

BAB II

SISTEM PEMBUMIAN GARDU INDUK

2.1 Umum

Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang mudah terganggu. Arus gangguan itu akan mengalir ke tanah bila isolasi peralatan tidak berfungsi dengan baik. Arus gangguan tersebut akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari logam dan juga mengalir ke tanah disekitar gardu induk. Arus gangguan ini menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan, diantara peralatan dengan tanah dan juga pada permukaan tanah itu sendiri.

Besarnya gradien tegangan pada permukaan tanah tergantung pada tahanan jenis tanah sesuai dengan struktur tanah. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah maka diperlukan suatu pembumian yaitu dengan cara menambahkan elektroda pembumian yang ditanam ke dalam tanah. Oleh karena lokasi peralatan listrik (gardu induk) biasanya tersebar dan berada pada daerah yang kemungkinannya mempunyai struktur tanah berlapis-lapis maka diperlukan perencanaan pembumian yang sesuai, dengan tujuan untuk mendapatkan tahanan pembumian yang kecil sehingga tegangan permukaan yang timbul tidak membahayakan baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan ke tanah.

Bagian-bagian dari instalasi gardu induk yang harus dibumikan adalah bagian-bagian yang terbuat dari logam yang dalam keadaan normal tidak bertegangan. Dengan melakukan pembumian pada bagian-bagian instalasi

tersebut, maka bagian-bagian instalasi ini nilai potensialnya akan sama dengan potensial bumi tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.

2.2 Tujuan Penumian

Pada saat terjadi gangguan ke tanah, sebagian arus gangguan yang mengalir melalui sistem penumian pada gardu induk akan mengakibatkan adanya gradien tegangan didalam dan disekitar gardu induk. Tegangan inilah yang dapat membahayakan manusia yang berada disekitar gardu induk. Tingkat bahaya tersebut tergantung pada besarnya beda potensial, waktu dan besarnya arus mengalir pada tubuh manusia. Besar arus yang mengalir pada tubuh manusia tergantung kepada kondisi fisik manusia, dan tahanan kontak kaki pada saat manusia mengalami kejut listrik.

Tujuan utama dari perancangan sistem penumian yaitu :

1. Memberikan sarana agar arus listrik dapat mengalir ke dalam tanah dalam kondisi normal atau kondisi ada gangguan tanpa melebihi batas-batas operasi dan kemampuan peralatan atau mempengaruhi yang dapat merugikan kontinuitas pelayanan.
2. Menjamin agar orang yang berada disekitar instalasi listrik yang dibumikan tidak mengalami kejut listrik yang membahayakan pada saat ada gangguan.

2.3 Tahanan Pembumian

Tahanan pembumian adalah besarnya tahanan pada kontak/hubung antara masa (body) dengan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya pembumian adalah :

1. Tahanan jenis tanah
2. Panjang jenis elektroda pembumian
3. Luas penampang elektroda pembumian

Dalam instalasi listrik ada empat bagian yang harus dibumikan. Empat bagian dari instalasi listrik ini adalah :

- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia, contohnya: menara atau tiang listrik yang terbuat dari besi. Hal ini diperlukan agar tegangan dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan tegangan tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya pada saat terjadi gangguan.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari *Lightning arrester*. Hal ini diperlukan agar *Lightning arrester* dapat berfungsi dengan baik, yaitu 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 disepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus dibumikan 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 Generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Harga tahanan pembumian semakin kecil maka semakin baik. Untuk perlindungan keselamatan manusia dan peralatan perlu diusahakan tahanan pembumian lebih kecil dari 1 Ohm. Dalam gardu induk distribusi, harga tahanan maksimum yang diperbolehkan adalah 5 Ohm. Demikian juga halnya pada menara transmisi, untuk menghindari lompatan karena naiknya tegangan atau potensial pada waktu terjadinya sambaran petir maka tahanan kaki menara perlu dibuat sekecil mungkin.

