

Analisis Parameter Sistem Pembumian Grid Gardu Induk KIM Mabar

Armansyah¹⁾, Zulfadli Pelawi²⁾, Dimas Teguh Wibowo³⁾

^{1,2)} Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU

³⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU

zulfadlipelawi@gmail.com;

Abstrak

Pada saat ini kehidupan masyarakat semakin maju, makin banyak membutuhkan daya listrik. Di samping penambahan penyediaan daya listrik, peningkatan pelayanan juga merupakan hal pokok yang harus diperhatikan oleh pihak produsen tenaga listrik. Keandalan dari sistem distribusi tenaga listrik, akhir-akhir ini semakin dituntut oleh pihak konsumen untuk melayani berbagai macam beban listrik yang menunjang semua kegiatan kehidupan. Dalam hal ini PT. PLN juga harus mengambil langkah-langkah dalam mengamankan pemakaian tenaga listrik tersebut, maka masalah yang timbul pada gardu induk KIM Mabar, seperti timbulnya tegangan sentuh, tegangan langkah dan tegangan transfer akibat kegagalan isolasi haruslah ditindak lanjuti karena dapat menjadi masalah pada gardu induk tersebut. Untuk mengatasi hal ini maka salah satu caranya adalah dengan melakukan pembumian titik netral dan pembumian badan (body) peralatan-peralatan pada gardu induk. Dan salah satu sistem pembumian yang cukup layak untuk diterapkan adalah sistem pembumian langsung dalam bentuk kisi-kisi (grid) dengan menggunakan elektroda batang yang tujuan utamanya adalah untuk memperoleh nilai tahanan pembumian yang kecil dan nilai tahanan pembumian yang seragam.

Kata Kunci : Pembumian, Gardu Induk, Grid, Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

I. PENDAHULUAN

Kegunaan energi listrik bagi kesejahteraan hidup manusia sangatlah besar, bahkan menggunakan energi listrik oleh suatu negara dapat dipakai sebagai ukuran tingkat kemakmuran bangsanya. Namun demikian di samping kegunaan tersebut, di lain pihak bisa menimbulkan akibat yang berbahaya bagi manusia maupun peralatan-peralatan listrik itu sendiri, seperti misalnya bahaya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang timbul karena kesalahan hubungan singkat ke tanah.

Salah satu cara untuk memperkecil bahaya tersebut adalah dengan membuat suatu sistem pembumian, baik sistem pembumian secara langsung maupun sistem pembumian tidak langsung. Dengan demikian diharapkan agar tegangan sentuh dan tegangan langkah dapat dibatasi pada harga yang diizinkan (± 50 volt) serta peralatan proteksi dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan.

Dalam PUIL 2000 disarankan bahwa pada instalasi maupun peralatan listrik yang bertegangan lebih dari 50 volt harus dipasang pengaman terhadap sentuhan tidak langsung (tegangan sentuh dan tegangan langkah), yaitu dengan cara membuat sistem pembumian.

Salah satu sistem pembumian yang bisa dikatakan cukup efektif adalah sistem pembumian langsung dalam bentuk kisi-kisi (grid) dengan menggunakan elektroda batang, hal ini disebabkan karena dengan sistem kisi-kisi (grid) ini dapat diperoleh tahanan pembumian yang nilainya relatif kecil. Dalam sistem pembumian kisi-kisi (grid) ini batang-batang konduktor dipasang sejajar dan

melintang serta saling dihubungkan antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk kisi-kisi (grid) yang masing-masing memiliki jarak yang sama panjang, atau memiliki jarak minimal sama dengan panjang batang elektroda yang ditanam pada titik pembumian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fungsi Pembumian

Untuk lebih memudahkan dalam memahami pembahasan tentang pembumian, disini akan dijelaskan beberapa defenisi dan istilah yang akan banyak dipakai antara lain :

- Tahanan pembumian adalah besarnya tahanan yang diperoleh dari pengukuran tahanan elektroda tanah terhadap tahanan hantaran hubungan tanah.
- Terminal referensi adalah daerah tanah, khususnya permukaan yang demikian jauhnya dari elektroda tanah yang bersangkutan sehingga tidak ada potensial yang berarti antara titik-titik di mana saja dalam daerah ini.
- Elektroda pembumian adalah batang konduktor yang ditanam di dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah.
- Pembumian badan (body) peralatan adalah pembumian antara badan (body) peralatan listrik dengan tanah yang dihubungkan dengan elektroda pembumian.
- Pembumian sistem adalah pembumian dari suatu sistem tenaga listrik, misalnya titik netral generator, transformator atau titik pada hantaran netral yang dihubungkan dengan tanah.

