

## SISTEM PEMBUMIHAN GARDU INDUK HEMAT ELEKTRODA

Tadjuddin<sup>1)</sup>, Bakhtiar<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT:

The grounding resistance can be determined when planning grounding system. Grounding resistance will be depended on the length of electrodes and the low resistance will effect the mesh voltage. This study aims to determined grounding systems is used a minimum electrodes at a level of security that is closed to the same. Is this study as a sampel is Tallo Makassar substation with size 53 cm x 39m and the soil resistivity 100 ohm.m. Calculation is done by simple regression with the grid, grid-rod and grid unequally spaced systems and this result analized by quantitative and qualitative methods. The results of the calculation and analysis obtained are that the order of the grounding system the saves or minimm the electrode is : a). Grid unequally spaced, 463 volts mesh voltage with 722 m electrode length b). grid system 522 vlts mesh voltage with 1422 m electrode length and c) grid-rod system 461 volts mesh voltages with 1578 m electrode length.

**Keywords:** *Substation grounding, electrodes, mesh voltage.*

### 1. PENDAHULUAN

Tahanan pembumihan dapat ditentukan pada saat merencanakan sistem pembumihan. Tahanan pembumihan yang rendah tergantung pada panjang elektroda yang digunakan. Tahanan yang rendah akan memepengaruhi tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*tegangan mesh*). Tegangan *mesh* yang kecil ini tidak akan membahayakan peralatan atau manusia. Pada gardu induk terdapat peralatan penting yang akan menunjang kontinuitas penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Peralatan tersebut antara lain trafo daya, pemutus tenaga pemisah, arrester dll [5]. Pada pembumihan gardu induk dikenal tiga jenis yaitu system grid, grid-rod dan system grid tak simetri. Penelitian tentang penggunaan panjang elektroda pembumihan masih jarang dilaksanakan .

Pada penelitian ini dianalisis tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*tegangan mesh*) untuk sistem grid, grid - rod dan sistem grid tak simetri dan panjang elektroda masing masing jenis sistem pembumihan sampai diperoleh tingkat keamanan yang sama atau mendekati sama. Menurut t.s. hutauruk (1991) [12]. “ tujuan utama sistem pembumihan adalah untuk mendapatkan tahanan kontak langsung ke tanah yang cukup kecil”. J.m nahman dan v.b djorjevic (1996) [6], [7] berpendapat bahwa tahanan elektroda pembumihan adalah salah satu parameter penting yang dapat menentukan kenaikan potensial pada peralatan yang terbuat dari metal. selanjutnya beliau mengatakan bahwa tahanan pembumihan dari grid yang ditanam pada kedalam tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. dalam kasus tanah uniform (homogen), bila kedalam grid bertambah maka tahanan pembumihan menjadi berkurang.

F.P Dawalibi, j.ma, r.d. southy berpendapat bahwa performa pentanahan sistem grid ditinjau dari tahanan pentanahan dan tegangan sentuh, tergantung pada struktur tanah [4]. tahanan pentanahan system grid yang ditanam pada kedalam tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. untuk tanah uniform *bila* kedalam grid bertambah maka tahanan pentanahan semakin berkurang. selain itu dengan sejumlah konduktor dalam grid akan menyebabkan tegangan permukaan tanah semakin kecil dan terdistribusi dengan baik [4]. Tadjuddin (2015). dengan menggunakan system grid unequally spaced diperoleh penghematan elektroda pembumihan sebesar 36 % pada tegangan sentuh yang sama dengan system grid simetri [10]. Tadjuddin (2018), tegangan mesh sangat dipengaruhi oleh perubahan jarak antara konduktor parallel (d). semakin kecil d maka tegangan mesh juga menjadi semakin kecil. jarak d yang kecil berarti semakin panjang elektroda grid yang digunakan sehingga tahanan total menjadi bertambah kecil [4], [11].

