



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

2.1.1. Definisi Umum

¹Gardu induk disebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari *transformer* dan rangkaian *switch-gear* yang tergabung dalam satu kesatuan sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Gardu Induk merupakan sub-sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub-sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.

2.1.2. Fungsi Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik.

Fungsi gardu induk secara umum:

a. Mentransformasikan daya listrik:

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).

¹ <http://andre-electro.blogspot.com>



3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
 4. Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50/60 Hertz).
- b. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang tegangan menengah yang ada di gardu induk.
- d. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA).
- e. Menyalurkan tenaga listrik (KVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari Pembangkit atau dari gardu induk lain.

2.2 Klasifikasi Gardu Induk

²Gardu induk diklasifikasikan menjadi beberapa macam menurut dari segi fungsi, segi pemasangan, dll. Berikut adalah jenis-jenis dari Gardu Induk :

2.2.1. Gardu induk (*substations*) berdasarkan dari pemasangan peralatan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :

- a. Gardu Induk Pasang Luar (*out door substation*)

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Pemasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (*switch board*) dan baterai. Gardu induk jenis ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

- b. Gardu Induk Pasangan Dalam (*indoor door substation*)

Disebut Gardu induk pemasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada gardu induk

² <https://gilangmanyun.wordpress.com>



pasangan luar. Dari transformator utama, rangkaian *switch-gear* dan panel kontrol serta baterai semuanya. Jenis pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

c. Gardu Induk Semi-Pasangan Luar (*semi-out door substation*)

Sebagian peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut gardu induk semi pasangan dalam.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah (*underground substation*)

Gardu induk pasangan bawah tanah hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya diatas tanah dan peralatan-peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Gardu induk jenis ini umumnya berada dipusat kota, karena tanah yang tidak memadai.

2.2.2. Gardu induk berdasarkan dari tegangan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :

a. Gardu induk transmisi

Yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 30 KV.

b. Gardu induk distribusi

Yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau 6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.



2.2.3. Gardu induk berdasarkan dari fungsinya dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :

1. Gardu Induk Penaik Tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu Induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena *output voltage* yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

2. Gardu Induk Penurun Tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu Induk terletak di daerah pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

3. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar. Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti *bank capacitor*, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

4. Gardu Induk Pengatur Beban

Berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor yang saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

5. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

2.2.4. Gardu induk (*substations*) berdasarkan dari isolasi yang digunakan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain :



a. Gardu induk dengan isolasi udara

Merupakan gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya. Gardu induk ini berupa gardu induk konvensional memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.

b. Gardu induk yang menggunakan isolasi gas SF₆

Gardu induk yang menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Gardu induk ini disebut *Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switch-gear* (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit.

2.2.5. Gardu induk (*substations*) berdasarkan sistem rel/busbar yang digunakan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain:

a. Gardu induk sistem *ring* busbar.

Merupakan gardu induk yang busbarnya berbentuk ring. Pada gardu induk ini, semua rel (busbar) yang ada, tersambung satu dengan lainnya dan membentuk *ring* (cincin).

b. Gardu induk sistem satu (*single*) busbar.

Merupakan gardu induk yang mempunyai satu (*single*) busbar. Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk yang berada pada ujung (akhir) dari suatu sistem transmisi.

c. Gardu induk sistem dua (*double*) busbar.

Merupakan gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar. Gardu induk sistem *double* busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya saat melakukan perubahan sistem (*manuver system*). Gardu induk ini pada umumnya yang banyak digunakan.

d. Gardu induk sistem satu setengah (*on half*) busbar.

Adalah gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar. Pada umumnya gardu induk jenis ini dipasang pada gardu induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar. Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat



dilakukan perubahan sistem (*manuver system*). Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret (seri).