Masalah pembumian badan (body) peralatan merupakan faktor yang sangat penting di dalam kelistrikan seperti stasiun pembangkit, gardu induk, sistem transmisi maupun gardu distribusi serta untuk transformator, pemutus tenaga (circuit breaker) serta peralatan-peralatan listrik lainnya selalu dibumikan. Hal ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan timbulnya tegangan antara peralatan-peralatan listrik yang satu dengan yang lainnya. Terutama jika terjadi kesalahan hubungan singkat ke tanah, maka di sekitar tempat terjadinya hubungan singkat akan timbul gradien tegangan yang pada batas-batas tertentu akan berbahaya baik terhadap manusia maupun peralatan-peralatan listrik.

Secara umum tujuan suatu sistem tenaga listrik atau peralatan-peralatan listrik dibumikan adalah :

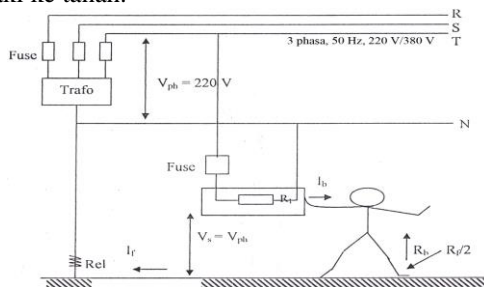
1. Untuk memperkecil bahaya kejut (shock) pada manusia serta memberikan hubungan ke tanah untuk arus-arus gangguan
2. Untuk mengurangi gangguan dalam penyaluran energi listrik
3. Untuk mencegah berubahnya posisi titik bintang sistem tiga fasa
4. Untuk tujuan proteksi bagi manusia dan makhluk hidup maupun peralatan listrik lainnya.

2.2. Bahaya Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh yang terkena pada tubuh dapat terjadi disebabkan :

- a. Sentuhan pada bagian logam peralatan listrik yang memang bertegangan listrik dalam keadaan normal.
- b. Sentuhan pada bagian logam peralatan listrik yang dalam keadaan kerja normal tidak bertegangan, sehingga orang akan bebas dapat menyentuhnya bahkan memegangnya, tetapi menjadi bertegangan karena adanya kegagalan isolasi.

Tegangan sentuh yang dimaksud di sini adalah tegangan sentuh yang terasa apabila seseorang menyentuh bagian peralatan yang terbuat dari bahan konduktor yang dalam keadaan normal orang bebas menyentuhnya bahkan memegangnya tetapi menjadi bertegangan karena adanya kegagalan isolasi sehingga terjadi aliran arus rembesan dari bagian peralatan yang terbuat dari logam melewati tangan, badan (body) dan kaki ke tanah.



Gambar 1. Badan (body) peralatan instalasi konsumen tidak diketanahkan

Keterangan gambar :

- V_s : Tegangan sentuh (volt)
- R_{el} : Tahanan elektroda pembumian di gardu induk (ohm)
- I_b : Arus yang mengalir ke tubuh (mA)
- R_b : Tahanan tubuh (ohm)
- I_r : Arus kesalahan (mA)
- R_r : Tahanan kedua kaki berpijak ke tanah (ohm-m)
- R_l : Tahanan badan (body) peralatan dan fasa (ohm)

Dan kondisi yang terjadi pada Gambar 2.1 di atas tegangan sentuh yang terjadi sama nilainya dengan tegangan fasa. Dengan memakai rumus di bawah ini dapat dihitung tegangan sentuh secara teori :

$$V_s = (R_b + R_{el} / 2) \cdot I_b \text{ [Volt]}$$

Dalam keadaan gangguan karena kegagalan isolasi pada peralatan, sehingga terjadi hubungan singkat hantaran fasa ke badan (body) peralatan. Jika saat itu seseorang menyentuh badan (body) peralatan baik sengaja maupun tidak, maka orang akan dialiri listrik I_b yang melalui tangan, badan (body) dan kaki ke tanah dan kembali ke sumbernya. Orang tersebut dikatakan terkena tegangan sentuh (V_s) yang besarnya sama dengan tegangan fasa (V_{ph}).

