

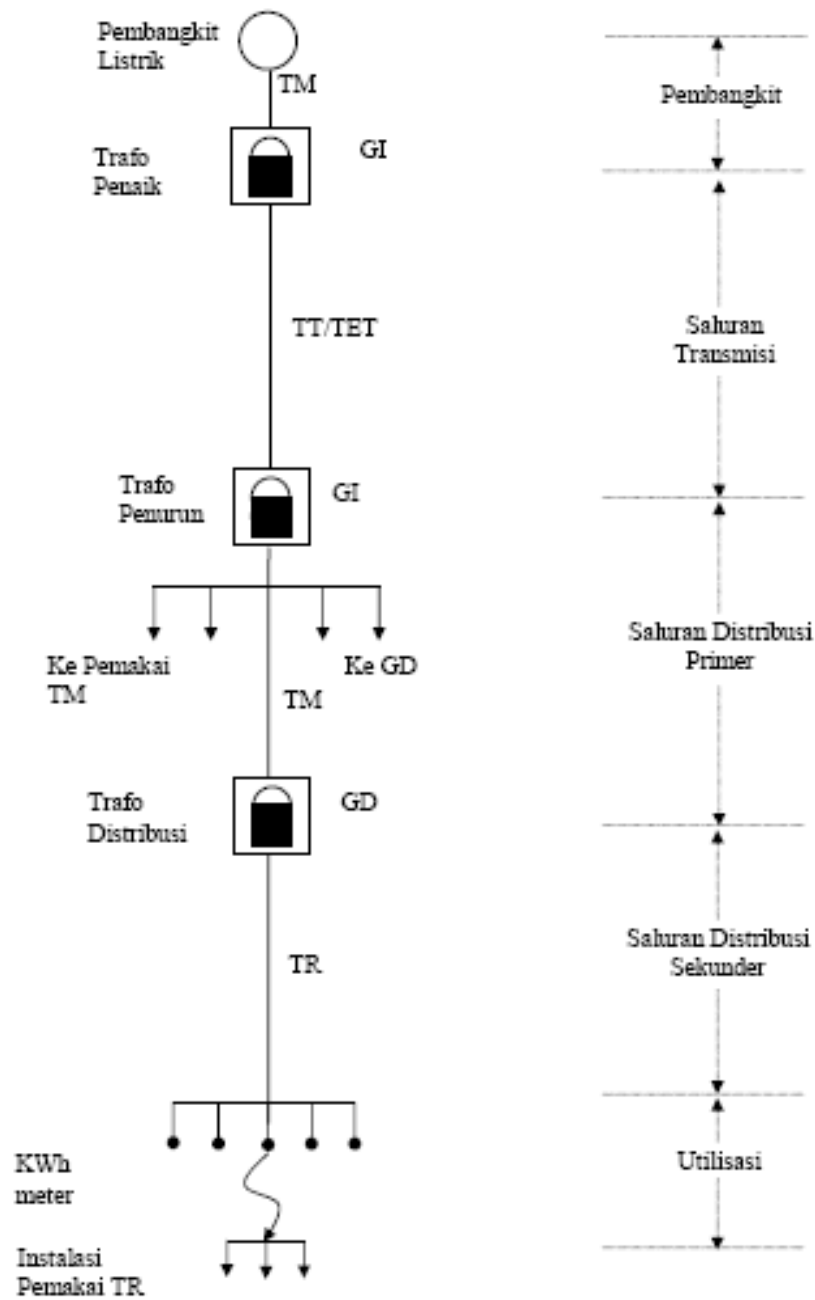
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jaringan Distribusi

Awalnya tenaga listrik dihasilkan di pusat – pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD dengan tegangan yang biasanya merupakan tegangan menengah 20 kV. Pada umumnya pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pengguna tenaga listrik, untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pembangkit ini, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi 150/70 kV (TT), atau tegangan ekstra tinggi 500 kV (TET). Tegangan yang lebih tinggi ini diperoleh dengan transformator penaik tegangan (step up transformator).

