



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. Berdasarkan Buku Standar PLN 5 bagian IV.2.2.1. Konstruksi SUTM Tunggal pada point i konstruksi pembumian yang berbunyi “Penghantar Netral di bumikan pada tiap tiang. Pembumian dengan elektroda bumi pada konstruksi Lightning Arrester, gardu distribusi dan pada tiap-tiap 3 gawang / jarak tiang. Nilai satuan Pembumian 1 ohm pada Lightning Arrester dan gardu”.<sup>[9]</sup>

Masalah pentanahan merupakan salah satu faktor penting didalam kelistrikan seperti pada stasiun pembangkit, gardu induk, sistem transmisi dan distribusi, ia mempunyai hubungan yang erat dengan perlindungan suatu sistem berikut semua peralatannya.

Apabila suatu tindakan pengamanan/perlindungan yang baik akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Beberapa waktu yang lalu masih ada pendapat bahwa semua peralatan yang dihubungkan dengan tanah, betapa jeleknya hubungan tanah itu sudah memberikan jaminan keamanan baik bagi peralatan itu sendiri maupun bagi operator yang bertugas, pendapat ini menimbulkan bahaya bagi keselamatan manusia sebagai subyek yang paling penting, yaitu bila terjadi gangguan pada peralatan itu.

Sangatlah perlu bahwa perencanaan sistem pentanahan dengan teliti sehingga bisa diperoleh perlindungan yang terpercaya, perlindungan ini akan

---

[9] Wibowo, Ratno, dkk. 2010. *Buku Standar PLN 5 Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Hal 13



menjamin pelayanan yang kontinyu dan jangka hidup peralatan akan bertambah panjang.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan

## **2.2 Misi Utama Pentanahan**

Secara umum, misi utama sistem pentanahan adalah :

- a. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
- b. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik.
- c. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik.
- d. Menyalurkan energi sambaran petir ke tanah.
- e. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover ketika terjadi transien

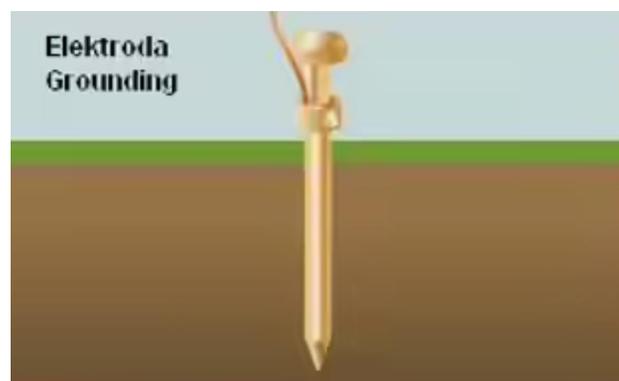
## **2.3 Pentanahan dan Tahanan pentanahan**

Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut pembumian. Empat bagian dari instalasi listrik ini adalah :



- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dapat dengan mudah disentuh manusia. Hal ini diperlukan agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.
- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester, karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
- d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitannya dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

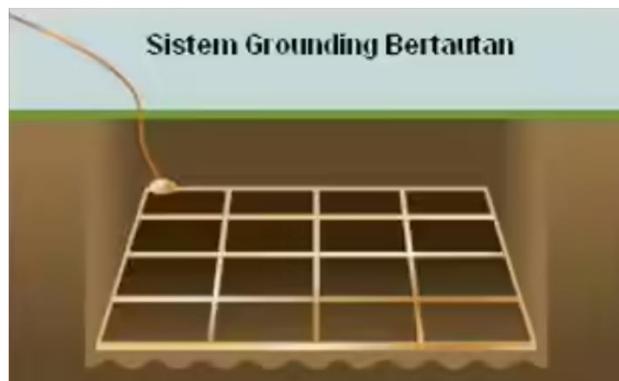
Secara teoritis, tahanan tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Namun, kenyataannya tidak demikian, tahanan pentanahan nilainya tidak nol. Hal ini disebabkan oleh adanya tahanan kontak antara alat pentanahan dengan tanah di mana alat tersebut dipasang (di dalam tanah). Alat untuk melakukan pentanahan ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



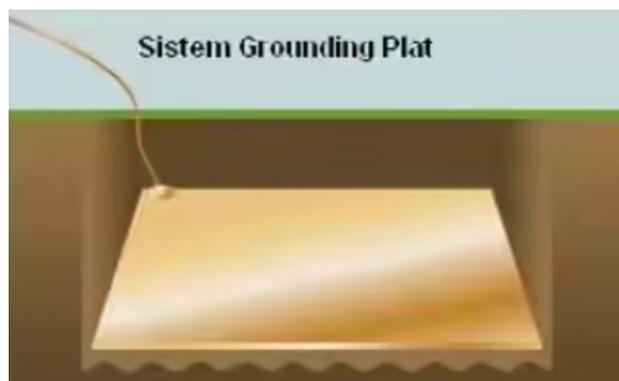
**Gambar 2. 1 Batang pentanahan tunggal (single grounding rod).**