Dalam keadaan normal, orang bebas menyentuh dan memegang badan (body) peralatan dan serta tidak ada arus yang mengalir ke tubuhnya ($I_b = 0$). Bilamana terjadi gangguan maka orang tersebut akan dialiri arus sebesar :

$$I_b = \frac{V_s}{R_b} \tag{2.2}$$

Di tiap-tiap negara, besar dari tegangan sentuh yang diperbolehkan dan dianggap aman adalah tidak sama karena mengacu pada beberapa hal, untuk di Indonesia telah ditentukan batas tegangan sentuh yaitu ± 50 volt. Beberapa alasan yang mempengaruhi besar dari tegangan sentuh antara lain :

1. Iklim di Indonesia memiliki kelembaban yang cukup tinggi, berarti keadaan orang Indonesia selalu dalam keadaan lembab..
2. Suhu udara yang cukup panas, rata-rata $30^{\circ}C$ yang menyebabkan tubuh orang Indonesia selalu basah dan berkeringat.

Dua alasan di atas menunjukkan bahwa impedansi orang Indonesia beada pada daerah lembab dan basah. Penentuan tegangan 50 volt sebagai tegangan sentuh maksimum yang dianggap aman karena beberapa pertimbangan selain dua alasan di atas adalah :

1. Nilai impedansi dalam kondisi terendah sekalipun bila terjadi sentuhan maka arus yang mengalir pada tubuh adalah sangat kecil.
2. Tegangan sentuh dibawah atau sama dengan 50 volt dalam waktu tak terbatas tidak

berpengaruh dan tidak menimbulkan reaksi apapun pada tubuh manusia.

2.2.1. Akibat arus bolak-balik yang melalui tubuh

Gambar 2.2 ialah grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu, dan besar arus yang melalui tubuh manusia dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- Berat badan/tubuh 50 Kg
- Arus melalui anggota tubuh dari tangan ke kaki
- Frekuensi sumber tegangan bolak-balik 50 Hz

Dari Gambar 2.2 dapat diterangkan keadaan-keadaan arus listrik yang melalui tubuh manusia yaitu sebagai berikut :

Daerah 1 adalah daerah dimana arus listrik tidak menimbulkan apa-apa.

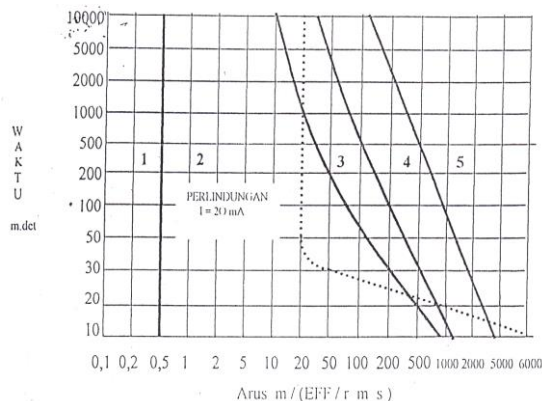
Daerah 2 adalah daerah dimana arus mungkin sudah mulai terasa tetapi biasanya tidak menimbulkan akibat kejang-kejang, kehilangan kontrol pada bagian tubuh yang dialiri arus listrik.

Daerah 3 adalah daerah dimana biasanya arus mengakibatkan denyut jantung tidak teratur, serta otot mulai mengejang pada manusia. Keadaan ini dapat menimbulkan bahaya secara tidak langsung akibat gerakan refleks yang tidak terkendali, sebagai contoh terjatuhnya orang dari tangga, tersiram oleh zat yang berbahaya yang sedang dibawa atau kecelakaan lainnya.