Pemakaian tegangan tinggi ini diperlukan untuk berbagai alasan efisiensi, antara lain, penggunaan penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil, ketika tegangan tinggi diterapkan. Setelah saluran transmisi mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu daerah industri atau suatu kota, tegangan, melalui gardu induk (GI) diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20kV. Setiap GI sesungguhnya merupakan Pusat Beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat Listrik harus selalu berubah. Perubahan daya yang dilakukan di pusat pembangkit ini bertujuan untuk mempertahankan tenaga listrik tetap pada frekuensi 50 Hz. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban (P3B).



Gambar 2.1. Gambaran Umum Distribusi Tenaga Listrik

Tegangan menengah dari GI ini melalui saluran distribusi primer, untuk disalurkan ke gardu - gardu distribusi(GD) atau pemakai TM. Dari saluran distribusi primer, tegangan menengah (TM) diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) 220/380 V melalui gardu distribusi (GD). Tegangan rendah dari gardu



distribusi disalurkan melalui saluran tegangan rendah ke konsumen tegangan rendah.

2.2. Jaringan Tegangan Menengah

Pembangkit listrik umumnya berada jauh dari pusat beban, terlebih-lebih pembangkit listrik berskala besar, sehingga untuk menyalurkan tenaga listrik tersebut sampai ke konsumen atau pusat beban maka tenaga listrik tersebut harus disalurkan.

Bagan Sistem Penyaluran Tenaga Listrik Sistem jaring distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu sistem jaring distribusi primer dan sistem jaring distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaring distribusi primer adalah 20kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaring distribusi sekunder adalah 380/220V. Jaringan ini mempunyai struktur/pola sedemikian rupa, sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan handal.

2.2.1. Jaringan Ditribusi Primer

Saluran distribusi Primer, Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (Gardu Induk) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi.

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan



yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, yaitu:

- Jaringan Distribusi Radial, dengan model: Radial tipe pohon, Radial dengan tie dan switch pemisah, Radial dengan pusat beban dan Radial dengan pembagian phase area.

Pola ini merupakan pola yang paling sederhana dan umumnya banyak digunakan di daerah pedesaan / sistem yang kecil. Umumnya menggunakan SUTM(Saluran Udara Tegangan Menengah), Sistem Radial tidak terlalu rumit, tetapi memiliki tingkat keandalan yang rendah.

- Jaringan distribusi ring (loop), dengan model: Bentuk open loop dan bentuk Close loop.

Merupakan pengembangan dari sistem radial, sebagai akibat dari diperlukannya kehandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasok dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi, karena hal ini diperlukan untuk manuver beban pada saat terjadi gangguan.

Sistem close loop ini layak digunakan untuk jaringan yang dipasok dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang lebih rumit biasanya menggunakan rele arah(bidirectional). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibanding sistem yang lain.

- Jaringan sistem/pola cluster



Sistem cluster sangat mirip dengan sistem spindel, juga disediakan satu feeder khusus tanpa beban(feeder expres).

- Jaringan distribusi spindle

Sistem ini pada umumnya banyak digunakan di Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. Memiliki kehandalan yang relatif tinggi karena disediakan satu expres feeder / penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung. Biasanya pada tiap penyulang terdapat gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

2.2.2. Jaringan Distribusi Sekunder

Saluran Distribusi Sekunder, Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang yang menghubungkan ke konsumen. Yang menghubungkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen merupakan saluran udara (over head line) 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 127/220 V atau 220/380 V, kecuali untuk daerah-daerah khusus dengan pertimbangan keindahan, keselamatan, keandalan yang tinggi diperlukan system kabel bawah tanah (underground cable).

Saluran jaringan Hantaran Udara (over head Line)

Jaringan dengan hantaran udara sangat baik bila digunakan pada daerah dengan kerapatan beban yang rendah. Karena disini harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara relatif murah,dan juga disamping hal tersebut harga dari material nya lebih murah bila dibandingkan dengan hantaran bawah tanah.

