



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan Gardu Induk¹

2.1.1 Peranan Gardu Induk dalam Sistem Kelistrikan

Gardu Induk merupakan simpul didalam sistem tenaga listrik, yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait.

2.1.2 Pengertian dan Fungsi Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi listrik mulai dari TET (Tegangan Ekstra Tinggi), TT (Tegangan Tinggi) dan TM (Tegangan Menengah) yang terdiri dari bangunan dan peralatan listrik.

Fungsi Gardu Induk adalah untuk menyalurkan tenaga listrik (kVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari Pembangkit atau dari gardu induk lain.¹

2.2 Jenis Gardu Induk

2.2.1 Menurut pelayanannya

Gardu induk menurut layanannya dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Gardu Transmisi, yaitu gardu induk yang melayani untuk TET dan TT.

¹Arismunandar A, DR. dan DR. S. Kuwahara, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III: Gardu Induk, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2004.

2. Gardu Distribusi, yaitu gardu induk yang melayani untuk TM.

2.2.2 Menurut Penempatannya

1. Gardu induk pasangan dalam (Indoor Substation)
2. Gardu induk pasangan luar (Outdoor Substation)
3. Gardu induk sebagian pasangan luar (Combine Outdoor Substation)
4. Gardu induk pasangan bawah tanah (Underground Substation)
5. Gardu induk pasangan sebagian bawah tanah (Semi Underground Substation)
6. Gardu induk mobi (Mobile Substation)

2.2.3 Menurut isolasinya

1. Gardu induk yang menggunakan udara guna mengisolir bagian-bagian yang bertegangan dan bagian bertegangan lainnya dan dengan bagian yang tidak bertegangan/tanah.
2. Gardu induk yang menggunakan gas guna mengisolir bagian-bagian yang bertegangan dan bagian bertegangan lainnya dan dengan bagian yang tidak bertegangan/tanah. Isolasi gas yang digunakan adalah gas SF₆ pada tekanan tertentu.

2.2.4 Menurut rel

1. Gardu induk dengan satu rel (single busbar)
2. Gardu induk dengan dua rel (double busbar)
3. Gardu induk dengan dua rel sistem 1,5 PMT (one and half circuit breaker)

2.3 Single Line Diagram

Diagram satu garis adalah suatu diagram listrik pada gardu induk yang berisi penjelasan secara umum tentang letak, jenis peralatan gardu induk seperti rel (busbar), pemisah (PMS), pemutus (PMT), PMS tanah, Trafo arus

(CT), trafo tegangan (PT), Lightning Arrester (LA), trafo tenaga dan lain-lain.²

Warna garis pada single line diagram menunjukkan level tegangan yang digunakan, dan untuk keseragaman penggunaan warna maka dibuat suatu aturan yang dimuat dalam aturan jaringan (*grid code*) P3B Sumatera.

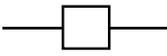
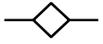
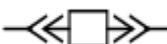
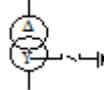
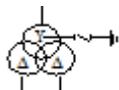
Tabel 2.1. Warna garis pada Single Line Diagram mengacu pada Grid Code P3B Sumatera

Hal	Warna
<i>Single line diagrams</i> 275 kV	Putih
<i>Single line diagrams</i> 150 kV	Merah
<i>Single line diagrams</i> 66 kV	Kuning
<i>Single line diagrams</i> 30 kV	Hijau
<i>Single line diagrams</i> 20 kV	Cokelat
<i>Single line diagrams</i> 12 kV	Abu-abu
<i>Single line diagrams</i> 6 kV	Oranye
<i>Single line diagrams</i> 0,4 kV	Ungu
Semua komponen	Warna Rel
Warna <i>background</i>	Hitam

Begitu juga dengan simbol dan status dari peralatan untuk keseragaman penggunaan dibuat dalam suatu aturan seperti pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

² Aslimeri, Ganefri, Zaidel Hamdi, dan Surdaryono, Teknik Transmisi Tenaga Listrik, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2008.

Tabel 2.2. Simbol dan status peralatan mengacu pada grid code P3B Sumatera

Item	Simbol	Keterangan
PMT tertutup		Berwarna penuh sesuai warna Rel
PMT terbuka		Kosong, tidak berwarna
PMS tertutup	 	Berwarna penuh sesuai warna Rel dalam <i>single line diagram</i>
PMS terbuka	 	Blank, tidak berwarna dalam <i>single line diagram</i>
PMS-tanah tertutup		Berwarna sesuai warna rel
PMS-tanah terbuka		Berwarna sesuai warna rel
PMT racked in		Berwarna penuh sesuai warna rel
PMT racked out		Blank, tidak berwarna
Trafo 2 belitan		Berwarna sesuai warna rel
Trafo 3 belitan		Berwarna sesuai warna rel
Reaktor		Berwarna sesuai warna rel
Kapasitor		Berwarna sesuai warna rel
Status tegangan “on”		Putih
Status tegangan “off”		Tidak berwarna, <i>blank</i>

2.4 Peralatan Gardu Induk³

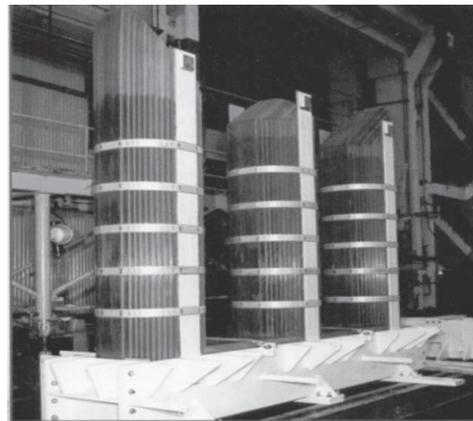
2.4.1 Transformator Tenaga

Trafo tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

1. Bagian-bagian utama transformator tenaga:

a. Inti besi

Berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*

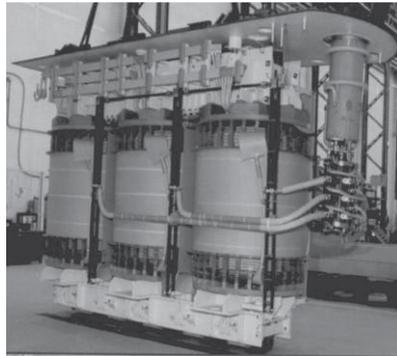


Gambar 2.1 Inti Besi

b. Kumparan

Kumparan adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain.