Arus kecil yang dapat menyebabkan reaksi yang tidak terkendali pada bagian tubuh yang terkena listrik disebut arus reaksi (Reaction Current). Arus listrik di daerah ini sudah cukup untuk menimbulkan bahaya bagi manusia meskipun secara tidak langsung.

Daerah 4 adalah daerah dimana fibrilasi terjadi kemungkinan 50%. Gejala fibrilasi adalah suatu gejala dimana seseorang akan mengalami kegagalan jantung dalam melaksanakan fungsinya untuk mensirkulasi darah, orang tersebut biasanya sadar tetapi tidak bernafas.

Daerah 5 adalah daerah dimana fibrilasi bisa terjadi kemungkinan besar lebih dari 50%.



Gambar 2.. Grafik keadaan arus listrik yang melalui tubuh manusia

2.3. Proteksi Terhadap Tegangan Sentuh

Telah dijelaskan bahwa tegangan sentuh yang terkena tubuh manusia karena kegagalan isolasi pada badan (body) peralatan/instalasi dimana pada saat keadaan normal memang tidak bertegangan, dapat menyebabkan manusia yang terkena tegangan sentuh tersebut pingsan, meninggal ataupun tidak berpengaruh apa-apa tergantung dari besarnya tegangan sentuh dan waktunya.

Pengamanan terhadap tegangan sentuh tidak langsung telah diterangkan pada pasal 320 PUIL 2000 yang yang dapat dilaksanakan dengan berbagai macam cara adalah sebagai berikut :

- Isolasi pengamanan
- Tegangan rendah pengaman
- Sistem pengaman dengan relay tegangan
- Sistem pengaman arus sisa
- Pemisah pengaman
- Sistem hantaran pengaman
- Pembumian pengaman
- Pembumian netral pengaman

2.4. Jenis-Jenis Elektroda Pembumian

Selain ditentukan oleh luas permukaan elektroda pembumian dan tahanan jenis tanah, tahanan pembumian yang diperoleh juga ditentukan pula oleh jenis dan bentuk elektroda pembumiannya.

Beberapa jenis elektroda pembumian yang dipergunakan antara lain :

1. Elektroda bentuk batang
2. Elektroda bentuk pita
3. Elektroda bentuk plat.

2.4.1. Elektroda Bentuk Batang.

Elektroda bentuk batang ini adalah elektroda berbentuk pipa atau batang profil atau logam lain yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter. Untuk menentukan besarnya tahanan pembumian dengan elektroda batang dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{br} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) \tag{2.6}$$

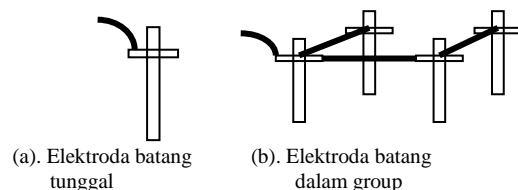
dimana :

R_{br} = tahanan pembumian elektroda batang [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega.m$]

L = panjang batang yang tertanam [m]

d = diameter elektroda batang [m]



Gambar 3. Elektroda bentuk batang

2.4.2. Elektroda Bentuk Pita.

Elektroda ini merupakan logam yang mempunyai penampang yang berbentuk pita atau dapat juga berbentuk bulat, pita yang dipilin atau dapat juga berbentuk kawat yang dipilin. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman antara 0,5 sampai 1 meter dari permukaan tanah, tergantung dari kondisi dan jenis tanah. Dalam pemasangannya elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar atau kombinasi dari lingkaran dan radial.

