

BAB II

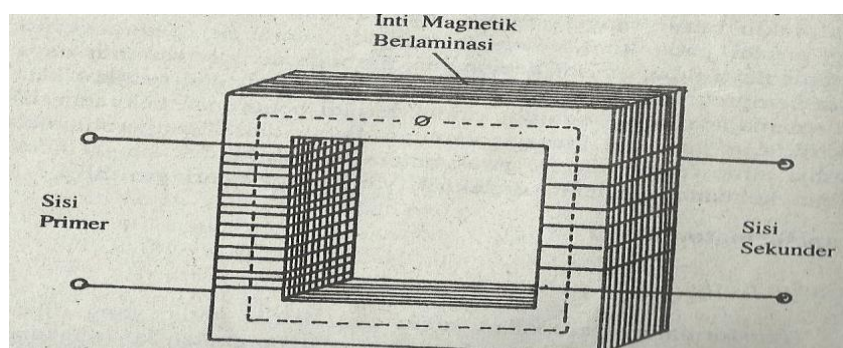
TRANSFORMATOR DAYA DAN SISTEM KELISTRIKAN PUSAT PEMBANKIT

2.1. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi di dalam inti berlamniasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak-garak listrik sesuai dengan hukum induksi elektromagnetik Faraday.

Bilamana rangkaian sekunder ditutup, suatu arus akan mengalir, dengan demikian energi listrik dipindah (sepenuhnya secara magnetik) dari kumparan primer ke kumparan sekunder



Gambar 2.1. Skema Prinsip Kerja transformator dengan Kumparan Primer dan Sekunder serta rangkaian magnetik

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

2.1.1. Konstruksi Transformator

Umumnya konstruksi transformator terdiri dari :

1. Inti

Inti yang terbuat dari lembaran-lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem menjadi satu.

Inti tersebut berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan trafo.

2. Kumparan atau Belitan

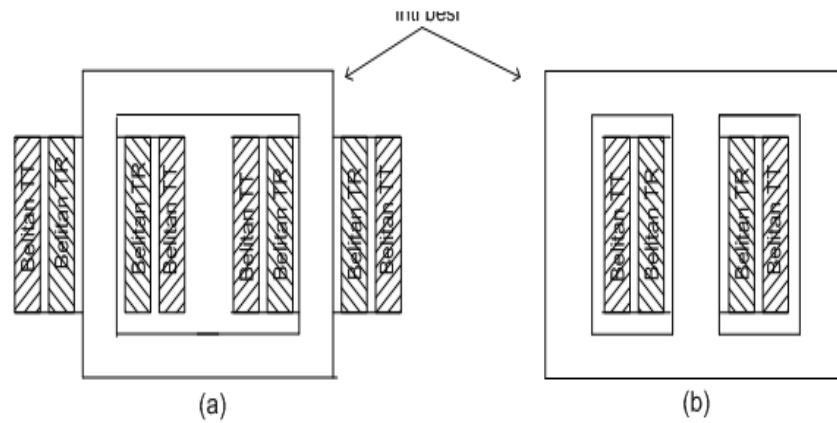
Kumparan atau belitan terbuat dari tembaga yang cara melilitkannya pada inti dapat konsentris atau spiral. Kumparan atau belitan terdiri dari belitan sekunder dan belitan primer. Kumparan primer adalah yang menerima daya dan kumparan sekunder yang tersambung pada beban.

3. Sistem Pendingin

4. Bushing

Bushing untuk menghubungkan rangkaian dalam transformator dengan rangkaian luar.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, ada dua tipe inti besi transformator yaitu tipe cangkang (*Shell Type*) dan tipe inti (*Core Type*).



Gambar 2.2. Inti Besi Transformator

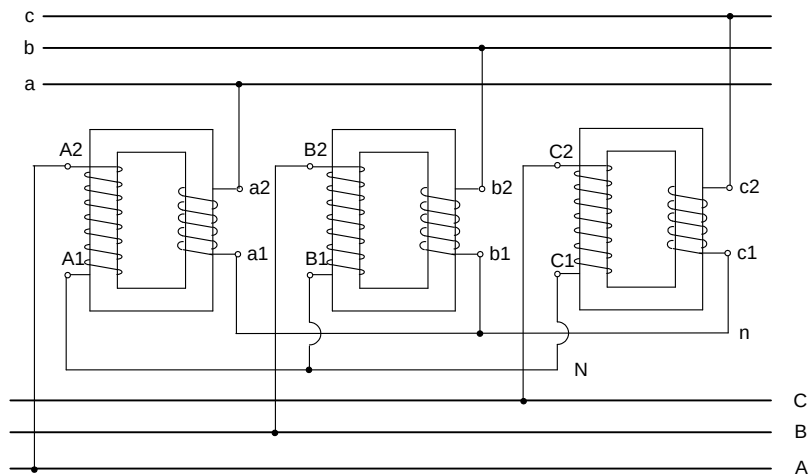
(a) Tipe Inti (*Core Type*)

