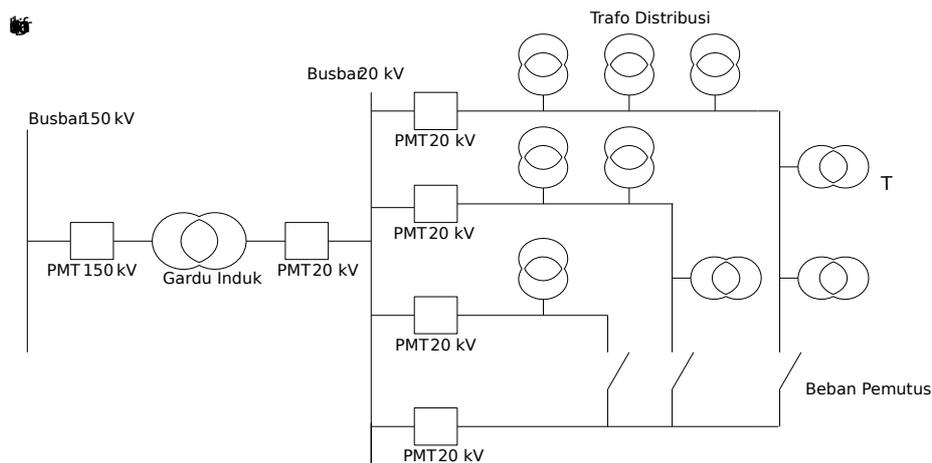
Sistem jaringan distribusi tipe grid/network ini terjadi apabila ada beberapa gardu induk atau sumber daya yang saling berinterkoneksi sehingga setiap titik beban mempunyai beberapa kemungkinan menerima daya dari berbagai arah. Sistem jaringan ini mempunyai kualitas pelayanan yang cukup baik bila dibandingkan dengan bentuk jaringan distribusi primer tipe radial atau loop dan tipe ring. Jaringan distribusi tipe ini mampu melayani beban dengan kerapatan arus yang cukup tinggi serta memerlukan pelayanan secara terus menerus, tetapi kelemahan dari jaringan distribusi tipe ini adalah biaya investasinya yang tinggi.



2.6 Konfigurasi Jaringan Grid/Network

2.3.6 Jaringan Distribusi Cluster

Sistem cluster ini hampir mirip dengan sistem spindle. Dalam sistem Cluster tersedia satu express feeder yang merupakan feeder atau penyulang tanpa beban yang digunakan sebagai titik menufer beban oleh feeder atau penyulang lain dalam sistem Cluster tersebut.



2.7 Konfigurasi Jaringan Cluster

2.4 Macam – Macam Saluran Jaringan Dstribusi Primer

Sesuai dengan fungsinya, maka suatu sistem jaringan distribusi dengan bagian-bagiannya dapat merupakan bentuk, susunan dan macam yang berbedabeda disesuaikan dengan tujuan tertentu. Pelaksanaan pemasangan jaringan distribusi dibagi menjadi dua macam yaitu hantaran udara dan hantaran bawah tanah.

2.4.1 Jaringan Penghantar Udara (Over Head Line)



Hantaran udara sering juga disebut saluran udara merupakan penghantar energy listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang di atas tiang listrik di luar bangunan. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas jenis :

AAACS⁴ : *All Aluminium Alloy Conductor Shielded reinforced* yaitu penghantar AAAC yang berselubung polietilen ikat silang (XLPE). Penghantarnya berupa aluminium paduan yang dipilin bulat tidak dipadatkan. Isolasi kabel AAACS memiliki ketahanan isolasi sampai dengan 6 kV, sehingga penghantar jenis ini harus diperlakukan seperti halnya penghantar udara telanjang.

AAAC⁵ : *All Alloy Aluminium Conductor* yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti. Kabel jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50 – 4,50 mm dengan bentuk fisiknya berurat banyak.

AAC⁶ : *All Aluminium Conductory* yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium keras yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti baja. Kabel jenis ini bentuknya berurat banyak dengan ukurannya antara 16 – 1000 mm

Keuntungan atau kelebihan berupa :

1. Investasi, atau biaya untuk membangun saluran udara jauh lebih rendah disbanding dengan kabel tanah, yaitu berbanding sekitar 1 : 5-6, bahkan lebih tinggi untuk tegangan yang lebih tinggi

4 SLPN 41-10 : 1991

5 SPLN 41-8 : 1981

6 SPLN 41-6 : 1981



2. Kawat untuk daerah yang lahannya merupakan bebatuan, lebih mudah membuat lubang untuk tiang listrik dari pada membuat jalur hubung kabel tanah.
3. Mudah melakukan pemeliharaan pada saluran distribusi
4. Pembangunan jaringan tidak terlalu sulit.