Besar tahanan pembumian untuk elektroda pita dapat dihitung dengan rumus

$$R_{pt} = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \tag{2.7}$$

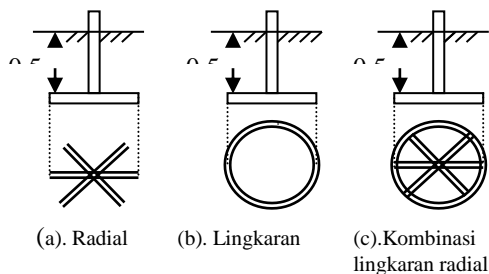
dimana :

R_{pt} = tahanan pembumian elektroda pita [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [Ωm]

L = panjang elektroda pita yang tertanam [m]

d = lebar pita/diameter elektroda pita kalau bulat [m]



Gambar 4. Elektroda pita

2.5. Fungsi Pembumian Gardu Induk

Sistem pembumian peralatan-peralatan pada gardu induk biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara horizontal, dengan bentuk kisi kisi (*grid*). Konduktor pembumian biasanya terbuat dari batang tembaga keras dan memiliki konduktifitas tinggi, terbuat dari kabel tembaga yang dipilin (*bare stranded copper*) dengan luas penampang 150 mm² dan mempunyai kemampuan arus hubung tanah sebesar 25 kA selama 1 detik. Konduktor ini ditanam sedalam kira-kira 30 cm – 80 cm atau bila di bawah kepala pondasi sedalam kira-kira 25 cm.

Luas kisi-kisi di daerah *switchyard*, sesuai dengan peralatan-peralatan yang ada, dibatasi maksimum 10 m x 5 m. Kisi-kisi pembumian bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pembumian yang terdiri dari batang tembaga. Batang tembaga ini berdiameter 15 mm, panjang 3,5 m, ditanam dengan kedalaman minimal sama dengan panjang batang itu sendiri. Selanjutnya batang pembumian ini disebut titik pembumian.

Untuk pembumian rangka atau badan dari peralatan dan struktur digunakan batang-batang pembumian yang mempunyai luas penampang sama dengan luas penampang kisi-kisi

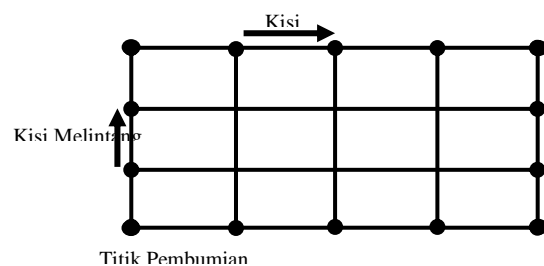
pembumian. Semua dasar isolator-isolator, terminal-terminal pembumian dan pemisah pembumian, netral transformator arus dan transformator daya, dasar penangkap petir (*lightning arrester*) dan struktur dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian. Pagar *switchyard* yang terbuat dari besi / logam dan terisolir dari tanah diketanahkan melalui batang tembaga (35 mm²) panjang 1 meter serta ditanam diluar pagar sedalam 50 cm dengan jarak lebih dari 5 meter terhadap kisi-kisi pembumian utama.

Tujuan pembumian gardu induk adalah untuk mencegah meluasnya gangguan yang timbul akibat kenaikan potensial tanah ketika ada arus gangguan baik yang berasal dari peralatan maupun dari luar peralatan guna memberikan perlindungan yang handal serta menjamin kesinambungan kerja dari sistem. Dengan hanya mengurangi tahanan pembumian, gardu tidak cukup aman. Karenanya dibutuhkan system pembumian sedemikian sehingga gradient potensial dan tegangan kontak seluruhnya seragam ada nilainya kurang dari harga yang ditetapkan.

Fungsi pembumian gardu induk yaitu untuk membatasi tegangan yang mungkin timbul diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradient tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus kesalahan yang mengalir dalam tanah. Batas tegangan yang diinginkan ialah sekecil mungkin bagi orang yang berada didalam/sekitar gardu induk.

2.6. Bentuk Pembumian Grid

Dalam sistem pembumian grid sulit mencari nilai tahanan pembumian, karena susunan grid agak kompleks. Sehingga digunakan metode bujur sangkar, dengan anggapan bahwa muatan yang tersebar pada permukaan konduktor yang membentuk grid adalah sama, bentuk pembumian grid seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk pembumian grid

Jarak minimum antara kisi-kisi 2,5 m, tahanan grid akan menjadi semakin berkurang dengan bertambahnya jumlah mesh. Tetapi bila jumlah mesh telah melampaui 16 buah, maka pengurangan nilai pembumiannya menjadi sedikit. Harga tahanan pembumian grid akan menjadi rendah kalau konduktor yang bersilangan saling bersentuh atau disatukan sehingga membentuk sebuah plat.