Secara teoritis, tahanan dari tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Tetapi kenyataannya tidak demikian, artinya tahanan pembumian nilainya tidak nol. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya tahanan kontak antara alat pembumian dengan tanah dimana alat tersebut dipasang (dalam tanah).

Tahanan pembumian selain ditimbulkan oleh tahanan kontak juga ditimbulkan oleh tahanan sambung antara alat pembumian dengan kawat penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pembumian adalah tahanan dari tanah yang ada disekitar alat pembumian yang menghambat aliran muatan listrik (arus listrik) yang keluar dari alat pembumian tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pembumian ini menghadapi bagian-bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tanah yang sama, tahanan jenisnya dipengaruhi oleh kedalamannya. Semakin dalam letaknya, maka semakin kecil

tahanan jenisnya, karena komposisinya semakin padat dan juga lebih basah. Oleh karena itu dalam memasang elektroda pbumian, semakin dalam pemasangannya maka akan semakin baik hasilnya dalam arti akan didapat tahanan pbumian yang semakin rendah.

2.4 Faktor-Faktor yang Menentukan Tahanan Pbumian

Tahanan pbumian suatu elektroda tergantung pada 3 faktor, yaitu :

1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.

Namun demikian dalam prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan ke peralatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misalnya pada saat terjadi lightning discharger. Untuk menghindarinya, sambungan ini diusahakan dibuat sependek mungkin. Dari ketiga faktor tersebut diatas yang dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektroda atau dengan kata lain tahanan jenis tanah (ρ).

2.5 Tahanan Jenis Tanah (ρ)

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari suatu elektroda $R = \rho \frac{l}{A}$

terlihat bahwa tahanan pbumian berbanding lurus dengan besarnya tahanan jenis tanah (ρ). Untuk berbagai tempat harga ρ ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- Sifat geologi tanah
- Komposisi zat kimia dalam tanah
- Kandungan air tanah
- Temperatur tanah
- Selain itu faktor perubahan musim juga mempegaruhinya.

2.5.1 Sifat Geologi Tanah

Sifat geologi tanah merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat umumnya mempunyai tahanan jenis terendah, sedangkan batu-batuan bersifat sebagai insulator.

Dalam PUIL 2000, nilai tahanan jenis tanah sangat berbeda-beda bergantung pada jenis tanah. Tabel dibawah ini menunjukan harga-harga tahanan jenis tanah (ρ) dari berbagai jenis tanah.

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Tanah

Jenis tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
Tanah yang mengandung air garam	5-6
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Ladang	100
Pasir Basah	200
Batu-batu Kerikil Basah	500
Pasir dan Batu Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Sedangkan menurut IEEE Committee Report “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding” ANS/IEEE Standard 80-1986, besarnya tahanan jenis tanah pada permukaan bumi digolongkan menjadi empat golongan, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah menurut standrad ANS/IEEE 80-1986

Jenis Lapisan Tanah	Tahanan Jenis Tanah
Tanah basah organik	10^1
Tanah basah	10^2
Tanah kering	10^3
Tanah berbatu	10^4

2.5.2 Komposisi Zat-Zat Kimia Dalam Tanah

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larutan. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pembedaan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.

