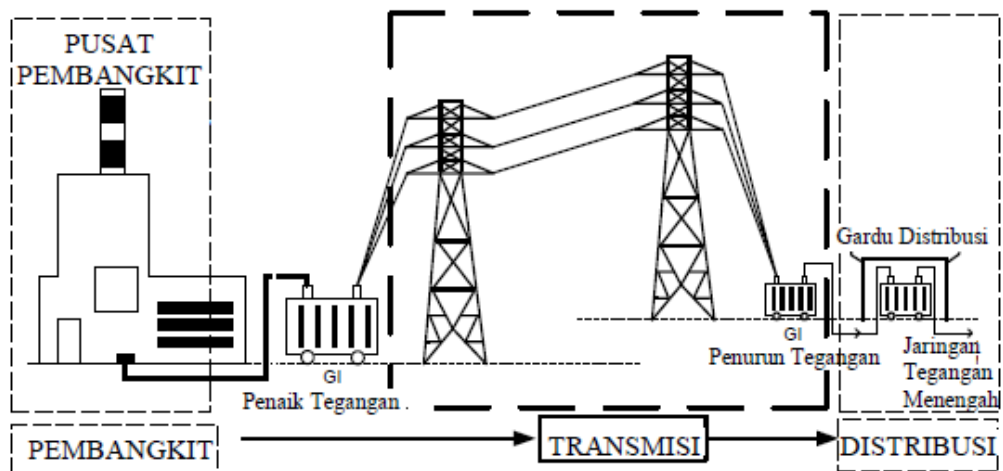


## BAB II

### SISTEM DISTRIBUSI DAN MUTU TENAGA LISTRIK

#### 2.1 Sistem Distribusi

Sistem tenaga listrik mempunyai tiga komponen utama dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut :



Gambar 2.1 Tiga komponen utama dalam penyaluran tenaga listrik

Energi listrik yang dihasilkan oleh pusat pembangkit disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan generator pembangkit yang relatif rendah (6 kV – 24 kV) dan perlu dinaikan dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi, berkisar antara 150 kV–500 kV. Penurunan tegangan tinggi/ekstra tinggi dilakukan oleh transformator tenaga di Gardu Induk hingga besar tegangan menjadi 20 kV, setelah itu tegangan 20 kV diturunkan menjadi 380/220 V oleh transformator tenaga di Gardu Distribusi.

Sistem jaringan distribusi terdiri dari tiga bagian utama, yaitu jaringan tegangan menengah (20 kV), gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah (380/220 V).

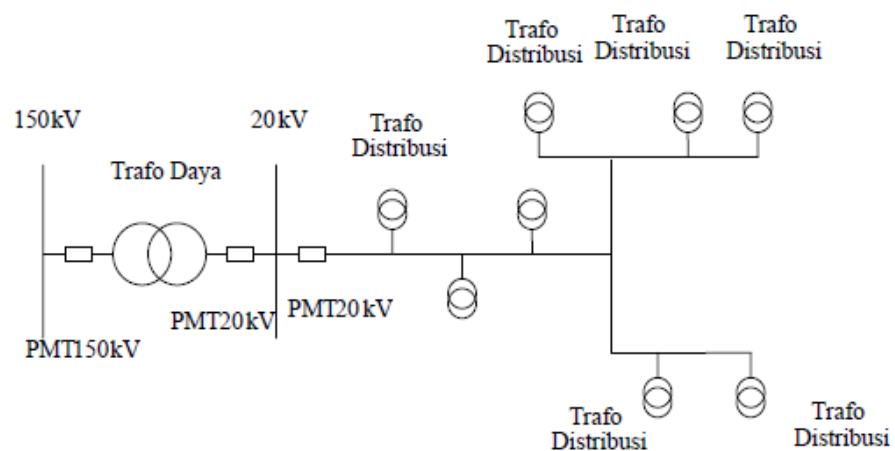
### 2.1.1 Jaringan Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan sistem distribusi tegangan menengah merupakan bagian awal dari sistem distribusi. Pada bagian ini berawal dari trafo daya sisi sekunder di Gardu Induk dan memungkinkan berakhir di dua tempat, pertama berakhir di transformator daya sisi primer di gardu distribusi dan yang kedua berakhir di KWh meter pelanggan 20 kV.

Penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi tegangan menengah 20kV dapat dilakukan dengan lima jenis jaringan, yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan lingkaran (*loop*), jaringan spindel dan jaringan gugus (*kluster*)

#### 2.1.1.1 Jaringan Radial

Jaringan radial adalah sistem jaringan yang paling sederhana. Pada sistem ini hanya terdapat satu penyulang yang menyuplai tenaga listrik ke beberapa gardu distribusi secara radial atau menghubungkan beban-beban ke titik sumber.

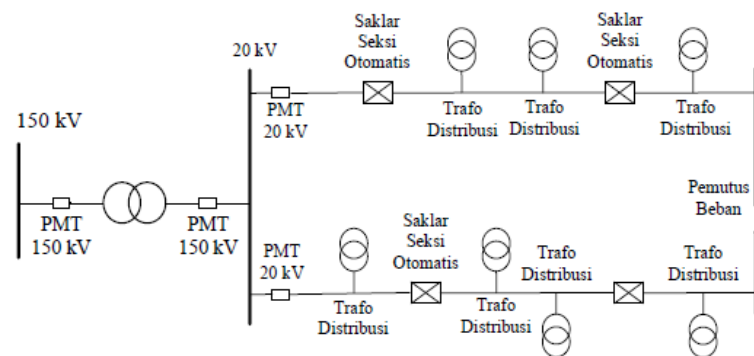


Gambar 2.2 konfigurasi jaringan radial



### 2.1.1.3 Jaringan Lingkar (Loop)

Jaringan loop adalah suatu sistem yang penyulangannya disusun secara melingkar seperti gambar 2.4 Sehingga pada jaringan loop memungkinkan alternatif pemasokan tenaga listrik ke gardu-gardu distribusi lebih dari satu penyulang, namun penyaluran tenaga listriknya tetap di suplai dari satu penyulang. Dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

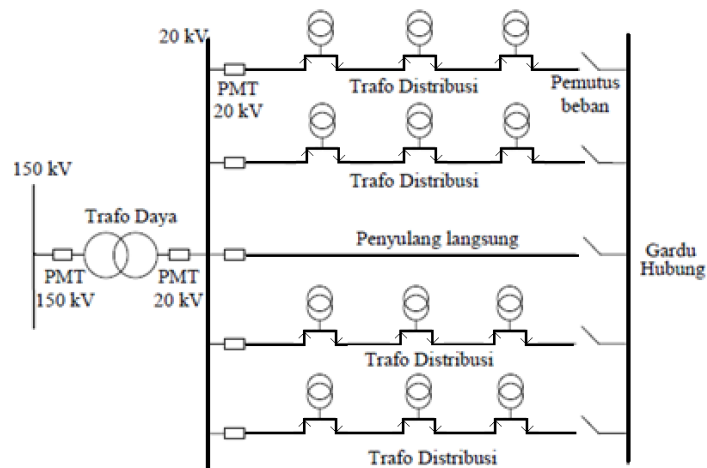


Gambar 2.4 konfigurasi jaringan lingkaran (loop)

Pada sistem ini terdapat dua jenis loop yaitu loop terbuka (open loop) dan loop tertutup (close loop).

### 2.1.1.4 Jaringan Spindel

Jaringan spindel merupakan suatu struktur gabungan dari jaringan radial dan loop. Jaringan spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang dipasok dari Gardu Induk menuju ke satu titik pertemuan, sehingga penyulang-penyulangannya membentuk suatu lingkaran terbuka pada titik pertemuan tersebut. Titik akhir dari penyulang-penyulang ini disebut titik refleksi atau disebut juga Gardu Hubung (GH) (Switching substatio).