(b) Tipe Cangkang (*Shell Type*)

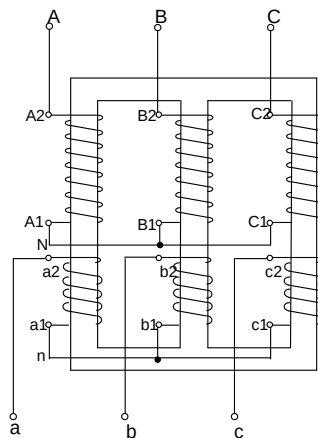
Transformator yang umum digunakan untuk sistem distribusi adalah transformator fasa tiga dan fasa satu, sedangkan transformator fasa tiga merupakan transformator yang paling banyak dipakai.

2.1.2. Transformator Fasa Tiga

Transformator fasa tiga dapat berupa : 1 unit transformator fasa tiga atau 3 unit dari transformator fasa tunggal.



Gambar 2.3. Transformator fasa tiga yang terdiri dari 3 buah transformator fasa tunggal



Gambar-2.4. Satu unit transformator fasa-tiga

2.2. Polaritas dan Vektor Grup Transformator

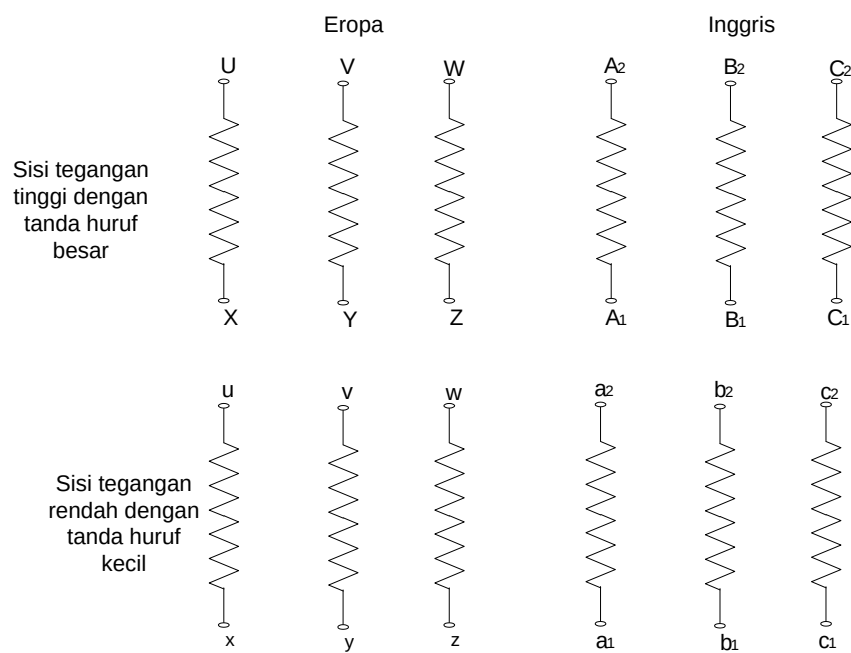
2.2.1. Polaritas Transformator Disisi Sumber dan Beban

Sisi tegangan tinggi pada transformator sebagai sisi primer dan sisi tegangan rendah pada transformator sebagai sisi sekunder. Tetapi dari arah aliran daya sisi primer adalah beban dan sisi sekunder adalah sumber.

Untuk penandaan ujung-ujung belitan pada transformator dilakukan sesuai dengan standar yang dipakai oleh pabrikan dari beberapa negara yaitu :

Tabel 2.1 Standar Penandaan Ujung – ujung Belitan Transformator Beberapa Negara

Negara	Tanda Ujung Belitan					
	Sisi Tegangan Tinggi			Sisi Tegangan Rendah		
Eropa	U	V	W	U	v	W
Inggris	A	B	C	A	b	C
rendah dengan Amerika	H ₁	H ₂	H ₃	X ₁	X ₂	X ₃
IEC	I	II	III	I	ii	lii



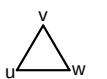
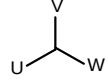
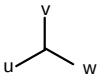
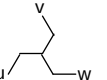
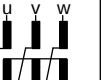
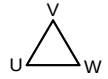
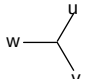
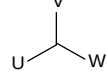
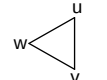
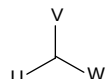
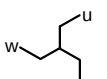
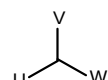
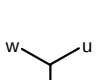
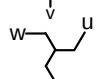
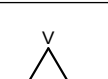
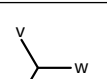
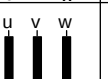
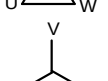
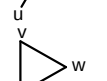
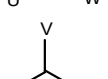
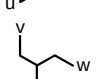
Gambar-2.5. Penandaan ujung-ujung belitan pada transformator