2.3 Peralatan dan Perlengkapan Gardu Induk

³Gardu induk merupakan suatu sistem Instalasi listrik yang terdiri dari beberapa perlengkapan peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer. Gardu induk dilengkapi komponen utama sebagai fasilitas yang diperlukan sesuai dengan tujuannya serta mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharaan. Secara umum peralatan dan perlengkapan pokok yang ada di Gardu Induk terdiri dari :

a. Transformator Daya

Transformator daya atau tenaga merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan).

b. Transformator Tegangan

Trafo tegangan disebut juga potensial transformator adalah trafo yang berfungsi menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah dan tegangan rendah, untuk sumber tegangan alat-alat ukur dan alat-alat proteksi.

Fungsi trafo tegangan (*potensial transformer*) :

- a) Memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran atau proteksi.
- b) Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
- c) Memungkinkan standarisasi rating tegangan untuk peralatan sisi sekunder.

c. Transformator Arus

Disebut juga *current transformer* (CT) berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengamanan. Menurut tipe konstruksinya :

- a. Tipe Cincin (*ring/window tipe*)
- b. Tipe Tangki Minyak

³ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/03/perlengkapan-gardu-induk.html>



c. Tipe cor-coran *Cast Resin (mounded cast resin tipe)*

d. Transformator Bantu

Transformator beroperasinya secara keseluruhan gardu induk tersebut. Jadi merupakan pasokan utama untuk alat-alat bantu seperti motor-motor 3 fasa yang digunakan sebagai motor pompa sirkulasi minyak trafo beserta motor-motor kipas pendingin. Yang paling penting adalah sebagai pasokan sumber tenaga cadangan seperti sumber DC merupakan sumber utama jika terjadi gangguan dan sebagai pasokan tenaga untuk proteksi sehingga proteksi tetap bekerja walaupun tidak ada pasokan arus AC.

e. Busbar/rel

Merupakan titik pertemuan/hubungan antara trafo-trafo tenaga, Saluran Udara TT, Saluran Kabel TT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Bahan dari rel terbuat dari bahan tembaga (*bar copper* atau *hollow conductor*). Ada beberapa jenis konfigurasi busbar yang digunakan hingga saat ini.

f. Arrester

Berfungsi untuk melindungi isolasi atau mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan *transient* yang tinggi dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian, alat ini bersifat sebagai *by-pass* disekitar isolasi yang membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat sistem pentanahan sehingga akan menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik.

g. Saklar Pemisah (PMS)

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian tidak berbeban. Oleh karena itu pemisah tidak boleh dihubungkan atau dikeluarkan dari rangkaian dalam keadaan berbeban. Cara pemasangan PMS dibedakan atas pasangan dalam dan pasangan luar. Tenaga penggerak dari PMS adalah secara manual, motor, *pneumatic* atau angin dan *hidrolis*.

h. Pemutus Tenaga (PMT)



PMT adalah peralatan/saklar untuk menghubungkan atau memutuskan suatu rangkaian/jaringan listrik sesuai dengan ratingnya. PMT memutuskan hubungan daya listrik bila terjadi gangguan, baik dalam keadaan berbeban maupun tidak berbeban dan proses ini dilakukan dengan cepat. Pada waktu menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi tegangan *recovery* yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api, oleh karena itu saklar pemutus dilengkapi dengan media peredam busur api tersebut, seperti media udara dan gas SF₆.

i. Saklar Pentanahan

Saklar ini menghubungkan kawat konduktor dengan tanah/bumi berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi pada konduktor saat dilakukan perawatan atau pengisolasian suatu sistem. Saklar pentanahan ini dibuka dan ditutup hanya apabila sistem dalam keadaan tidak bertegangan (PMS dan PMT sudah membuka).

j. Kompensator

Kompensator didalam sistem penyaluran tenaga listrik disebut pula alat pengubah fasa yang dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran transmisi atau *transformator*, dengan mengatur daya reaktif atau dapat pula dipakai untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya. Alat tersebut ada yang berputar dan ada yang *stationer*, yang berputar adalah kondensator sinkron dan kondensator asinkron, sedangkan yang *stationer* adalah kondensator statis atau kapasitor shunt dan reaktor shunt.

k. Rele Proteksi dan Papan Alarm

Rele proteksi yaitu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan dan membatasi daerah yang terganggu sekecil mungkin. Manfaat tersebut akan memberikan pelayanan penyaluran tenaga listrik dengan mutu dan keandalan yang tinggi. Sedangkan papan alarm atau *annunciator* adalah merupakan sederetan nama-nama jenis gangguan yang mana akan dilengkapi dengan lampu dan suara sirine pada saat



terjadi gangguan, sehingga memudahkan petugas untuk mengetahui rele proteksi yang bekerja dan jenis gangguan yang terjadi.