**Gambar 2. 2 Batang pentanahan ganda (multiple grounding rod).**



**Gambar 2. 3 Anyaman pentanahan (grounding mesh).**



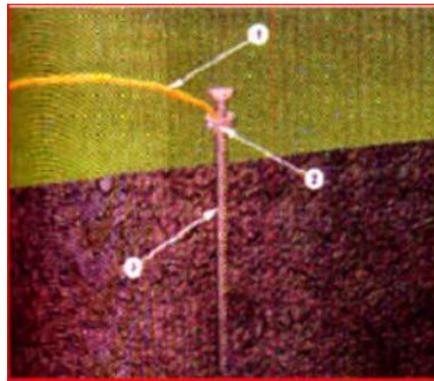
**Gambar 2. 4 Pelat pentanahan (grounding plate).<sup>[4]</sup>**

Tahanan pentanahan selain ditimbulkan oleh tahanan kontak tersebut diatas juga ditimbulkan oleh tahanan sambungan antara alat pentanahan dengan kawat

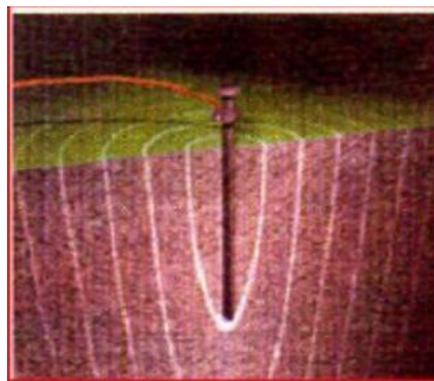
[4] Lembo Alfredo B, 2016. *Analisis Pengaruh Pentanahan Pada Gangguan Hubung Singkat P-N Saluran 1 $\Phi$* . Tugas Akhir. Manado. Politeknik Negeri Manado.



penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pentanahan adalah tahanan dari tanah yang ada di sekitar alat pentanahan yang menghambat aliran muatan listrik (arus listrik) yang keluar dari alat pentanahan tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pentanahan ini menghadapi bagian-bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tanah yang sama, tahanan jenisnya dipengaruhi oleh kedalamannya. Semakin dalam letaknya, umumnya tahanan jenisnya semakin kecil, karena komposisinya semakin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pentanahan, semakin dalam pemasangannya akan semakin baik hasilnya dalam arti akan didapat Tahanan pentanahan yang semakin rendah.



**Gambar 2. 5 Batang Pentanahan Beserta Aksesorisnya**



**Gambar 2. 6 Batang Pentanahan dan Lingkaran Pengaruhnya.<sup>[6]</sup>**

[6] Tritya Sukma, Achmad Rijanto, Lutfia Puspa Indah Arum. 2019. "Analisis Nilai Pentanahan Terbaik dan Murah Bahan di PT.PLN (Persero) Gardu Induk Tarik" dalam jurnal Mejametcha. Volume 1 Nomor 2.



Gambar 2.5 menggambarkan batang pentanahan beserta aksesorisnya, seperti 1. Konduktor tanah; 2. Penghubung antara konduktor dengan elektroda tanah; 3. Elektroda tanah. Sedangkan pada gambar 2.6 menggambarkan batang pentanahan beserta lingkaran pengaruhnya (sphere of influence) di dalam tanah. Tampak bahwa semakin dalam letaknya di dalam tanah sampai kedalaman yang sama dengan kedalaman batang pentanahan, garis lingkaran pengaruh ini semakin dekat dengan batang pentanahan.