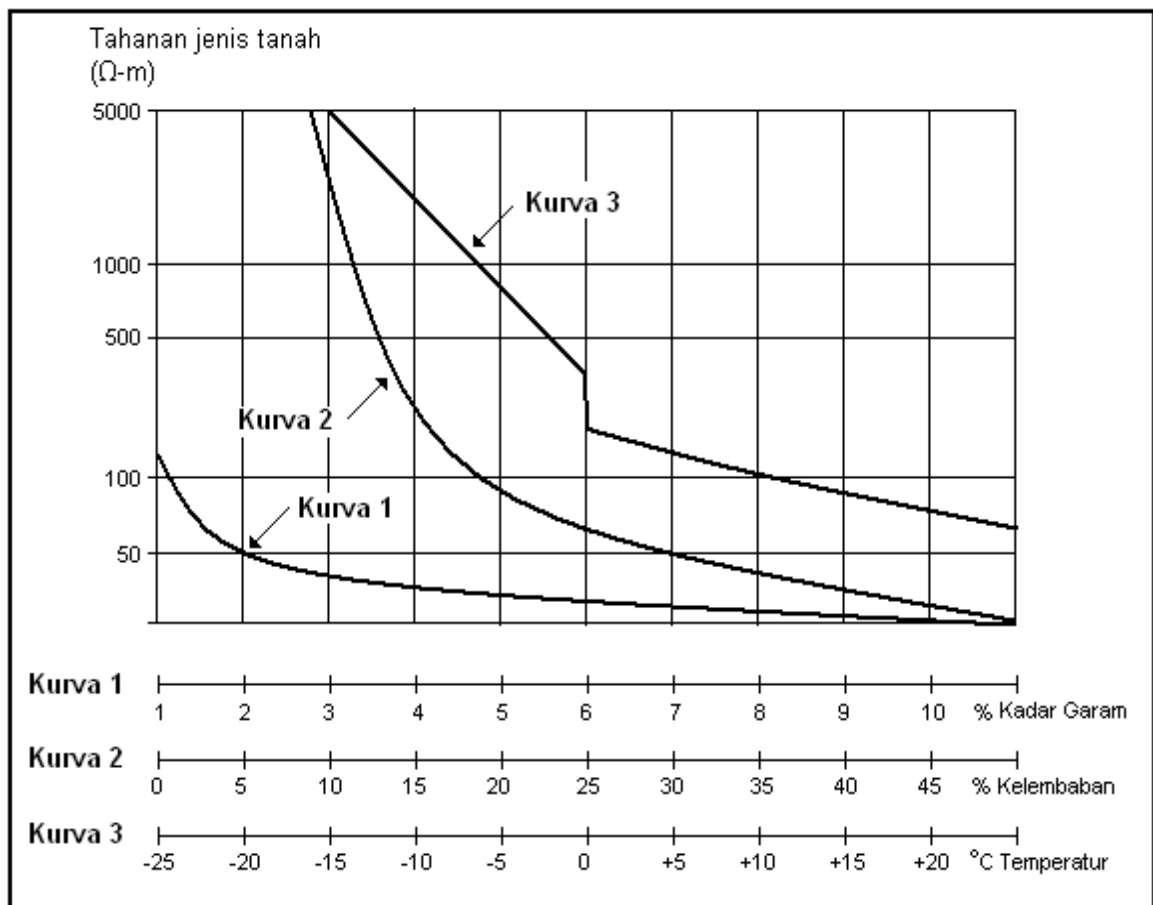
2.5.3 Kandungan Air Tanah

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

2.5.4 Temperatur Tanah

Temperatur bumi pada kedalaman 5 feet (=1,5 meter) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan. Bagi Indonesia daerah tropic perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikatakan tidak ada pengaruhnya.

Berikut adalah gambar kurva nilai tahanan jenis tanah yang dipengaruhi oleh faktor temperatur, kelembaban dan kadar garam dalam tanah.



Gambar 2.1 Pengaruh dari Kelembaban, Temperatur, dan Kadar Garam Terhadap Tahanan Jenis Tanah.

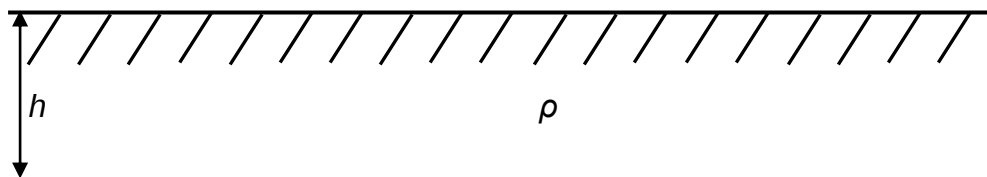
Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah pada lapisan permukaan bumi diantaranya adalah :

1. Kadar garam, semakin tinggi kadar garamnya maka tahanan jenisnya semakin rendah.
2. Kelembaban tanah, semakin lembab tanahnya berarti kadar airnya makin tinggi, sehingga tahanan jenisnya semakin rendah.

