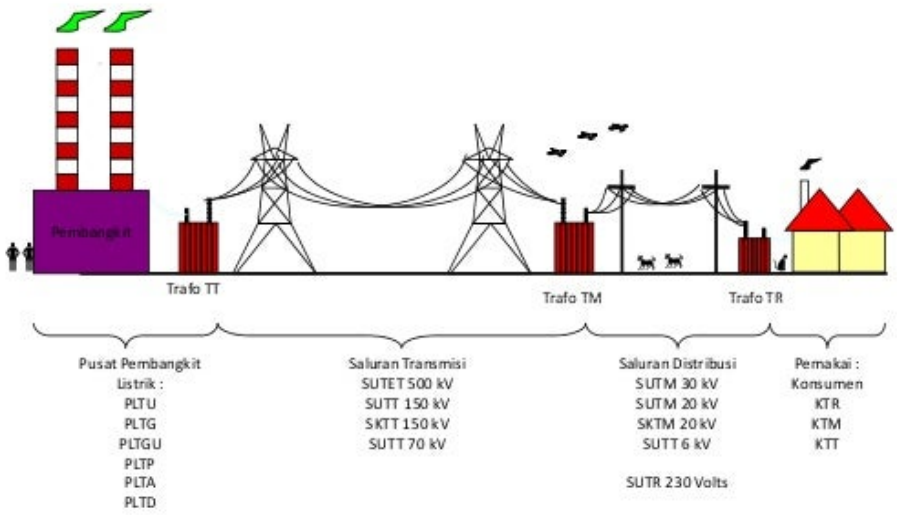
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas sistem pembangkit, sistem transmisi, lalu gardu induk, kemudian sistem distribusi dan sistem sambungan pelayanan. Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik.[4] Sistem tersebut berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Rangkaian sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1



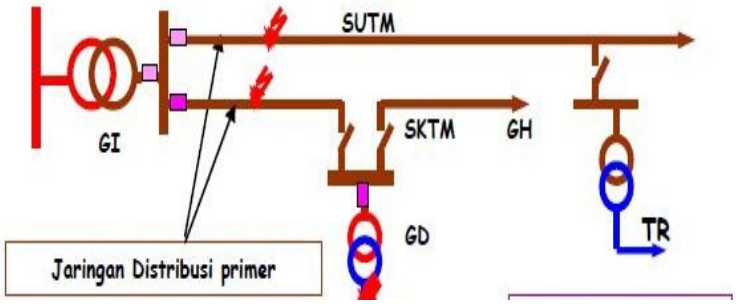
Gambar 2. 1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pelanggan. Energi listrik dibangkitkan pada Pembangkit Tenaga Listrik (PTL) yang dapat berupa pembangkit listrik dengan tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Jenis PTL yang dipakai, pada umumnya tergantung dari jenis bahan bakar atau energi yang digunakan. PTL biasanya membangkitkan energi pada tegangan menengah (TM), yaitu pada tegangan 6 kV dan 20 kV.

[4] PUIL 2011. SNI 0225:2011. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011. Bagian 2: Desain instalasi listrik

Pada sistem tenaga listrik yang besar dan lokasi PTL terletak jauh dari pemakaian, maka energi listrik itu perlu dialirkan melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan dilakukan di gardu induk (GI) dengan menggunakan transformator penaik tegangan (*step up transformer*). Tegangan tinggi di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV, dan 275 kV, sedangkan tegangan ekstra tinggi 500 kV.

Mendekati pusat pemakai listrik, tenaga listrik tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah pada suatu GI dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV, dengan besaran tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya melalui transfomator distribusi (*distribution transformer*) menjadi tegangan rendah, yaitu 220 / 400 Volt dan merupakan sistem distribusi sekunder. Selanjutnya energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada pelanggan.[11]



Gambar 2. 2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) berfungsi untuk menyalurkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen menggunakan jaringan hantaran udara 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 220 Volt (tegangan fasa-netral) atau 400 Volt (tegangan fasa-fasa).

[11] *http://eprints.itn.ac.id/4237/6/BAB%201-5.pdf*. Diakses pada tanggal 23 Maret 2022

Definisi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) sendiri ialah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur.[7] Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian dari JTR yang tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur).

2.2 Gardu Distribusi[1]

Gardu distribusi berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen atau memasok kebutuhan tenaga listrik kepada pelanggan., baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220 / 400 V). Pengertian umum gardu distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu berisi atau terdiri dari beberapa komponen instalasi seperti; Perlengkapan Hubung Bagi-Tegangan Menengah (PHB-TM), transformator distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi-Tegangan Rendah (PHB-TR).

Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

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

---

[7] SPLN 3. 1978. Pentanahan Jaring Tegangan Rendah PLN dan Pentanahan Instalasi. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum dan Listrik Negara.

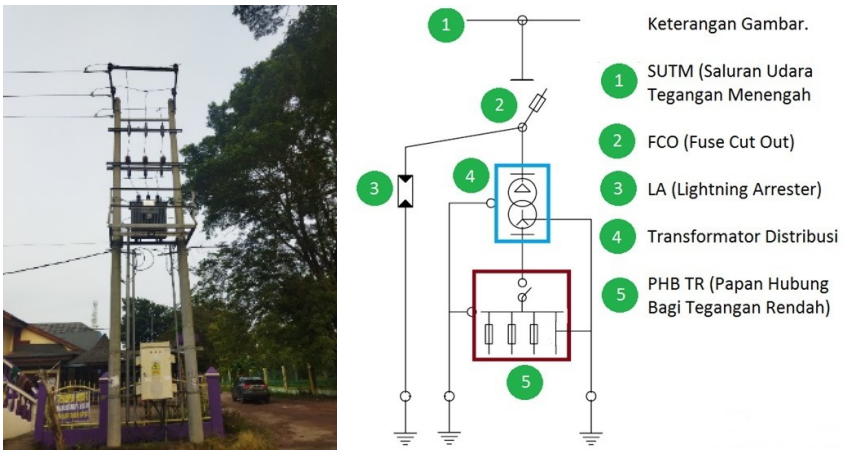
[1] Buku 4 PT. PLN (Persero). 2010.