**Tabel 2. 1 Tahanan Jenis Berbagai Tanah dan Tahanan Pentanahannya.<sup>[7]</sup>**

Macam Tanah	Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )					
	Kedalaman Batang Pentanahan (m)			Panjang Pita Pentanahan (m)		
	3	6	10	5	10	20
Humus Lembab	10	5	3	12	6	3
Tanah Pertanian, Tanah Liat	33	17	10	40	20	10
Tanah Liat Berpasir	50	25	15	60	30	15
Pasir Lembab	66	33	20	80	40	20
Pasir Kering	330	165	100	400	200	100
Beton 1:5	-	-	-	160	80	40
Kerikil Lembab	160	80	48	200	100	50
Kerikil Kering	330	165	100	400	200	100
Tanah Berbatu	1.000	500	300	1.200	600	300
Batu Karang	-	-	-	-	-	-

Tabel 2.1 diatas menggambarkan tahanan pentanahan dengan berbagai kedalaman dan apabila digunakan pita pentanahan (grounding strip) dengan berbagai ukuran panjang. Dari tabel ini terlihat bahwa untuk memperoleh tahanan

[7] Teori Elektronika. 2022. Variabel Yang Mempengaruhi Sistem Grounding. (Online) <https://elektronika-dasar.web.id/variabel-yang-mempengaruhi-sistem-grounding/> (Diakses 18 Juni 2022 puku 10:37 WIB).



pentanahan 6 2 di tanah humus lembab, batang pentanahannya cukup dipancang sedalam 5 meter tetapi bila di pasir kering kedalamannya harus 165 meter.

## 2.4 Pentanahan Netral<sup>[3]</sup>

Pentanahan titik netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan titik netral ini dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

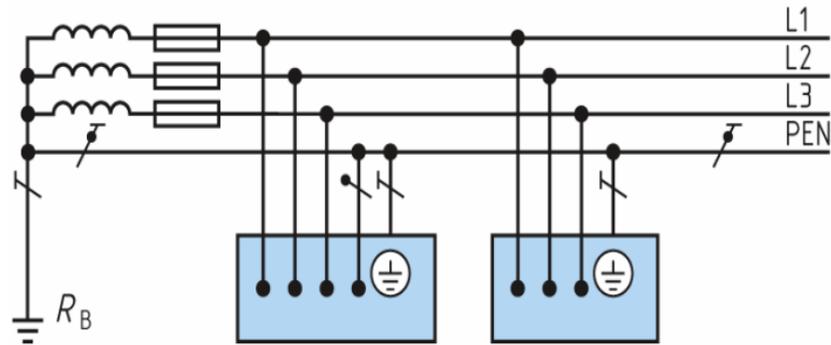
Ada bermacam-macam pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitikberatkan pada macam-macam pentanahan titik netral yang umum digunakan. Jenis pentanahan sistem akan menentukan skema proteksinya, oleh karena itu, jenis pentanahan ini sangat penting diketahui.

Ada lima macam skema pentanahan netral sistem daya, yaitu:

- a. TN (Terra Neutral) System, terdiri dari 3 jenis skema, yaitu:
  1. TN-C (Terra Neutral-Combined), Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama.

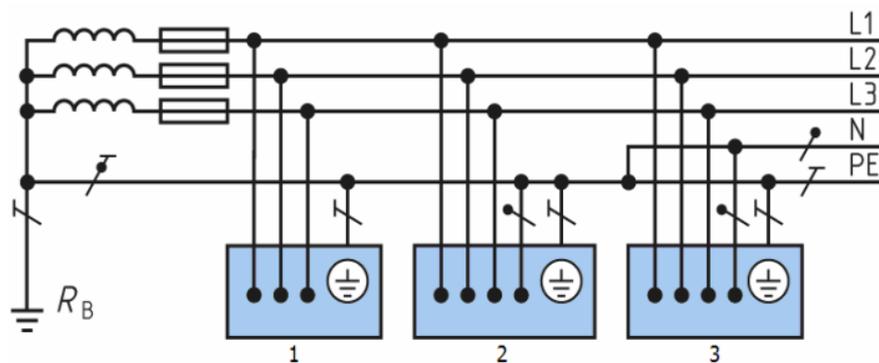
---

[3] Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 160-162



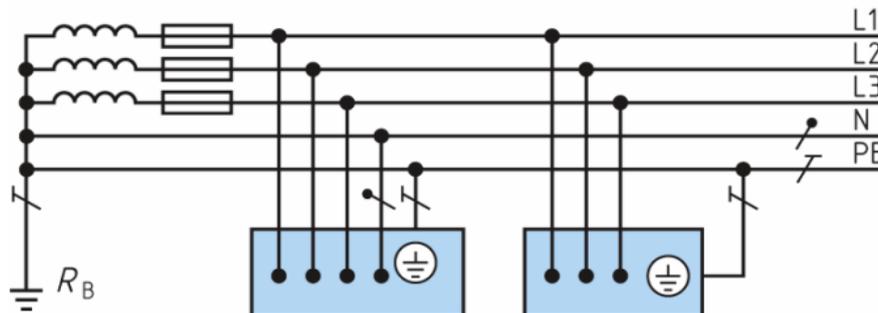
**Gambar 2. 7 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)**

2. TN-C-S (Terra Neutral-Combined-Separated), Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Di sini terlihat bahwa bagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (combined). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (separated).