3. Temperatur tanah, jika temperatur dibawah titik nol maka akan menyebabkan ion-ionnya sulit bergerak, dan ini menyebabkan konduktifitasnya menurun serta tahanan jenisnya tinggi.
4. Kepadatan tanah, jika kepadatan lapisan tanah pada permukaan bumi tinggi, maka kemampuan untuk meresap air berkurang, sehingga tahanan jenisnya tinggi.
5. Butiran tanah, semakin kecil butirannya akan menyebabkan tahanan jenisnya menurun.
6. Cuaca, pada waktu musim hujan tahanan jenisnya lebih rendah dibandingkan pada musim kemarau.
7. Jenis tanah, komposisi unsur-unsur dari berbagai jenis tanah berbeda antara yang satu dengan yang lain, sehingga mempengaruhi tahanan jenis.

2.6 Tanah Seragam (Homogen)

Tanah seragam merupakan tanah yang terdiri dari satu lapisan tanah saja dan mempunyai tahanan jenis yang sama pada lapisan tanah tersebut.



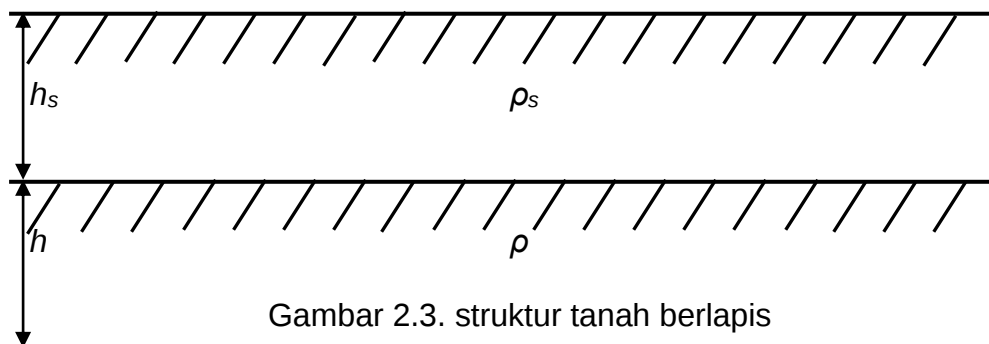
Gambar 2.2. struktur tanah seragam (homogen)

ρ : tahanan jenis tanah lapisan tanah dibawahnya

h : kedalaman tanah lapisan bawah (m)

2.7 Tanah Berlapis (Tak Homogen)

Tanah berlapis merupakan tanah yang terdiri dari beberapa lapisan tanah (lebih dari satu lapisan tanah) dan mempunyai tahanan jenis yang berbeda-beda pada setiap lapisannya. Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berbeda-beda, lapisan-lapisan tanah yang berbeda tersebut dapat terjadi karena faktor alami atau faktor buatan oleh manusia, sebagai contoh dari faktor buatan manusia adalah dengan menambahkan tanah urukan (overlaid) diatas tanah yang asli, sehingga lapisan tanah yang atas berbeda dengan lapisan tanah yang bawah, seperti terlihat pada gambar 2.3. Pada lapisan tanah tersebut, tanah mempunyai nilai tahanan jenis yang berbeda-beda, yang berarti bahwa tahanan jenis tanah di tempat itu tidak sama.