1. Baterai

Sumber tenaga untuk sistem kontrol dan proteksi selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka baterai dipakai sebagai sumber tenaga kontrol dan proteksi pada gardu induk. Peranan dari baterai sangat penting karena pada saat gangguan terjadi, baterai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan alat-alat kontrol dan proteksi.

Bahan elektrolit yang digunakan pada baterai dapat dibedakan atas dua, yaitu:

- a. Baterai timah hitam (*lead acid storage battery*): bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang. Baterai timah hitam ada dua macam yaitu:
 1. *Nickel-iron-alkaline storage battery* (NI-Fe battery).
 2. *Nickel-cadmium battery* (Ni-Cd battery).
- b. Baterai alkali (*alkali stroge battery*): bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (*patassium hydroxide*). Batery alkali ada dua macam yaitu:
 1. *Nickel-iron-alkaline storage battery* (NI-Fe battery).
 2. *Nickel-cadmium battery* (Ni-Cd battery).

2.4 Tipe-tipe Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV

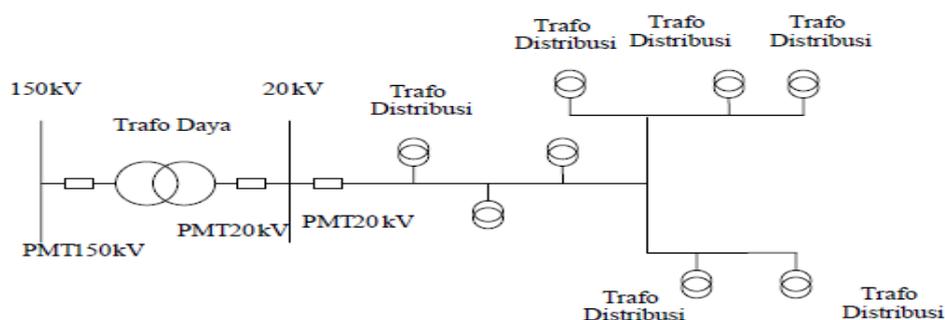
⁴Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

a. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial seperti Gambar di bawah ini adalah sistem distribusi sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun

⁴ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19216/5/Chapter%20II.pdf>

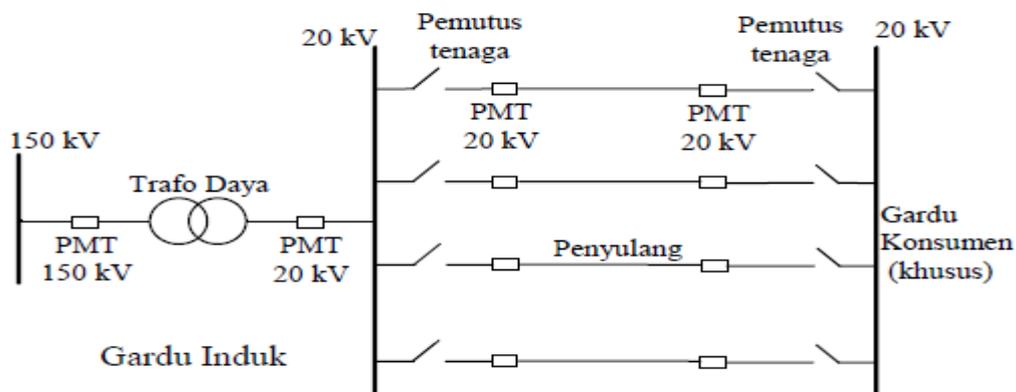
keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama mengalami gangguan, maka seluruh gardu ikut padam. Kerugian lainnya yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.