³ Bonggas L. Tobing, 2003, "Peralatan Tegangan Tinggi" Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.



Gambar 2.2 Kumparan

c. Minyak Trafo

Seluruh kumparan dan inti besi transformator direndam dalam minyak trafo. Minyak berfungsi sebagai media pemindah panas trafo (pendingin) serta berfungsi sebagai isolasi.

d. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaiannya minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.



Gambar 2.3 Tangki atau Konservator Minyak Trafo

e. *Bushing*

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.



Gambar 2.4 *Bushing*

2. Peralatan bantu transformator:

a. Pendingin

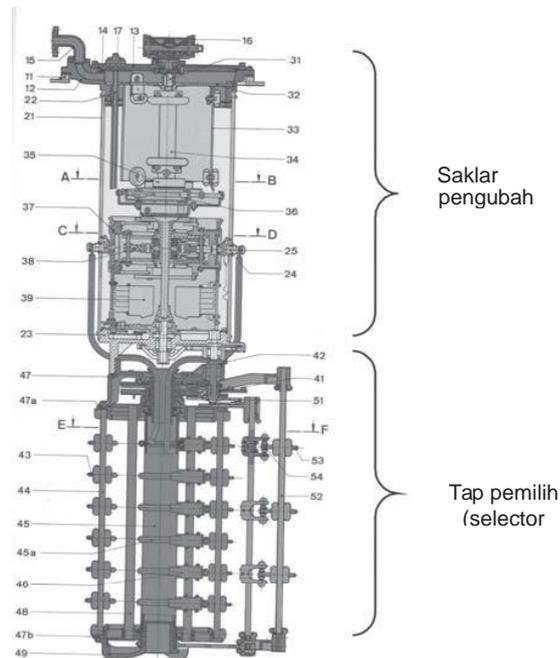
Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa minyak dan udara. Sedangkan dalam pengalirannya (sirkulasi) dapat berupa alamiah (natural) dan tekanan/paksaan.



Gambar 2.5 Pendingin

b. *Tap changer*

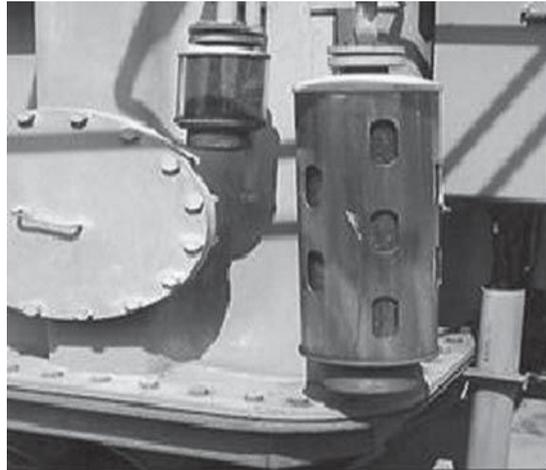
Alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah.



Gambar 2.6 *Tap Charger*

c. Alat Pernapasan

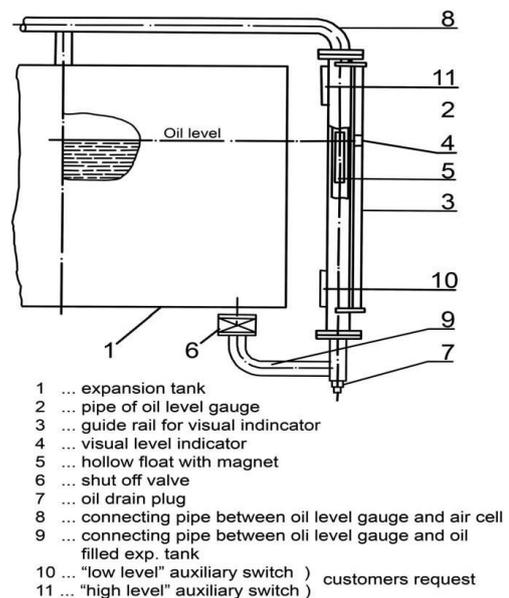
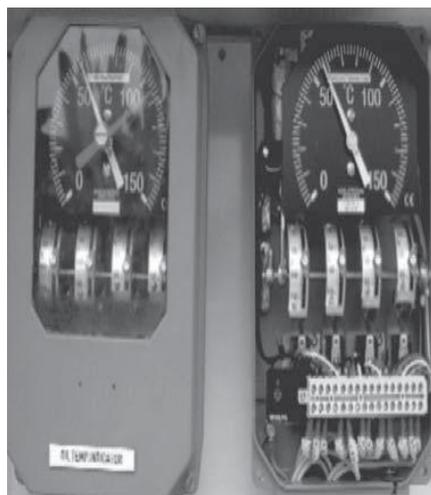
Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah, sehingga mengakibatkan adanya pemuaian dan penyusutan minyak trafo. Menyusutnya minyak trafo mengakibatkan permukaan minyak menjadi turun dan udara akan masuk ke dalam tangki. Proses demikian disebut pernapasan trafo. Akibat pernafasan tersebut maka minyak trafo akan bersinggungan dengan udara luar. Untu mencegah hal ini maka ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung berisi kristal zat hygrokopsis (*silicagel*).



Gambar 2.7 Alat Pernafasan Trafo

d. Indikator

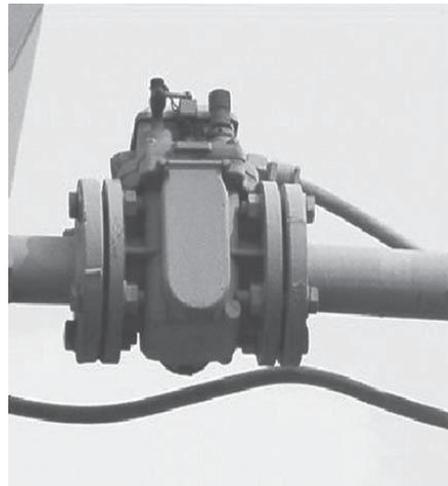
Untuk mendeteksi transformator yang beroperasi maka dilengkapi dengan indikator suhu minyak, indikator suhu kumparan, indikator level minyak, indikator sistem pendingin serta indikator kedudukan *tap changer*.