Gambar 2.3. struktur tanah berlapis

ρ_s : tahanan jenis tanah lapisan tanah pertama

h_s : kedalaman tanah lapisan pertama (m)

ρ : tahanan jenis tanah lapisan tanah dibawahnya

h : kedalaman tanah lapisan bawah (m)

2.8 Macam-Macam Sistem Penumian di Gardu Induk

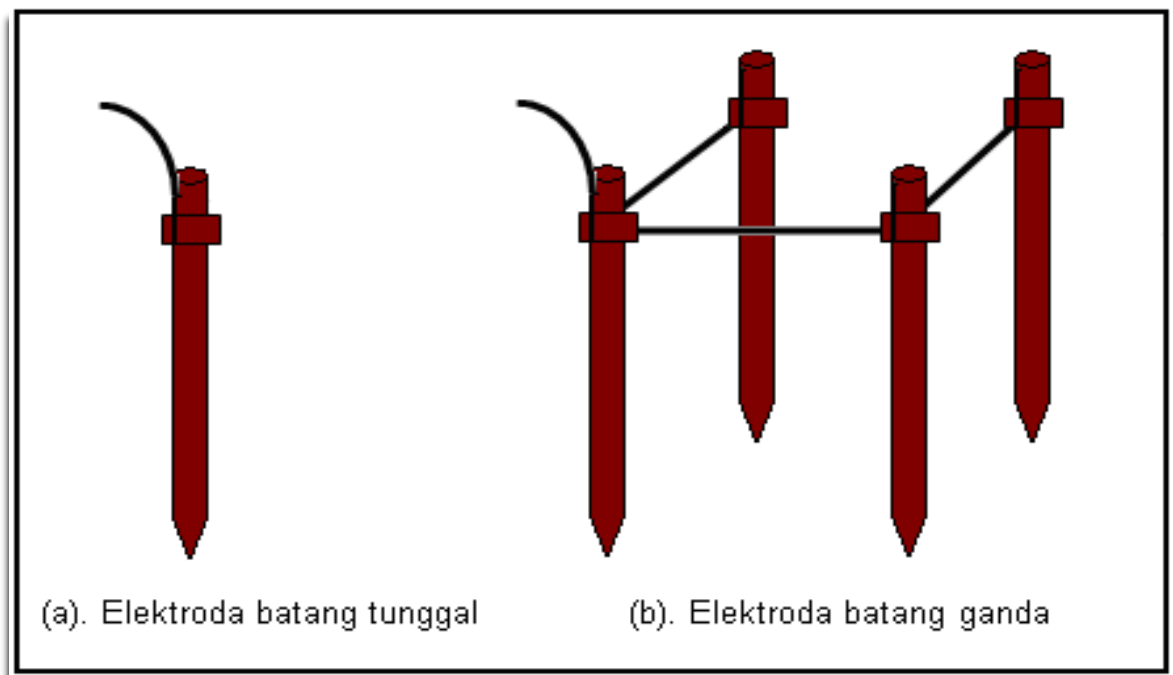
Sistem penumian yang digunakan di Gardu Induk disesuaikan dengan teknologi terkini dan juga karakteristik Gardu Induk itu sendiri. Salah satu hal mendasar yang menjadi acuan dalam mendesain instalasi sistem penumian untuk Gardu Induk, yaitu spesifikasi teknis dari sistem penumian tidak boleh dipengaruhi oleh variabel-variabel yang tidak berhubungan secara tidak langsung dengan sistem penumian tersebut. Sebagai contoh, arus penumian (earth current) tidak boleh merubah nilai tahanan dari suatu sistem penumian. Dengan demikian, terdapat suatu jaminan bahwa sistem penumian dapat berfungsi sebagai mana mestinya, khususnya dalam menangani kondisi gangguan yang terjadi di gardu induk.

Beberapa macam sistem penumian dalam gardu induk adalah sebagai berikut :

1. Sistem penumian dengan elektroda batang
2. Sistem penumian dengan elektroda grid
3. Sistem penumian elektroda grid dikombinasi dengan elektroda batang

2.8.1 Sistem Penumian Dengan Elektroda Batang

Pada mulanya sistem penumian pada gardu induk menggunakan batang-batang atau pipa logam elektroda penumian yang ditanam secara tegak lurus di dalam tanah, jika tahanan penumian masih terlalu tinggi maka perlu tambahan elektroda penumian untuk menurunkan nilai tahananannya.