Gambar 2.1 Konfigurasi jaringan radial⁵

b. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

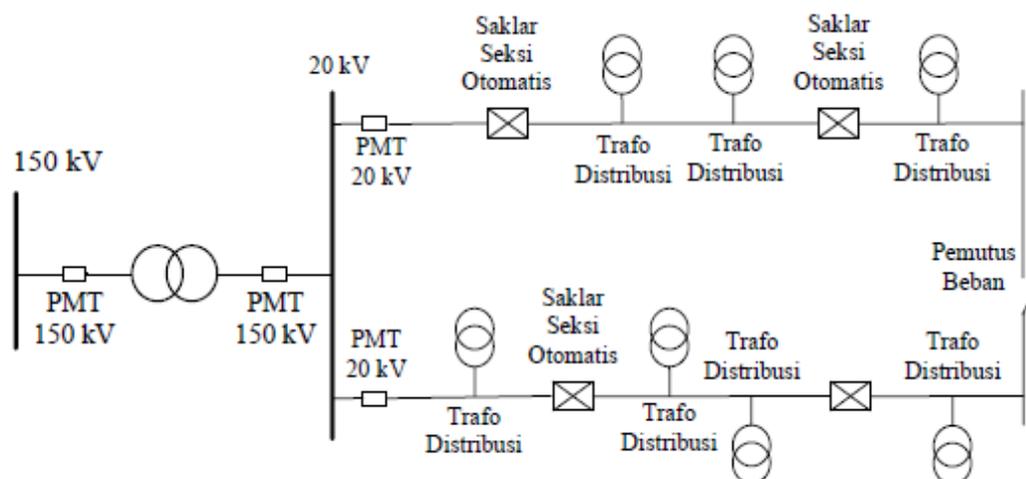
Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar di bawah ini digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit dan lain-lain). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch/Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.



⁵ Distribusi Tenaga Listrik.pdf.hal.3

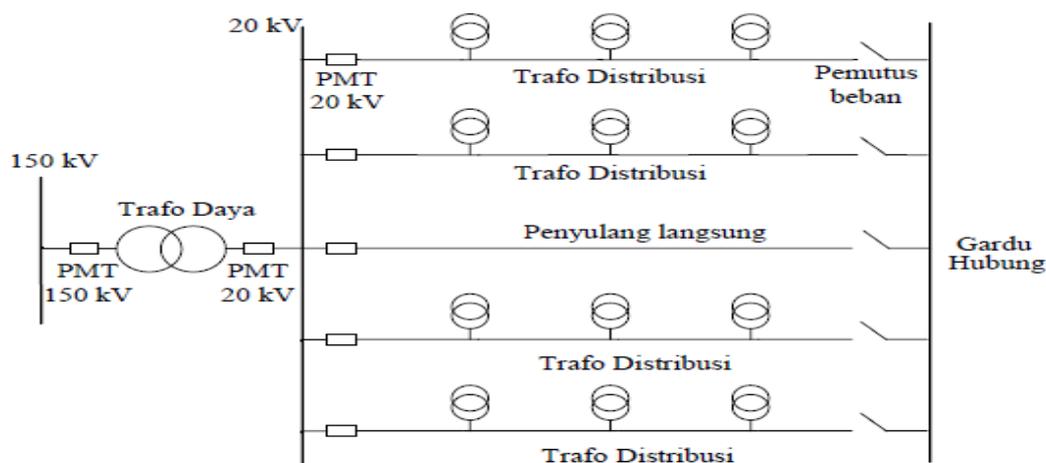
Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan hantaran penghubung⁶c. Jaringan Lingkar (*Loop*)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar di bawa ini dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

Gambar 2.3. Konfigurasi jaringan loop⁷

d. Jaringan Spindel

Sistem spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan *ring*. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