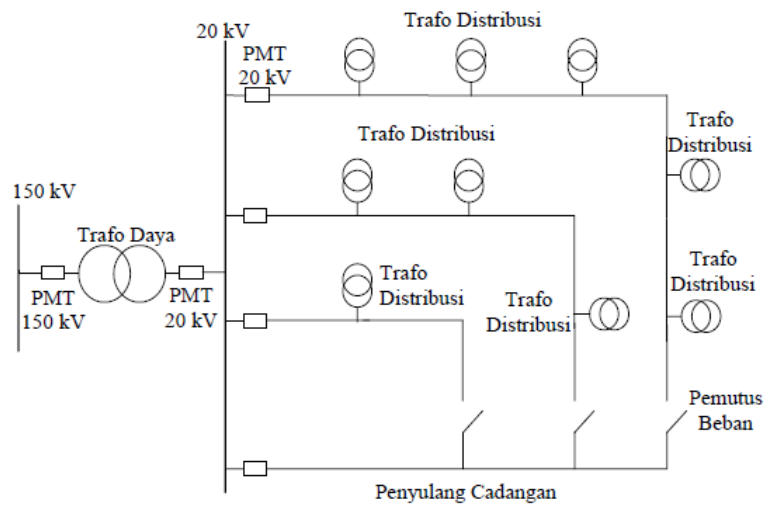


Gambar 2.5 konfigurasi jaringan spindel

Penyulang pada jaringan spindel biasanya dibatasi maksimum tujuh buah penyulang aktif dengan satu penyulang ekspres.

#### 2.1.1.5 Jaringan gugus (*kluster*)

Jaringan kluster banyak digunakan pada kota-kota besar yang mempunyai kepadatan beban yang perkebangannya cukup tinggi. Jaringan ini merupakan modifikasi dari jaringan spindel, hanya saja penyulang ekspresnya merupakan titik refleksi dari penyulang-penyulang aktif yang mencatu gardu-gardu distribusi. Sehingga, apabila terjadi gangguan atau perawatan pada salah satu penyulang aktif yang menyuplai tenaga listrik ke konsumen dapat dialihkan pemasokannya oleh penyulang cadangan ini.

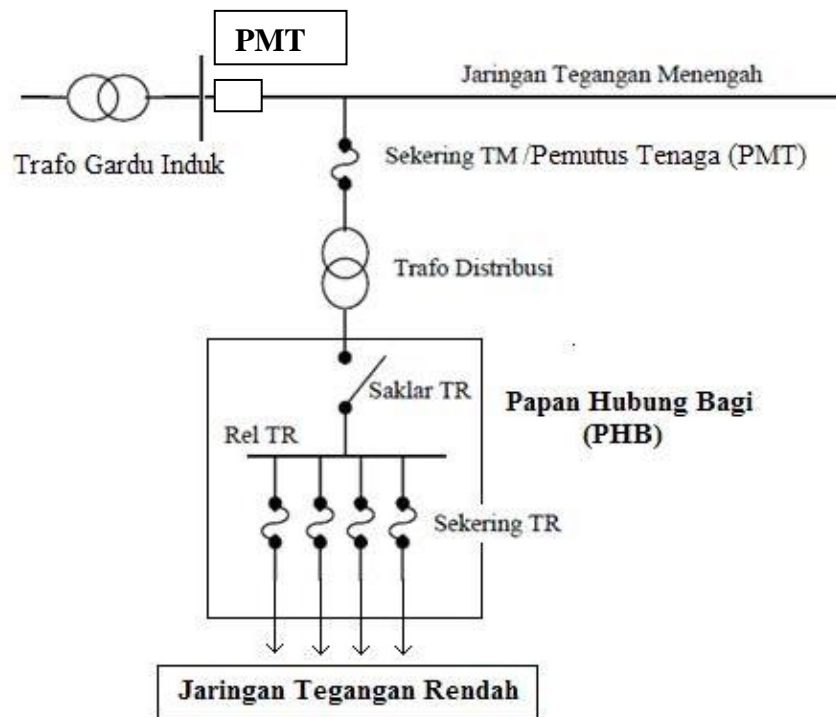


Gambar 2.6 konfigurasi jaringan gugus atau kluster

### 2.1.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan bagian dari sistem distribusi yang ke dua dalam penyaluran tenaga listrik. Pada gardu distribusi terdapat transformator tenaga 20kV/380/220V atau disebut dengan transformator distribusi yang berfungsi menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 380/220 V untuk disalurkan ke konsumen tegangan rendah.