**Bentuk-bentuk elektroda (system pembumihan)** [5],[8],[9],[10].

Bentuk-bentuk elektroda yang umum digunakan pada pembumihan gardu induk adalah elektroda bentuk grid, kombinasi elektroda bentuk grid dan elektroda batang (grid-rod). Yang akan dianalisa pada penelitian ini hanya elektroda bentuk grid, grid-rod dan grid tak simetri. Sesuai dengan namanya sistem grid tak simetri ini memiliki jarak antara konduktor parallel yang tidak sama baik pada sisi horizontal maupun sisi vertikal, yang berbeda dengan sistem grid-rod sebelumnya. Bentuk sistem grid yang dimaksud di atas jarak

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Tadjuddin, Telp 085280608720, tadjuddin62@gmail.com

antara konduktor paralel dalam arah tertentu paling besar berada pada bagian tengah gid (center of mesh) ke corner of mesh dari kiri ke kanan juga dari atas ke bawah, seperti gambar berikut. Sistem grid unequally spaced ini bukan hanya memperkecil potensial pada permukaan tanah tetapi sekaligus dapat menghemat penggunaan konduktor pembumian.

ki (k<sub>1</sub> dan k<sub>2</sub>) adalah adalah jumlah segment konduktor yang dapat dihitung dengan:[8],[10]

$$K_1 = n_2 - 1 \text{ dan } K_2 = n_1 - 1 \dots \dots \dots (1)$$

panjang grid konduktor L1 dan L2 dapat dihitung dengan memperhatikan hubungan pernyataan berikut. Jkka konduktor grid dibagi dalam k segment, panjang konduktor segment ke<sub>i</sub> dinyatakan dengan L<sub>ik</sub> dalam persen dari total panjang konduktor.

$$L_i \leq \begin{cases} \frac{k}{2} & \text{untuk } k \text{ (even)}; \\ \frac{k+1}{2} & \text{untuk } k \text{ (odd)} \end{cases} \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (2) dapat dihitung L<sub>ik</sub> untuk masing masing arah bila S<sub>ik</sub> diperoleh sebelumnya dengan menggunakan hubungan

$$S_{ik} = b_1 e^{-b_2 i} + b_3 (\%) \text{ dan } L_{ik} = S_{ik} x (\text{meter}) \dots \dots \dots (3)$$

**Gradient tegangan pada Permukaan Tanah [12]**

Tegangan mesh atau tegangan sentuh maksimum sebenarnya didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanhnkan terhadap tengah tenah arah yang dibentuk oleh kisi kisi (center of mesh) selama gangguan tanah. Tegangan mesh ini merupakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh dalam system pengamanan gardu induk yang dianggap aman. Secara pendekatan besarnya sama dengan pi. Tetapi p tahanan jenis tanah tidak merata demikian pula arus I tidak sama pada semua konduktor kisi kisi. Oleh karena itu untuk mencakup pengaruh jumlah konduktor paralel n, jarak D, diameter d dan kedalaman penanaman h, maka tegangan mesh dinyatakan dengan persamaan;

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_i \cdot p \cdot \frac{I}{L} \dots \dots \dots (4).$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ L_n \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4D} \right) + \frac{K_{ii}}{\sqrt{1+h}} L_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots \dots \dots (5).$$

K<sub>ii</sub>=1 untuk grid dengan rod sepanjang pinggiran grid atau grid dengan rod sepanjang grid dan seluruh luasan grid. Berdasarkan IEEE standart 80 juga berlaku hubungan

$$K_{ii} = \frac{1}{(2^n)^{\left(\frac{2}{n}\right)}} \text{ atau juga } K_{ii} = 0,65 + 0,72n \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{JumlahkonduktorParaleldihitungdengan } n = \left(\frac{L}{2}\right) + 1 \dots \dots \dots (7)$$

**2. METODE PENELITIAN**

- a. Waktu dan Lokasi Penelitian. Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan, yang dimulai dari persiapan, pengumpulan referensi, pengambilan yang meliputi tahanan jenis tanah dan ukuran daerah pembumian. Pada penelitian ini digunakan sampel gardu induk Tallo Makassar.
- b. Metode analisis. Pada penelitian ini perhitungan dilakukan dengan regresi sederhana dan hasilnya dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang diperoleh pada kantor PLN khususnya pada tragim Panakkukang Makassar, adalah ukuran daerah pembumian gardu induk adalah 53m x 39 m dan tahanan jeis tanah 100 Ohm.m

**3.1. Sistem Grid dan Grid-Rod**

Adapun Perhitungan dan analisa dilakukan dengan mengikuti tahapan berikut:

**a. Luas Daerah Pembumian**

Luas daerah pembumian gardu induk dihitung dengan meggunakan data ukuran daerah pembumian itu sendiri. Gardu induk tersbut mempunyai ukuran sebagai berikut:

Panjang P = 53 meter dan Lebar L = 39 meter.  
 Jadi luas dawerah pemuian adalah hasil kali antara panjang dengan lebar yaitu 2067 m<sup>2</sup>

**b. Ukuran Minimum Elektroda Pemuian**

Dari perencanaan yang dilakukan oleh PT.PLN, khususnya Unit Induk Pembangunan XIII bahwa tegangan kerja gardu induk tersebut adalah 150 kV, dengan lama gangguan maksimum yang direncanakan sebesar t = 1 detik dan arus gangguan ke tanah adalah sebesar I<sub>g</sub> = 10 kA [12].