⁶ Distribusi Tenaga Listrik.pdf.hal.4

⁷ Distribusi Tenaga Listrik.pdf.hal.5

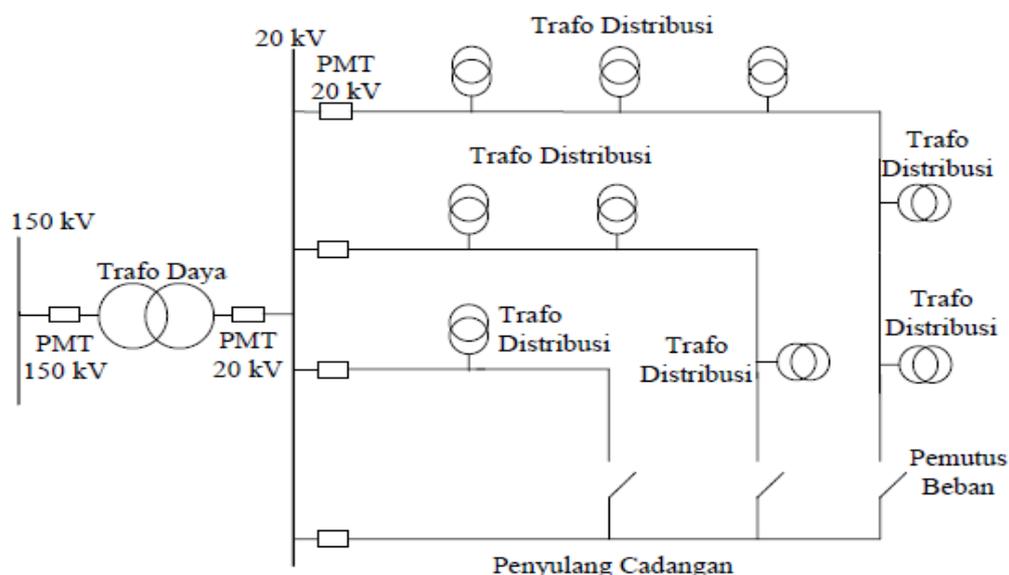
Gambar 2.4 Konfigurasi jaringan spindel⁸

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

e. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi gugus seperti pada Gambar di bawah ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat saklar pemutus beban, dan penyulang cadangan.

Penyulang berfungsi bila gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen. Adapun sistem gugus atau sistem kluster terdapat pada gambar 2.5 pada halaman 17 tentang konfigurasi jaringan kluster.

Gambar 2.5 Konfigurasi jaringan kluster⁹

⁸ Distribusi Tenaga Listrik.pdf.hal.6

⁹ Distribusi Tenaga Listrik.pdf.hal.7



2.5 Parameter Saluran

2.5.1 Tegangan Efektif

Tegangan Efektif adalah tegangan rata-rata (konstan) atau tegangan rata-rata kuadrat (*root mean square/rms*). Tegangan efektif rumusnya adalah:

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.1)^{10}$$

2.5.2 Reaktansi Trafo

Reaktansi merupakan tahanan yang bersifat reaksi terhadap perubahan tegangan atau arus. Nilai tahanannya berubah sehubungan dengan perbedaan fasa dari tegangan dan arus. Besarnya nilai reaktansi trafo secara matematis adalah:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{X (\%)}{100} \times \frac{V_{nt}^2 (kV)}{S_t (MVA)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

Z_1 dan Z_2 = Reaktansi kumparan primer dan sekunder (Ω)

V = Tegangan nominal trafo di sisi sekunder (kV)

S = Kapasitas daya nominal trafo (MVA)

Nilai impedansi juga dapat ditentukan dengan menggunakan rumus phitagoras dari segitiga daya yaitu:

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL)^2} \dots\dots\dots (2.3)^{11}$$

Keterangan:

Z = Impedansi belitan

R = Resistansi belitan

X_L = Induktansi belitan

2.5.3 Resistansi efektif

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting dari rugi daya pada saluran transmisi. Resistansi efektif dari suatu penghantar adalah:

$$R = \frac{\text{Rugi daya pada penghantar}}{I^2} \Omega \dots\dots\dots (2.4)$$

¹⁰ M.E Van Valkenburg. & S.H. Nasution. 1998. Hal 323

¹¹ Drs.Yon Rijono. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Hal 17



Dimana P dinyatakan dalam watt dan I adalah arus rms pada penghantar dalam ampere. Resistansi efektif sama dengan resistansi arus searah (dc) dari saluran jika terdapat distribusi arus merata di seluruh penghantar.

