

PENGARUH PANJANG ELEKTRODA, RESISTIVITAS TANAH DAN FREKUENSI ARUS PETIR TERHADAP IMPEDANSI PENTANAHAN ELEKTRODA BATANG

The Effect of Electrode Length, Soil Resistivity And Frequency of Lightning Current on the Impedance of Grounding Rod

Ni Made Seniari^{[1]*}, Bagus Widhi Dharma S^[2]

^[1]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62, Mataram 83125, Lombok – Indonesia

^[2]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Qamarul Huda Badaruddin (UNIQHBA) Bagu,
Jl. H. Badaruddin Bagu-Pringgarata-Lombok Tengah-NTB

*Corresponding author : seniari_nimade@unram.ac.id

ABSTRAK

Dalam sistem proteksi petir eksternal, kemampuan elektroda pentanahan (grounding) dalam mengalirkan arus petir ke tanah adalah hal yang penting. Untuk dapat mengalirkan arus petir ke tanah dengan cepat di perlukan impedansi pentanahan yang kecil. Impedansi pentanahan di pengaruhi oleh faktor eksternal dan faktor internal. Untuk itu dilakukan simulasi, sejauh mana panjang elektroda, resistivitas tanah dan frekuensi arus petir berpengaruh terhadap nilai impedansi pentanahan. Kajian ini dapat digunakan sebagai perencanaan dalam pemilihan panjang elektroda. Perhitungan dilakukan secara matematis sesuai teori rangkaian listrik, dan diolah menggunakan software Octave online. Hasil menunjukkan bahwa penurunan impedansi pentanahan rata-rata setiap penambahan panjang 0,5m adalah 18,65 % dan 37,23 %, pada resistivitas tanah 50 dan 100 Ω/m . Semakin tinggi resistivitas tanah, impedansi pentanahan semakin besar. Frekuensi arus petir tidak terpengaruh pada impedansi pentanahan. Semakin panjang elektroda, impedansi pentanahan semakin kecil.

Kata kunci: Panjang elektroda, frekuensi arus petir, impedansi pentanahan

ABSTRACT

In an external lightning protection system, the ability of the grounding electrode to transmit the lightning current to the ground is important. To be able to flow lightning current to the ground quickly, a small grounding impedance is required. The ground impedance is influenced by external factors and internal factors. For that reason, a simulation is performed, to what extent the length of the electrode, soil resistivity and frequency of lightning currents affect the impedance value of the ground. This study can be used as a planning in electrode length selection. Calculations are carried out mathematically according to the theory of electrical circuits, and processed using software Octave online. The results show that the decrease in the average earthing impedance for each additional 0.5m length is 18.65% and 37.23%, at ground resistivities of 50 and 100 Ω / m . The higher the soil resistivity, the greater the grounding impedance. The frequency of the lightning current is not affected by the impedance of the ground. The longer the electrode, the smaller the grounding impedance.

Key words: Electrode length, frequency of lightning current, impedance of grounding

PENDAHULUAN

Perlindungan dari bahaya sambaran petir pada Gardu Induk (GI) PT. PLN, bangunan pabrik, tower-tower Base Transmitter System (BTS), gedung beserta peralatan elektronik dan jaringan komunikasi yang berkaitan dengan bangunan tersebut, di lindungi dengan memasang sistem proteksi petir (SPP)

eksternal dan internal. Sistem proteksi petir (SPP) eksternal terdiri dari finial, down conductor dan elektroda pentanahan (grounding). Kinerja SPP eksternal di katakan berfungsi dengan efektif apabila grounding mampu mengalirkan arus petir dengan cepat ke tanah/bumi. Arus petir akan cepat mengalir dalam tanah apabila impedansi pengetanahan sekecil mungkin . Untuk mendapatkan

impedansi pentanahan (Z) yang kecil, perlu di pahami faktor-faktor yang berpengaruh pada impedansi pentanahan.

Impedansi pentanahan dipengaruhi oleh faktor eksternal dan faktor internal. Faktor eksternal meliputi parameter petir yaitu arus puncak petir dan frekuensi arus petir. Faktor internal meliputi kondisi tanah yaitu resistivitas relatif tanah, bahan, panjang dan diameter elektroda[1].

Dari beberapa parameter tersebut perlu diketahui sejauh mana penambahan panjang elektroda dan dipadukan dengan parameter eksternal yang lain, dapat menurunkan nilai impedansi pentanahan (Z).