Gambar 2.8 Peralatan Indikator

e. Peralatan proteksi

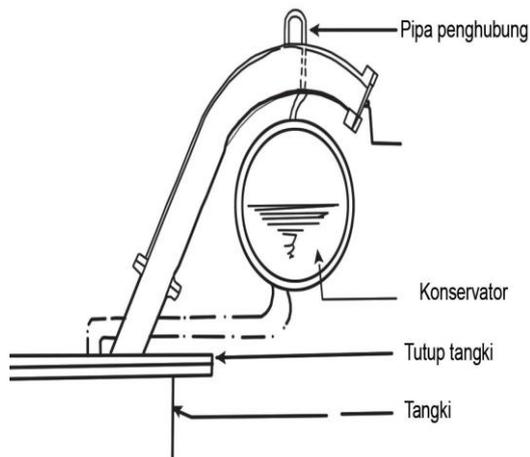
Untuk mengamankan transformator yang diakibatkan karena gangguan maka dipasang relai pengaman seperti; Relai differensial, Buchloz, tekanan lebih, relai tangki tanah, relai hubung tanah, relai thermis, relai tekanan lebih, sudden *pressure*, relai jansen, arus lebih dan *Arrester, Neutral Ground Resistance*.



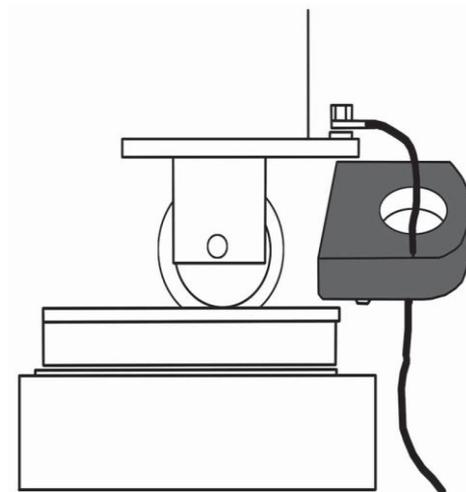
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2.9 (a) Relai Bucholz, (b) Relai Jansen(c) Relai Tekanan Lebih, (d) *Neutral Ground Resistance*

3. Batas Pengusahaan Transformator:

- a. Batas kenaikan temperatur trafo dengan isolasi kelas A.

Tabel 2.3. Batas Kenaikan Temperatur Trafo Dengan Isolasi Kelas A

<i>Deteksi</i>	<i>Alarm</i>	<i>Trip</i>	<i>Batas</i>
Di minyak	70°C	85°C	90 °C (ambient temp. 35 °C) t = 55 °C

t = kenaikan temperature, didasarkan standar IEC

- b. Batas kenaikan temperatur trafo dengan isolasi kelas F pada trafo 500/150/66

Tabel 2.4. Batas Kenaikan Temperatur Trafo Dengan Isolasi Kelas F

<i>Deteksi</i>	<i>Alarm</i>	<i>Trip</i>	<i>Batas</i>
Di minyak	95 °C	110 °C	135 °C (ambient temp. 35 °C) t = 100 °C
Di kumparan	115 °C	135 °C	

t = kenaikan temperature, didasarkan standar IEC

- c. Suhu-suhu tertinggi menurut standart VDE

Tabel 2.5. Suhu-Suhu Tertinggi Menurut Standar VDE

<i>Bagian Transformator</i>	<i>Kelas isolasi</i>					
	<i>A</i>	<i>Ao</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>H</i>
Kumparan °C	60	76	75	85	110	135
Minyak pada lapisan atas °C		70				

- d. Batas tegangan lebih yang diijinkan menurut SPLN 1 : 1978 dan IEC 71

Tabel 2.6. Batas Tegangan Lebih Menurut SPLN 1: 1978 dan IEC 71

<i>Teg. Nominal (kV)</i>	<i>Teg. Yg diijinkan (kV)</i>	<i>Teg. Nominal (kV)</i>	<i>Teg. Yg diijinkan (kV)</i>
500	525	20	21
150	157,5	12	12,6
70	72,5	6	6,3
30	31,5	-	-

e. Batas Faktor pembebanan lebih trafo menurut VDE

Tabel 2.7. Batas Faktor Pembebanan Lebih Trafo Menurut VDE

Load Faktor	% Over load				
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam
0,5	3	1,5	1	30	15
0,75	2	1	0,5	15	8
0,9	1	0,5	0,25	8	4

2.4.2 Transformator Instrument

Transformator instrument berfungsi untuk mencatu instrument ukur (meter) dan relai serta alat-alat serupa lainnya. Transformator ini terdapat dua jenis yaitu transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT).

Transformator instrument yang berazaskan induksi terdiri dari inti (core) dan kumparan (winding). Inti berfungsi sebagai jalannya flux magnetik sedangkan kumparan berfungsi mentransformasikan arus dan tegangan. Kumparan primer dan sekunder dapat lebih dari satu kumparan.

Yang termasuk dalam trafo-trafo pengukuran adalah:

1. Trafo arus (CT)
2. Trafo tegangan (PT/CVT)
3. Gabungan trafo arus dan trafo tegangan (combined current transformer and potential transformer)

Fungsi trafo pengukuran (CT/PT/CVT) adalah:

1. Mengkonversi besaran arus atau tegangan pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan sistem metering dan proteksi.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.

- Standarisasi besaran sekunder, untuk arus 1 A, 2 A dan 5 A, tegangan 100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt

Prinsip kerja dari trafo pengukuran adalah:

- Transformator Arus (CT)

Berdasarkan penggunaan, trafo arus dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar, yaitu; trafo arus metering dan trafo arus proteksi.