Peralatan-peralatan yang ada pada gardu distribusi diantaranya adalah transformator tenaga 20kV/380/220 V, pemutus tenaga (PMT) beserta rele arus lebih, Pemutus tegangan (*Disconnect Switch* (DS)), Pelebur (*fuse*) dan papan hubung bagi (PHB). Beberapa gardu dalam satu penyulang biasanya terdapat alat deteksi gangguan yang bernama *Ground Fault Detector* (DFR)



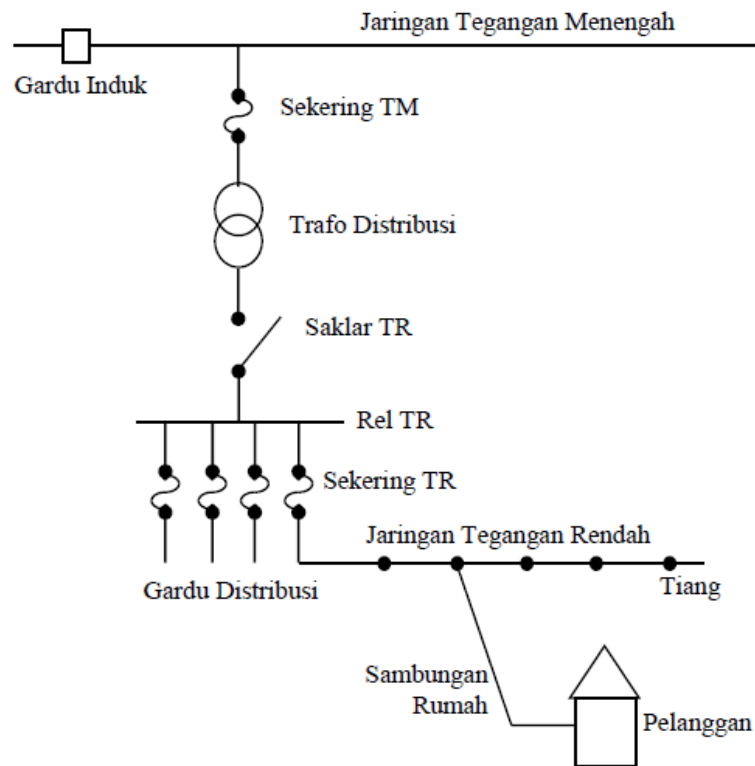
Gambar 2.7 Rangkaian umum pada Gardu Distribusi

Terdapat beberapa jenis Gardu Distribusi dalam sistem distribusi, antara lain :

- a. Gardu Beton
- b. Gardu Portal
- c. Gardu Cantol
- d. Gardu Kios

### 2.1.3 Jaringan Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem jaringan tegangan rendah 380/220 V merupakan bagian akhir dari proses penyaluran tenaga listrik pada sistem distribusi. Pada sistem ini tegangan yang sudah diturunkan oleh trafo daya pada gardu distribusi menjadi 380/220 V disalurkan sampai kWh meter pelanggan tegangan rendah.



Gambar 2.8 Hubungan antara jaringan tegangan menengah, jaringan tegangan rendah dan konsumen listrik 380/220 V

Bagian dari sistem ini adalah mulai dari trafo distribusi sisi sekunder 380/220 V sampai kWh meter pelanggan. Bagian terpenting dalam sistem ini adalah saat mencatu tenaga listrik ke pelanggan.

## 2.2 Sistem pengamanan pada sistem jaringan distribusi

Sistem pengamanan bertujuan untuk mencegah atau meminimalkan kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, menjaga keselamatan umum yang disebabkan karena gangguan dan meningkatkan pelayanan tenaga listrik pada pelanggan. Pengamanan/perlindungan pada sistem distribusi meliputi dua hal, yaitu perlindungan terhadap arus lebih dan perlindungan terhadap tegangan lebih.