Mengacu pada penelitian-penelitian terkait sebelumnya antara lain, analisa pentanahan Gardu Induk Teling dengan menggunakan metode konstruksi *grid* telah dilakukan, dan nilai resistansi pentanahan 0,47 Ohm. Dalam penelitian ini belum dilakukan analisa pentanahan akibat sambaran petir, yang melibatkan arus dan frekuensi arus petir yang tinggi. Sehingga dalam perhitungan belum melibatkan nilai kapasitansi dan induktansi pentanahan[2].

Penelitian selanjutnya yaitu mensinergikan antara sistem penangkal petir, pentanahan peralatan, dan pentanahan sistem tenaga listrik. Ketiga sistem pentanahan tersebut diletakkan dalam satu *bar plat* pada sebuah bak control. Kemudian *bar plat* dihubungkan dengan *copper rod*, di tanam pada kedalaman 1 m, pada tanah liat. Dengan menggunakan rumus Dwight, nilai pentanahan didapat 0,72 Ω . Penelitian ini belum melakukan simulasi faktor internal dan eksternal impedansi pentanahan seperti parameter petir dan tahanan jenis tanah selain tanah liat [3].

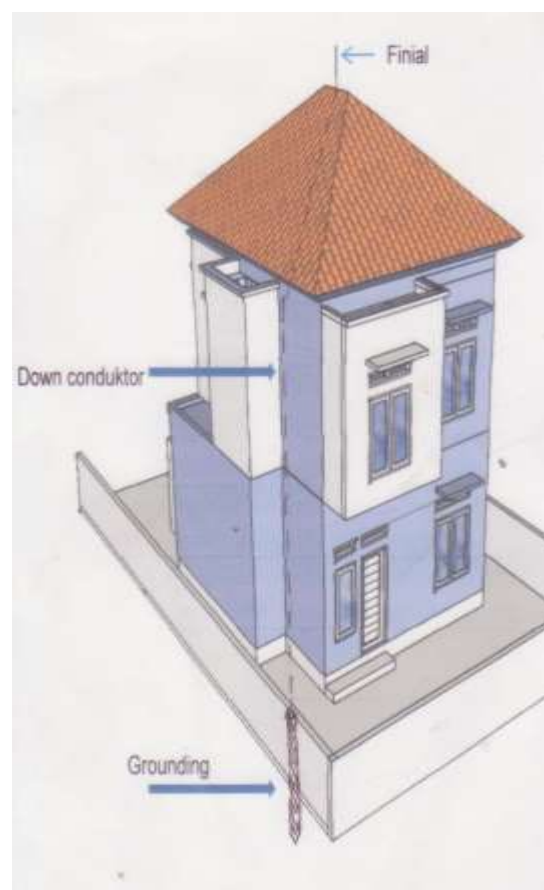
Pada penelitian ini melakukan simulasi faktor eksternal dan internal yang berpengaruh pada nilai impedansi pentanahan. Simulasi tersebut meliputi penambahan panjang elektroda 0,5 m dari panjang elektroda sebelumnya (2 m), tahanan jenis tanah 50 dan 100 Ω/m , arus puncak petir 50, 100 kA, serta frekuensi arus petir 10, 50, 100 dan 200 kHz.

Impedansi pentanahan mengacu pada keseluruhan dari sifat tahanan terhadap arus yang mencakup resistansi, reaktansi pada sifat induktor dan sifat kapastor dari elektroda (*grounding*) dengan tanah. Ketiga jenis tahanan ini diekspresikan dalam satuan ohm (Ω).

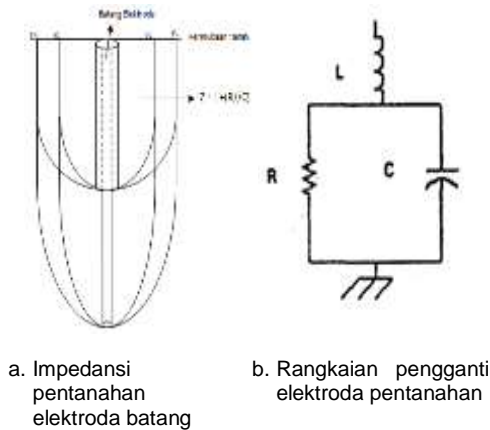
METODOLOGI

Untuk mengetahui besarnya impedansi pentanahan (Z) dilakukan simulasi panjang elektroda pentanahan (*grounding*), tahanan jenis tanah, arus puncak petir dan frekuensi arus petir (f). Frekuensi arus petir juga disimulasikan, karena komponen impedansi pentanahan adalah resistansi pentanahan, impedansi induktor dan impedansi kapasitor, yang besarnya dipengaruhi oleh frekuensi arus petir.