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Fasilitas ini lazimnya dilengkapi dengan DC *Supply* dari trafo distribusi pemakaian sendiri atau trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

2.2.1 Gardu Distribusi Pasang Luar

2.1.1.1 Gardu Portal

Gardu portal merupakan salah satu dari jenis konstruksi gardu tiang tipe terbuka (*out-door*), dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Peralatan pengaman gardu portal berupa *Fuse 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. Serta PHB-TR dibagian bawah untuk memudahkan kerja teknis dan pemeliharaan.



Gambar 2. 3 Gardu Portal dan *Single Line Diagram* Gardu Distribusi Portal

Adapun komponen utama yang ada pada gardu portal antara lain :

1. *Fuse Cut Out* (FCO)

   Berfungsi sebagai proteksi atau pegaman lebur. Pada gardu distribusi khususnya, FCO ini berfungsi sebagai alat pelindung transformator dari arus hubungan singkat dan sebagai alat untuk membebaskan sumber tegangan jika akan dilakukan pemeliharaan. Proteksi pada FCO ini dipasang dalam

bentuk *fuse link* yang dapat disesuaikan dengan arus nominal transformator distribusi yang terpasang.

Gambar 2. 4 *Fuse Cut Out*

2. *Lightning Arrester* (LA)

   Berfungsi sebagai alat proteksi atau pengaman transformator distribusi dari tegangan lebih akibat surja petir, khususnya pada gardu pasang luar.

Gambar 2. 5 *Lightning Arrester*

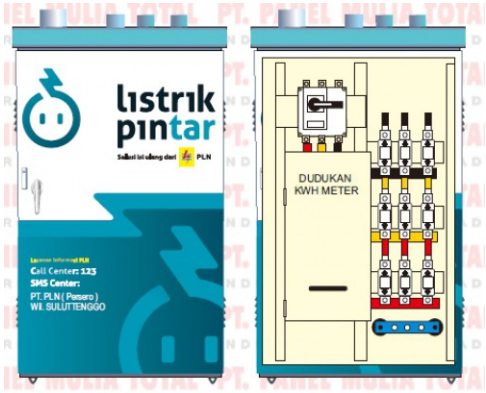
3. Transformator

   Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnet yang terjadi karena adanya beda potensial antara primer dan sekunder. Transformator pada gardu portal digunakan untuk menurunkan tegangan AC ke 220 / 400 V dari 20 kV atau menstabilkan tegangan menggunakan tap trafo.

Gambar 2. 6 Transformator

4. Panel Hubung Bagi-Tegangan Rendah (PHB-TR)

   PHB-TR berfungsi untuk membagi tegangan rendah ke saluran rumah tangga (konsumen).



Gambar 2. 7 Panel Hubung Bagi-Tegangan Rendah (PHB-TR)

2.1.1.2 Gardu Cantol

Gardu distribusi tipe cantol hanya menggunakan satu tiang, dan transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya kurang dari 100 kVA 3 fasa atau 1 fasa. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan pada gardu cantol adalah *lightning arrester* (LA). Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian *arrester* dihubung langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. PHB-TR yang digunakan maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (*type* NH,

NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah (TR).

Gambar 2. 8 Gardu Cantol

2.2.2 Gardu Distribusi Pasang Dalam

2.2.2.1 Gardu Beton

Gardu beton adalah gardu distribusi yang bangunannya terbuat dari beton, dibangun apabila bebannya sudah melebihi 2 mVA/km^2. Seluruh komponen utama instalasi gardu beton adalah transformator dan peralatan *switching*/proteksi, yang terangkai didalam bangunan yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonrywall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

Gambar 2. 9 Gardu Beton dan *Single Line Diagram* Gardu Beton

2.2.2.2 Gardu Kios

Gardu kios merupakan gardu dengan bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* dan kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi sehingga praktis serta bersifat mobilitas. Terdapat beberapa jenis konstruksi gardu kios yaitu; Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton.

Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator yang dapat terpasang pada gardu kios terbatas. Batas kapasitas maksimum gardu kios 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.

Gambar 2. 10 Gardu Kios

2.3 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan (*grounding*) merupakan suatu sistem proteksi yang berguna untuk membuang arus berlebih ke dalam tanah, atau juga mengamankan apabila terjadi tegangan sentuh. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak menggunakan pentanahan dikarenakan ukurannya yang masih kecil dan tidak membahayakan. Namun pada tahun 1900 setelah sistem-sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, sistem penatahan mulai dikenal. Jika tidak, hal ini bisa

menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, dan peralatan maupun sistem pelayannya sendiri.