Gambar 2.4. Elektroda bentuk batang

2.8.2 Sistem Penumian Dengan Elektroda Grid

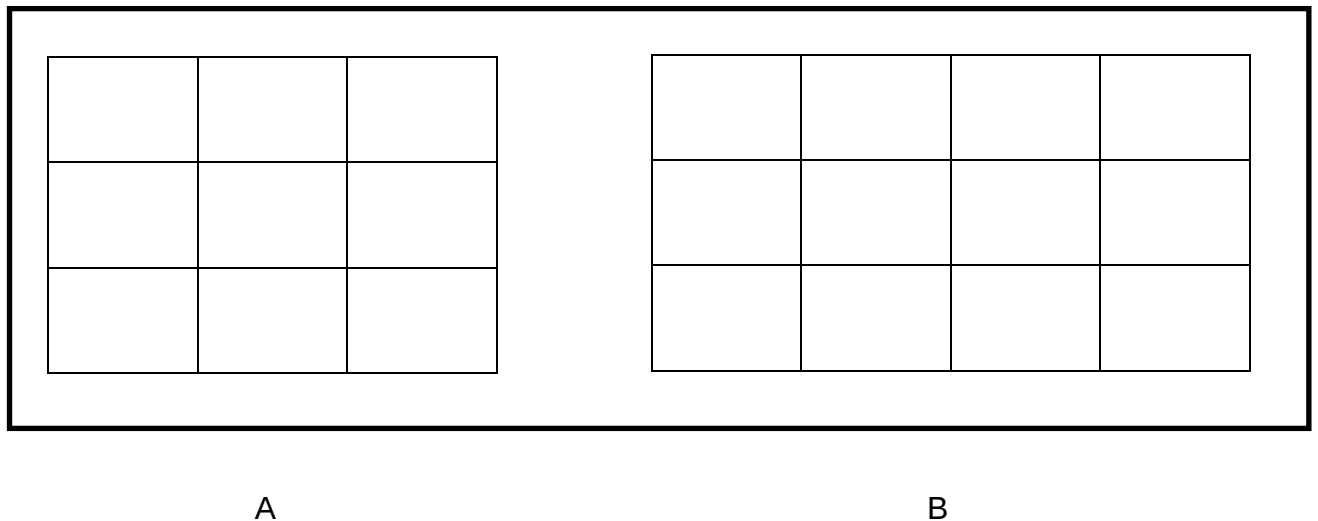
Sistem penumian ini dilakukan dengan menanam batang-batang elektroda penumian yang sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda tersebut dihubungkan satu dengan yang lainnya. Makin banyak konduktor yang digunakan dalam sistem ini, tegangan yang timbul di permukaan tanah akan makin terdistribusi secara merata pada saat terjadi gangguan.

Dalam sistem pembumian ini ditekankan pada persoalan keamanan dari pekerja atau orang-orang yang sedang berada didalam atau sekitar gardu induk pada saat terjadi gangguan. Seperti yang diketahui bahwa tahanan tubuh manusia adalah konstan, nilainya tergantung pada posisi kontak tubuh manusia apakah dari kaki ke kaki atau dari tangan ke kaki. Jadi yang mempengaruhi besarnya arus yang mengalir dalam tubuh manusia adalah besarnya tegangan sentuh atau langkah dan nilai tahanan tersebut.

Pada pembumian grid ini apabila terjadi gangguan ke tanah maka tegangan yang timbul dipermukaan tanah akan berkurang, jadi pembumian ini sangat baik, tetapi pembumian ini cukup mahal, tergantung jarak atau jumlah *mesh* yang dipakai. Karena itu dicari bentuk yang lebih sederhana dan murah, tetapi masih cukup aman bagi operator jika terjadi gangguan.

Sistem pembumian ini mempunyai beberapa keuntungan antara lain, tegangan *mesh* pada permukaan dapat dibuat seragam dan sangat kecil, yaitu pada saat kondisi menyerupai pelat pejal tercapai, serta bahaya akibat tegangan langkah dapat dihindari atau dibuat relative kecil.