Dengan memasukkan nilai nilai di atas diperoleh : [12]

$$A = 10 \times 10^3 \sqrt{\frac{33t}{\text{Log}_{10}\left(\frac{500-40}{234+40} + 1\right)}}$$

A = 321.100 Circular mil atau A = 162,75 mm<sup>2</sup>.

Atau diameter minimum konduktor/elektroda pemuian d = 0,0114 meter. Dalam perencanaan ini digunakan diameter konduktor kisi-kisi d = 0,0150 meter.

**c. Jumlah Minimum Batang Elektroda Pemuian (Rod)**

Seluruh panjang batang pemuian yang diperlukan dihitung dari pembagian arus gangguan ke tanah dengan kerapatan arus yang diizinkan [12].

Kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pemuian dapat dihitung dengan persamaan

$$i = 3,1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \cdot \theta}{\rho \cdot t}} \dots \dots \dots **$$

d : diameter konduktor = 15 mm; δ : panas specific rata-rata tanah = 1,75 x 10<sup>6</sup> Watt .detik per m<sup>2</sup> tiap °C; θ : kenaikan suhu tanah yang diizinkan = 50 °C; ρ : tahanan jenis tanah rata-rata = 100 ohm.m; t : lama waktu gangguan = 1 detik

Dengan menggunakan data-data di atas dengan memasukkan kedalam persamaan \*\* diperoleh

$$i = 3,1414 \times 10^{-5} \times 15 \sqrt{\frac{1,75 \times 10^6 \times 50}{100}} = 47,2 \times 10^{-5} \sqrt{875.000 \times 935,414} \Leftrightarrow i = 0,4415 A/cm$$

Jadi kerapatan arus yang diizinkan adalah 0,4415 A/cm.

Langkah selanjutnya adalah menentukan panjang batang pemuian.

Dalam analisis ini digunakan batang elektroda pemuian (rod) masing-masing 3,5 meter, maka jumlah batang minimum yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan:

$$N_{\min} = \frac{I_g}{L_{bi} \cdot xi}, \text{ sehingga diperoleh:}$$

$$N_{\min} = \frac{10 \times 10^3}{3,5 \times 100 \times 0,4415} = \frac{10^4}{154,525} \Leftrightarrow N_{\min} = 64,7 \approx 65 \text{ batang}$$

Panjang seluruh batang pemuian rod, L<sub>r</sub> = 65 x 3,5 m = 227,5 meter  
 Ditambahkan 1,15 kali sehingga panjang batang pemuian = 1,15 x 227,5 = 261,625 = 262m

**d. Tegangan Sentuh yang diizinkan**

Berdasarkan IEEE standar 80 bahwa Tegangan Sentuh yang diizinkan untuk lama gangguan 1 detik adalah 626 volt [1], [12].

**e. Panjang Elektroda Pemuian Grid**

Ditetapkan suatu persyaratan bahwa tegangan sentuh yang diizinkan harus lebih besar dari tegangan sentuh yang terjadi. Dari syarat ini maka sebagai perhitungan awal digunakan jarak antara konduktor paralel (kisi-kisi) sebesar D = 6 meter. Dengan asumsi ini maka sistem pemuian yang direncanakan dengan ukuran 53 x 39 meter dapat dihitung sebagai berikut:

Jumlah konduktor paralel (grid) yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan (7):

$$n_x = \frac{L_x}{D} + 1 \text{ dan } n_y = \frac{L_y}{D} + 1$$

Dimana x dan y menunjukkan arah pemasangan elektroda grid berdasarkan sisi panjang dan pendek (x sisi panjang / sisi horizontal dan y sisi pendek / vertikal).