Sistem pentanahan (*grounding*) harus memiliki nilai tahanan yang kecil yaitu ≤ 5 Ω (Ohm)[5] dikarenakan dengan hambatan yang kecil maka arus berlebih akan langsung mengalir ke tanah. Faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya tahanan pentanahan pada suatu tempat adalah tahanan dari elektroda pentanahan, kontak tanah disekelilingnya dan tahanan jenis tanah. Masing-masing tanah memiliki karakteristik tahanan tanah yang berbeda pada lapisan dan strukturnya serta komposisi serta campuran tanah yang tidak seragam. Faktor lingkungan juga dapat mempengaruhi besaran tahanan jenis tanah diantaranya; faktor suhu tanah, kelembaban tanah dan berapa besar konsentrasi bahan campuran kimiawi yang terkandung dalam tanah tersebut. Adapun besar nilai tahanan jenis berdasarkan jenis tanah antara lain :

Tabel 2. 1 Tahanan Jenis Berdasarkan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm-meter)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Sumber : PUIL 2000 3.18.3.1 hal 80

2.3.1 Fungsi Pentanahan

Konstruksi dari elektroda bergantung dari daerah yang akan dipasangkan pentanahan. Fungsinya untuk mengadakan sebuah resistansi yang rendah sebagai jalan aliran listrik menuju ke tanah. Elektroda pentanahan dapat dilakukan dengan memakai konduktor yang pada dasarnya untuk kontak/penghubung dengan tanah.

[5] PUIL2000 : 68. Jakarta: Yayasan PUIL.

Akhir dari pemasangan nantinya, sambungan elektroda pentanahan harus terpasang dengan kuat, agar fungsi yang diharapkan dapat tercapai. Selain itu, pada dasarnya sistem pentanahan bertujuan sebagai berikut :

1. Pengamanan terhadap tegangan lebih.

   Petir, surja, sentara, atau hubungan yang tidak diinginkan dengan tegangan tinggi dapat menimbulkan tegangan yang berlebih pada sistem distribusi atau instalasi.

2. Kestabilan tegangan.

   Sumber tegangan listrik dapat berasal dari berbagai peralatan. Transformator dapat dikatakan sebagai sumber yang terpisah. Jika tidak ada satu titik acuan bersama untuk semua sumber tegangan. Maka akan sulit menghitung hubungan antara yang satu dengan yang lain. Bumi merupakan permukaan penghantar yang selalu ada di mana-mana di muka bumi. Bumi selalu dimanfaatkan sebagai acuan baku sebagai tegangan nol dalam sistem tenaga listrik.

3. Jalur arus ke bumi untuk memfasilitasi tata kerja peralatan arus lebih.

   Tujuan utama pentanahan adalah untuk keselamatan. Bila semua bagian peralatan listrik yang mengandung logam ditanahkan, maka jika terjadi kegagalan isolasi dalam peralatan tersebut tidak akan menimbulkan bahaya bagi pemegangnya.

4. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian yang dilewati arus.

   Sistem pembumian berguna untuk memperoleh potensial yang merata (*uniform*) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

5. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

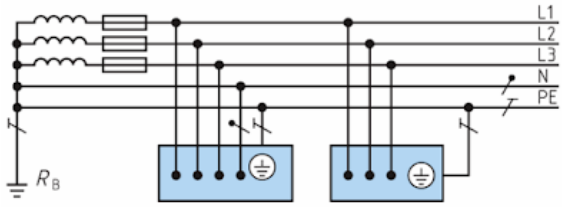
   Bila arus hubung singkat ke tanah di paksakan melalui impedansi tanah yang tinggi, hal ini akan menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup untuk menyalakan material yang mudah terbakar.

2.3.2 Jenis Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan terbagi oleh beberapa jenis tergantung dari kebutuhan dan tingkat keamanan yang sesuai atau dibutuhkan serta regulasi yang diberlakukan disuatu wilayah. Pada saat merancang suatu sistem instalasi, maka hal yang perlu kita lakukan adalah menentukan jenis pentahanan yang akan digunakan bagi instalasi tersebut. Berdasarkan standar IEEE terdapat jenis-jenis sistem pentanahan pada suatu instalasi[12], yaitu:

1. TN-S (Terre Neutral - Separate)

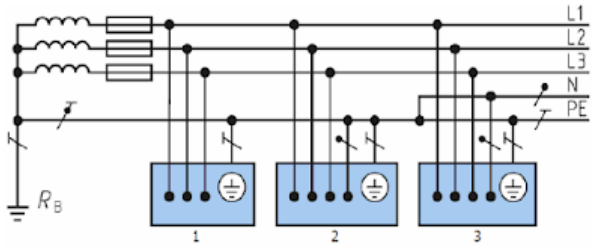
   Pada sistem pentanahan ini, bagian netral sumber listrik terhubung dengan bumi pada satu titik saja, sehingga bagian netral pada sebuah instalasi konsumen terhubung langsung dengan netral sumber listrik. jenis ini cocok dipasang pada instalasi berdekatan dengan sumber energi listrik.



Gambar 2. 11 Sistem Pentanahan Jenis TN-S

2. TN-C-S (Terre Neutral - Combined - Separate)

   Pada sistem TN-C-S ini saluran netral dan pengaman mejadi 1 saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada bagian lainnya. Terlihat pada gambar dibawah, dapat dijelaskan bahwa pada sistem 1 dan 2 memiliki 1 hantaran PEN (Combine) sedangkan sistem 3 menggunakan dua kabel hantaran yaitu netral dan PE secara terpisah (separated).