Kekurangan jaringan hantar udara :

1. Mudah terjadi gangguan pada jaringan.
2. Setiap melakukan pemeliharaan biayanya besar.
3. Tidak mengutamakan keandalan (keandalannya rendah).
4. Pencurian melalui jaringan mudah dilakukan.

2.4.2 Jaringan Hantaran bawah Tanah (Under Ground Line)

Untuk daerah kerapatan beban tinggi, seperti pusat kota ataupun pusat industri pemasangan jaringan hantaran udara akan mengganggu baik dari segi keamanan maupun dari segi keindahan. Bahan untuk inti kabel dan kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi dipergunakan bahan-bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa tinta hitam. Untuk tegangan menengah sering juga dipakai minyak sebagai isolasi. Jenis hantaran bawah tanah ini biasanya menggunakan jenis :

*NYFGbY*⁷ : Kabel ini berisolasi dan berselubung PVC berperisai kawat baja atau aluminium untuk tegangan kerja sampai dengan 0,6/1 kV. Dengan adanya pelindung kawat pita baja, kabel ini memungkinkan ditanam langsung ke dalam tanah tanpa pelindung tambahan.

Keuntungan :

1. Tidak mudah mengalami gangguan.
2. Faktor keindahan lingkungan tidak terganggu.



3. Tidak mudah dipengaruhi cuaca, seperti hujan, angin, petir dan sebagainya.

Kerugian :

1. Biaya pembuatan mahal.
2. Gangguan biasanya bersifat permanen
3. Pencarian lokasi gangguan jauh lebih sulit dibandingkan menggunakan sistem hantaran udara.

2.5 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia.

Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (half insulated single core).



Gambar 2.8 Saluran Udara Tegangan Menengah

Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan



sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

2.5.1 Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah

Yang dimaksud dengan komponen jaringan distribusi atau sering disebut dengan Material Distribusi adalah semua peralatan yang diperlukan dalam membangun suatu konstruksi jaringan distribusi yang utuh sehingga dicapai tingkat keandalan, keamanan, efisiensi serta estetikan sesuai persyaratan / ketentuan yang ditetapkan Untuk material distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), terdiri dari 2 (dua) bagian, yaitu material distribusi utama dan material non utama (pelengkap)

Disebut dengan material distribusi utama karena, material tersebut fungsinya sangat penting pada konstruksi , sehingga merupakan bagian yang tidak bisa tergantikan. Sedangkan disebut material pelengkap, karena merupakan bagian pelengkap untuk menunjang pemasangan material distribusi utama pada suatu konstruksi.

2.5.2 Penghantar/ Konduktor

Berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Penghantar untuk saluran udara biasanya disebut kawat yaitu penghantar tanpa isolasi (telanjang), sedangkan untuk saluran dalam tanah atau saluran udara berisolasi biasanya disebut dengan kabel.

Penghantar yang baik harus mempunyai sifat :

- Konduktivitas / Daya Hantar Tinggi Kekuatan Tarik Tinggi
- Fleksibilitas Tinggi Ringan
- Tidak Rapuh

Untuk mendapatkan penghantar dengan persyaratan di atas dan ditinjau dari segi ekonomis masih menguntungkan, maka bahan penghantar yang banyak digunakan sebagai saluran tenaga listrik adalah logam aluminium dan tembaga. Untuk penghantar ukuran kecil penghantar bisa terdiri hanya satu kawat, tetapi untuk ukuran yang besar terdiri beberapa kawat yang dipilin menjadi satu. Hal itu selain

untuk keperluan kelenturan, maka kuat tarik dan daya hantar akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan penghantar yang hanya terdiri dari satu kawat.

a. Penghantar Telanjang (BC : Bare Conductor)

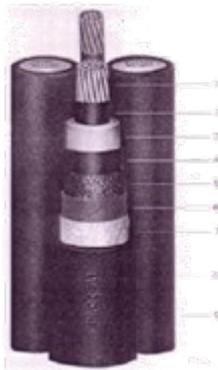
Konduktor dengan bahan utama tembaga(Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat padat , sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987