Keuntungan lain dari jenis hantaran udara adalah :



- a. Mudah dilakukannya suatu perluasan jaringan pelayanan dengan menarik percabangan yang diperlukan.
- b. Mudah melakukan pemeriksaan pada jaringan apabila terjadi suatu gangguan.
- c. Mudah untuk melakukan suatu proses pemeliharaan.
- d. Harga pemasangan, perawatan dari jaringan hantaran udara relatif lebih murah.

Jaringan dengan hantaran udara menyalurkan daya listrik dengan kabel yang digantung pada tiang sehingga biaya untuk melakukan suatu pemeliharaan akan lebih tinggi disamping juga keberadaan kabel-kabel di udara tersebut juga mengurangi kerapian atau keindahan disekitarnya dikarenakan oleh kabel-kabel yang melintas tersebut.

Komponen Utama Dari suatu saluran udara (Over Head Line).

Ada tiga komponen utama saluran udara (Over Head Line), yaitu :

- A. Kawat Penghantar (Conductor)
- B. Isolator.
- C. Menara/Tiang Distribusii

Kawat Penghantar (Conductor)

Dalam menentukan ukuran penghantar sebaiknya dipilih dengan memperhatikan factor-faktor berikut :

- a. Kapasitas penyaluran arus
- b. Jatuh tegangan yang diizinkan
- c. tegangan putus penghantar



Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%) atau aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut :

a. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

Yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja., biasanya digunakan untuk saluran udara tegangan rendah, tegangan menengah, maupun tegangan tinggi yang mana diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang yang khusus. Jenis penghantar ini terbuat dari kawat-kawat aluminium keras yang dipilin berpenguatan inti baja dan tidak berisolasi (telanjang). Pada kawat-kawat aluminium yang dipilin untuk membentuk hantaran harus terdiri dari kawat-kawat yang berdiameter sama dan besarnya tidak boleh menyimpang dari harga yang telah ditentukan. Sambungan pada kawat aluminium pada penghantar aluminium berpenguatan baja, tidak tergantung pada jumlahnya kawat aluminium , sambungan-sambungan pada masing-masing kawat aluminium tidak diizinkan, disamping yang dibuat pada batang dasar atau kawat sebelum penarikan akhir dengan syarat jarak antara dua sambungan dari sambungan-sambungan tersebut pada penghantar dipilin tidak kurang dari 15 m.

b. AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium, digunakan untuk saluran tegangan rendah dan tegangan menengah yang mana diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang yang khusus.



Penghantar ini terbuat dari kawat-kawat aluminium campura yang dipilin, tidak berisolasi (telanjang) dan tidak mempunyai inti, dengan ukuran diameter kawatnya mulai dari 1,5 mm sampai 4,5 mm. Diameter kawat-kawat aluminium yang dipilin untuk membentuk hantaran harus terdiri dari kawat-kawat yang berdiameter sama dan besarnya tidak boleh menyimpang dari harga yang telah ditentukan. Untuk sambungan pada kawat yang hantarannya terdiri dari 7 kawat, tidak diperkenankan adanya sambungan pada setiap kawat, kecuali sambungan yang dibuat pada batang dasar atau pada kawat sebelum proses penarikan akhir. Pada hantaran yang terdiri dari lebih 7 kawat, sambungan pada masing-masing kawat diizinkan asalakan jarak terdekat antara dua sambungan tidak kurang dari 15 m.

c. BCC (hantaran tembaga telanjang jenis keras)

❖ ***BCC H (Hantaran tembaga telanjang jenis keras)***

Hantaran tembaga telanjang jenis keras ini biasanya digunakan untuk saluran udara tegangan rendah maupun tegangan tinggi yang diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang khusus. Penghantar jenis ini terdiri dari kawat padat atau kawat-kawat dipilin dari tembaga polos yang dipijarkan. Untuk sambungannya tidak diperkenankan ada sambungan pada hasil penarikan akhir kawat. Sambungan-sambungan seharusnya dibuat sebelum penarikan akhir dengan cara-cara yang memenuhi syarat. Pada hantaran yang dipilin jarak antara kedua sambungan tidak diperbolehkan kurang dari 200 m untuk lapisan luar, dan tidak diperbolehkan kurang dari 200 m untuk lapisan luar, dan tidak



diperbolehkan kurang dari 15 untuk lapisan dalam. Harga kuat tarik hantaran yang ada sambungan tidak boleh kurang dari 95% dari harga yang telah ditentukan.