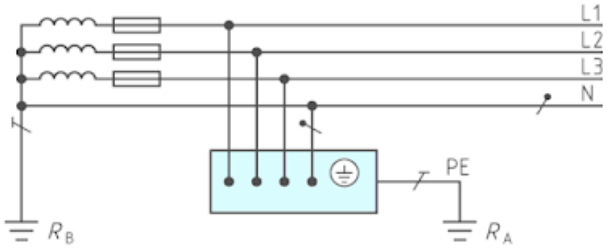


Gambar 2. 12 Sistem Pentanahan Jenis TN-C-S

[12] *https://www.kelistrikanku.com*, Wijidan Sidiq Ramadhan. 2016. Mengenal Sistem Pentanahan atau Grounding di diakses pada 3 Juli 2022

3. TT (Double Terre)

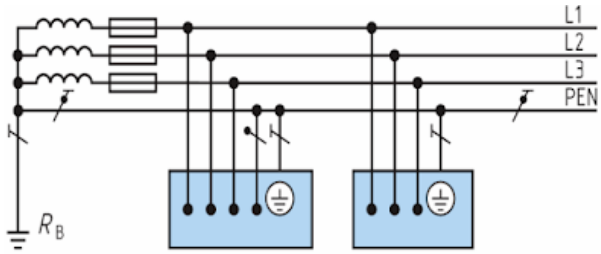
Pemasangan sistem pentanahan pada peralatan berbeda, pada sisi netral sumber tidak terhubung secara langsung dengan pentanahan netral konsumen (instalasi peralatan). Konsumen juga harus menyediakan groundingnya sendiri dengan memasang elektroda yang sesuai dengan instalasi tersebut.



Gambar 2. 13 Sistem Pentanahan Jenis TT

4. TN-C (Terre Neutral - Combined)

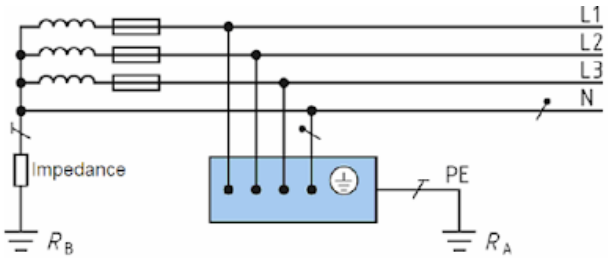
Sistem pentanahan jenis TN-C, saluran netral serta saluran pengaman (*ground*) digabung keseluruhannya. Seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan gabungan antara saluran N dan PE. Pemasangan jenis pentanahan ini murah dan mudah.



Gambar 2. 14 Sistem Pentanahan Jenis TN-C

5. IT (Isolated-Terre)

Sesuai dari namanya yaitu *Isolated Terre* yang artinya suatu rangkaian tidak terhubung ke ground tetapi melewati suatu impedansi dengan tujuan membatasi level tegangan berlebih (*over voltage*) pada saat terjadi gangguan pada sistem tersebut. Pada bagian konduktif instalasi dihubungkan ke elektroda secara terpisah. Sistem ini disebut juga sebagai sistem pentanahan impedansi.

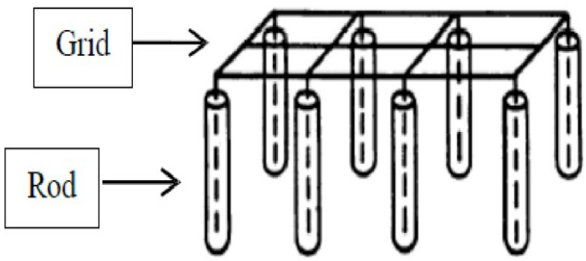


Gambar 2. 15 Sistem Pentanahan Jenis IT

Terre dalam bahasa perancis merupakan arti dari *earth* atau pembumian. Hampir seluruh wilayah Indonesia sendiri pada sistem pendistribusian-nya jenis sistem pentanahan yang digunakan adalah jenis TNC.

2.3.3 Pentanahan Sistem

Salah satu faktor kunci dalam setiap usaha pengaman (perlindungan) rangkaian listrik adalah pentanahan. Pentanahan sistem merupakan pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik misalnya; titik netral generator, titik netral transformator atau titik pada hantaran tengah atau hantaran netral. Suatu gangguan pentanahan pada salah satu bagian sistem harus dapat diisolir dan diamankan tanpa mematikan atau menggangu keseluruhan sistem, sehingga keandalan dan kontinuinitas pelayanan kepada pengguna energi listrik ini (konsumen) dapat terus berlanjut. Dengan dipasangnya peralatan pentanahan sistem ini diharapkan gangguan dapat dibatasi pada grup sistem yang mengalami gangguan saja.



Gambar 2. 16 Pentanahan Sistem

1. Pentanahan Peralatan Sistem *Grid*

Pentanahan ini adalah sistem pentanahan dengan menggunakan batang-batang elektroda yang ditanamkan sejajar dipermukaan tanah, batang-batang ini

terhubung satu sama lain, bertujuan untuk meratakan tegangan yang mungkin timbul. Dengan cara ini bila jumlah elektroda yang ditanam banyak, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau bentuk yang mempunyai harga tahanan yang paling kecil untuk daerah tertentu. Tetapi bentuk ini mahal harganya, oleh karena itu perlu dicari bentuk yang sederhana dan murah tetapi mempunyai harga tahanan yang memenuhi persyaratan.

2. Pentanahan Peralatan Sistem *Rod*

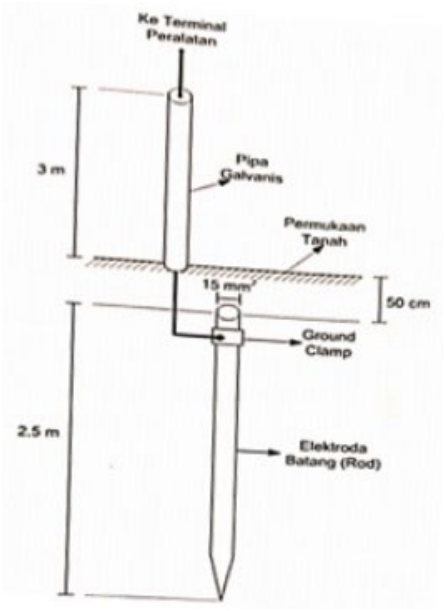
Pentanahan ini adalah pentanahan yang menggunakan batang elektroda yang ditanamkan secara tegak lurus ke dalam tanah, fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pentanahan. Bila dilakukan paralel elektroda yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan lebih kecil. Penanaman batang elektroda ini ke dalam tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang dengan jarak antara elektroda sama. Sedangkan konduktor penghubung elektroda terletak diatas permukaan tanah sehingga tidak diperhitungkan tahanannya.