Adapun rumus resistansi (dc) adalah:

$$R = \frac{\rho l}{A} \Omega \dots\dots\dots (2.5)^{12}$$

Keterangan:

ρ = resistivitas penghantar

l = panjang penghantar

A = luas penampang

Nilai hambatan suatu penghantar juga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = Z \times \text{Cos } \theta \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Z = Impedansi saluran

Cos θ = Faktor daya

2.5.4 Induktansi Saluran

Induktansi saluran juga merupakan konstanta saluran dan merupakan bagian penting dalam perhitungan karakteristik saluran. Pada saluran transmisi tiga fasa, nilai induktansi adalah sama dengan nilai induktansi perkonduktor yaitu:

$$L = \left\{ 0.5 + 4.6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots (2.7)^{13}$$

Keterangan:

L = Induktansi saluran (H/m)

D = jarak antara konduktor (m)

r = radius masing-masing konduktor (m)

Sedangkan besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak balik yaitu:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (2.8)^{14}$$

¹² Abdul Kadir. 1998. Hal 152

¹³ Zuhail. 1995. Hal 151

¹⁴ T.S Hutaruk 1996. Hal 6



Keterangan:

X_L = Reaktansi kawat penghantar (Ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi kawat penghantar (Hendry)

2.5.5 Kapasitansi Saluran

Bila pada dua konduktor yang terpisah oleh jarak tertentu dialirkan arus listrik, maka akan terbentuk fluks elektrostatik dan dua konduktor tersebut berfungsi sebagai kapasitor. Nilai kapasitansinya semata-mata tergantung dari jari-jari konduktor tersebut serta tidak dipengaruhi oleh besarnya medan magnet.

Besarnya reaktansi kapasitif ditentukan oleh kapasitansi dari kawat dan frekuensi arus bolak balik yaitu:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot c} \dots\dots\dots (2.9)^{15}$$

Keterangan:

X_c = Reaktansi kapasitif penghantar (ohm)

f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitansi kawat penghantar (Farad)

2.6 Daya Listrik

¹⁶Daya listrik adalah merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus. Adapun daya listrik terbagi atas 3 yaitu:

2.6.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi daya semu adalah tegangan dikali arus.

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (3.0)$$

Maka daya semu untuk 3 fasa:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan line-line (V)

¹⁵ T.S Hutahuruk 1996. Hal 8

¹⁶ Joseph A.Edminister. Mahmood Nahvi. Hal 171



I = Arus (A)

2.6.2 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Adapun daya aktif untuk satu fasa dan tiga fasa yaitu:

P1φ = V. I. Cos θ (3.2)

P3φ = √3 V. I. Cos θ (3.3)

2.6.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk dalam saluran dengan daya aktif yang terpakai untuk daya mekanis panas. Adapun daya ini terbagi atas satu fasa dan tiga fasa yaitu:

Q1φ = V. I. Cos θ (3.2)

Q3φ = √3 V. I. Cos θ (3.3)

2.7 Rugi Daya

¹⁷Daya listrik yang dikirim dari gardu induk sampai ke trafo distribusi akan mengalami rugi daya maupun tegangan diakibatkan faktor jarak maupun luas penampang yang dipakai.

Ploss = 3. I². R (3.4)

Keterangan:

Ploss = Rugi – rugi daya (KW)

I = Arus (A)

R = resistansi saluran efektif (Ohm)