2.7 Data-data Pembumian Grid

Data-data sistem pembumian grid yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem pembumian Gardu Induk adalah sebagai berikut :

- Luas daerah yang akan diamankan dengan sistem pembumian
- Tahanan jenis tanah disekitar permukaan
- Tahanan jenis rata-rata untuk tanah yang dianggap sama (uniform)
- Besarnya arus hubung singkat maksimum ke tanah yang mungkin terjadi
- Waktu membukanya sistem proteksi yang ada untuk mengisolir adanya gangguan ke tanah
- Diameter konduktor yang dipakai untuk elektroda pembumian

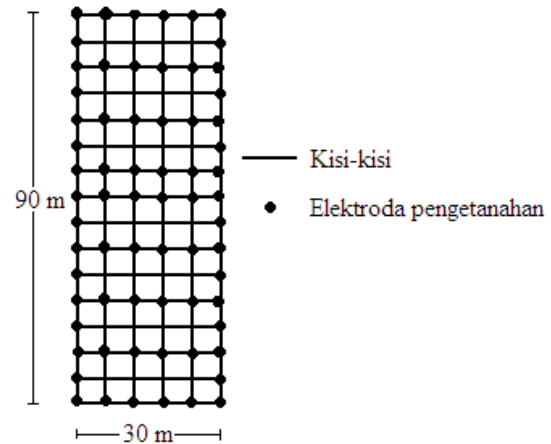
III. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Data-data

- Sebagai perhitungan diambil suatu sistem pembumian peralatan pada gardu induk yang memiliki tegangan 150 KV dengan kuat arus nominal yang mengalir pada sirkuit sebesar 250 Ampere, menggunakan konduktor yang ditanam secara vertikal, dengan bentuk kisi-kisi (grid). Pada gardu induk, konduktor pembumian terbuat dari konduktor tembaga berkonduktivitas tinggi yang dipilin (bare stranded copper) dengan luas penampang $113,04 \text{ mm}^2$. Konduktor itu ditanam sedalam $\pm 100 \text{ cm}$.
- Luas kisi-kisi daerah switchyard sesuai dengan peralatan-peralatan yang ada, dibatasi maksimum $80 \text{ m} \times 30 \text{ m}$. Kisi-kisi pembumian bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pembumian yang terbuat dari batang tembaga. Batang tembaga ini berdiameter 12 mm dan panjang 6 m, ditanam dengan kedalaman dan jarak minimal sama dengan panjang batang pembumian itu sendiri.
- Jika jarak antar batang pembumian dibuat lebih kecil dari panjang batang pembumian, maka dikhawatirkan akan menimbulkan kenaikan suhu tanah disekitar elektroda pembumian yang berimbas pada naiknya tahanan pembumian sehingga akan memperlambat proses pembuangan arus gangguan ke tanah.
- Untuk pembumian badan (body) dari peralatan dan struktur, digunakan batang-batang pembumian yang mempunyai luas penampang sama dengan luas penampang kisi-kisi pembumian. Semua dasar isolator-isolator, terminal-terminal pembumian dan pemisah pembumian, netral transformator arus dan transformator tegangan dan dasar penangkap petir (lightning arrester) dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian.

Pagar areal peralatan (switch yard) yang terbuat dari besi/logam dibuat melalui batang tembaga dengan panjang 1 meter serta ditanam di luar pagar dengan kedalaman $\pm 50 \text{ cm}$ dengan jarak kurang lebih 6 meter terhadap kisi-kisi pembumian utama.