2.3.4 Bentuk dan Konstruksi Pentanahan

Berdasarkan konstruksi-nya pentanahan memiliki 3 bentuk, yaitu :

1. Single Grounding Rod

Sistem *single grounding rod* yang hanya terdiri atas satu buah titik penancapan batang pentanahan (*grounding rod*) dengan kedalaman 2,5 meter. Daerah yang memiliki karakteristik tanah yang konduktif, biasanya mudah untuk didapatkan tahanan sebaran tanah di bawah sebesar 5 Ohm menggunakan sistem pentanahan.



Gambar 2. 17 *Single Grounding Rod* Sistem

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[Ln\left(\frac{4L}{d}\right) - 1\right] \quad \text{.....(2.1)}$$ [2]

Dimana :

R = Resistansi pentanahan (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

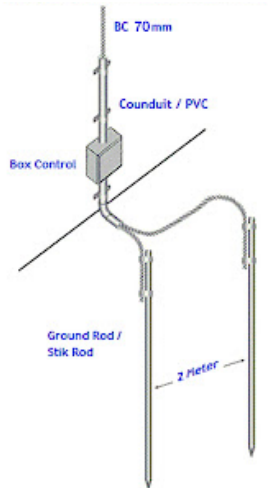
Ln = Kedalaman penanaman elektroda (meter)

d = Diameter elektroda (meter)

2. *Parallel Grounding Rod*

Sistem *parallel grounding rod* terdiri dari 2 buah atau lebih *grounding rod* dengan jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan *ground rod* dapat juga ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa diterapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistan kurang dari 5 Ohm setelah pengukuran dengan *earth ground tester.*

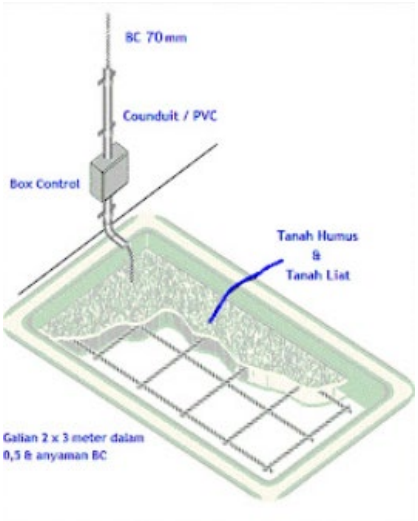
[2] Hutauruk, T.S. 1991. Pentanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.



Gambar 2. 18 *Parallel Grounding* Sistem

3. Multi Grounding Rod

Sistem *multi grounding rod* digunakan jika 2 cara sebelumnya sulit dan besar kemungkinan gagal mendapatkan resistan kecil. Maka dari itu, teknis yang digunakan adalah dengan cara penggantian tanah dengan tanah yang mempunyai sifat menyimpan air atau tanah yang kandungan mineral dapat menghantar listrik dengan baik. *Ground rod* ditancapkan pada daerah titik logam dan di kisaran kabel penghubung antar *ground rod*-nya. Tanah humus, tanah dari kotoran ternak, dan tanah liat sawah cukup memenuhi standar hantar tanah yang baik. Adapun cara pembuatannya adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 19 *Multi Grounding Rod* Sistem

- Letak titik *ground rod* dibor dengan lebar kisaran 2 inci (0,0508 meter) atau lebih.
- Kemudian, diisi dengan tanah humus sampai penuh.
- Kemudian, diisi air.
- Kemudian, *ground rod* dimasukkan.
- Parit penghubung antar *ground rod* yang sudah terpasang kabel penghubung (BC) ditimbun kembali dengan tanah humus.

2.3.5 Pentanahan Peralatan[3]

Pentanahan peralatan berkaitan dengan sistem penghantar listrik di mana semua struktur dan komponen berbahan logam yang dapat membawa arus ke peralatan sehingga dapat membahayakan peralatan dan manusia sekitar. Adapun peralatan yang ditanahkan pada sistem jaringan tegangan menengah adalah :

1. Pentanahan *Arrester*

Fungsi *arrester* sangat penting dalam sistem koordinasi isolasi pada instalasi tenaga listrik. Oleh sebab itu, pemasangan alat ini harus betul-betul memenuhi persyaratan teknis. Dalam prakteknya kebanyakan *arrester* dilakukan dengan pentanahan lokal, yaitu *rod* yang dimasukan ke tanah dekat dengan *arrester*. Selanjutnya dari terminal pentanahan *arrester* dihubungkan ke *rod* dengan menggunakan konduktor. *Arrester* yang sering dipakai berjenis *Expulsion Type Lightning Arrester* sebagai tabung pelindung untuk peralatan listrik yang berfungsi memotong petir.

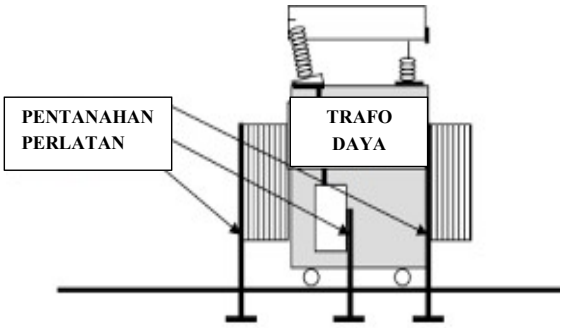
2. Pentanahan Trafo[6]

Trafo merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar dapat berfungsi dengan baik, maka trafo harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Trafo pada umumnya ditanahkan pada titik

[3] IEEE, Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, (New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1993), hal. 370.