Kemampuan PMT untuk memutuskan dan menutup rangkaian listrik dalam keadaan normal maupun keadaan terganggu, dikarenakan PMT dilengkapi dengan peredam busur api. Klasifikasi dari peredam busur api dapat dibedakan berdasarkan bahan peredamnya, diantaranya adalah

- PMT minyak
- PMT udara (Air break circuit breaker)
- PMT semburan udara (Air blast circuit breaker)
- PMT gas SF6
- PMT Hampa udara (Vacum circuit breaker)

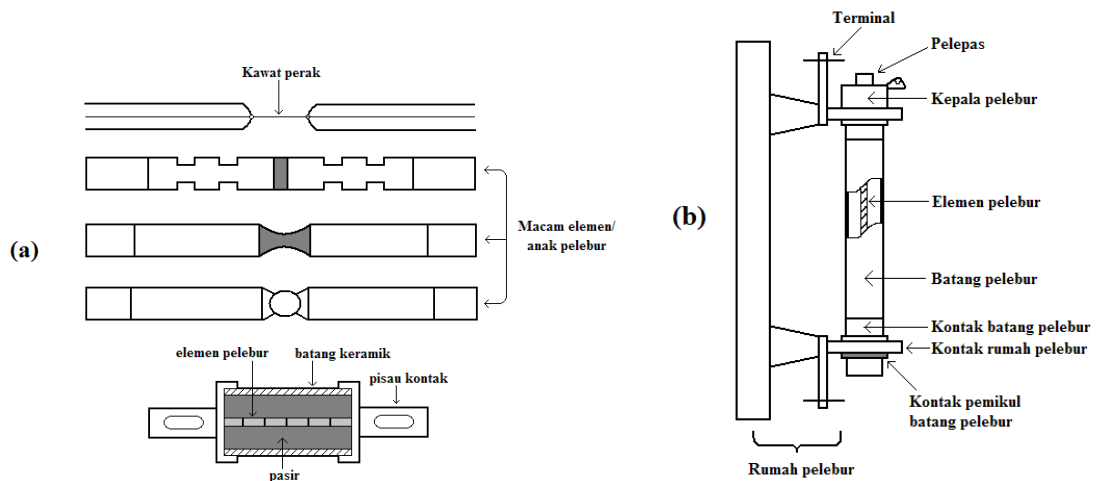
#### 2.2.1.2 Pemutus Balik Otomatis (PBO)

Pemutus Balik Otomatis (PBO) pada dasarnya mempunyai kemampuan yang sama seperti Pemutus Tenaga (PMT), hanya saja PBO dilengkapi dengan alat pengindra arus (rele arus). Sehingga, PBO peka terhadap kondisi arus lebih dan bila terjadi gangguan yang menyebabkan arus menjadi besar maka PBO akan memutuskan arus yang mengalir dan dalam selang beberapa saat kemudian secara otomatis PBO akan menutup kembali dan ini berlangsung tiga atau empat kali.

#### 2.2.1.3 Pengaman Lebur (Fuse)

Pelebur adalah suatu alat pemutus yang berfungsi untuk menghilangkan gangguan permanen dengan jalan

memutus/memisah bagian yang terganggu dari sistem. Caranya adalah dengan meleburkan bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya saat terjadi gangguan.



Gambar 2.10 Elemen Pelebur jenis pembatas arus

(a). untuk tegangan  $< 1$  kV

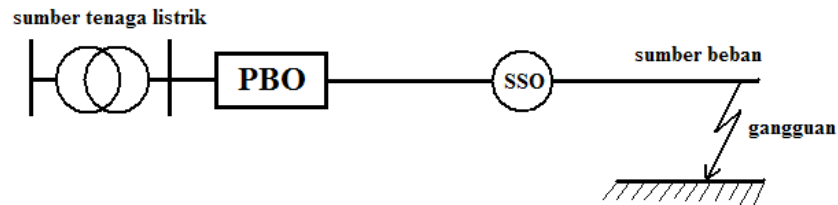
(b). untuk tegangan  $> 1$  kV

Berdasarkan cara operasinya, pelebur dibedakan menjadi dua macam yaitu pelebur jenis pembatas waktu (current limiting fuse) dan pelebur jenis letupan (explosion fuse).

#### 2.2.1.4 Saklar Seksi Otomatis (SSO)

Saklar Seksi Otomatis (SSO) adalah alat perlindungan terhadap arus lebih, hanya saja dipasang secara bersama-sama dengan Pemutus Beban atau PBO dengan kata lain berfungsi sebagai pengaman back up PBO. Alat ini menghitung jumlah operasi pemutusan yang dilakukan oleh perlindungan back up

secara otomatis (di sisi sumber) dan SSO akan membuka pada saat peralatan pengaman di sisi sumbernya sedang dalam posisi terbuka.