Untuk jarak antara konduktor paralel D = 6 meter maka diperoleh jumlah konduktor paralel sebagai berikut:

$$n_{AB} = n_x = \frac{53}{6} + 1 = 10 \text{ batang} \quad \text{dan} \quad n_{Ac} = n_{xy} = \frac{39}{6} + 1 = 8 \text{ batang}$$

$$n = \sqrt{n_{AB} \times n_{AC}} = \sqrt{10 \times 8} = 9 \text{ batang}$$

$$Lg = (10 \times 53 + 8 \times 39) \text{ meter} = 842 \text{ meter.}$$

Panjang total konduktor pembumian dihitung dengan

$$L = Lg + 1,15Lr = 842 + 262 = 1104 \text{ meter.}$$

Panjang total konduktor pembumian **L = 1104 meter.**

Faktor koreksi ketidakrataan kecepatan arus (Kii), Faktor koreksi ketidakrataan kerapatan arus (Ki) faktor geometri dari elektroda (Km), serta tegangan mesh (Emesh) masing masing dihitung dengan persamaan :

$$K_i = 0,65 + 0,172n. \quad \Leftrightarrow \quad E_{mesh} = \frac{K_m K_i \rho I_g}{L}$$

Untuk Data yang nilainya tetap yaitu ; d = 0,015 m; h = 0,8 m; ρ = 100 Ohm.m. I<sub>g</sub> = 10 kA.

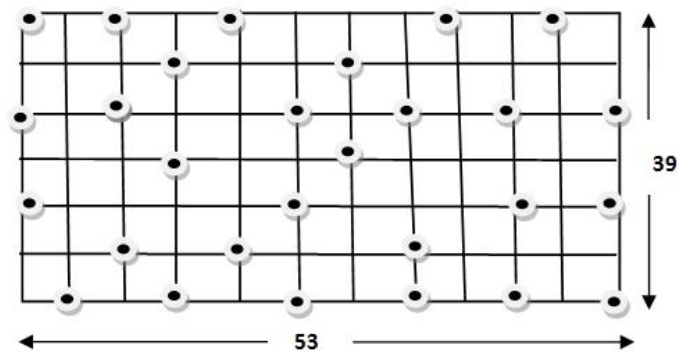
Dengan mengatur jarak antara konduktor paralel (D), maka diperoleh tegangan mesh (Emesh) seperti pada tabel berikut :

Tabel 1. Tegangan mesh untuk berbagai jarak D, E<sub>mesh</sub>=f(D) [11]

Sistem Grid				Sistem Grid-Rod			
D	N	L	Emesh	D	N	L	Emesh
5	11	895	1166	5	11	1157	868
4,5	12	987	964	4,5	12	1341	741
4	13	1132	820	4	13	1394	668
3,8	13	1224	767	3,8	14	1433	627
3,7	14	1224	720	3,7	14	1456	584
3,6	14	1316	641	3,6	14	1486	582
3,0	16	1422	522	3,0	17	1578	461
2,5	20	1790	319	2,5	20	12052	273
2,0	25	2211	129	2,0	25	2473	115
1,8	27	2488	65	1,8	27	2710	59,4

- a). Untuk system grid, Tegangan mesh yang memenuhi syarat 522 volt dengan panjang elektroda 1422 meter.
- b). System grid-rod, Tegangan mesh yang memenuhi syarat 584 volt dengan panjang elektroda 1456 meter.

Bila digambarkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 1 Konfigurasi sistem Grid-Rod Sistem grid tanpa

### 3.2. Sistem grid tak simetri .

Langkah-2 perhitungan bila menggunakan sistem grid tak simetri sebagai berikut [8], [10]:

- 1) Tegangan sentuh maksimum yang diizinkan untuk t =1 detik, berdasarkan IEEE standar 80 (tabel 2) adalah E<sub>i</sub> = 626 volt.
- 2) Menghitung Panjang total konduktor untuk sistem grid simetri dengan rumus:

$$L_{eq} = \frac{\eta \cdot \rho \cdot I_g}{E_i} = \frac{1,7 \times 100 \times 10.000}{626} = 2715 \text{ meter.}$$