[6] Rizki, Pebi Muhammad dan Dian Eka Putra. 2020. "Pengaruh Paralel Pentanahan Transformator Dan Pentanahan Arrester Terhadap Kinerja Resistansi Pentanahan Transformator Distribusi 250 kVA Gardu Ba 005 Di PT. Pln (Persero) UP3 Bengkulu Ulp Teluk Segara" dalam JURNAL AMPERE Volume 5 No. 2 (hlm 49).

netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh trafo 150/20 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan trafo 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV.



Gambar 2. 20 Pentanahan Peralatan

3. Pentanahan Netral

Khusus bagi sistem yang hantaran netral JTR dihubungkan/dijadikan satu dengan hantaran netral JTM berlaku ketentuan bahwa nilai tahanan pentanahannya adalah : [7]

1. Tidak melebihi 3 ohm, bila dapat dipergunakan pipa saluran air minum sebagai elektroda tanah.
2. Tidak melebihi 25 ohm, bila digunakan elektroda jenis lain. Bila dengan sebuah elektroda tanah tidak dapat tercapai nilai 25 ohm, dapat menyimpang dari ketentuan ini namun harus digunakan dua atau lebih elektroda tanah dengan jarak satu sama lain tidak kurang dari 2 meter.

Tujuan utama pentanahan peralatan adalah sebagai berikut:

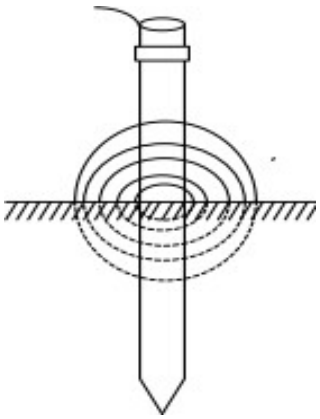
a. Untuk menjaga perbedaan potensial yang rendah antara komponen logam, meminimalkan kemungkinan kejutan listrik pada personil di area tersebut (area yang berkaitan),
b. Untuk menghindari kebakaran dari bahan yang mudah menguap dan sambaran gas di atmosfer yang mudah terbakar dengan menyediakan sistem konduktor listrik yang efektif untuk aliran arus gangguan tanah serta petir

[7] SPLN 3: 1978. Pentanahan Jaring Tegangan Rendah PLN dan Pentanahan Instalasi. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum dan Listrik Negara

dan pelepasan statis untuk pada dasarnya menghilangkan busur api dan gangguan termal lainnya pada peralatan listrik.

2.3.6 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah suatu penghantar yang ditanamkan ke dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung ini dengan tujuan agar diperoleh jalur arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ke tanah.

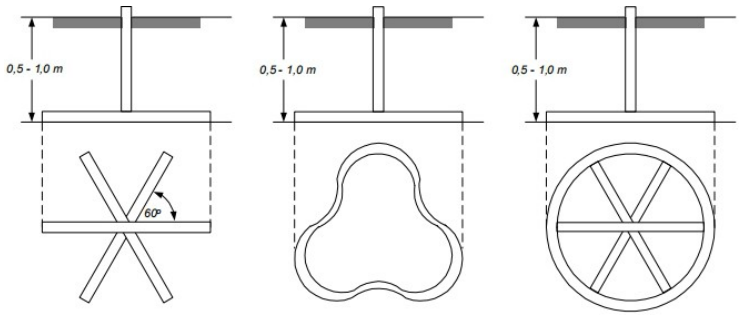


Gambar 2. 21 Elektroda Pentanahan

Bahan konduktor merupakan bahan yang digunakan sebagai elektroda pentanahan, bahan tersebut adalah besi, aluminium, dan tembaga. Dari ketiga jenis bahan tersebut ditinjau dari sifat mekanis, elektris dan kimiawi maka tembaga mempunyai keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang lain namun ditinjau dari segi biaya tembaga cenderung lebih mahal, tetapi mengingat kesulitan yang timbul bila elektroda tersebut mengalami kerusakan baik pengaruh elektris, mekanis dan kimiawi maka tembaga lebih unggul. Adapun jenis elektroda pentanahan antara lain :

1. Elektroda Pita

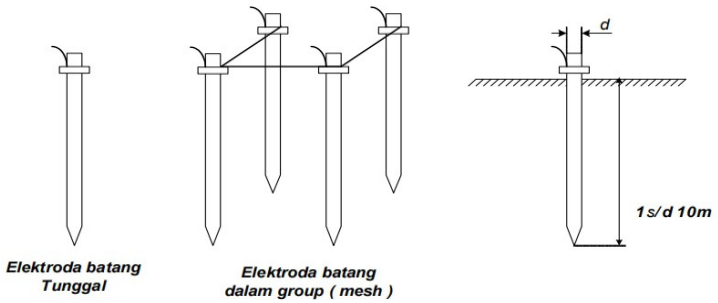
   Elektroda pita ialah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal.



Gambar 2. 22 Elektroda Pita

2. Elektroda Batang

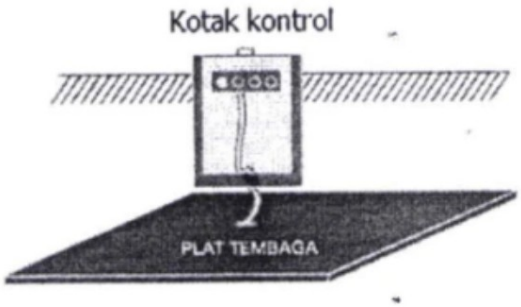
Elektroda batang ialah elektroda dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang ditanamkan ke dalam tanah.