2.2.2. Vektor Grup Transformator

Jika terminal-terminal primer dan sekunder transformator tiga fasa dihubungkan dengan hubungan Y atau D, maka antara urutan fasa yang sama di primer dan sekunder bisa terjadi perbedaan sudut. Artinya fasa R di primer dan fasa

r di sekunder tidak lagi sefasa. Untuk menyatakan pergeseran sudut ini biasanya dilakukan patokan (referensi) penunjukan arah jarum jam. Pergeseran sudut sebesar 1 jam sama dengan 30° listrik. Berikut adalah tabel vektor group transformator tiga fasa :

Tabel 2.2. Vektor group transformator tiga fasa

1	2	3		4		5
Tanda		Diagram vektor		Hubungan lilitan		Perbandingan Lilitan N
Angka jam	Golongan hubungan	TT	TR	TT	TR	
Transformator-transformator fasa-tiga						
0	Dd0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0					$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$
6	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
11	Dy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$

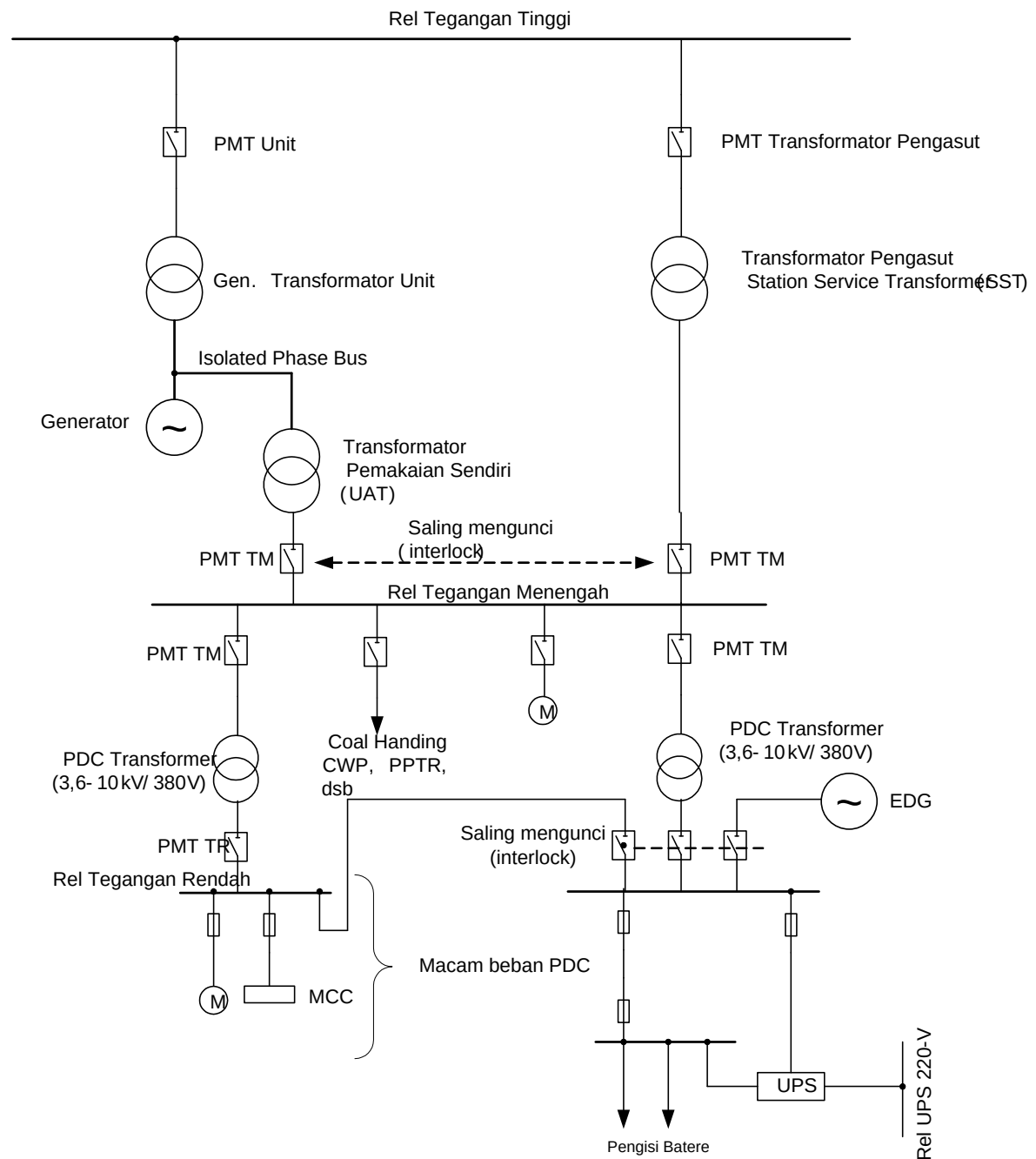
2.3. SISTEM KELISTRIKAN PUSAT PEMBANGKIT