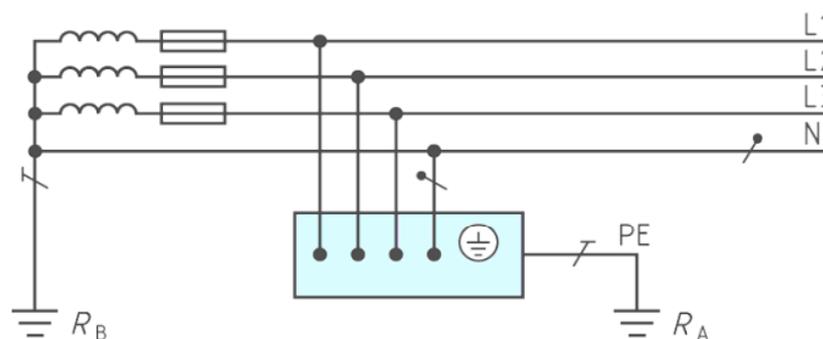
**Gambar 2. 8 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)**

3. Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan. Jadi semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (separated).



**Gambar 2. 9 Saluran dan Netral dipisah (TN-S)**

- b. TT (Terra Terra) system: Saluran Tanah dan Tanah, Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda (berdiri sendiri). Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.

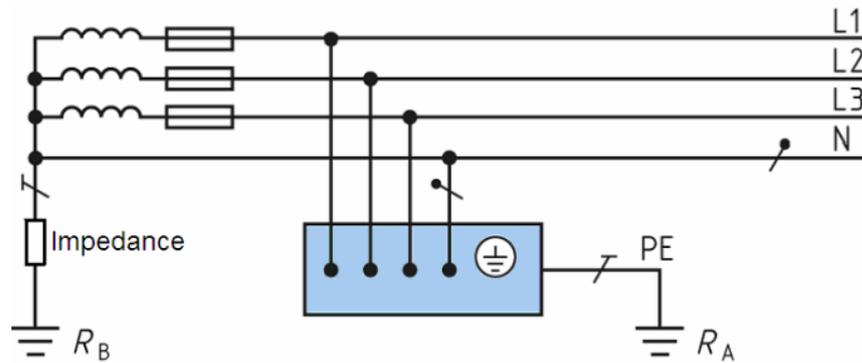


**Gambar 2. 10 Saluran Tanah dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)**

- c. IT (Impedance Terra) System, Sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi dihubung langsung ke elektroda pentanahan secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedansi. Ada beberapa jenis sambungan titik netral secara tidak langsung ini, yaitu melalui reaktansi, tahanan dan kumparan petersen. Antara ketiga jenis media sambungan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun, secara teknis jenis sambungan



kumpulan petersen yang mempunyai kinerja terbaik. Permasalahannya adalah harganya yang mahal.

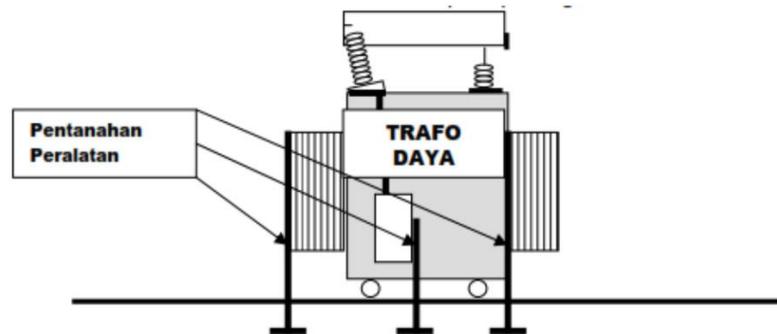


**Gambar 2. 11 Saluran Tanah melalui Impedansi (IT)**

## 2.5 Pentanahan Peralatan<sup>[1]</sup>

Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan baterai dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan. Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan. Pentanahan yang demikian disebut pentanahan peralatan, sebagai contoh pemasangan ditunjukkan seperti pada gambar 2.5 dibawah :

[1] Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Hal 254



**Gambar 2. 12 Pemasangan Pentanahan Peralatan**

Selain tegangan sentuh tidak langsung ada dua potensi bahaya sengatan listrik yang dapat diamankan melalui pentanahan ini, yaitu tegangan langkah dan tegangan eksposur.