Gambar 2. 23 Elektroda Batang

3. Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam.



Gambar 2. 24 Elektroda Pelat

2.3.7 Pengukuran Resistansi Pentanahan

Untuk mengukur tahanan pentanahan terdapat 2 cara yaitu :

1. Pengukuran Secara Langsung

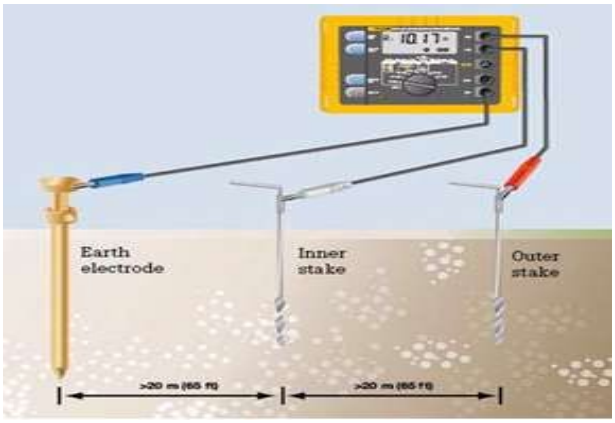
Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu:

a) Metode Uji *Drop* Tegangan

Cara kerja metode uji *drop* tegangan adalah pada saat pengukuran dilakukan, konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan elektroda utama harus dilepas. Karena terdapat pengaruh tahanan pararel dalam sistem yang ditanahkan, kemudian *earth tester* dihubungkan ke elektroda utama, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10-15 meter.

Gambar 2. 25 *Digital Earth Tester*

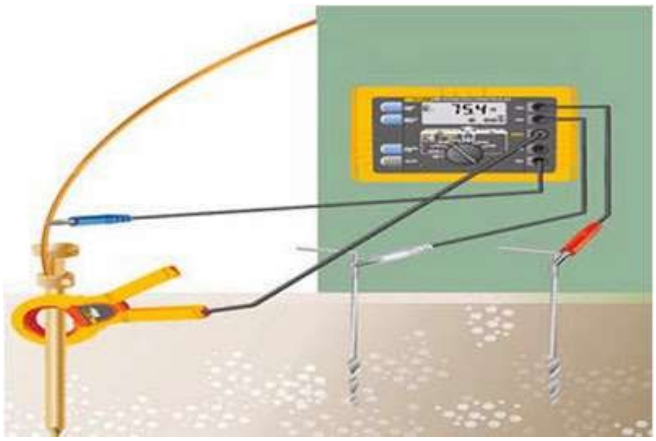
Earth tester akan mengukur tegangan antara batang elektroda bantu yang ada ditengah dan elektroda utama. Selanjutnya *earth tester* akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum ohm. Dimana V adalah besarnya tegangan yang diukur dan I adalah besarnya arus yang kembali melalui elektroda utama.



Gambar 2. 26 Skema Mengukur Nilai Tahanan Pentanahan

b) Metode Selektif

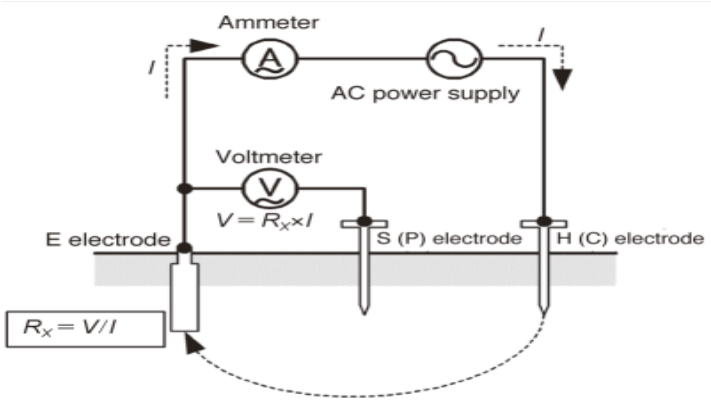
Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif sangat mirip dengan pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji *drop* tegangan, kedua metode menghasilkan ukuran yang sama, tapi metode selektif dapat dilakukan dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Hal ini dikarenakan dengan pengujian selektif, elektroda utama tidak harus dilepaskan dari sambungannya di tempat itu.



Gambar 2. 27 Skema Metode Selektif

2. Pengukuran Secara Tidak Langsung

Pengukuran secara tidak langsung merupakan proses pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai beberapa jenis alat ukur berjenis komparator/pembanding, standar dan bantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur dibandingkan dengan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi objek ukur. Metode yang biasa digunakan dalam pengukuran secara tidak langsung adalah metode *fall of potensial*, yaitu dengan menggunakan amperemeter dan Voltmeter. karena untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dibagi dengan nilai arus yang didapat.



Gambar 2. 28 Pengukuran Secara Tak Langsung Tahanan Pentanahan dengan Voltmeter dan Amperemeter

Cara pengukuran tahanan pentanahan diatas dapat dilakukan dengan cara menancapkan elektroda bantu P sejauh 20 Meter atau lebih dari elektroda utama, kemudian tancapkan elektoda bantu C sejauh 20 Meter atau lebih dari elektroda P. Kutub pentanahan elektroda P dan elektroda C harus dalam satu garis lurus. Kemudian pasang Voltmeter antara elektroda utama dengan elektroda P, sambungkan amperemeter menuju sumber daya AC kemudia ke elektroda C, kemudian baca nilai masing-masing Voltmeter dan amperemeter maka besarnya tahanan kutub pentanahan adalah :

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana:

R = Tahanan pentanahan dalam satuan (Ω).