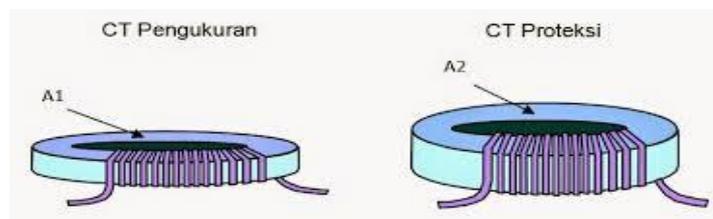
Gambar 2.10 Transformator Arus (CT)

- a Trafo Arus metering

Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) antara 5% - 120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenuhan.

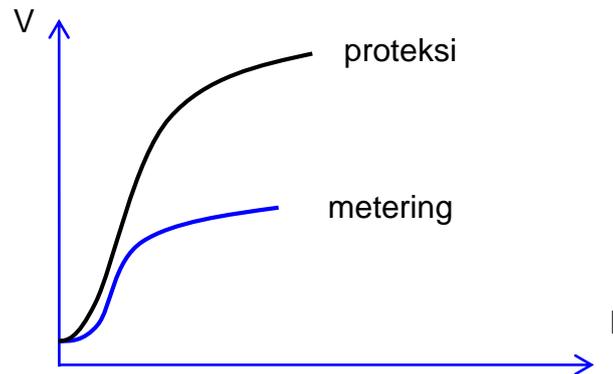
- b Trafo Arus Proteksi

Trafo arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar yaitu pada saat terjadi gangguan, dimana arus yang mengalir mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya dan trafo arus proteksi mempunyai tingkat kejenuhan cukup tinggi.



Gambar 2.11 Trafo Arus Pengukuran dan Proteksi

(Sumber : <http://raesandriya.blogspot.co.id>)



Grafik 2.1 Kurva Tingkat Kejenuhan Trafo Arus Proteksi dengan Metering

2. Transformator Tegangan (PT)

Trafo tegangan dibagi menjadi 2 (dua) jenis, trafo tegangan magnetik (*magnetic voltage transformer/VT*) atau yang sering disebut trafo tegangan induktif, dan trafo tegangan kapasitif (*capacitor voltage transformer/CVT*).

Pada dasarnya, prinsip kerja trafo tegangan sama dengan prinsip kerja pada trafo arus. Pada trafo tegangan perbandingan transformasi tegangan dari besaran primer menjadi besaran sekunder ditentukan oleh jumlah lilitan primer dan sekunder.

Diagram fasor arus dan tegangan untuk trafo arus juga berlaku untuk trafo tegangan. Menurut prinsip kerjanya, trafo tegangan diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu:

- a Trafo Tegangan Induktif (*inductive voltage transformer atau electromagnetic voltage transformer*) adalah trafo tegangan yang terdiri dari belitan primer dan belitan sekunder dengan prinsip kerja tegangan masukan (*input*) pada belitan primer akan menginduksikan tegangan ke belitan sekunder melalui inti.



Gambar 2.12 Trafo Tegangan Induktif

(Sumber : *id.villelectric.com*)

- b Trafo Tegangan Kapasitor (*capasitor voltage transformer*) adalah trafo tegangan yang terdiri dari rangkaian kapasitor yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah pada primer, selanjutnya diinduksikan ke belitan sekunder.

2.4.3 Pemisah (PMS)

Pemisah adalah yang digunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja.

1. Menurut fungsinya:
 - a. Pemisah tanah
 - b. Pemisah peralatan
2. Menurut Penempatannya:
 - a. Pemisah Penghantar
 - b. Pemisah bus
 - c. Pemisah seksi (GI dengan 1-1/5 PMT)
 - d. Pemisah tanah
3. Menurut gerakan lengan:
 - a. Pemisah engsel
 - b. Pemisah putar

- c. Pemisah siku
 - d. Pemisah luncur
 - e. Pemisah pantograph
4. Tenaga penggerak:
- a. Secara manual
 - b. Dengan motor
 - c. Dengan pneumatic
 - d. Dengan hidrolik



Gambar 2.13 Pemisah (PMS)

(Sumber : <https://yantekbansel.wordpress.com>)

2.4.4 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga adalah saklar yang digunakan untuk menghubungkan /memutuskan arus/daya listrik sesuai ratingnya. Oleh karena PMT digunakan untuk memutus beban maka harus dilengkapi dengan pemadam busur api.²

1. Jenis PMT berdasarkan media pemadam busur apinya
 - a. PMT dengan menggunakan minyak banyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*)
 - b. PMT dengan menggunakan minyak sedikit (*Low Oil Content Circuit Breaker*)
 - c. PMT dengan media hampa udara (*Vacuum Circuit Breaker*)
 - d. PMT dengan udara hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)
 - e. PMT dengan media gas SF₆
2. Jenis PMT berdasarkan mekanis penggerakannya
 - a. Pegas
 - b. Pneumatik
 - c. Hidrolik



Gambar 2.14 Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

(Sumber : <http://www.schneider-electric.com>)

2.4.5 *Lightning Arrester (LA)*

Persoalan isolasi adalah salah satu dari beberapa persolakan yang penting dalam teknik tenaga listrik tegangan tinggi. Isolasi yang dipakai dalam setiap peralatan listrik tegangan tinggi adalah merupakan bagian besar biaya yang diperlukan dalam pembuatan peralatan listrik. Oleh karenanya pembuatan isolasi peralatan listrik harus rasional dan ekonomis tanpa mengurangi kemampuan sebagai isolator. Alat pelindung peralatan listrik tersebut dari bahaya tegangan lebih dari luar dan dalam mutlak diperlukan. Alat pelindung dimaksud adalah *Lightning Arrester (LA)*.

LA berfungsi melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung serta mengalirkan arus surja ke tanah. LA dilengkapi dengan:

1. Sela bola api (*Spark gap*)
2. Tahanan kran atau tahanan tidak linier (*valve resistor*)
3. Sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*grading system*)

Jenis-jenis arrester:

1. ***Type expulsion***: terdiri dari dua elektroda dan satu fibre tube. Tabung fibre menghasilkan gas saat terjadi busur api dan menghembuskan busur api kearah bawah. Setelah busur hilang maka arrester bersifat isolator kembali.