Fungsi kelistrikan pada Pusat Listrik Tenaga termal dan Pusat pembangkit listrik lainnya pada umumnya adalah untuk melayani pengoperasian sistem-sistem mekanikal dalam kaitannya untuk membangkitkan tenaga listrik. Sistem-sistem mekanikal yang dimaksud khususnya untuk Pusat Listrik Tenaga termal antara lain adalah sistem pembangkit uap (ketel uap) dan turbin generator, sistem penanganan bahan-bakar dan pembuangan sisa pembakaran bahan-bakar tersebut. Selain itu pada sistem mekanikal ini terdapat pula pompa dan kipas, kompressor, dan berjalan yang kesemuanya juga memerlukan tenaga listrik untuk pengoperasiannya. Daya listrik yang diperlukan tersebut dipergunakan oleh seluruh peralatan yang dimaksud, baik untuk dioperasikan di dalam unit pada keadaan normal, menghidupkan mesin (start-up), gangguan maupun berhenti. Sumber daya listrik ini dapat berasal dari generator, dari gardu-induk pembangkit melalui transformator pelayanan (station service transformer), ataupun dari generator cadangan dalam kondisi darurat.

Pemakaian sendiri dan daya yang diperlukan untuk pengasutan dipasok dari sumber tegangan rendah yang diambil dari rel tegangan tinggi. Untuk itu diperlukan transformator penurun tegangan guna memasok pelayanan pemakaian-sendiri.

Prinsip hubungan sistem unit ini sekarang banyak digunakan pada pembangkit thermal, diperlukan transformator-pengasut (starting transformer) yang terpisah dari unit, yang dipasok dari rel tegangan tinggi, lihat gambar-2.6 atau dari jaringan lain yang terpisah. Begitu generator mencapai kecepatan sinkron, generator tersebut dihubungkan ke-jaringan melalui PMT tegangan tinggi dari sistem unit tersebut. Kemudian pasokan untuk pemakaian sendiri yang semula didapat dari trafo-pengasut melalui rel tegangan tinggi segera beralih ke trafo pemakaian sendiri yang

dipasok langsung dari generator, cara ini umumnya digunakan untuk pusat pembangkit medium.



Gambar-2.6. Bagan hubung Sistem Unit dan pasokan untuk Pemakaian Sendiri

2.3.1 Peralatan-bantu pada Pusat Pembangkit

Peralatan bantu pada Pusat tenaga termal termasuk peralatan bantu untuk ketel, peralatan bantu untuk kondensor, generator dan peralatan bantu untuk turbin.. Motor bantu mempunyai daya beberapa ratus tenaga kuda. Daya total yang diperlukan untuk peralatan bantu ini berkisar antara 6 sampai 8% dari keluaran Pembangkit. Kegunaan peralatan hubung bantu ini adalah untuk memfasilitas perobahan posisi sakral, kendali dan proteksi dari beragam sistem peralatan bantu yang pada umumnya mempunyai dua tingkatan tegangan seperti 6,6kV dan 0,415-kV, Akan tetapi pada pembangkit kelas 500 MW, terdapat tiga tingkatan tegangan yang diperlukan, seperti 11-kV. 6,6-kV atau 3,3-kV dan 415 V., dengan demikian peralatan hubung-bantu yang dipasang kapasitasnya harus mencukupi. Peralatan bantu yang dikaitkan dengan unit disebut Unit Peralatan-bantu, dan dipasok oleh generator melalui trafo-pemakaian-sendiri, yang disebut sebagai transformator pelayanan unit

Catu daya untuk peralatan-peralatan pembangkit / pemakaian sendiri diperoleh dari:

- a. Transformator Pelayanan Stasiun (*Station Service Transformer*) atau disebut juga sebagai starting-transformer diperuntukkan untuk melayani peralatan-peralatan pembangkit pada waktu menghidupkan (*start up*) dan untuk peralatan bantu stasiun yang dayanya diperoleh dari Gardu Induk (70-kV atau 150-kV./6-kV atau 10-kV). Transformator ini memberikan pelayanan pada Sistem Tegangan Menengah.