V = Tegangan listrik dalam satuan (Volt).

I = Arus listrik dalam satuan (ampere).

2.4 Pentanahan Metode Kapur PETRO-CAS

Untuk mencapai nilai tahanan yang baik, tidak semua area bisa terpenuhi karena ada beberapa aspek yang memengaruhinya, yaitu:

1. Kadar air; bila kadar air pada tanah dangkal, maka nilai tahanan sebaran mudah didapatkan sebab sela-sela tanah mengandung cukup air bahkan berlebih, sehingga konduktivitas tanah akan semakin baik.

2. Mineral/garam; kandungan mineral tanah sangat memengaruhi tahanan sebaran/resistans karena: semakin berlogam dan bermineral tinggi, maka tanah semakin mudah menghantarkan listrik. Daerah pantai kebanyakan memenuhi ciri khas kandungan mineral dan garam tinggi, sehingga tanah sekitar pantai akan jauh lebih mudah untuk mendapatkan tahanan tanah yang rendah.
3. Derajat keasaman; semakin asam (PH rendah atau PH<7) tanah, maka arus listrik semakin mudah dihantarkan. Begitu pula sebaliknya, semakin basa (PH tinggi atau PH>7) tanah, maka arus listrik sulit dihantarkan. Ciri tanah dengan PH tinggi: biasanya berwarna terang, misalnya Bukit Kapur.

Salah satu upaya untuk memenuhi aspek diastas adalah dengan menggunakan metode Kapur dolomit PETRO-CAS (CaMg(CO3)2) untuk mendapatkan PH yang baik. Dari berbagai sumber dijelaskan bahwa dolomit (CaMg(CO3)2) mengandung 30,55 persen kalsium dan 19,5 persen magnesium dibandingkan kaptan yang lebih dikenal sebagai kalsit (kalsium karbonat) yang hanya memiliki 44% kalsium dan minim magnesium. Sehingga dolomit ini bersifat ganda karena menyediakan kalsium untuk meningkatkan PH. Kapur dolomit PETRO-CAS juga mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah sampai ke lapisan bawah (subsoil).[10] Adapun spesifikasi dari kapur tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

- Kadar CaSO4.2H2O: 90%
- Kadar Ca : 21%
- Kadar S : 18%
- pH : 6 - 7
- Warna dan Bentuk : putih kecoklatan dan Powder

[10] *https://distan.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/89_penyiapan-lahan dengan pengapuran-petro-cas*. Dinas Pertanian. Pemerintah Kabupaten Bulelang : PENYIAPAN LAHAN DENGAN PENGAPURAN PETRO-CAS 2022, diakses pada 29 Juni 2022

Gambar 2. 29 Kapur Dolomit PETRO-CAS

Adapun cara pengapuran tanah sebagai berikut :

1. Gali tanah disekitar batang elektroda, lalu taburkan secara merata kapur dolomit PETRO-CAS sebanyak 1 - 2 kilogram per pentanahan.
2. Aduk hingga rata kapur dengan tanah, biarkan selama 1 minggu.

2.5 Metode RAISSA [9]

Metode RAISSA (RAngkaIan eStafet di laS dengan pipA) adalah suatu metode penanaman *grounding rod* sedalam-dalamnya dengan cara *grounding rod* disambung/diestafet dan dilas dengan pipa hingga nilai *grounding*-nya mencapai < 5 Ω (sesuai SPLN). Berikut material dan peralatan yang di butuhkan untuk melakukan metode Grounding RAISSA :

- Elektroda Batang.

  Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah.
- Pipa Besi.

  Pipa besi adalah pipa yang biasa di gunakan untuk mengamankan kabel turunan BC atau A3C dari tiang ke elektroda. Dalam Grounding Raissa pipa

[9] Ichsan, M. dkk. 2017. Makalah Karya Inovasi. GROUNDING "RAISSA" (RAngkaIan eStafet di laS dengan pipA). PT PLN WS2JB : ULP Pendopo.

besi di potong sekitar 20 cm yang di gunakan untuk menahan dan menghubungkan elektroda satu sama lain.

- Mesin Las

  Peralatan utama yang di gunakan untuk menghubungkan antara elektroda satu sama lain dan pipa ke elektroda satu sama lain di tanam ke tanah dan di tambah lagi sesuai kebutuhan.

- Gerinda

  Peralatan penting di gunakan untuk memotong pipa besi sesuai kebutuhan, meratakan hasil las dan memotong elektroda sesuai kebutuhan.

Cara memperoleh tahanan jenis adalah dengan metode perhitungan geolistrik sehingga dapat diketahui besar aliran arus listrik batuan dan mineral. Untuk menghitung besarnya tahanan pembumian dengan memakai rumus :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[In\left(\frac{4L}{A}\right) - 1\right} \text{.....(2.3)}$$

Dimana:

R = Tahanan pentanahan dalam satuan (Ω).

ρ = Tahanan jenis dalam satuan (Ωm).

L = Panjang dalam satuan (m).

A = Luas area dalam satuan (m^2).

Adapun setelah dilakukannya perbaikan *grounding,* maka dihitunglah selisih presentase untuk mengetahui metode mana yang lebih efektif. Untuk menghitung selisih presentase tersebut dapat dengan memakai rumus :

$$\text{Selisih presentase (\%)} = \frac{(R_0 - R_1)}{R_0} \times 100\% \text{ .....(2.4)}$$

Keterangan :

R_0 = Sebelum Perbaikan (Ω)

R_1 = Setelah Perbaikan (Ω)