❖ *BCC $\frac{1}{2} H$ (hantaran tembaga telanjang jenis setengah keras)*

Hantaran tembaga telanjang jenis setengah keras digunakan untuk saluran udara tegangan rendah maupun tegangan tinggi yang diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang khusus. Penghantarnya terdiri dari kawat padat atau kawat-kawat yang dipilin dari tembaga polos yang dipiojarkan. Untuk sambungan tidak diperkenankan ada sambungan pada hasil penarikan akhir kawat. Sambungan-sambungan seharusnya dibuat sebelum penarikan akhir dengan cara-cara yang memenuhi syarat. Pada hantaran yang dipilin, jarak antara kedua sambungan tidak diperbolehkan kurang dari 200 m untuk lapisan luar dan tidak diperbolehkan kurang dari 15 m untuk lapisan dalam. Harga kuat tarik hantarnya yang ada sambungannya tidak boleh kurang dari 95 % dari harga yang telah ditentukan. Hantaran tembaga telanjang harus dibuat secara baik dan rapi, dipilin secara rapat dengan langkah pilinan yang sama dan tidak terdapat retak-retak ataupun cacat lainnya. Permukaan harus bersih dan licin bebas dari oksidasi, sulfidasi yang merusak.

AAC : All Aluminium Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium

ACAR : Aluminium Conductor Alloy Reinforced, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat logam campuran



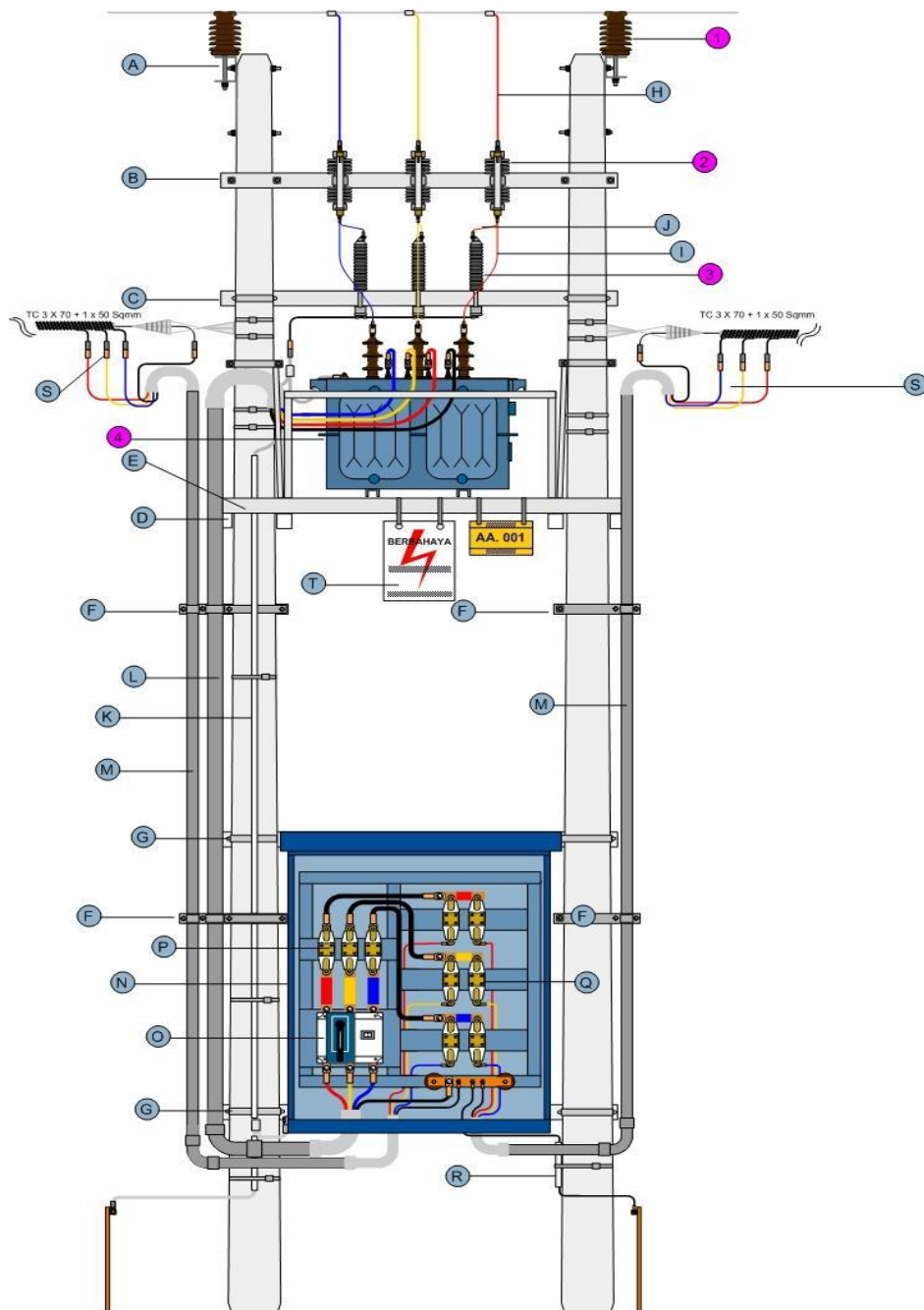
2.3. Trafo Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika, bagian-bagian dari transformator bisa dilihat pada Gambar 3.3