Tujuan pentanahan peralatan adalah sebagai berikut :

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya ialah untuk memperoleh potensial yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat kecil.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pada personil timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Juga impedansi yang besar pada sambungan-sambungan pada rangkaian pentanahan dapat menimbulkan busur



listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

## 2.6 Sistem Pentanahan Arrester

Karena pentingnya fungsi arrester dalam sistem koordinasi isolasi pada instalasi tenaga listrik, maka pemasangan alat ini harus betul-betul memenuhi persyaratan teknis. Arrester berfungsi mengalirkan arus lebih ke tanah apabila terjadi gangguan petir maupun over voltage, maka sistem pentanahannya harus memenuhi standar yang ditentukan. Dalam prakteknya, kebanyakan arrester dilakukan dengan pentanahan lokal, yaitu Rods yang dimasukkan ke tanah dekat dengan arrester. Selanjutnya dari terminal pentanahan arrester kita hubungkan ke rods dengan menggunakan konduktor. Untuk sistem yang digunakan pada gardu induk yang bersangkutan, besarnya tahanan pentanahan untuk arrester harus sekecil mungkin dan harganya dibatasi di bawah 5  $\Omega$ .<sup>[5]</sup>

## 2.7 Menghitung Tahanan Tanah

Persamaan-persamaan untuk tahanan tanah dari berbagai sistem elektroda cukup rumit, dan dalam beberapa hal dapat dinyatakan dengan pendekatan pendekatan. Semua pernyataan dalam persamaan-persamaan diperoleh dari hubungan  $R = \rho L/A$  dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin/sangat jarang ada. Rumus yang biasa digunakan untuk pasak tunggal dikembangkan oleh Professor H.B. Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

---

[5] Sunarhati Marliyus. 2013. Perhitungan Tahanan Pentanahan Gardu di Griya Kaswari Palembang. Jurnal. Palembang. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Penduduk di Griya Kaswari Palembang



Dimana :

$\rho$  = tahanan jenis tanah (Ohm-m)

L = panjang elektroda pentanahan (m)

$\alpha$  = jari-jari penampang elektroda pentanahan (m)

R = tahanan elektroda pentanahan (Ohm)

## 2.8 Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200 m dan di setiap konsumen. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm. [3]

Seperti yang telah disampaikan di atas bahwa tahanan pentanahan diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah :

- Bentuk elektroda. Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi.

---

[3] Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 167



- Jumlah/konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.
- Kedalaman penanaman di dalam tanah. Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.
- Faktor-faktor alam. Jenis tanah: tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain lain. moisture tanah. semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah; kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkankorosi; dan suhu tanah: suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

## 2.9 Jenis-jenis Elektroda<sup>[3]</sup>

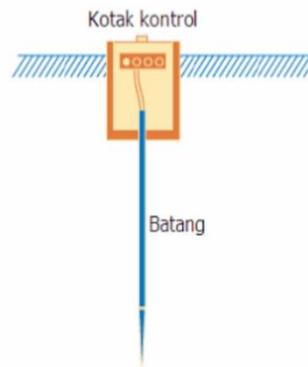
Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempuntai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut ini akan dibahas jenis-jenis elektroda pentanahan dan rumus-rumus perhitungan tahanan pentanahannya.

### a. Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancarkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan digardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memasangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.

---

[3] Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 167-169



**Gambar 2. 13 Elektroda Batang**

Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L R} \left[ \ln \left( \frac{4 L R}{A R} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$R_G = R_R$  = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

$L R$  = Panjang elektroda (meter)

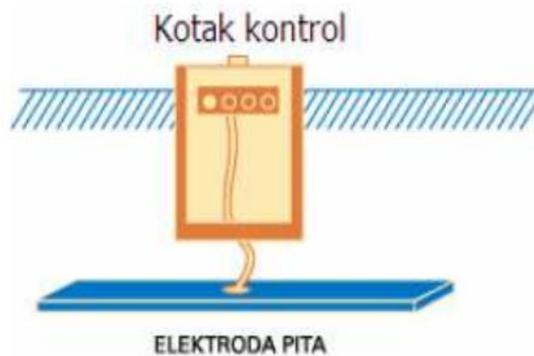
$A R$  = Diameter elektroda (meter)

b. Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Kalau pada elektroda jenis batang, pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal) dan dangkal.



Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial, atau kombinasi antar keduanya.