2. **Type Valve:** bila tegangan surja petir menyambar jaringan dan dimana terdapat arrester terpasang maka seri gap akan mengalami kegagalan mengakibatkan terjadi arus yang besar melalui tahanan kran yang saat itu mempunyai nilai kecil. Bila tegangan telah normal kembali maka tahanan kran mempunyai nilai besar sehingga busur api akan padam pada saat tegangan susulan sama dengan nol.



Gambar 2.15. Arrester

2.4.6 Reaktor

Suatu transmisi tegangan tinggi/tegangan ekstra tinggi yang panjang tanpa bebahan maka tegangan penerima akan naik akibat adanya kapasitansi di sepanjang jaringan. Tegangan yang naik melebihi tegangan yang diijinkan tidak diperkenankan. Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan maka pada ujung transmisi dipasang reaktor yaitu suatu beban reaktif induktif (VAR). Besarnya reaktif terpasang sangat tergantung pada kebutuhan.

Perubahan beban juga dapat mengakibatkan perubahan tegangan, bila pengaturan tegangan melalui tap trafo tidak lagi memungkinkan maka reaktor mempunyai peranan dalam pengaturan tegangan.



Gambar 2.16 Reaktor

2.4.7 Kapasitor

Pada GI yang jauh dari sumber pembangkit atau beban yang besar dapat mengakibatkan tegangan menjadi turun. Pengaturan melalui tap maupun lainnya telah dilakukan namun tegangan tetap menunjukkan perubahan tegangan yang signifikan maka dipasanglah kapasitor. Pemasangan kapasitor diharapkan dapat memperbaiki tegangan sesuai yang diinginkan.



Gambar 2.17 Kapasitor
(Sumber : *indonetnetwork.co.id*)

2.4.8 Pentanahan

Berdasarkan tujuan pentanahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Pentanahan sistem (Pentanahan titik netral)

Pentanahan sistem yang dimaksud menghubungkan titik netral peralatan (trafo) ke tanah. Pentanahan sistem bertujuan:

- a. Melindungi peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan oleh adanya gangguan fasa ke tanah;

- b. Melindungi peralatan/saluran terhadap bahaya kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh tegangan lebih;
 - c. Untuk keperluan proteksi jaringan;
 - d. Melindungi makhluk hidup terhadap tagangan langkah (*step voltage*);
2. Pentanahan statis (pentanahan peralatan)
- Pentanahan ini dilakukan dengan menghubungkan semua kerangka peralatan (*metal work*) yang dalam keadaan normal tidak dialiri arus sistem ke sistem pentanahan *switchyard* (*mess* atau *rod*)
- a. Melindungi makhluk hidup terhadap tegangan sentuh;
 - b. Melindungi peralatan tegangan rendah terhadap tegangan lebih.



Gambar 2.18 Sistem Pentanahan

(Sumber : <http://hamdan61.blogspot.co.id>)

2.4.9 Sistem catu daya

Untuk memenuhi kebutuhan sendiri sebuah GI umumnya membutuhkan sumber tenaga listrik tersendiri. Sumber AC yang berasal dari trafo pemakaian sendiri (PS) yang kapasitasnya relatif kecil, tergantung dari besar kecilnya kapasitas GI tersebut (200 kVA, 315 kVA)

Sumber tenaga listrik sangat penting sekali demi kelangsungan operasi gardu induk. Dari tingkat kepentingan (urgency) GI yang berbeda-beda terhadap

keandalan sistem menyebabkan terdapat sebuah GI yang mempunyai lebih dari satu sistem catu daya.

1. Catu daya AC

Pasokan catu daya untuk kebutuhan pemakaian sendiri diperoleh dari Trafo Pemakaian Sendiri (PS), dimana sisi primer 20 kV dipasok dari Trafo daya melalui busbar 20 kV. Tegangan sisi sekunder 380 V dari PS-1 masuk ke rel panel pembagi AC sebagai pasokan Utama. Tegangan dapat diatur melalui tap pada trafo PS, dengan catatan apabila dikehendaki perubahan tap, harus dilakukan dalam kondisi *padam* (*Offload tap changer*).

2. Catu daya DC

Sumber tegangan AC 380 Volt diubah oleh *rectifier* menjadi tegangan DC dan diparalel dengan baterai menghasilkan tegangan 110 Vdc dan atau 48 Vdc.

Sumber DC digunakan untuk:

1. Sumber tenaga untuk alat kontrol, sinyal
2. Sumber tenaga untuk motor PMT, PMS, tap changer
3. Sumber tenaga untuk differensial/proteksi
4. Sumber tenaga untuk penerangan darurat
5. Sumber tenaga untuk telekomunikasi

Batere dapat diklasifikasikan menurut:

a. Menurut bahan elektrolitnya

1. Batere timah hitam (*lead acid storage battery*), elektrolit larutannya asam belerang (H_2SO_4).
 - a *Lead – antimony*
 - b *Lead - calcium*
2. Batere alkali (*Alkaline storage battery*) elektrolitnya larutan alkali

b. Menurut kapasitas batere

Kapasitas batere adalah besarnya arus listrik batere (ampere) yang dapat disuplai/dialirkan ke suatu rangkaian luar atau beban dalam waktu tertentu (jam) untuk memberikan tegangan tertentu.