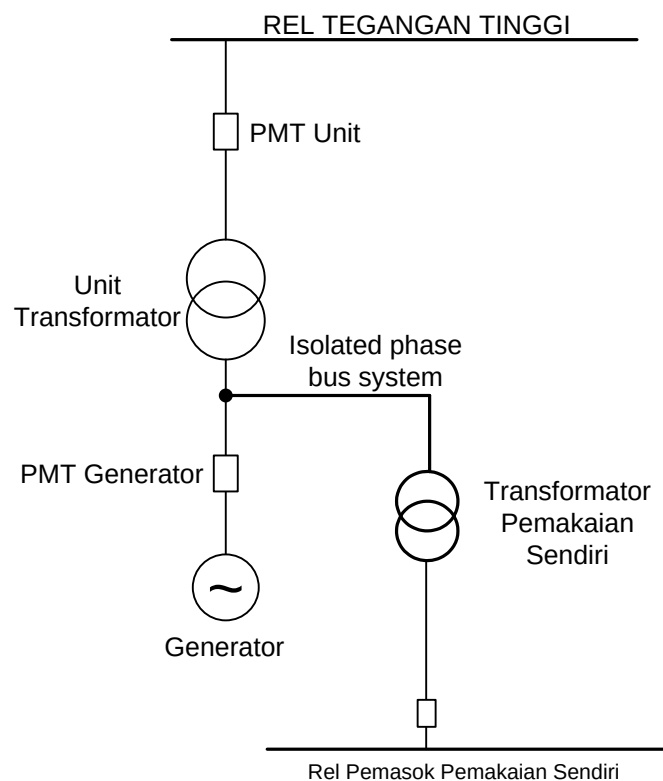
- b. Transformator Pelayanan Unit (*Unit Auxiliary Transformer*) disebut juga sebagai Transformer-Pemakaian Sendiri, diperuntukkan untuk melayani peralatan pembangkit setelah unit pembangkitnya mulai dibebani, yang dayanya diperoleh langsung dari generator. Transformator ini memberikan pelayanan pada Sistem Tegangan Menengah.
- c. Rel *start-up* tegangan menengah, yang dapat terhubung dengan keseluruhan unit-unit pembangkit yang dayanya diperoleh dari transformator-transformator stasiun. Hal ini terdapat pada unit-unit besar, untuk keluwesan pemilihan catu daya.
- d. Generator cadangan (*Standby Generator*), yang diperlukan apabila dari catu daya seperti tersebut dalam butir a, b dan c, oleh karena sesuatu hal tidak berfungsi. Generator ini pada umumnya membangkitkan daya listrik terbatas hanya untuk Sistem Tegangan Rendah dengan beban-beban penting yang dipilih. Secara umum, fungsi penyediaan sumber daya listrik untuk sistem tersebut akan dilayani oleh unit pembangkit yang bersangkutan, bila unit tersebut diistirahatkan, maka fungsi penyediaan sumber daya listrik ini akan dilayani oleh sumber

2.4. Bagan hubung Pola Pemutus Tenaga Generator

Dengan adanya PMT pasangan dalam dengan kapasitas tinggi (seperti 11-kV, 3500 MVA), maka PMT tersebut dapat dihubungkan antara Generator dan unit transformator.

Bila tersedia PMT seperti tersebut diatas, PMT tersebut dipasang antara generator dan unit transformator, lihat gambar-2.7.

Dalam kondisi generator belum bekerja, daya untuk keperluan pengasutan dan sistem pelayanan pemakaian sendiri, dipasok dari rel Tegangan Tinggi, melalui PMT unit, transformator unit dan trafo-pemakaian-sendiri, sedangkan PMT generator pada kondisi ini membuka.. Jadi selama generator belum bekerja, sistem pelayanan pemakaian sendiri masih dapat terus berlangsung, dengan demikian tidak diperlukan lagi transformator-pengasut. Bila generator telah mencapai kecepatan sinkronnya, PMT generator di-masuk/menutup, generator memasok daya ke rel tegangan tinggi dan juga memasok ke-transformator pemakaian sendiri.