Bagian bagian Trafo distribusi adalah sebagai berikut :

A : Konstruksi Gardu 2 Tiang	K : Grounding Arrester, Body Trafo,
B : Dudukan Cut Out Switch	Body Panel
C : Dudukan Lightning Arrester	L : Incoming
D : Penjepit Tiang	M : Out Going
E : Dudukan Trafo 2 Tiang	N : LV Panel
F : Dudukan Pipa Incoming / Out Going	O : Pembatas TR Utama
G : Dudukan LV Panel 2 Pintu	P : Pembatas Utama
H : Jumper SUTM 20 KV – Cut Out Switch	Q : Pembatas Jurusan
I : Jumper Cut Out Switch - Bushing Primer Trafo	R : Grounding Netral Trafo
J : Jumper Cut Out Switch – Arrester	S : Jumper Kabel Out Going - Jaringan SUTR
	T : Accessories

- 1: Pin Post Insulator 20 KV
- 2 : Cut Out Switch 20 KV
- 3 : Lightning Arrester 24 KV / 5 KA
- 4 : Transformator 20 KV - 3 Phase : 200 KVA / 250 KVA



Gambar 2.2. Gambaran Trafo Distribusi 3 Fasa - 2 Tiang (2 Grup – 2 Pintu)



Perhitungan Arus Beban Penuh (I_{fl}) Transformator

Daya transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3}V_{ll}I$$

Dimana:

S = Daya transformator (kVA)

V_{ll} = Tegangan antar fase sisi primer (V)

I = Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load current, I_{fl}) dapat menggunakan rumus:

$$I_{fl} = \frac{S}{\sqrt{3}V_{ll}}$$

Dimana:

I_{fl} = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V_{ll} = Tegangan antar fase sisi sekunder (V)