1. Kapasitas rendah/sedang sampai dengan 235 Ah, lama pengosongan 8 jam pada suhu 25°C.
2. Kapasitas tinggi dari 235 s.d. 450 Ah, lama pengosongan 8 jam pada suhu 25°C.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam operasi batere adalah sebagai berikut:

1. Ruang batere
 - a Harus bersih, ventilasi cukup agar terdapat sirkulasi;
 - b Tidak boleh membawa api atau merokok didalam ruangan batere;
 - c Batere alkali dan batere timah hitam tidak boleh ditempatkan pada suatu ruangan;
 - d Batere harus terisolasi terhadap rak dan terhadap lantai, bahan isolasi terbuat dari bahan yang tahan lembab.
2. Air batere ditempatkan pada bejana yang terbuat dari bejana kaca atau plastic.
3. Elektrolit
 - a Pada setiap sel batere (tutup selnya) harus tertutup rapat dengan tetap menjaga lubang penguapan;
 - b Jangan menggunakan hydrometer yang dipakai untuk pengukuran BJ elektrolit asam kemudian untuk alkali atau sebaliknya;
 - c Jangan mengoperasikan batere yang elektrolitnya dibawah minimum;
 - d Jangan terjadi tetesan/tumpahan elektrolit pada *cover* sel batere;
 - e Kabel yang dipergunakan harus tahan terhadap lembab dan tahan terhadap pengaruh kerusakan akibat elektrolit.
4. Peralatan untuk keselamatan kerja
 - a Gunakan sarung tangan, pelindung mata pada saat melakukan pekerjaan batere terutama waktu berhubungan dengan elektrolit;
 - b Hindari memakai alat perhiasan yang terbuat dari logam (emas, jam tangan dan lain-lain);
 - c Jangan memukul dan meletakkan barang berat diatas batere yang dapat menyebabkan hubung singkat.

2.4.10 Multimeter

1. Mengukur tegangan dan arus AC

Pada sistem tiga fasa pengukuran tegangan dengan kV meter. Untuk kebutuhan pengukuran pada fasa-fasa dan fasa-netral teredia saklar tukar (selector switch).

Pengukuran pada TT dan TM, tegangan yang diterima kV meter adalah tegangan sekunder trafo tegangan (PT) yang nilainya telah diperkecil sehingga pembacaan sebenarnya dikalikan dengan rasio trafo tegangan yang tersambung. Namun kenyataan kV meter yang terdapat pada TT dan TM telah menunjukkan besaran tegangan primer sehingga mempermudah pembacaan.

Untuk mengukur arus pada system tiga fasa diperlukan tiga buah amper meter yang dipasang pada setiap fasa. Pengukuran arus juga menggunakan arus pada sisi sekunder trafo arus (CT).

2. Mengukur daya dan energi aktif⁴

Mengukur daya dan energi aktif diperlukan alat ukur watt meter dan kWh meter. Pada prinsipnya baik watt meter dan kWh meter mempunyai kumparan arus dan kumparan tegangan. Banyaknya kumparan arus bias satu, dua atau tiga demikian juga kumparan tegangannya. Pada pengukuran tiga fasa terdapat sistem pengukuran tiga fasa empat kawat dan tiga fasa tiga kawat. Untuk mengukur besar kontribusi sepasang kumparan arus dan tegangan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$P = V \times I \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : P = Daya (Watt)

 V = Tegangan (Volt)

 I = Arus (Ampere)

⁴ Suryatmo, F. 2014. Dasar – Dasar Teknik Listrik. Jakarta. Rineka Cipta

Pada beban dalam keadaan seimbang tiga fasa untuk menghitung energi yang tidak tersalurkan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$W_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \times t/\text{jam} \dots \dots \dots (2.2)$$

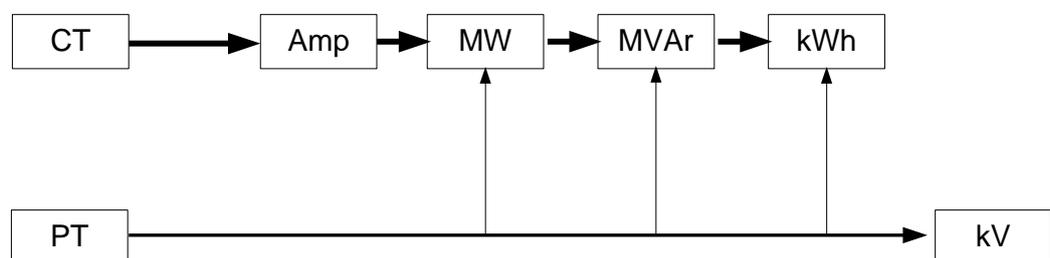
- Dimana :
- $W_{3\phi}$ = Energi 3 fasa
 - V = Tegangan (Volt)
 - I = Arus (Ampere)
 - t/jam = Waktu Pemutusan (Jam)

Sebagai referensi, jika untuk menghitung energi yang tidak tersalurkan harus menggunakan t/jam .

3. Mengukur daya reaktif

Mengukur daya reaktif diperlukan alat ukur Var meter. Pada pengukuran tiga fasa terdapat system pengukuran tiga fasa empat kawat dan tiga fasa tiga kawat.

Rangkaian arus didapat dari sekunder CT kemudian secara seri dimasukkan pada ampermeter, MW meter, MVAR meter dan kWh meter. Rangkaian tegangan didapat dari sekunder PT kemudian secara paralel dimasukkan pada kV meter, MW meter, MVAR meter dan kWh meter.



Gambar 2.19 Prinsip Pengawatan dan Pemasangan Meter

2.4.11 Relai Proteksi

Agar penyaluran energi listrik tetap terjamin kontinuitasnya serta aman terhadap lingkungan dan peralatan maka diperlukan peralatan yang dapat

mengamankan /memproteksi kepentingan diatas. Peralatan yang dimaksud adalah relai proteksi.

1. Relai-relai pada penyulang dan fungsinya
 - a Relai arus lebih (OCR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan antar fasa atau beban lebih di penyulang.
 - b Relai gangguan tanah (GFR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa-tanah di penyulang dengan sistem pentanahan titik netral langsung (solid grounded) atau melalui tahanan 12/40 ohm.
 - c Relai gangguan tanah (DGFR) sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa-tanah dipenyulang dengan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan tinggi (500 ohm).
 - d Relai gangguan tanah (Ground relay), prinsip tegangan urutan nol sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan fasa-tanah penyulang dengan pentanahan titik netral yang mengambang (tidak diketanahkan) dan berfungsi sebagai pengaman cadangan jika terjadi gangguan fasa tanah pada penyulang dengan sistem pentanahan titik netral melalui tahanan tinggi (500 ohm).