Gambar-2.7. Bagan hubung PMT Generator

2.5. Sistem Rel Fasa Terisolasi (*Isolated phase bus system*) atau Generator busducts

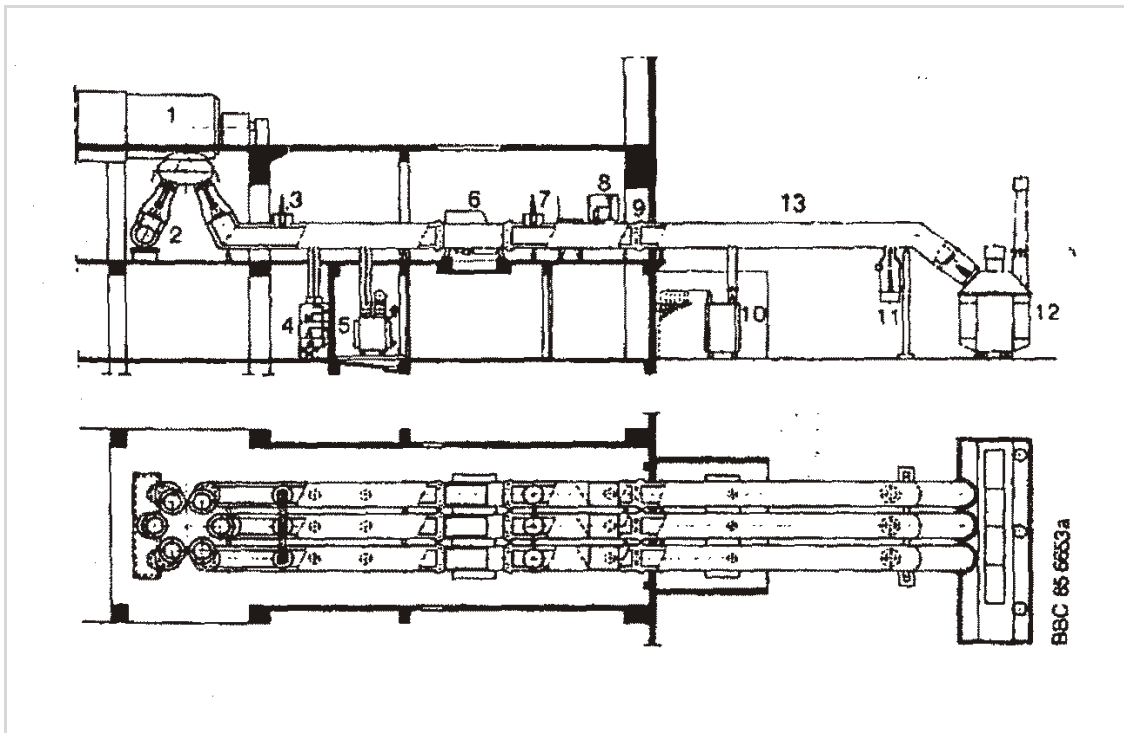
Sistem rel fasa terisolasi untuk generator atau generator busducts adalah bagian dari instalasi listrik dalam Pusat Pembangkit Tenaga. Dengan dengan tugas pokok melayani fungsi-fungsi berikut :

- a. Penghubung generator dengan transformator utama, termasuk netralnya generator.
- b. Penghubung cabang ke transformator pemakaian sendiri dan transformator penguat dan e-kubikel trafo-tegangan.
- c. Dipasang dan dihubungkan dengan alat pengukuran isyarat dan alat pengamanan untuk arus, tegangan dan peralatan lainnya.
- d. Dilengkapi dan dihubungkan dengan peralatan switching seperti PMT Generator, konektor arus-besar dan sakelar-pembumian.
- e. Fasilitas tambahan yang terkait, misalnya untuk melindungi dan pemeliharaan system pembumian menjaga tekanan system atau pendinginan paksa.

Instalasi peralatan-hubung Generator, yaitu penghantar antara unit generator transformator, unit transformator bantu ditempatkan dalam tabung, yang berupa tabung metal aluminium. Tabung tersebut tanpa sambungan dan dihubungkan bintang dan dibumikan pada kedua ujungnya. Penghantarnya diletakkan pada isolator penyangga porselen yang berada dalam tabung metal tersebut. Sistem seperti ini disebut *Isolated Phase Bus System*, dan dipergunakan pada semua pusat pembangkit thermal, yang generatornya mempunyai daya diatas 60 MW. Arus pusar (*eddy current*) meng-induksikan arus pada tabung-metal yang mengalir sepanjang

tabung-metal. Oleh sebab itu terjadilah gabungan medan magnet luar dan medan magnet pada tabung metal.