2.4. Sistem Tiga Fasa

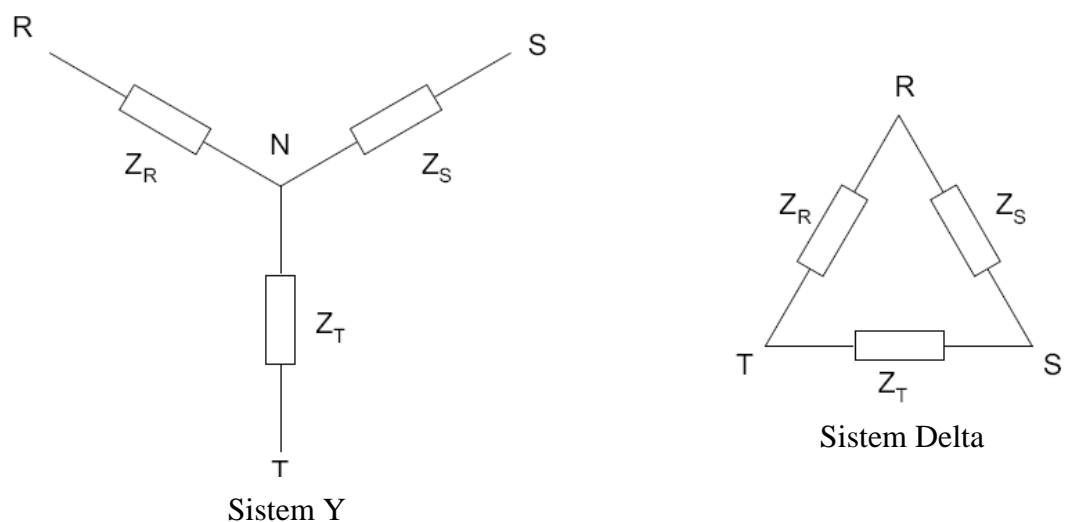
Kebanyakan sistem listrik dibangun dengan sistem tiga fase. Hal tersebut didasarkan pada alasan-alasan ekonomi dan kestabilan aliran daya pada beban. Alasan ekonomi dikarenakan dengan sistem tiga fase, penggunaan penghantar untuk transmisi menjadi lebih sedikit. Sedangkan alasan kestabilan dikarenakan pada sistem tiga fase daya mengalir sebagai layaknya tiga buah sistem fase

tunggal, sehingga untuk peralatan dengan catu tiga fase, daya sistem akan lebih stabil bila dibandingkan dengan peralatan dengan sistem satu fase.

Sistem tiga fase atau sistem fase banyak lainnya, secara umum akan memunculkan sistem yang lebih kompleks, akan tetapi secara prinsip untuk analisa, sistem tetap mudah dilaksanakan.

2.4.1. Sistem Y dan Delta

Sistem Y merupakan sistem sambungan pada sistem tiga fase yang menggunakan empat kawat, yaitu fase R, S, T dan N. Sistem sambungan tersebut akan menyerupai huruf Y, yang memiliki empat titik sambungan yaitu pada ujung-ujung huruf dan pada titik pertemuan antara tiga garis pembentuk huruf. Sistem Y dapat digambarkan dengan skema berikut.



Gambar 2.3. Gambar Sistem Terhubung Y dan Terhubung Delta



Sistem hubungan atau sambungan Y, sering juga disebut sebagai hubungan bintang. Sedangkan pada sistem yang lain yang disebut sebagai system Delta, hanya menggunakan fase R, S dan T untuk hubungan dari sumber ke beban, sebagaimana gambar diatas. Tegangan efektif antar fase umumnya adalah 380 V dan tegangan efektif fase dengan netral adalah 220 V.