**Gambar 2. 14 Elektroda Pita**

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_w} \left[ \ln \left( \frac{2 L_w}{\sqrt{d_w Z_w}} \right) + \frac{1,4 L_w}{\sqrt{A_w}} \right] - 5,6 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$R_G = R_W$  = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

$d_w$  = Diameter kawat (meter)

$L_w$  = Panjang total grid kawat (meter)

$Z_w$  = Kedalaman penanaman (meter)

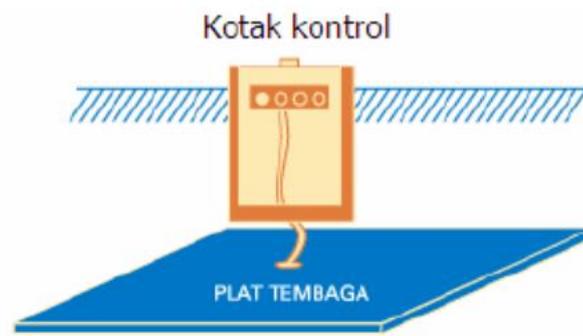
$A_w$  = Luasan yang dicakup oleh grid (meter<sup>2</sup>)

#### c. Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda



ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.



**Gambar 2. 15 Elektroda Pelat**

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[ \ln \left( \frac{8 W_P}{\sqrt{0,5 W_P + T_P}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$R_P$  = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

$W_P$  = Lebar pelat (meter)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

$L_P$  = Panjang pelat (meter)

$T_P$  = Tebal pelat (meter)

## 2.10 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikandalam satuan Ohm meter. Dalam bahasan disini menggunakan satuan Ohm-meter, yang merepresentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang bersisi 1 meter.



Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu jenis tanah, lapisan tanah, kelembaban tanah, dan temperatur.

Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin embab tanah itumakin rendah tahanan jenisnya.

**Tabel 2. 2 Tahanan Jenis Tanah<sup>[2]</sup>**

Jenis Tanah	Tahanan Jenis ( $\Omega m$ )
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui tahanan jenis pentanahan. Apabila perlu dilakukan pengukuran tahanan tanah. Namun perlu diketahui bahwa sifat-sifat tanah bisa jadi berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain. Hal ini harus betul betul dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Bila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi kapan tahanan jenis pentanahan yang tertinggi. Ini sebagai antisipasi agar tahanan pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan tahanan jenis pentanahan tinggi, misalnya ketika musim kemarau.

[2] PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2011 Pasal 542.2.8.1



Kita sering mencoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara priodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga dapat mengubah tahanan jenis tanah.

### 2.11 Tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis dan Ukuran Elektroda

Tabel dibawah ini dapat digunakan sebagai acuan kasar harga tahanan pentanahan pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda.

**Tabel 2. 3 Harga Tahanan Pentanahan<sup>[2]</sup>**

Jenis elektrode	Pita atau Hantaran Pilin				Batang atau Pipa				Pelat vertikal dengan sisi atas ± 1 m di bawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)				Ukuran (m <sup>2</sup> )	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Resistans pembumian (Ω)	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Untuk tahanan jenis tanah yang lain, nilai tahanan pentanahan adalah nilai pentanahan dalam table dikalikan dengan faktor :

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{\rho}{100} \dots\dots\dots(2.5)$$

[2] PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2011 Pasal 542.2.8.2



## 2.12 Luas Penampang Elektroda Pentanahan

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar tahanan pentanahan. Berikut ini adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan.

**Tabel 2. 4 Luas Penampang Minimum Elektroda Pentanahan<sup>[3]</sup>**

Bahan Jenis Elektroda	Baja digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Pita	Pita baja 100 m <sup>2</sup> Setebal minimum 3 mm	50 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> tebal minimum 2 mm
	Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)
Elektroda Batang	- Pipa baja 25 mm - Baja profil (mm) : L 65x65x7 U 6,5 6x50x3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
Elektroda Pelat	Pelat besi setebal 3 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>

Tabel 2.4 diatas dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan.

[3] Sumardjati, Prih, dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 171



### 2.13 Gardu Distribusi <sup>[8]</sup>

Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

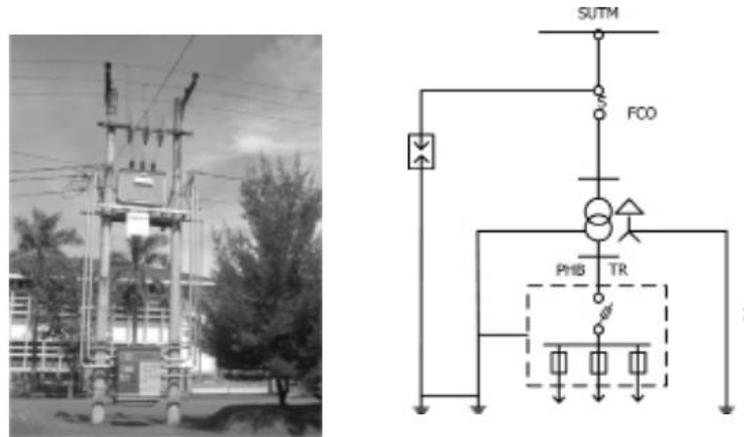
- a. Jenis pemasangannya :
  - 1) Gardu pasangan luar: Gardu Portal, Gardu Cantol
  - 2) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kiost
- b. Jenis Konstruksinya :
  - 1) Gardu Beton (bangunan sipil: batu, beton)
  - 2) Gardu Tiang: Gardu Portal dan Gardu Cantol
  - 3) Gardu Kios
- c. Jenis Penggunaannya :
  - 1.) Gardu Pelanggan Umum
  - 2.) Gardu Pelanggan Khusus