Gambar 2.11 Penempatan SSO

### 2.2.2 Pengaman Terhadap Tegangan Lebih

Tegangan lebih terjadi oleh bermacam-macam sebab, sebab-sebab yang paling sering menimbulkan gangguan tegangan lebih diantaranya adalah :

- Sambaran petir
- Bergesernya titik netral selama terjadi gangguan fasa ke tanah
- Operasi switching
- Efek resonansi dari induktansi dan kapasitansi yang terhubung seri
- Kecelakaan yang diakibatkan oleh suatu sistem yang lebih tinggi.

Peralatan yang digunakan untuk pengaman tegangan lebih yang diakibatkan sambaran petir antara lain sela batang, tabung pelindung, dan arester. Adapun pengamanan yang lainnya adalah dengan menggunakan isolasi yang didisain agar dapat tahan terhadap tegangan biasa (normal) untuk waktu tak terbatas dan tahan terhadap tegangan yang lebih tinggi dari tegangan sistemnya. Karena pada dasarnya tegangan lebih hanya dapat ditahan untuk waktu yang terbatas.

### 2.3 Gangguan Sistem Distribusi

Dalam operasi tenaga listrik terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan. Penyebab terjadinya gangguan dapat dikarenakan adanya kejadian abnormal yang terjadi secara acak dalam sistem, kejadian tersebut dapat berupa berkurangnya kemampuan peralatan listrik, meningkatnya beban, lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem dan pengaruh alam.

Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi adalah gangguan tegangan lebih, gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat (arus lebih). Namun demikian gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan hubung singkat.

Gangguan tegangan lebih terjadi karena faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal diantaranya adalah pembangkit kehilangan beban, over speed pada generator dan gangguan pada AVR sehingga menghasilkan tegangan lebih dengan power frekuensi. Sedangkan faktor eksternal umumnya diakibatkan oleh surya petir dan surya hubung yang menghasilkan tegangan lebih transient.

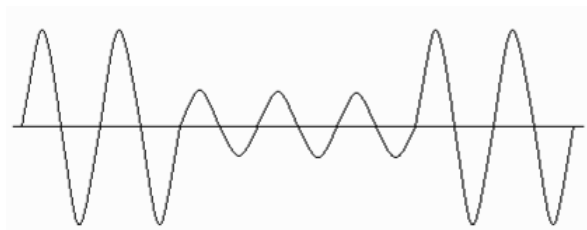
Gangguan arus lebih biasanya berupa gangguan hubung singkat, gangguan hubung singkat adalah suatu hubungan yang terjadi pada bagian-bagian bertegangan yang tidak adanya suatu tahanan pemisah karena akibat dari kesalahan-kesalahan pada bagian-bagian tersebut.

## 2.4 Mutu Tenaga Listrik

Kebutuhan akan energi listrik yang terus berkembang pastilah menghendaki suatu keandalan yang tinggi dan juga memerlukan mutu tenaga listrik yang baik. Suatu tenaga listrik dikatakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen secara terus-menerus (kontinyu) dengan meminimalisir terjadinya padam. Sedangkan mutu tenaga listrik (*Power Quality*) pada sistem tenaga listrik mencakup kedip tegangan (voltage sag), fluktuasi tegangan (flicker), harmonisa, variasi tegangan, ketidakseimbangan tegangan dan variasi frekuensi.

### 2.4.1 Kedip Tegangan (Voltage sag)

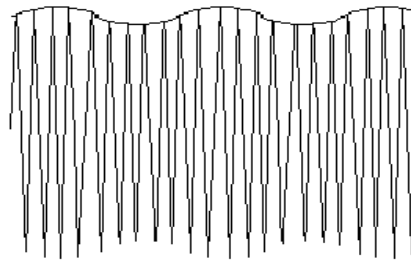
Kedip tegangan adalah gangguan terhadap tegangan yang berupa impuls atau perubahan tegangan yang besar (penurunan/kenaikan tegangan) dalam waktu yang sangat singkat. Berdasarkan SPLN Nomor 001-1978, bahwa besarnya kedip tegangan yang diperbolehkan dibatasi nilainya antara +5% sampai dengan -10% dari tegangan nominal dengan selang waktu antara 0,5 *cycles* (0,01 detik) sampai dengan satu menit (berdasarkan standar IEEE 1159-1995).