Pilihan konduktor penghantar telanjang yang digunakan di PLN adalah AAC atau AAAC. Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (half insulated single core)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslink polyetilene), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995

b. Penghantar Berisolasi Penuh (Three Single Core)

XLPE dan berselubung PVC berpenggantung penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN 43-5-2:1995-Kabel



Gambar 2.9 Penghantar Berisolasi Penuh

2.5.3 Isolator

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/travers dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah :

a. Isolator Tumpu



Gambar 2.10 Jenis – Jenis Isolator Tumpu

b. Isolator Tarik



Gambar 2.11 Jenis – Jenis Isolator Tarik

2.5.4 Peralatan Hubung (Switching)

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudahan operasional harus dipasang Pemutus Beban (Load Break Switch : LBS), selain LBS dapat juga dipasangkan Fused Cut-Out (FCO).



Gambar 2.12 Fused Cut Out (FCO)



Gambar 2.13 Load Break Switch (LBS)

Gambar 2.14 Contoh Letak Pemasangan *Load Break Switch (LBS)*

2.5.5 Tiang

Sebagai penyangga kawat agar berada di atas tiang dengan jarak aman sesuai dengan ketentuan. Terbuat dari bahan yang kuat menahan beban tarik maupun tekan yang berasal dari kawat ataupun tekanan angin. Menurut bahannya tiang terdiri dari :

a. Tiang Kayu

SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT PLN Persero bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar penghantar SUTM.



b. Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/ wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bilamana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat diwilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

c. Tiang Beton

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan di seluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil. Bentuk tiang beton ada 2 (dua) macam, yaitu berbentuk profil H dan berbentuk bulat. Tiang berbentuk profil H konstruksi

kerangka besi yang diregangkan dengan kekuatan tertentu sesuai dengan kekuatan tiang, dicor dengan bahan campuran beton menggunakan cetakan. Bahan campuran beton di pres sampai padat pada cetakannya, dipanasi beberapa saat sampai mengeras .

Tiang beton berbentuk bulat lebih banyak digunakan karena mempunyai kekuatan yang sama di setiap sisinya. Dibuat dengan kerangka baja yang dibentuk bulat dan diregangkan sesuai kekuatan tiang yang diinginkan, kemudian dicor dengan bahan campuran beton pada cetakan berbentuk bulat. Untuk pengerasannya dengan cara diputar dengan kecepatan tinggi selama beberapa waktu, sampai akhirnya membentuk seperti pipa , dimana bagian tengahnya berupa lobang. Tiang beton dapat digunakan setelah dipanaskan dengan temperatur cukup tinggi selama beberapa menit dan kemudian didinginkan kembali secara alami.

2.6 Konstruksi SUTM

Konstruksi jaringan dimulai dari sumber tenaga listrik / Gardu Induk dengan kabel tanah Tegangan Menengah kearah 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). Untuk saluran yang sangat panjang dan lurus pada titik-titik tertentu dipasang tiang peregang. Fungsi tiang peregang 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 peregang (hang isolator/suspension isolator) dan isolator penumpu (line-post/pin-post/pin insulator). Isolator peregang dipasang pada tiang awal / akhir / sudut. Isolator penumpu dipasang pada tiang penumpu dan sudut. Konfigurasi konstruksi (Pole Top Construction) dapat berbentuk vertikal, horizontal atau delta. Konstruksi sistem pembumian dengan tahanan ($R = 12 \text{ Ohm}$, 40 Ohm dan 500 Ohm) atau dengan multi grounded common netral (solid grounded) yaitu dengan adanya penghantar netral bersama TM, TR. Isolator dipasang pada palang (cross arm/bracket/ travers) tahan karat (Galvanized Steel Profile).

Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) ini dapat berupa:

1. A3C (All Aluminium Alloy Conductor)
2. A3C-S (Half insulated A3C, HIC) ; atau full insulated (FIC).
3. Full insulated A3C twisted (A3C-TC)

Luas penampang penghantar 35 mm², 50 mm², 70 mm², 150 mm², 240 mm².

2.7 Parameter Saluran

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 panjang (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. 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 analisa sistem tenaga.