3) Menghitung Tegangan sentuh maksimum sebenarnya (tegangan mesh), dengan rumus :

$$E_{meshs} = Km \cdot Ki \cdot p \frac{I_g}{L_{eq}} \dots \dots \dots *$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \cdot Ln \frac{D^2}{16hd} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot Ln \left( \frac{3}{4} x \frac{5}{6} x \frac{7}{8} x \frac{9}{10} x \dots \dots \dots x \frac{2(n-2+1)}{2(n-2)+2} \right) = Km = 0,3695. **$$

$$Ki = 0,65 + 0,72n = 3,402 \dots \dots \dots ***$$

$$E_{meshs} = \frac{0,369 \times 3,402 \times 100 \times 10000}{2715} = 463 \text{ volt}$$

4) Menghitung jumlah batang elektroda pembedaan keseluruhan (n) untuk sistem grid equally spaced, dengan rumus berikut [8], [10] :

diketahui  $\Leftrightarrow L_1 = 53 \text{ m}, L_2 = 39 \text{ m}$

$$n_1 = \frac{L_{eq} + L_1 - L_2}{2L_1} = \frac{1018 + 53 - 39}{2 \times 53} = 9,7 \Leftrightarrow n_1 = 10$$

$$n_2 = \frac{L_{eq} + L_2 - L_1}{2L_2} = \frac{1018 + 39 - 53}{2 \times 39} = 12,8 \Updownarrow n_2 = 13$$

$$n = n_1 + n_2 = 10 + 13 = 23$$

5). Menghitung persentase penghematan elektroda pembedaan untuk sistem grid un equally spaced dengan rumus [8], [10].

$$\alpha = 121,2e^{-0,4n} + 1,1 = 121,2e^{-0,4 \times 26} + 1,1 = 1,1$$

$$\beta = -92,6e^{-0,07n} + 66,337 = -92,6e^{-0,07 \times 26} + 66,337 = 47,9$$

$$\lambda = \frac{\alpha \cdot \frac{\beta}{100}}{1 + \alpha \frac{\beta}{100}} \times 100\% = \frac{1,1 \frac{47,9}{100}}{1 + 1,1 \frac{47,9}{100}} \times 100\% = 34,8\% = 35\% \cong 0.35$$

6). Menghitung jumlah batang konduktor untuk sistem grid unequally spaced dengan [8]:

$$n_1' = n_1(1 - \lambda) = 10(1 - 0.35) = 6,5 \cong 7$$

$$n_2' = n_2(1 - \lambda) = 13(1 - 0.35) = 8,5 \cong 9 \Leftrightarrow n' = n_1' + n_2' = 16$$

7. Menghitung jarak antara konduktor parallel tiap sisi dengan rumus:

$$S_i K_1 = b_1 e^{-b_2 i} + b_3 \dots \dots \dots (\%)^* \text{ dan } L_i K_1 = S_i K_1 \times L_{1 \dots} \text{ (meter)}^{**}$$

Jumlah segment konduktor :

$$K_1 = n_2' - 1 = 8 \text{ \& } K_2 = n_1' - 1 = 6, \text{ Maka :}$$

**Untuk sumbu horizontal L<sub>1</sub>=53 m**

K<sub>1</sub>= 8, dari tabel 1 untuk k= 8 diketahui:

b<sub>1</sub>= - 0,281 b<sub>2</sub>=0.339 b<sub>3</sub>=0.254, sehingga dari \*) diperoleh:

S<sub>1</sub>K<sub>1</sub>=0,05; S<sub>2</sub>K<sub>1</sub>=0,11; S<sub>3</sub>K<sub>1</sub>=0,15; S<sub>4</sub>K<sub>1</sub>=0,18

dan dari \*\*) diperoleh: L<sub>1</sub>K<sub>1</sub>=2,8 m, L<sub>2</sub>K<sub>1</sub>=6,1 m, L<sub>3</sub>K<sub>1</sub>=8,0 m, L<sub>4</sub>K<sub>1</sub>=9,6