- Gambar 6 merupakan bentuk sistem pembumian pada gardu induk



Gambar 6. Sistem pembumian grid Gardu Induk

Jumlah konduktor paralel pada kisi-kisi utama
= 16

Panjang konduktor kisi-kisi utama
= $16 \times 30 \text{ m} = 480 \text{ meter}$

Panjang konduktor kisi-kisi melintang
= $6 \times 90 \text{ m} = 540 \text{ meter}$

Panjang batang-batang pembumian
= $68 \times 6 \text{ m} = 408 \text{ meter}$

Lain-lain
= 150 meter (+)

Panjang total konduktor
= L = 1578 meter

Dibulatkan menjadi = L = 1600 meter

Hal-hal yang harus diperhatikan pada suatu sistem pembumian badan (body) peralatan pada Gardu Induk, terdiri atas beberapa faktor yaitu :

1. Besar tahanan jenis tanah di lokasi Gardu Induk
2. Besarnya arus fibrilasi yang ditimbulkan
3. Jumlah batang pembumian yang diperlukan
4. Arus gangguan yang mungkin terjadi
5. Ukuran konduktor kisi-kisi
6. Besar tegangan sentuh
7. Besar tegangan mesh atau tegangan sentuh sebenarnya
8. Tegangan langkah yang diizinkan
9. Tegangan langkah sebenarnya
10. Tegangan transfer atau tegangan pindah

Sistem pembumian pada Gardu Induk yang diuraikan pada bab ini adalah pembumian badan (body) peralatan yang menggunakan sistem

pembumian dengan bentuk kisi-kisi (grid) yang ditanam secara horizontal. Hal ini dilakukan karena pada suatu daerah yang berbatu sulit untuk menanam elektroda pembumian lebih dalam.

3.2. Perhitungan

3.2.1 Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi Gardu Induk diambil pada beberapa titik lokasi. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\rho = 2\pi aR \tag{4.1}$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

a = Jarak antara batang elektroda yang terdekat (meter)

R = besar tahanan pembumian yang terukur (ohm)

Hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh pihak Gardu Induk, diperoleh besar tahanan pembumian rata-rata yang terukur sebesar 1,8 Ω , sedangkan jarak antar batang elektroda pembumian sejauh 6 meter, sehingga diperoleh besar tahanan jenis pembumian sebesar :

$$\begin{aligned} \rho &= 2\pi aR \\ \rho &= 2 \times 3,14 \times 6 \times 1,8 \\ \rho &= 67,824 \text{ ohm meter} \end{aligned}$$

3.2.2 Tegangan Pindah atau Tegangan Transfer

Tegangan pindah adalah hal khusus dari tegangan sentuh, dimana tegangan ini terjadi bila pada saat terjadi gangguan, orang berdiri di dalam Gardu Induk, dan menyentuh suatu alat yang diketanahkan pada titik jauh sedangkan alat tersebut dialiri arus kesalahan ke tanah.

Tegangan pindah akan sama dengan tegangan pada tahanan kontak pembumian total. Tegangan pindah ini sulit untuk dibatasi, tetapi biasanya konduktor-konduktor tanpa isolasi yang terjangkau oleh tangan manusia telah diisolasi. Besarnya tegangan pindah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_{pindah} = I.R_0 \text{ [Volt]}$$

Dengan anggapan $I_k < 1$ sebab $\frac{R_f}{2} + R_k > R_0$

Dimana :

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \text{ [\Omega]}$$

dan r = jari-jari ekuivalen dari luas Gardu Induk

L = panjang total dari konduktor kisi-kisi dan batang

Jika areal Gardu Induk memiliki panjang 90 m dan lebar 30 m maka :

Luas areal pentanahan Gardu Induk = $p \times l$

$$\pi r^2 = 90 \times 30 = 2700 \text{ m}^2$$

Maka :

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{2700}{3,14} \\ r^2 &= 859,87 \text{ m}^2 \\ r &= \sqrt{1035} \\ r &= 29,32 \text{ meter} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{75,36}{4 \times 92,32} + \frac{75,63}{1600} \text{ Ohm} \\ R_0 &= 0,05 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan nilai R_0 ke dalam persamaan akan diperoleh besarnya tegangan pindah yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_{pindah} &= I.R_0 \\ E_{pindah} &= 333,333 \times 0,05 \\ E_{pindah} &= 16,66 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan sentuh yang diizinkan, tegangan mesh sebenarnya, tegangan langkah yang diizinkan, tegangan langkah yang sebenarnya, tegangan pindah dan beberapa parameter lain pada sistem pembumian Gardu Induk KIM Mabar dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 1. Data hasil perhitungan beberapa parameter sistem pembumian gardu Induk KIM Mabar