2.7.1 Resistansi Saluran

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

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2 - 1)^8$$

Dimana :

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

l = Panjang saluran (m)

A = Luas penampang penghantar (mm^2)

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan nol adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :



$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{t_0+t_2}{t_0+t_1}$$

(2-2)⁹

Dimana :

R_{t2} = Resistansi penghantar pada suhu t₁ (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_{t1} = Resistansi penghantar pada suhu t₂ (temperatur operasi konduktor)

t₁ = Temperatur awal (°C)

t₂ = Temperatur akhir (°C)

To = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta To adalah sebagai berikut:

To = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

To = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

To = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.7.2 Reaktansi Saluran¹⁰

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

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r} \right) \times 10^{-7} \quad H/m \quad (2-3)$$

9 William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 39

10 Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal. 152



Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad (2 - 4)$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

(2 - 5)

Dari persamaan 2.3 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.6 di bawah ini :

$$XL = \omega L = 2\pi.f.L \quad (2 - 6)^{11}$$

Dimana :

XL = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

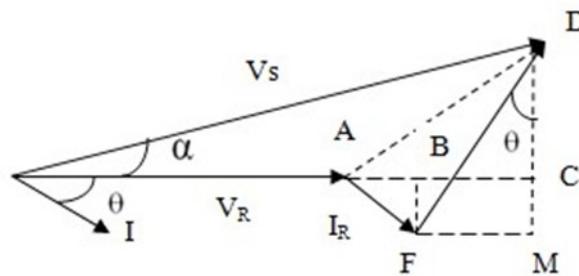
L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.8 Jatuh Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Drop tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang

11 A.J. Watkins dan R.K. Parton *Perhitungan Instalasi Listrik* . Hal 4

penghantar. Besar drop tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam satuan volt. Berdasarkan SPLN No.72:1987, drop tegangan atau jatuh tegangan yang diperbolehkan untuk sistem distribusi tegangan menengah adalah sebesar 5%. Dalam suatu sistem distribusi, drop tegangan yang terjadi harus diupayakan sekecil-kecilnya agar tidak merugikan konsumen.



Gambar 2.15 Diagram fasor saluran distribusi

Besarnya drop tegangan yang terjadi pada saluran tersebut dapat dirumuskan :

$$\Delta V = |V_s| - |V_r| \quad (2 - 7)$$

Berdasarkan penjelasan, maka besar persentase susut tegangan pada saluran tiga fasa dapat ditentukan dengan rumus:

$$\% V \text{ rugi} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100 \quad (2 - 8)^{12}$$

Sedangkan untuk besarnya susut tegangan untuk jaringan dalam volt dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta V(1\Phi) = (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \quad (2 - 9)$$

$$\Delta V(3\Phi) = \sqrt{3} (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \quad (2 - 10)^{13}$$

Keterangan :

¹² Arismunandar, A dan Susumu. 2004. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II. Pradnya Paramita. Jakarta.



ΔV = Drop tegangan (V)

I = Arus saluran (A)

V_s = Tegangan awal (V)

$\cos \phi$ = power factor

V_r = Tegangan akhir (V)

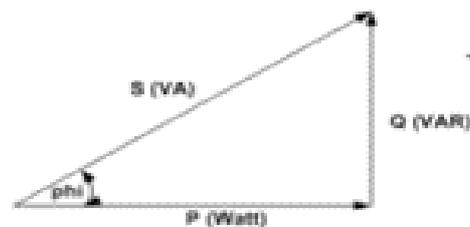
$\sin \phi$ = sudut reaktif

R = Resistansi saluran (Ω)

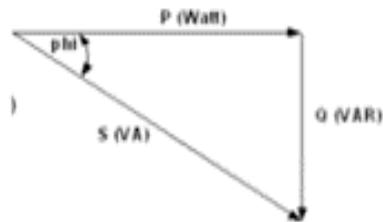
X = Reaktansi saluran (Ω)

2.9 Segitiga Daya

Daya semu (S) merupakan resultan dari dua komponen, yaitu daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini disebut dengan segitiga daya dan dalam bentuk vektor dapat digambarkan :



Gambar 2.16 Karakteristik Beban Kapasitif



Gambar 2.17 Karakteristik Beban Induktif

$$S = P^2 + Q^2 \text{ atau } S = V.I \quad (2-11)^{14}$$

$$P = S \cos \varphi = V.I \cos \varphi \quad (2-12)$$

$$Q = S \sin \varphi = V.I \sin \varphi \quad (2-13)$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya Semu}} = \cos \varphi \quad (2-14)$$

2.10 Rugi – Rugi Daya Dalam Saluran

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar rugi – rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil – kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang di salurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang.