Bentuk grid yang biasa digunakan adalah bujur sangkar atau persegi panjang, dimana masing-masing dapat terdiri dari 1 mesh, 2 mesh atau lebih seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh Pembumian Grid

Keterangan gambar 2.5 :

A = Pembumian grid bujur sangkar dengan 9 mesh

B = Pembumian grid persegi panjang dengan 12 mesh

Sistem pembumian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah :

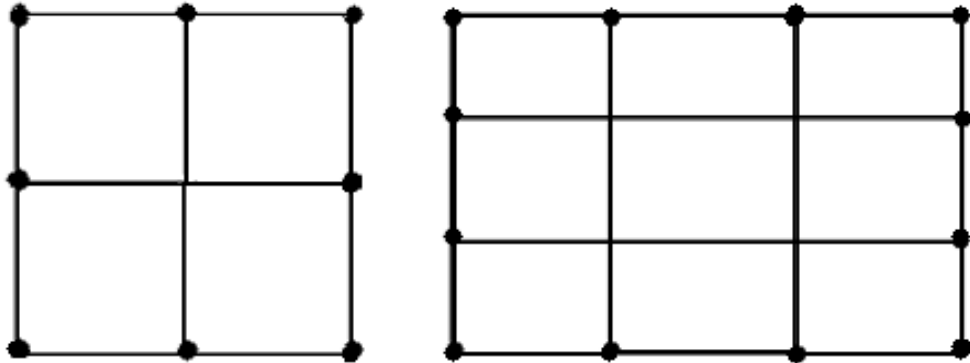
- a. Jumlah mesh
- b. Kedalaman penanaman
- c. Tahanan jenis tanah

2.8.3 Sistem Pembumian Elektroda Grid Dikombinasi Dengan Elektroda Batang

Kombinasi sistem pembumian di suatu tempat sering kali menggunakan kombinasi pembumian grid beserta elektroda batang yang di tanam pada kedalaman tertentu dari permukaan tanah, sistem pembumian ini diantaranya adalah :

- **Kombinasi dengan batang elektroda dipasang di sekeliling dari Grounding Grid.**

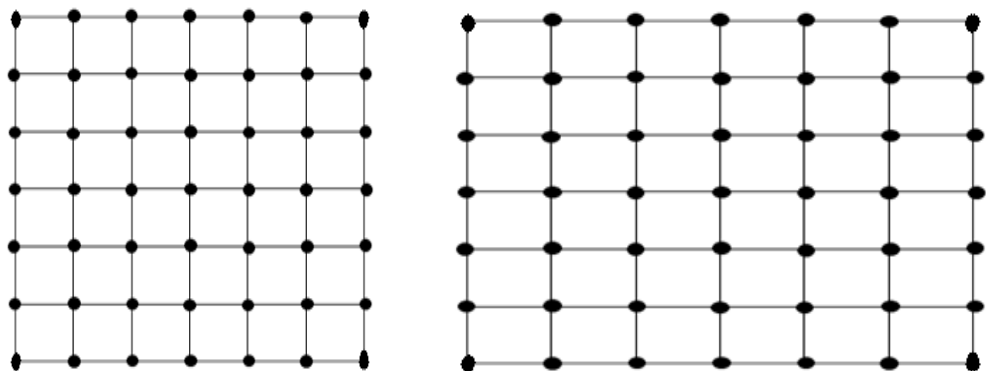
Pada sistem kombinasi ini batang elektroda hanya dipasang di sekeliling dari sistem pembumian grid, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.6. Grounding grid bentuk bujur sangkar dan grounding grid bentuk persegi panjang dengan batang elektroda yang dipasang sekelilingnya.

- **Kombinasi dengan batang elektroda dipasang diagonal dari Grounding Grid.**

Sistem kombinasi dengan pemasangan batang elektroda yang dipasang disekeliling dan diagonal dari sistem pembumian grid, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.7. Grounding grid bentuk bujur sangkar dan grounding grid bentuk persegi panjang dengan batang elektroda yang dipasang sekelilingnya dan diagonalnya.