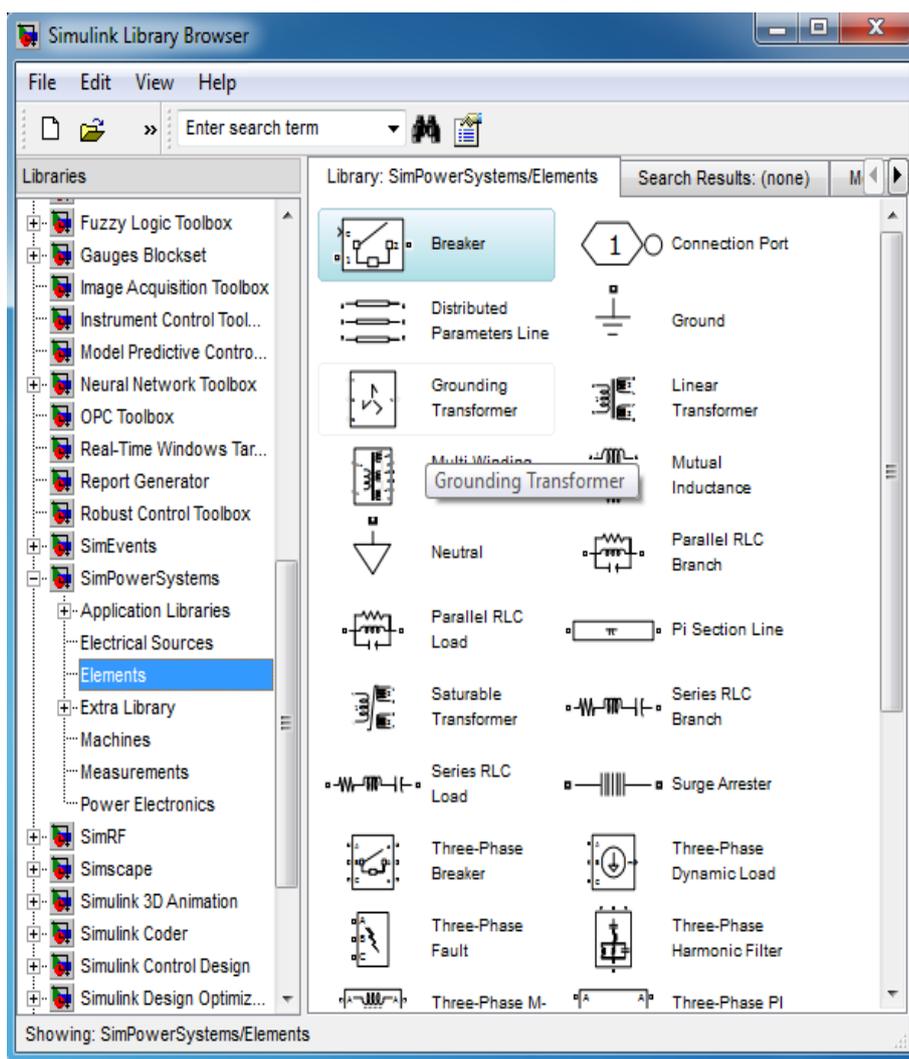
2.8 Program Matlab Simulink Versi 7.12

Matlab (*matrix laboratory*) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemograman komputer generasi keempat. Dikembangkan oleh *The Math Work*. Matlab memungkinkan manipulasi matriks, pem-plot-an fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antar muka pengguna dan pengantar muka-an dengan program dalam bahasa lainnya.

¹⁷ Abdul Kadir. 2000. Hal 106

Simulink pada Matlab adalah salah satu fitur dari matlab untuk mensimulasi suatu desain atau model yang bersifat dinamis ataupun tertanam, simulasi ditujukan untuk mengukur kinerja dari suatu desain atau model sistem yang telah dirancang yang sesuai hasil yang diinginkan. Matlab Simulink adalah ekstensi grafis untuk MATLAB untuk pemodelan dan simulasi sistem. Salah satu pemodelan yang dapat dibuat pada simulink ini adalah *SimPowerSystems* (Simulasi Sistem tenaga). Pada *SimPowerSystems* ini terdapat beberapa peralatan dalam sistem tenaga listrik seperti sumber listrik, peralatan-peralatan pada jaringan transmisi dan distribusi (seperti transformator daya, penghantar, beban, dll), alat ukur, dan mesin-mesin listrik.

Adapun jenis-jenis parameter listrik terdapat pada *SimPowerSystem* pada *Simulink Library Browser* seperti yang terdapat pada gambar 2.6 pada halaman 22





tentang parameter-parameter listrik pada Matlab Simulink.

Gambar 2.6 Parameter-parameter listrik pada Matlab Simulink