Gambar 2.12 Kedip Tegangan

#### 2.4.2 Fluktuasi Tegangan (Flicker)

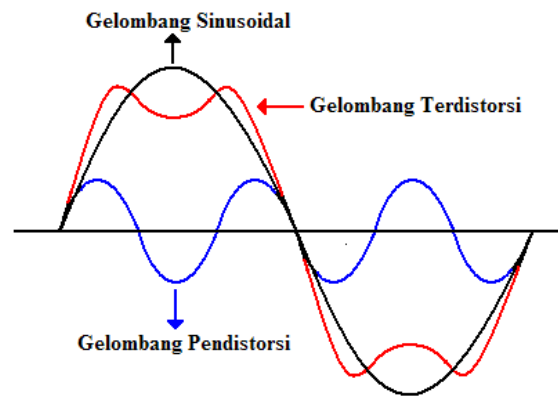
Fluktuasi tegangan adalah suatu fenomena perubahan tegangan terhadap harga nominalnya dengan laju perubahan yang cukup cepat yaitu berkisar  $\pm 10$  Hz, atau dengan kata lain batas yang diijinkan berkisar antara 0,95 – 1,05 dari tegangan normal. Penyebab dari fluktuasi tegangan ini biasanya adalah akibat perubahan beban listrik secara tiba-tiba pada jaringan tenaga listrik.



Gambar 2.13 Bentuk gelombang tegangan yang berfluktuasi

#### 2.4.3 Harmonisa

Harmonisa adalah sebuah gejala pendistorsian gelombang sinusoidal oleh suatu komponen yang memiliki bentuk gelombang tegangan dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar dari bentuk gelombang sinusoidal tersebut. Artinya semakin besar amplitudo gelombang frekuensi harmonisa, maka bentuk gelombang aslinya akan semakin cacat. Bila pada sistem tenaga listrik didapatkan tingkat harmonisa tegangannya cukup tinggi maka bentuk gelombangnya tidak murni sinusoidal.



Gambar 2.14 Harmonisa

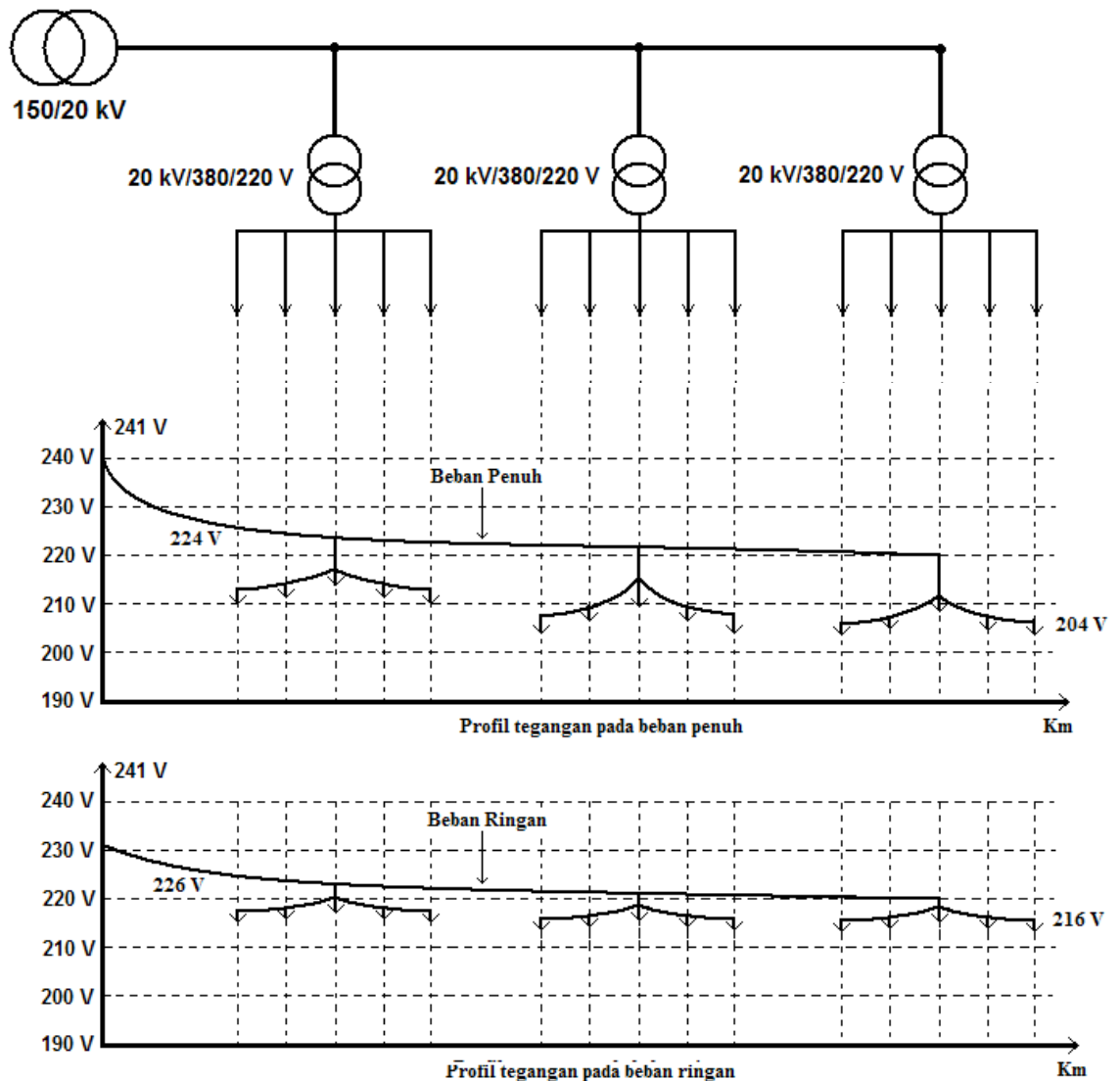
Untuk di Indonesia batasan harmonik yang terjadi pada titik sambung bersama dibatasi maksimum :