#### 2.13.1 Gardu Tiang Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur link type expulsion) dan Lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

---

[8] Wibowo, Ratno, dkk. 2010. *Buku Standar PLN 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Hal 1-4



**Gambar 2. 16 Gardu Tiang Portal dan Bagan Satu Garis**

### 2.13.2 Gardu Tiang Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya  $\leq 100$  kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



**Gambar 2. 17 Gardu Tiang Cantol**

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan



Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

### 2.13.3 Gardu Tiang Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*).



**Gambar 2. 18 Gardu Beton**

Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

### 2.13.4 Gardu Tiang Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



**Gambar 2. 19 Gardu Kios**

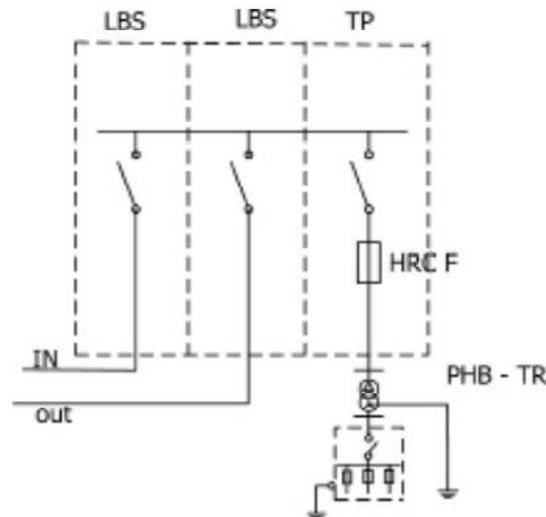


**Gambar 2. 20 Gardu Kios Bertingkat**

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

#### **2.13.5 Gardu Pelanggan Umum**

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah  $\pi$  section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM.



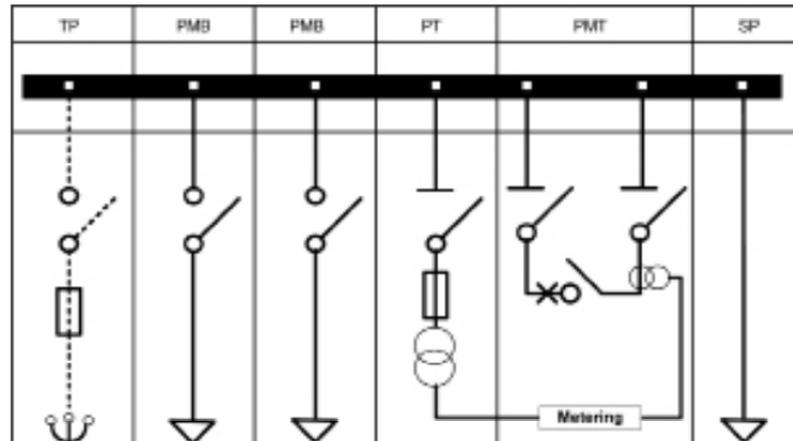
**Gambar 2. 21 Bagan satu garis Konfigurasi  $\pi$  section Gardu Pelanggan Umum**

Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa T section dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan Gardu Antena. Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (ACOS : Automatic Change Over Switch) atau secara remote control.

### 2.13.5 Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini di lengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan.

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero). Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.



**Gambar 2. 22 Bagan satu garis Gardu Pelanggan Khusus**

Keterangan :

TP = Pengaman Transformator

PMB = Pemutus Beban – LBS

PT = Trafo Tegangan

PMT = Pembatas Beban Pelanggan

SP = Sambungan Pelanggan

## 2.14 Komponen Utama Konstruksi Gardu Distribusi<sup>[8]</sup>

### 2.14.1 Transformator Distribusi Fase 3

Untuk transformator fase tiga , merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5 dan Ynyn0. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007. Transformator gardu pasangan luar dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik.

[8] Wibowo, Ratno, dkk. 2010. *Buku Standar PLN 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Hal 7-9



Sedangkan Transformator gardu pasangan dalam dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik atau menggunakan isolator plug-in premoulded.