2.4.2. Beban Seimbang Terhubung Delta

Pada sitem delta, bila tiga buah beban dengan impedansi yang sama disambungkan pada sumber tiga fase, maka arus di dalam ketiga impedansai akan sama besar tetapi terpisah dengan sudut sebesar 120° , dan dikenal dengan arus fase atau arus beban. Untuk keadaan yang demikian, maka dalam rangkaian akan berlaku :

$$V_{\text{delta}} = V_{\text{line}}$$

$$I_{\text{delta}} = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\text{delta}} = \frac{V_{\text{delta}}}{I_{\text{delta}}} = \frac{\sqrt{3}V_{\text{line}}}{I_{\text{line}}}$$

$$S_{\text{delta}} = 3 \times V_{\text{delta}} \times I_{\text{delta}} = \sqrt{3} V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} = 3 \times \frac{V_{\text{line}}^2}{Z_{\text{delta}}} = I_{\text{line}}^2 \times Z_{\text{delta}}$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

2.4.3. Beban Seimbang Terhubung Y

Untuk sumber dan beban yang tersambung bintang (star) atau Y, hubungan antara besaran listriknya adalah sebagai berikut :

$$V_{star} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{star} = I_{line}$$

$$Z_{star} = \frac{V_{star}}{I_{star}} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}I_{line}}$$

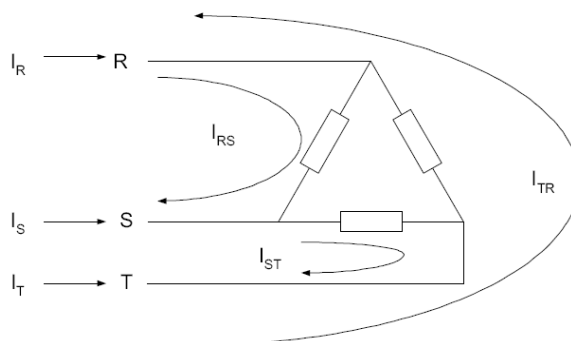
$$S_{star} = 3 \times V_{star} \times I_{star} = \sqrt{3} V_{line} \times I_{line} = \frac{V_{line}^2}{Z_{star}} = 3 \times I_{line}^2 \times Z_{star}$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

2.4.4. Beban Tak Seimbang Terhubung Delta

Penyelesaian beban tak seimbang tidaklah dapat disamakan dengan beban yang seimbang sebagaimana dijelaskan diatas. Penyelesaiannya akan menyangkut perhitungan arus-arus fase dan selanjutnya dengan hukum arus Kirchoff akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing fase.



Gambar 2.4. Beban tak seimbang terhubung Delta

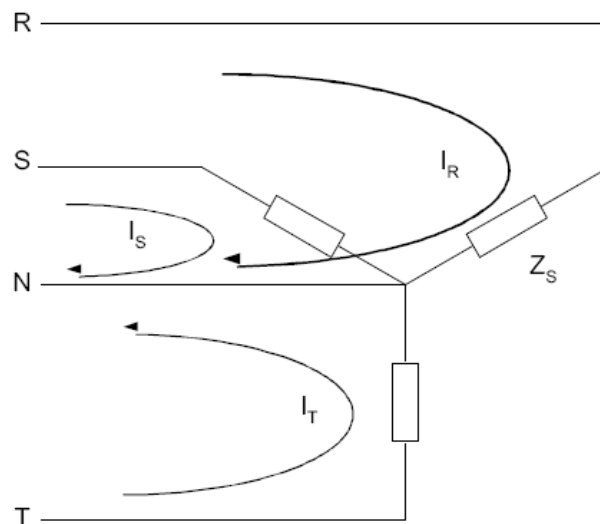
$$I_{RS} = V_{RS}/Z_{RS} \quad I_{TR} = V_{TR}/Z_{TR}$$

$$I_{ST} = V_{ST}/Z_{ST} \quad I_R = I_{RS} - I_{TR}$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} \quad I_T = I_{TR} - I_{ST}$$

2.4.5. Beban Tak Seimbang Terhubung Y

Pada sistem ini masing-masing fase akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju Netral (pada sistem empat kawat). Sehingga arus netral merupakan penjumlahan secara vector arus yang mengalir dari masing-masing fase.



Gambar 2.5. Beban tak seimbang terhubung bintang empat kawat

Pada sistem dengan empat kawat, akan berlaku :

$$I_R = V_{RN}/Z_R$$

$$I_S = V_{SN}/Z_S$$

$$I_T = V_{TN}/Z_T$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$