- Pada sistem 20 kV faktor distorsi total diijinkan maksimum 5%
- Pada sistem 70 kV faktor distorsi total yang diijinkan maksimum 3%
- Pada sistem 150 kV faktor distorsi total yang diijinkan maksimum 2% selama beberapa puluh menit.

#### 2.4.4 Variasi Tegangan

Variasi tegangan adalah peristiwa naik turunnya tegangan pada suatu jaringan yang dipengaruhi oleh kenaikan beban yang melebihi kapasitas transformator daya dan panjangnya jaringan antara pelanggan dengan sumber tegangan.

Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut:



Gambar 2.15 Variasi tegangan pelayanan pada pelanggan

Pada gambar 2.15 diatas terlihat bahwa dalam keadaan beban penuh maupun beban ringan pelanggan yang terdekat dengan sumber tegangan lebih besar tegangannya dibandingkan pelanggan yang jauh dari sumber tegangan.

#### 2.4.5 Ketidak seimbangan tegangan

Ketidak seimbangan tegangan adalah perbedaan tegangan pada ketiga fasa R, S dan T yang disebabkan oleh impedansi dan beban pada ketiga pasanya tidak simetris. Ketidak seimbangan tegangan ini dapat diuraikan dengan menggunakan komponen simetris untuk sistem pas tiga yang tidak seimbang, dimana tegangan/arus-nya dapat diuraikan menjadi sistem fasa tiga simetris yang mempunyai urutan positif, urutan negatif dan urutan nol.

#### 2.4.6 Variasi frekuensi

Frekuensi pada jaringan listrik juga merupakan hal yang perlu di usahakan kestabilannya. Karena perubahan frekuensi akan menyebabkan perubahan impedansi sistem secara keseluruhan. Pada dasarnya variasi frekuensi terjadi akibat beberapa hal berikut :

- Perubahan beban yang besar dan berlangsung secara cepat, karena sifat lanjut (speed droop) unit-unit pembangkit apabila beban naik maka frekuensi akan turun dan sebaliknya, jika beban turun maka frekuensi akan naik.
- Terjadi gangguan yang mengharuskan pusat-pusat pembangkit terlepas dari jaringan.

Dengan demikian pengaturan frekuensi hanya dapat dilakukan pada pusat-pusat pembangkit (generator) dengan menggunakan Governor.