Untuk keandalan sistem maka pada penyulang dilengkapi dengan:

- a Relai penutup balik (reclosing relay) yang berfungsi menormalkan kembali SUTM jika terjadi gangguan sementara (temporer).
 - b Relai frekuensi kurang (under frequency Relay/UFR) berfungsi mengurangi beban sistem bila terjadi penurunan frekuensi pada batas tertentu.
2. Relai-relai pada transformator dan fungsinya
 - a Relai differential berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi didaerah pengamannya.
 - b Relai arus lebih berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan hubungsingkat antar fasa dadalam dan diluar pengamannya atau terhadap beban lebih (sebagai pengaman cadangan).

- c Relai bucholz berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan yang menimbulkan gas di dalam transformador.
- d Relai jansen berfungsi mengamankan tap changer transformador.
- e Relai suhu berfungsi mengamankan transformador akibat kenaikan suhu pada minyak dan kumparan.
- f Relai tekanan lebih (sudden pressure relay) mengamankan transformator terhadap tekanan lebih yang terjadi secara mendadak di dalam tangki transformator.
- g Relai gangguan tanah mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat tanah (sebagai pengaman cadangan).
- h Relai tangki tanah mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat kumparan fasa terhadap tangki.
- i Relai arus lebih berarah berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan ketiga fasa pada arah tertentu (untuk transformator yang beroperasi paralel).
- j Relai gangguan tanah terbatas berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan tanah terutama pada daerah dekat titik netral transformator.

2.5 Penyulang

Feeder atau Penyulang, adalah Jaringan PLN yang berfungsi menyalurkan listrik dengan tegangan 20.000 Volt, dari Gardu Induk menuju Gardu Distribusi. Nantinya di Gardu Distribusi ini listrik diubah tegangannya menjadi 380 Volt atau 220 Volt, untuk disalurkan kepada pelanggan umum. Ada juga yang disalurkan kepada pelanggan dengan level tegangan masih 20.000 Volt, makanya disebut dengan pelanggan khusus untuk mencari energi yang tidak tersalurkan menggunakan rumus untuk mencari energi yang tidak tersalurkan ke konsumen.

Saluran distribusi berdasarkan susunan rangkaiannya dapat dibedakan menjadi :

1. Sistem radial
2. Sistem loop

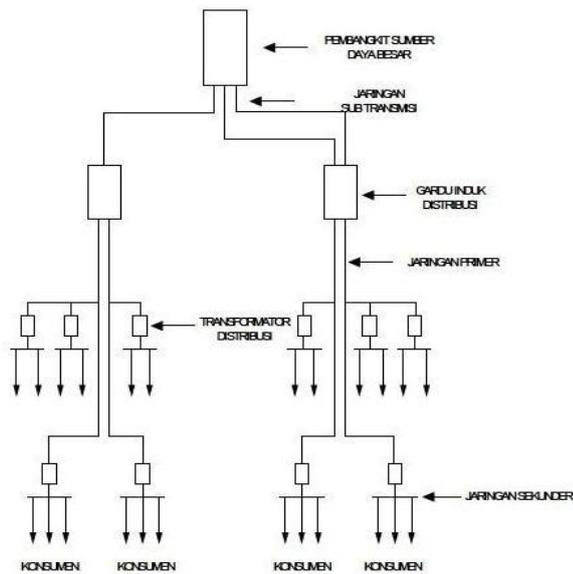
3. Sistem spindle
4. Sistem cluster

2.5.1. Sistem Radial⁵

Sistem radial merupakan bentuk jaringan distribusi primer yang paling sederhana dan paling murah dalam perawatannya. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumberdar jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani. Sistem radial ini umumnya digunakan pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah). Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Sistem ini bersumber dari gardu induk atau langsung dari pusat pembangkit listrik dan menyebar menuju gardu – gardu distribusi. Hal tersebut menyebabkan arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Maka, saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula.

⁵ Suhadi, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1, 2008, Departemen Pendidikan Nasional



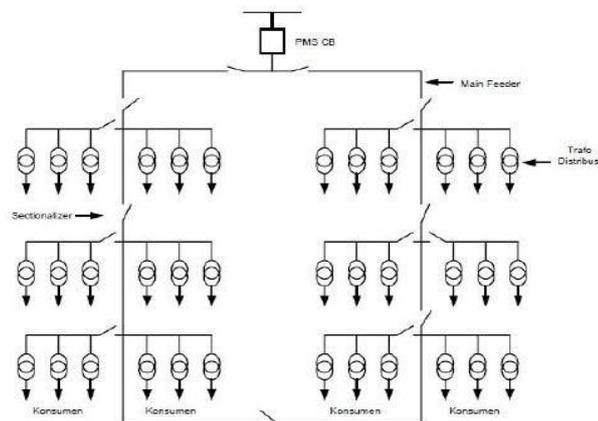
Gambar 2.20 Penyulang Sistem Radial

Kekurangan dari sistem ini adalah kurang terjaminnya kelangsungan penyaluran listrik, karena sistem ini hanya menghubungkan pada satu sumber daya melalui satu jalan saja. Apabila terjadi gangguan pada penyulang utama yang dekat dengan sumber maka akan terjadi pemutusan seluruh pelayanan sampai gangguan tersebut diatasi

2.5.2 Sistem Loop⁶

Sistem jaringan distribusi loop adalah suatu sistem jaringan distribusi primer yang dimulai dari rel gardu induk atau sumber daya, melalui daerah beban dan kemudian kembali lagi ke rel gardu induk atau sumber daya yang sama. Susunan rangkaian saluran memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

⁶ Prasetia Ulah Sakti. Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. 2008. Hal. 8



Gambar 2.21 Penyulang Sistem Loop

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada dua macam, yaitu :

- Bentuk open loop (loop terbuka), bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- Bentuk close loop (loop tertutup), bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian antara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah jaringan distribusi radial, dimana pada ujung dua buah jaringan ini dipasang sebuah pemutus (PMT) atau pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka PMT atau PMS ditutup sehingga aliran listrik yang mengalir ke tempat terjadinya gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama.