No	Spesifikasi	Harga
1.	Tahanan jenis tanah (ρ)	75,36 Ohm-m
2.	Jumlah konduktor paralel dalam kisi-kisi utama (n)	16
3.	Koefisien (K_m)	0,06
4.	$K_i = 0,65 + 0,172 n$ ($n=16$)	3,402
5.	Panjang total konduktor pembumian (L)	1600 meter
6.	Koefisien (K_s)	0,327
7.	Tegangan sentuh yang diijinkan (E_s)	737 Volt
8.	Tegangan langkah diijinkan (E_l)	2546 Volt
9.	Tegangan mesh sebenarnya (E_m)	3,204 Volt
10.	Tegangan langkah sebenarnya (E_{lm})	17,465 Volt
11.	Tegangan transfer (E_{Pindah})	(4,14) 16,66 Volt

3.3 Pembahasan

Dari Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa besarnya tegangan sentuh sebenarnya jauh lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan. Demikian juga besar tegangan langkah sebenarnya juga jauh lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan. Dengan demikian pemilihan jarak-jarak kisi-kisi serta panjang total konduktor dan parameter-parameter lainnya yang berkaitan dengan sistem pembumian grid Gardu Induk sudah memenuhi persyaratan keamanan bagi manusia dan hewan di sekitar lokasi Gardu Induk tersebut..

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya ada beberapa hal yang cukup penting yang dapat dijadikan sebagai kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menghindari tegangan sentuh dan tegangan langkah pada gardu induk, salah satu cara yang perlu dilakukan adalah dengan membumikan body peralatan pada gardu induk tersebut.
2. Panjang, bahan, dan kedalaman penanaman batang konduktor yang dipakai serta kadar air/kelembaban tanah akan mempengaruhi besarnya nilai tahanan pembumian kisi-kisi (grid).
3. Jarak penanaman antar batang elektroda pembumian, minimal sama dengan panjang elektroda yang dibumikan.
4. Dengan jumlah elektroda 68 buah yang panjangnya masing-masing 6 meter serta jarak penanaman antar elektroda 6 meter, menghasilkan besar tegangan sentuh, tegangan mesh dan tegangan pindah yang nilainya jauh di bawah tegangan aman yang diizinkan untuk manusia dan hewan.
5. Suatu sistem pembumian peralatan pada Gardu Induk dikatakan memenuhi standar keamanan jika nilai tegangan sentuh, tegangan mesh, tegangan langkah, tegangan langkah sebenarnya serta tegangan pindah berada di bawah batas yang tegangan yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A.S. Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1986, "*Electrical Power Distribution System*" (*Sistim Induk Daya Listrik*), Jakarta. A.
- [2]. Arismunandar. DR dan S. Kuwahara. DR, Buku Pegangan Tenaga Listrik, Jilid II dan III, Saluran Transmisi, PT. Pradnya Paramita, Jakarta 1975
- [3]. B.M. Weedy, *Electric Power Systems*, Third Edition Revised, Jhon Wiley and Sons, Singapore New York, Toronto 1987.
- [4]. TS. Hutaaruk, 1991, *Pengetanahan Netral Sistim Tenaga dan Pentanahan Peralatan*, Erlangga, Bandung
- [5]. *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000*", Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta
- [6]. S. L. Uppal. DR, Khanna Publisher, *Electrical Power*, Delhi – 6, 1979
- [7]. T.S. Hutahuruk. Ir. M.Sc, *Buku Transmisi Daya Listrik*, Institut Teknologi Bandung dan Universitas Trisakti, Erlangga 1985.
- [8]. Turan Gonen, *Electrical Power Transmission System Engineering*, California State University, 1985.
- [9]. SPLN-2, 1973, Jakarta
- [10]. PT. PLN Gardu Induk