

Perhitungan Tegangan Sentuh Menggunakan Tahanan kontak kaki dalam Sistem Penumbumian pada Gardu Induk Cikupa

Mustari Lamma

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
JL. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650
Telepon: 021-5857722 (hunting), 5840816 ext. 2600 Fax: 021-5857733

Abstrak - Pada saat terjadi gangguan pada Gardu Induk, arus gangguan tanah yang mengalir di tempat gangguan maupun di tempat pennumbumian, Gardu Induk menimbulkan perbedaan tegangan di permukaan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan sentuh yang melampaui batas-batas keamanan bagi manusia yang berada di dalamnya saat terjadi gangguan. Perlu dilakukan sistem pennumbumian yang sesuai dengan standar yang ada.

Untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan lebih di Gardu Induk diperlukan sistem pennumbumian yang baik agar tidak melampaui tegangan sentuh yang diizinkan. Untuk menentukan nilai tegangan sentuh, diperlukan beberapa parameter. Parameter-parameter yang diperlukan diantaranya adalah besarnya arus gangguan tanah maksimum yang mungkin terjadi, luas Gardu Induk, tahanan jenis tanah, tahanan kontak kaki dan ukuran konduktor yang akan digunakan.

Dari perhitungan diperoleh tegangan mesh atau tegangan sentuh maksimum yang sebenarnya (yang mungkin terjadi) sebesar 588,194 V (nilai ini masih berada di bawah nilai maksimum yang diizinkan, 638V untuk ukuran berat badan 50 kg). Disamping itu dengan menggunakan tahanan kontak kaki sederhana dan tahanan kontak kaki efektif diperoleh tegangan sentuh masing-masing sebesar 469,44V dan 494,86V dengan kedalaman kisi-kisi pennumbumian 75 cm, jarak antara kedua kaki 70 cm dan perbandingan tahanan jenis tanah (ρ_s / ρ) $100\Omega \cdot m$ dan kedua nilai ini masih berada pada batas yang diizinkan.

Kata Kunci : Tegangan Sentuh, Tahanan Kontak Kaki

PENDAHULUAN

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal terjadi kontak langsung atau dalam hal ini manusia berada dalam suatu daerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi, khususnya pada Gardu-gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah disekitar Gardu Induk. Maka untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan lebih di Gardu Induk diperlukan sistem pennumbumian yang baik, yaitu sistem pennumbumian yang dibuat melalui suatu perhitungan yang teliti dari berbagai aspek yang mempengaruhinya. Parameter-parameter yang diperlukan diantaranya adalah besarnya arus gangguan tanah maksimum yang mungkin terjadi, luas gardu Induk, tahanan jenis tanah, tahanan kontak kaki, ukuran konduktor yang akan digunakan, dan sebagainya.

Penelitian menjelaskan pengaruh jarak kedua kaki dan pengaruh kisi-kisi pennumbumian terhadap tahanan kontak kedua kaki manusia ke tanah. Perhitungan terhadap tahanan sangat penting karena akan menentukan besarnya yang arus mengalir di tubuh manusia saat terjadi gangguan dan berapa besar tegangan sentuh maksimum jika terjadi gangguan hubungan tanah.

SISTEM PEMBUMIAN

Pembumian dapat dibagi dua yaitu pembumian sistem dan pembumian peralatan. Pembumian sistem adalah hubungan ke tanah dari titik netral sistem, sedangkan pembumian peralatan adalah hubungan ke tanah dari bagian-bagian peralatan yang terbuat dari logam yang dalam keadaan normal tidak dialiri arus listrik. Pada penelitian ini yang dimaksud adalah pembumian peralatan, yang selanjutnya cukup disebut pembumian. Sistem pembumian di Gardu Induk diharapkan dapat membuat permukaan tanah di Gardu Induk mempunyai perbedaan tegangan yang serendah-rendahnya pada waktu terjadi gangguan hubungan tanah, atau dengan kata lain membuat tahanan jenis tanah yang serendah-rendahnya. Secara garis besar tujuan pembumian di Gardu Induk dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1. Untuk mengatasi beda tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus listrik dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.

Untuk mencapai tujuan ini suatu sistem pembumian peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pembumian ini gunanya untuk menghasilkan potensial yang merata dalam semua bagian struktur dan peralatan. Selain itu juga untuk menjaga agar orang yang sedang berada di daerah instalasi ini tetap berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

Dengan dicapainya potensial yang hampir merata di seluruh permukaan Gardu Induk, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang lebih besar pada jarak yang bisa di capai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat kecil.

2. Untuk memperoleh impedansi yang rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pada beda potensial dapat terjadi pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Maka bila arus hubung singkat ini 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 pembumian dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang cukup besar dapat menyalakan material yang mudah terbakar.

Bahaya-bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan oleh tegangan/ arus listrik terhadap manusia mulai dari yang ringan sampai yang paling berat adalah : terkejut, pingsan atau sampai mati.