Besar rugi daya pada saluran tiga fasa dapat dicari dengan persamaan :

$$P_z = 3.I.R.L.LLF$$

(2-15)

Jika besar rugi daya diperoleh, maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_z \quad (2-16)$$

Dimana :

P_z = Rugi daya pada saluran (MW)

P_R = Besar Daya yang Diterima (MW)

P = Besar daya yang di salurkan (MW)

R = Tahanan jaringan (Ω /Km)

L = Panjang Jaringan (Km)

I = Besar kuat arus pada beban (A)

LLF = Loss Load Faktor

2.11 Faktor Beban



Faktor beban merupakan perbandingan dari nilai kebutuhan rata –rata dengan nilai kebutuhan maksimum, merupakan satuan decimal. Ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{puncak}} \quad (2-17)$$

2.12 Faktor Rugi – Rugi (*Losses Factor*)

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.

Menurut ahli Amerika, pada kota nilai faktor rugi – rugi adalah sebagai berikut :

$$LL_f = 0,3 L_f + 0,7 (L_f)^2 \quad (2-18)$$

2.13 *Electric Transient and Analysis Program (ETAP)*

ETAP 12.6.0 adalah suatu *software* analisis yang *comprehensive* untuk mendesain dan mensimulasikan suatu sistem rangkaian tenaga. Analisis yang ditawarkan oleh ETAP yang digunakan penulis adalah *drop tegangan* dan *losses* jaringan. ETAP juga bisa memberikan *warning* terhadap bus – bus yang *under voltage* dan *over voltage* sehingga pengguna bisa mengetahui bus mana yang tidak beroperasi optimal. Untuk menganalisa suatu rangkaian diperlukan data rangkaian yang lengkap dan akurat sehingga hasil perhitungan ETAP bisa dipertanggung jawabkan.

ETAP mengintegrasikan data – data rangkaian tenaga listrik seperti kapasitas pembangkit, panjang jaringan, resistansi jaringan per km, kapasitas busbar, rating trafo, impedansi urutan nol, positif dan negatif suatu peralatan listrik seperti trafo, generator dan penghantar.

ETAP memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan diagram satu garis grafis dan sistem kabel bawah tanah *raceway*. Program ini telah dirancang berdasarkan tiga konsep kunci:

1. Virtual reality operasi



Program operasi menyerupai istemoperasi listrik nyata sedekat mungkin.

2. Integrasi total data

ETAP menggabungkan listrik, atribut logis, mekanik dan fisik dari elemen sistem dalam *database* yang sama.

3. Kesederhanaan di data entri

ETAP melacak dara rinci untuk setiap alat listrik. Editor data dapatmempercepat proses entri data dengan meminta data minimum untuk studi tertentu.

2.13.1 Mempersiapkan *plant*

Persiapan yang perlu dilakukan dalam analisa/desain dengan bantuan ETAP adalah:

1. *Single line diagram*.
2. Data peralatan baik elektris maupun mekanis.
3. *Library* untuk mempermudah mengedit data.

2.13.2 Membuat Proyek Baru

Berikut ini merupakan langkah – langkah untuk mebuat proyek baru:

1. Klik tombol *New* atau klik menu file lalu akan mncul kotak dialog sebagai berikut.





2.18 Membuat File Proyek Baru

2. Lalu ketik nama di kolom *project file*. Lalu klik OK.
3. Lalu akan muncul kotak dialog *User Information* yang berisi data pengguna *software*. Isi nama dan deskripsikan proyek yang akan dibuat. Lalu klik OK.
4. *File* proyek baru telah dibuat dan siap untuk menggambar *one line diagram*.

2.13.3 Menggambar single line diagram

Menggambar single line diagram dilakukan dengan cara memilih simbol peralatan listrik pada menu bar disebelah kanan layar. Klik pada simbol, kemudian arahkan kursor pada media gambar. Untuk menempatkan peralatan pada media gambar, klik kursor pada media gambar.



Untuk mempercepat proses penyusunan single line diagram, semua komponen dapat diletakkan secara langsung pada media gambar. Untuk mengetahui kontinuitas antar komponen dapat di cek dengan Continuty Check pada menu bar utama.