**Gambar 2. 23 Transformator Distribusi Fasa 3 yang dibelah**

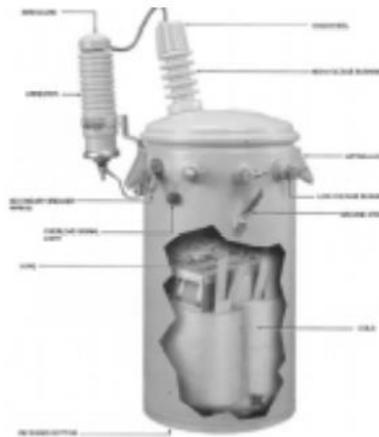
**Tabel 2. 5 Vektor Group dan Daya Transformator**

No	Vektor Grub	Daya (KVA)	Keterangan
1.	Yzn5	50	Untuk sistem 3 kawat
		100	
		160	
2.	Dyn5	200	Untuk sistem 3 kawat
		250	
		315	
		400	
		500	
		630	
3.	Ynyn0	50	Untuk sistem 4 kawat
		100	
		160	
		200	
		250	
		315	
		400	
		500	
630			



### 2.14.2 Transformers Completely Self Protected (CSP)

Transformator ini adalah transformator distribusi yang sudah dilengkapi dengan Pengaman Lebur (fuse) pada sisi primer dan LBS (Load Break Switch) pada sisi sekunder. Spesifikasi teknis transformator ini merujuk pada SPLN No 95: 1994 dan SPLN D3.002-1: 2007.



**Gambar 2. 24 Transformator CSP ( Completely Self Protected )**

**Terlihat Bagian Dalamnya**

### 2.14.3 PHB Sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)

Berikut ini adalah Komponen Utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap yang lazim disebut dengan Kubikel-TM, yaitu:

- a. Pemisah – Disconnecting Switch (DS)  
Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.
- b. Pemutus beban – Load Break Switch (LBS)  
Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar



pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (remote control), Remote Terminal Unit (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak.

c. Pemutus Tenaga - Circuit Breaker (CB)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (Over Current Relay) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban.

Komponen utama PHB-TM tersebut diatas sudah terakit dalam kompartemen kompak (lengkap), yang sering disebut Kubikel Pembatas Beban Pelanggan.

d. LBS - TP (Transformer Protection)

Transformator distribusi dengan daya  $\leq 630$  kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (High Rupturing Capacity). Peralatan kubikel proteksi transformator, dilengkapi dengan LBS yang dipasang sebelum pengaman lebur. Untuk gardu kompak, komponen proteksi dan LBS dapat saja sudah terangkai sebagai satu kesatuan, dan disebut Ring Main Unit (RMU).

### 2.14.3 PHB Sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.

Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya



transformator dan Kemampuan Hantar Arus ( KHA ) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenal gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR. Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasangkan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (No Fused Breaker).

Pengaman arus lebih (Over Current) jurusan disisi Tegangan Rendah pada PHB-TR dibedakan atas :

a. No Fused Breaker (NFB)

No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepaskan beban.

b. Pengaman Lebur (Sekering) Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup (SPLN 64:1985:1). Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya (SPLN 64:1985:24). Berdasarkan konstruksinya Pengaman Lebur untuk Tegangan Rendah dapat digolongkan menjadi :

1. Pelebur Tabung Semi Terbuka

Pelebur ini mempunyai harga nominal sampai 1000 Ampere. Penggunaannya sebagai pengaman pada saluran induk Jaringan Tegangan Rendah, saluran induk Instalasi Penerangan maupun Instalasi Tenaga. Apabila elemen lebur dari pelebur ini putus dapat dengan mudah diganti.

2. Pelebur Tabung Tertutup (tipe NH atau NT)



Jenis pengaman lebur ini paling banyak digunakan. Pemilihan besar rating pengaman pelebur sesuai dengan kapasitas transformator dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 2. 6 Spesifikasi Teknis PHB-TR**

No	Uraian	Spesifikasi
1.	Arus pengenal saklar pemisah	Sekurang-kurangnya 115 % IN transformator distribusi
2.	KHA rel PHB	Sekurang-kurangnya 125 % arus pengenal saklar pemisah
3.	Arus pengenal pengaman lebur	Tidak melebihi KHA penghantar sirkit keluar
4.	Short breaking current (Rms)	Fungsi dari kapasitas Transformator dan tegangan impendasinya
5.	Short making current (peak)	Tidak melebihi 2,5 x short breaking current
6.	Impulse voltage	20 kV
7.	Indeks proteksi – IP (International Protection) untuk PHB pasangan luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurangkurangnya IP-45