Kelebihan dari jaringan distribusi loop adalah kualitas dan kontinuitas pelayanan daya lebih baik, sedangkan kekurangannya terletak pada biaya investasi yang mahal. Jaringan distribusi loop cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

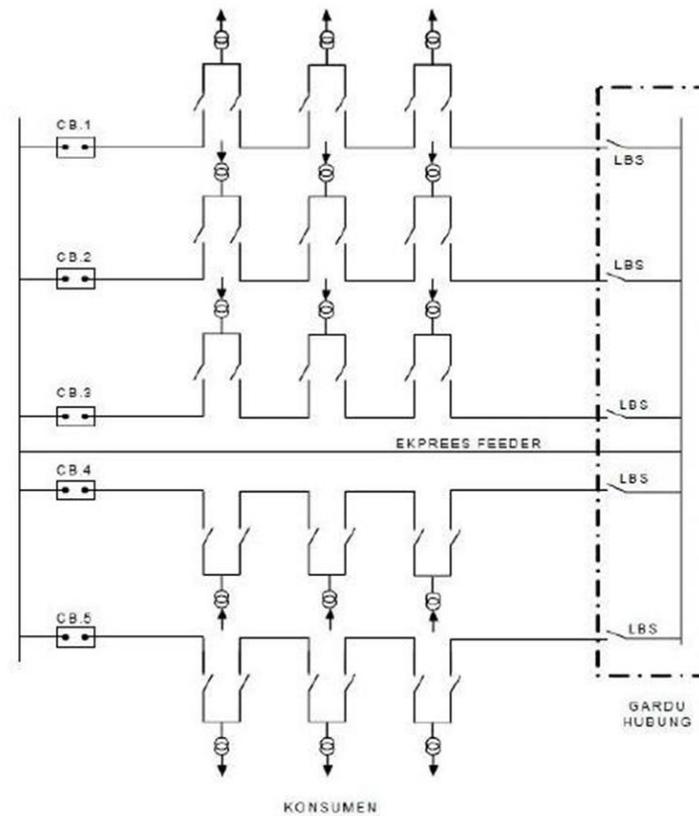
2.5.3. Sistem Spindle⁷

Jaringan distribusi spindel merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Jaringan distribusi jenis ini biasanya banyak diterapkan di kota – kota besar.

Pada spindle, terdapat sebuah penyulang khusus yang disebut dengan penyulang express. Penyulang express ini tidak mencatu gardu – gardu distribusi, tetapi merupakan penyulang penghubung antara gardu induk dengan garduhubung yang dimaksudkan untuk menjaga kelangsungan pasokan tenaga listrik ke konsumen jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang memasok gardu– gardu distribusi. Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang, maka penyulang lain tidak mengalami pemadaman karena dapat disuplai dari tempat lain melalui sebuah penyulang express. Jenis kawat yang digunakan untuk penyulang express ini sebaiknya kawat yang berpenampang lebih besar dari penyulang lain yang sedang beroperasi.

Sistem ini relatif mahal karena biasanya dalam pembangunannya sekaligus untuk mengatasi perkembangan beban dimasa yang akan datang. Proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem open loop. Biasanya di tiap – tiap penyulang dalam sistem spindle disediakan gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manuver apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

⁷ Prasetia Ulah Sakti. Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. 2008. Hal. 8

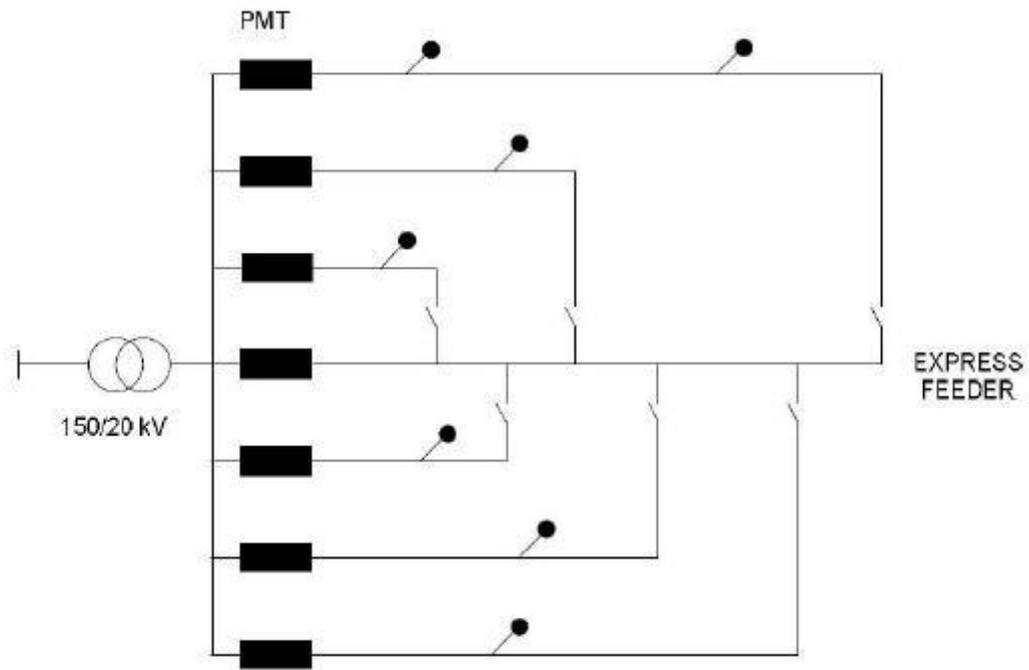


Gambar 2.22 Penyulang Sistem Spindel

2.5.4. Sistem Cluster⁸

Sistem cluster hampir sama dengan sistem spindle, karena dalam sistem cluster juga tersedia satu penyulang express yang merupakan penyulang tanpa beban yang digunakan sebagai titik manuver beban oleh penyulang dalam sistem ini. Proteksi yang digunakan untuk sistem cluster juga relatif sama dengan proteksi yang digunakan pada sistem spindle.

⁸ Prasetya Ulah Sakti. Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. 2008. Hal.8



Gambar 2.23 Penyulang Sistem Cluster