Ringan atau berat bahaya yang timbul, tergantung dari faktor-faktor dibawah ini :

1. Besarnya arus yang melewati tubuh manusia.
2. Tegangan dan kondisi orang terhadap tegangan tersebut.
3. Jenis arus searah atau bolak-balik

Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap besarnya arus yang mengalir didalamnya. Tetapi berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar ditetapkan.

Dalam hal ini telah banyak diselidiki oleh para ahli dengan berbagai macam percobaan baik dengan tubuh manusia sendiri maupun menggunakan binatang tertentu. Dalam batas-batas tertentu dimana besarnya arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia telah diadakan berbagai percobaan terhadap beberapa orang sekarelawan yang menghasilkan batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang

berbadan sehat. Batas-batas arus tersebut dapat dibagi sebagai berikut :

1. Arus mulai terasa atau persepsi (perception current)
2. Arus mempengaruhi otot (let-go current)
3. Arus mengakibatkan pingsan atau fibrilasi (fibrillating current)
4. Arus reaksi (reaction current)

Arus Persepsi

Bila manusia memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh manusia tersebut akan memberi pengaruh. Mula-mula syaraf akan terangsang sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya, bila dengan arus bolak-balik yang mengalir. Tetapi bila arus searah yang mengalir akan terasa sedikit panas pada telapak tangan.

Pada Electrical Testing Laboratory New York tahun 1933 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan dan didapat arus rata-rata yang disebut threshold of perception current sebagai berikut :

- Untuk laki-laki : 1,1 mA
- Untuk perempuan : 0,7 mA

Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi dinaikkan lagi, maka orang akan merasa sakit dan kalau terus dinaikkan lagi maka otot-otot akan kaku sehingga orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor yang dipegangnya. Di University of California School telah dilakukan penyelidikan terhadap 134 orang laki-laki dan 28 perempuan dan diperoleh angka rata-rata dari arus yang mempengaruhi otot sebagai berikut :

- Untuk laki-laki : 16 mA
- Untuk perempuan : 10,5 mA

Berdasarkan penyelidikan ini telah ditetapkan batas arus maksimal di mana orang masih dapat dengan segera melepaskan konduktor bila terkena arus listrik sebagai berikut :

- Untuk laki-laki : 9 mA
- Untuk perempuan : 6 mA

Arus Reaksi

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi, sehingga dapat terjadi kecelakaan yang lebih fatal.

ANALISIS TAHANAN KONTAK KAKI

Pengamanan tegangan sentuh terhadap manusia bergantung pada besarnya tahanan kontak kaki (pembumihan hanya di bawah kaki). Pada permukaan tanah pada gardu induk, biasanya diletakkan lapisan batu koral dengan ketebalan 10 sampai 20 cm. Hal ini memberikan tahanan jenis yang tinggi pada permukaan tanah. Biasanya tahanan kontak kaki diambil sebesar 3ps, di mana ps adalah tahanan jenis dari lapisan permukaan di bawah kaki (batu koral dalam gardu induk). Dengan keadaan tersebut yang berasal dari model kaki sebagai sebuah konduktor lingkaran dengan radius sebesar 8 cm. Dalam bentuk rangkaian untuk tegangan sentuh tahanan kaki totalnya adalah 1,5 ps. Pendekatan ini mungkin memberikan kesalahan tahanan kaki karena beberapa faktor :

- Tahanan kontak mutual antara dua kaki.
- Batas ketebalan dari lapisan permukaan batu koral.
- Akumulasi dari kotoran dalam celah-celah udara antara bagian-bagian dari batu koral. Debu-debu atau kotoran-kotoran ini turun ke bawah akibat hujan dan menurunkan tahanan jenis dari

batu koral yang berada pada lapisan bagian bawah.

Sistem Kelistrikan Gardu Induk Cikupa

Gardu induk Cikupa termasuk dalam Sistem INterkoneksi Jaringan Transmisi Jawa dan Bali. Gardu Induk Cikupa terletak pada Sub Jaringan Sistem Region 1 Jakarta Raya dan Tangerang. Gardu Induk Cikupa memiliki 3 incoming feeder, yaitu dari Gardu Induk Kembangan dan dua feeder dari Gardu Induk Jatake, serta ada 5 outgoing feeder yaitu ke Gardu Induk Pasar Kemis I, II dan Gardu Induk Balaraja I, II. Di samping itu ada 2 feeder ke transformator penurun tegangan 150 kV/20 kV untuk keperluan listrik di daerah Cikupa dan sekitarnya

Perhitungan Pembumian untuk Gardu Induk Cikupa

Perhitungan ini dilakukan untuk sistem pembumian dan menetapkan batasan yang aman untuk perbedaan potensial yang mungkin terjadi pada Gardu Induk yang mengalami kondisi gangguan antara titik gangguan yang mungkin terhubung atau tersentuh tubuh manusia.