**Untuk sumbu vertikal L<sub>2</sub>= 39 m**

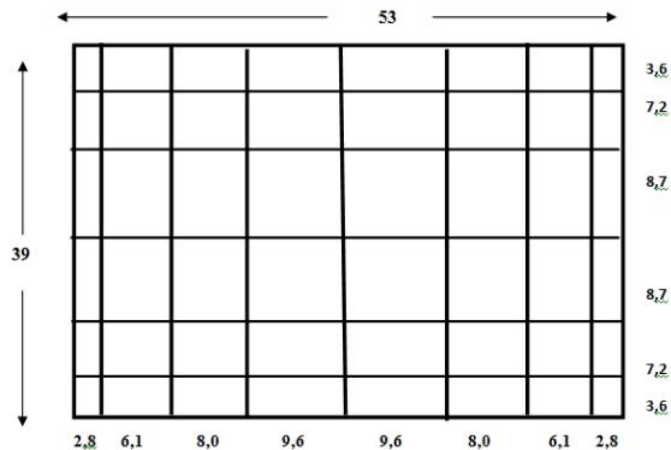
K<sub>2</sub>=n<sub>1</sub>'-1=6 dari tabel 1 untuk k= 6 diketahui:

b<sub>1</sub>= - 0,312 b<sub>2</sub>=0,369 b<sub>3</sub>=0,287, sehingga dari \*) diperoleh

S<sub>1</sub>K<sub>2</sub>=0,07; S<sub>2</sub>K<sub>2</sub>= 0,14; S<sub>3</sub>K<sub>2</sub>= 0,18 dan dari \*\*) diperoleh:

L<sub>1</sub>K<sub>2</sub>= 3,6 m; L<sub>2</sub>K<sub>2</sub>= 7,2 m,; L<sub>3</sub>K<sub>2</sub>=8,7 m;

Bila nilai tersebut digambarkan akan terlihat seperti pada gambar berikut:



**Gambar 3. Konfigurasi sistem Grid Tak Simetri**

Dari hasil perhitungan diperoleh:

1. Tegangan mesh sebesar 463 volt,.
2. Panjang total konduktor pembumian adalah 722 meter ( $9 \times 53\text{m} + 7 \times 39\text{m}$ )

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa dapat disimpulkan bahwa sistem pembumian gardu induk yang paling hemat menggunakan elektroda dapat diurutkan sebagai berikut:

- a. Untuk sistem grid tak simetri, tegangan mesh 463 volt dengan panjang elektroda 722 m.
- b. Untuk sistem grid (grid simetri), tegangan mesh 522 volt dengan panjang elektroda 1422 m
- c. Untuk sistem grid-Rod, tegangan mesh 461 volt dengan panjang elektroda 1578 m.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/IEEE std 80 (1986): An American national Standart”, IEEE Guide Safetyin AC Substation grounding.
- Baldev Thapar, Victor Gerez and prince Emmanuel (1993): Groud Resistance of the foot In Substation Yard, IEEE Transaction on Delivery, vol.8 No.1pp-1-6
- Baldev Thapar, Victor Gerez and Vijai Singh (1993): Effective Ground Resistance of the Human Feet In High Voltage Switchyards “, IEEE Transaction on Power Delivery vol. 8 No.1 pp.7-12.
- F.P Dawalibi, J. Ma, R.D Southey (1994) “,Behaviar of Grounding System in Multilayer soil: A parametric Anaysis”, IEEE Transaction on Power Delivery vol. 9 No.1 pp.334-342.
- IEEE Std. 142. (1982). “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial”, Power Siytem Technologies Committee of The IEEE Industry Application Society.
- J.M Nahman, V.B Djordjevic (1995), “Non uniformly Correction Factor for maximum mesh and step Voltageof Grounding Grid and combined Ground electrode”, IEEE Transaction on Power Delivery vol. 10 No.3 pp.1263-1269. 21
- J.M Nahman V.B Djordjevic (1996), “Resistance To Ground of Combined Grid-Multiple Rods Electrodesa”, Transaction on Power Delivery vol. 11 No.3 pp.1337-1342
- L.Huang, XChen, H. Yan. (1995). “Study of Unequally spaced Grounding Grids” Transaction on Power Delivery, Vol.10 no.2, April 1995,pp716-722
- PUIL 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Badan Standarisasi Nasional.
- Tadjuddin, (2015). ”Analisis penerapan Sistem grid Unequally Spaced pada pembumian gardu Induk .
- Tadjuddin, (2018), Analisis Pengaruh parameter Pembumian system Grid-Rod pada Strukur Dua Lapis terhadap Tegangan Mesh, Jurnal teknologi Terapan Politeknik Negeri Balikpapan edisi April 2018 .
- T.S Hutaauruk. (1991). Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Y.L Chow ,M.M. Elsherbiny, M.M.A Salama [1996] Resistance Formula of Grounding System in Two Layer Earyh”, IEEE Transaction on Power Delivery vol. 11 No.3 pp.1330-1336.