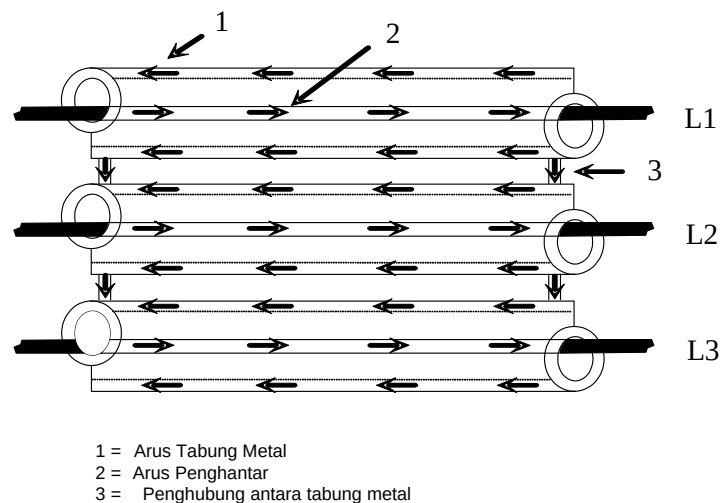
Medan ini berinteraksi dengan medan dari penghantar utama. Hasilnya, pada kasus isolated phase bus system, medan magnetik diluar tabung metal berkurang (sampai kurang-lebih 5% bila tanpa tabung metal). Oleh sebab itu, desain isolator sederhana..Panas yang dihasilkan dalam tabung-metal yang juga merupakan panas yang dihasilkan oleh penghantar.Sampai dengan arus pengenal aoncnal 9 kA, pendinginan dengan udara sudah memadai. Untuk arus pengenal normal antara 9 kA sampai 14 kA, pendinginan yang digunakan adalah sistem udara paksa .



Gambar 2.8. Instalasi peralatan hubung Generator

Keterangan Gambar 2.8. Instalasi peralatan hubung Generator:

1. Generator,
2. Netral Generator,
3. Penghubung singkat dan peralatan pembumian,
4. Trafo-pengukuran dalam kubikel,
5. Trafor Excifer,
6. PMT Generator,
7. Sakelar pembumian,
8. Transformator-tegangan,
9. Sambungan untuk ekspansi tabung,
10. Transpormator pemakaian sendiri,
11. Arrestor.
12. Transformator utama,
13. Rel terselubung untuk arus tinggi (*High-current busduct*)

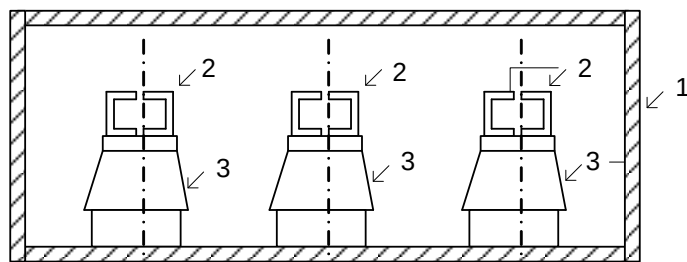


Gambar-2.9. Prinsip Isolated phase bus system atau Generator busduct dengan tabung pembungkus metal yang tidak terputus-putus.

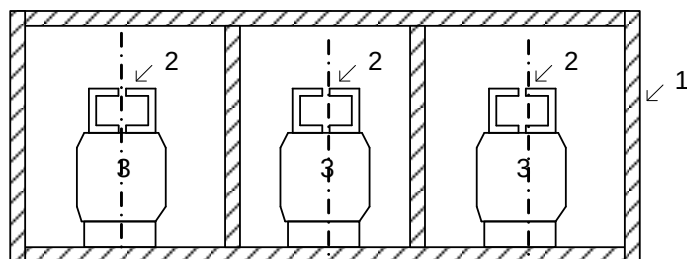
Prinsip konstruksi Isolated phase bus system, dapat dilihat pada gambar-2.9 dan gambar 2.11.

Untuk arus pengenal normal diatas 14 kA, pendinginan penghantarnya memakai pendinginan air. Suhu maksimum yang diizinkan untuk penghantar dan tabung-metal dalam order 85°C . Dengan desain seperti ini arus pada tabung-metal selalu sama dengan arus pada penghantar.

digunakan adalah aluminium dengan penampang berbentuk U. Tabung-metalnya juga dari aluminium.