Arus Gangguan ke Tanah (Earth Fault Current)

Untuk Gardu Induk Cikupa adalah : di mana : Tegangan = 150 kV untuk Gardu Induk Cikupa. Daya hubung singkat pada Gardu Induk Cikupa adalah 10130,55 MVA. Maka arus hubung singkatnya adalah :

$$I_{hs} = \frac{10130,55}{\sqrt{3} \times 150} = 38,99 \text{ kA}$$

di mana :

arus hubung singkat adalah 3 phasa simetris dengan menyesuaikan ukuran dari panjang konduktor parallel utama tetapi 60% dari arus hubung singkat 3 phasa sebagai arus gangguan ke tanah yang diterapkan untuk menghitung tegangan sentuh (touch voltage) dan kenaikan tegangan kisi-kisi maksimum (maximum grid potensial rise) adalah :

$$I_{\epsilon} = \frac{3 V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

di mana :

VLN adalah tegangan line ke netral, Z1= Z2, Z0 = 3 Z1 (Z0 berasal dari impedansi pada jaringan pada masing-masing Gardu Induk). Yang mana permohonan harga impedansi dari PLN tidak dianggapi, maka diasumsikan Z0 adalah 3Z1 untuk penggunaan umum pada sistem tegangan tinggi.

$$I_{\epsilon} = \frac{3 V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{\epsilon} = \frac{3}{5} \frac{V_{LN}}{Z_1}$$

$$I_{\epsilon} = \frac{3}{5} I_f$$

$$I_{\epsilon} = 0,6 \times I_f$$

(I_p = I_{hs} = Arus hubung singkat simetris 3 phase)

KESIMPULAN

Dan uraian pembahasan dan perhitungan tegangan sentuh pada sistem pembumian Gardu Induk dengan menggunakan tahanan kontak kaki, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Dengan luas Gardu Induk yang meliputi sistem pembumian seluas 12688 m², tahanan jenis tanah sebesar 50 serta panjang total konduktor pembumian 3773 m dan memiliki arus gangguan sebesar 23,394 kA dapat digunakan luas penampang konduktor dengan luas sebesar 150mm² sebagai konduktor pengaman pada sistem pembumian ini
- Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metoda-metoda yang ada dapat dihasilkan harga batas maksimum tegangan sentuh yang

diizinkan sebesar 638 V untuk ukuran berat badan 50 Kg, dan tegangan mesh atau tegangan sentuh maksimum sebenarnya sebesar 588,194 V dengan harga tahanan jenis tanah sebesar 50 dan panjang konduktor 3773 m dan arus gangguan sebesar 23,394 kA, di mana hasilnya masih berada di bawah batas tegangan maksimum yang diizinkan.

- Pada kedalaman kisi-kisi pembumian 75 cm dan jarak antara kedua kaki yang bervariasi 40 cm dan 70 cm serta perbandingan antara tahanan jenis tanah yang ada pada Gardu Induk diperoleh tegangan sentuh yang masih berada di bawah tegangan sentuh maksimum yang diizinkan sebesar 638 V. Jadi dengan memperhatikan tahanan kontak kaki efektif pada perhitungan tegangan sentuh dalam sistem pembumian Gardu Induk Cikupa didapatkan hasil yang masih berada di bawah kriteria tegangan sentuh maksimum yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Buku Manual Operasi Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk Cikupa PT.PLN (PERSERO), 2000.
2. Diwalibi, F.P., W. Xiong, J. Ma, 1993, Effect of Deteriorated and Contaminated Surface Covering Layers on Foot Resistance Calculations, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, January.
3. Dawalibi, F. P., R.D. Southey, R.S. Baishiki, 1990, Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting from Electric Shocks, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April.
4. Hutauruk, T.S., Ir, Msc, 1991, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Cetakan kedua, Jakarta : Erlangga.
5. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std. 80 - 1986.
6. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, SNI.
7. REA Bulletin 65-1 Design Guide for Rural Substations, 1978, Power Supply and Engineering Standards Division Rural Electrification Administration U.S. Departement of Argiculture, June.
8. Sverak, J.G., W.K. Dick, T.H. Dodds, R.H. Heppe, 1981, Safe Substation Grounding-Part I, IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol.PAS-100, No. 9, September.
9. Thapar, Baldev, Victory Gerez, Arun Balakrishnan, Donald A. Blank, 1992, Finite Expression and Models for Footing Resistance in Substations, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, January.
10. Thapar, Baldev, Victor Gerez, Prince Emmanuel, 1993, Ground Resistance of The Foot in Substation Yards, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, January.
11. Thapar, Baldev, Victory Gerez, Vijay Singh, 1993, Effective Ground Resistance of the Human Feet in High Voltage Switchyards, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, January.
12. Thapar, Baldev, Victory Gerez, Harsh Kejriwal, 1992, Reducation Factor for The Ground Resistance of The Foot in Substation Yards, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 1, January.