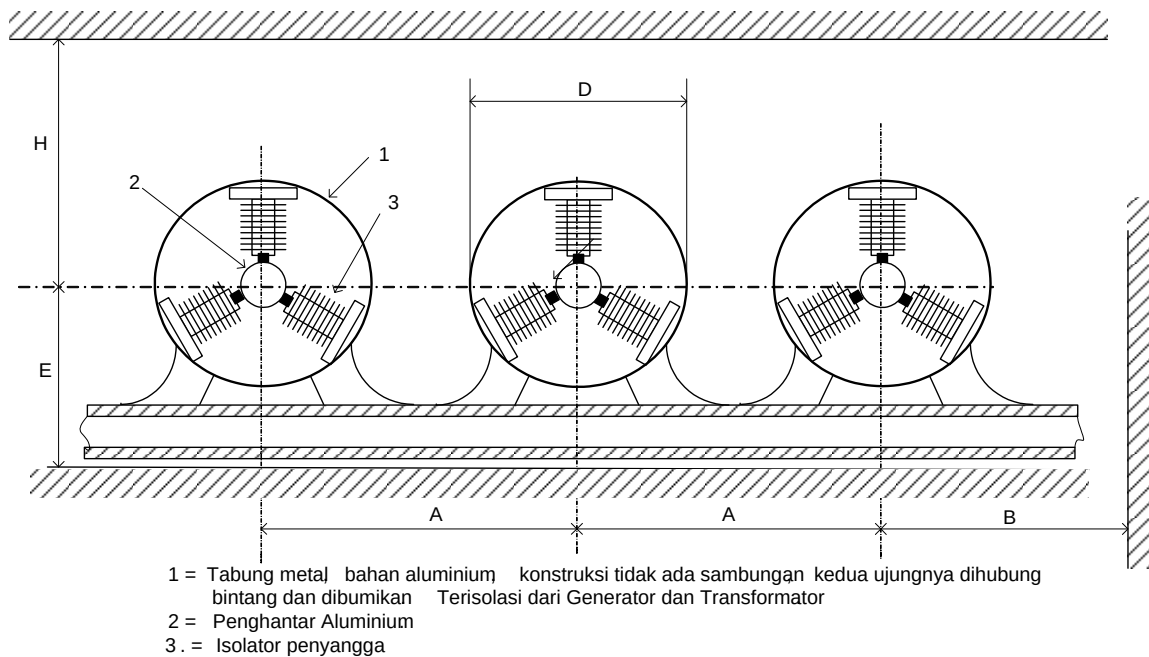


(a) Rel dalam duct tanpa penyekatan dipakai untuk tegangan 415 V
 1. Pembungkus metal rakitan pabrik dari aluminium / baja.
 2. Penghantar aluminium berbentuk kanal (atau persegi)
 3. Isolator (Porselen atau Resin cast)



(b) Rel dalam duct dengan penyekatan untuk sistem peralatan bantu tegangan 6,6-kV atau 11-kV.

Gambar-2.10. Bentuk Rel dalam duct



Gambar-2.11. Sistem rel yang terisolasi (*Isolated phase bus system*)
 penghantar penghubung antara Generator dan Transformator Utama.

Keuntungan dari rel dalam tabung-metal dibandingkan dengan sistem terbuka adalah sebagai berikut :

- f. Berkurangnya gaya elektromagnetik antara penghantar selama terjadi kondisi hubung singkat, sehingga desain isolator penyangga penghantar menjadi sederhana.
- g. Tidak mungkin terjadi gangguan pada rel
- h. Aman bagi manusia
- i. Mengurangi ruang yang diperlukan
- j. Perisai magnet, tidak ada arus induksi pada rangka besi yang ada disekitarnya.
- k. Mengurangi pemeliharaan.

PMT generator juga diletakkan didalam tabung-metal tanpa terputus-putus. Dengan demikian keuntungan yang disebutkan diatas berlaku juga PMT generator.

Penghantar dari sistem peralatan-bantu juga dikemas dalam kotak-tabung-metal dengan tanpa penyekat, lihat gambar-2.9a, dan dengan penyekat, lihat gambar-2.9b.

Kotak-tabung-metal seperti ini tahan debu, tahan serangga, tahan air dan terjamim bebas dari pemeliharaan dan bebas dari gangguan.

Pada gambar-2.10 terlihat bentuk lain dari system Rel fasa yang terisolasi. Type seperti ini mencakup 5 tingkat tegangan dan arusnya mulai dari 3kA sampai 20kA dengan pendinginan alami dan dengan pendinginan paksa bisa mencapai 50 kA. Ke-lima tingkat tegangan tersebut adalah 12; 17,5; 24; 30 dan 36-kV.

Table 2.3. Ukuran Pokok Dari *High Current Isolated Phase Busduct*

Arus pengenal kA	Type GA 12-36				Type GA				
	D	A	B	E	12 H	17,5 H	24 H	30 H	36 H
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0-3	460	750	700	500	550	-	-	-	-
3-5	550	850	750	550	600	600	-	-	-
4-8	640	960	800	600	650	700	750	-	-
3-10	720	1000	900	650	700	750	800	850	-
3-10	820	1100	960	700	750	800	900	900	900
5-12	910	1200	1000	70	-	860	900	900	960
8-15	1200	1300	1050	900	-	900	960	960	1000
10-17	1090	1400	1100	850	-	900	960	1000	1060
12-17	1180	1500	1150	900	-	-	1000	1060	1100
15-20	1270	1600	1200	960	-	-	1060	1100	1150
17-22	1360	1700	1250	1000	-	-	1100	1150	1200
20-24	1450	1800	1300	1060	-	-	1150	1200	1250
22-26	1540	2000	1400	1100	-	-	1200	1250	1300
24-26	1630	2100	1450	1150	-	-	-	1300	1360
26	1720	2200	1500	1200	-	-	-	-	1400