Dengan menggunakan data panjang *grounding* berbahan tembaga yang ada di pasaran dan konduktivitas tembaga (σ) = $5,80 \times 10^7$ Ω/m [4]. Arus puncak dan frekuensi arus petir di ambil dari *BS EN/IEC 62305* yaitu arus puncak minimum I_{p_min} dan I_{p_mak} masing-masing 10 dan 50 kA. Frekuensi arus petir 10, 50, 100 dan 200 kHz[5]. Resistivitas tanah (ρ) pada jenis tanah ladang yang homogen berkisar antara 20-100 Ω/m [6].



Gambar 1. Gedung yang di lengkapi dengan SPP eksternal



a. Impedansi pentanahan elektroda batang
 b. Rangkaian pengganti elektroda pentanahan

Gambar 2. Rangkaian pengganti elektroda pentanahan [7].

Rangkaian ekuivalen elektroda batang tunggal dibuat dengan elemen rangkaian terkonsentrasi seperti Gambar 2. Model tersebut didasarkan kenyataan bahwa impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni tetapi juga berperilaku sebagai induktansi (L) dan kapasitansi (C). Tahanan murni (R) lebih banyak disebabkan karena adanya sifat resistivitas tanah dimana sistem pentanahan tersebut ditanam. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor dan sifat permeabilitas tanah. Seperti halnya sifat induktansi yang lain, maka semakin panjang konduktor yang ditanam maka semakin besar induktansi sistem pentanahannya.

Komponen kapasitor dari sistem pentanahan dapat dijelaskan dari konduktor yang diinjeksi arus, berarti konduktor tersebut bertegangan. Beda tegangan antara konduktor dengan referensi titik nol menyebabkan sifat kapasitansi dari sistem tersebut dengan media tanah yang mempunyai permitivitas ε. Dengan demikian, impedansi dapat dibuat rangkaian ekuivalennya seperti Gambar 2b.

Elektroda batang tunggal panjang l dan radius r ditanam tegak lurus pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah homogen (ρ). Maka elektroda bersama tanah mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \frac{4l}{r} - 1 \right]$$

$$L = 2l \ln \left[\frac{2l}{r} \right] 10^{-7}$$

$$C = \frac{\epsilon_r l}{18 \ln \frac{4l}{r}} 10^{-9}$$

- R : tahanan pentanahan (Ω)
- ρ: resistivitas tanah+resistivitas tembaga (Ω - m)
- l : panjang elektroda pentanahan (m)
- r : jarak pengamatan dari *grounding*(m)
- ε_r: permitivitas relatif tanah

Dari Gambar 2a, bila resistivitas tanah : ρ₁ = 50 Ω/m,

$$\text{resistivitas tembaga } \rho_2 = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{5,80 \times 10^7}$$

$$\text{Maka } \rho_2 = 0,172 \times 10^{-7} \Omega/m$$

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 = 50 + 0,172 \times 10^{-7}$$

$$= 50,0000172 \Omega/m$$

Dari rangkaian pengganti elektroda pada Gambar 2b, impedansi pentanahan (Z) dihitung sebagai berikut [8].

$$Z = j\omega L + \frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai impedansi (Z) pada jarak 0,5 m dari *grounding* di tampilkan Tabel 1 dan 2. Simulasi meliputi panjang elektroda, frekuensi arus petir serta resistivitas tanah yaitu 50 dan 100 Ω/m.

Tabel 1. Impedansi pentanahan (Z) pada jarak 0,5 m dari *grounding*, resistivitas tanah 50 Ω/m

Panjang elektroda (m)	R(Ω)	f=10kHz		Z(Ω)
		L(H) (x10 ⁻⁵)	C(F) (x10 ⁻⁹)	
2,0	7,0529	0,0832	0,1122	7,0529
2,5	6,3526	0,1151	0,1298	6,3526
3,0	5,7775	0,1491	0,1468	5,7775
3,5	5,3026	0,1847	0,1634	5,3026
4,0	4,9054	0,2218	0,1795	4,9054
4,5	4,5687	0,2601	0,1953	4,5687
5,0	4,2795	0,2996	0,2108	4,2795
f=50kHz				
2,0	7,0529	0,0832	0,1122	7,0529
2,5	6,3526	0,1151	0,1298	6,3526
3,0	5,7775	0,1491	0,1468	5,7775
3,5	5,3026	0,1847	0,1634	5,3026
4,0	4,9054	0,2218	0,1795	4,9054
4,5	4,5687	0,2601	0,1953	4,5687
5,0	4,2795	0,2996	0,2108	4,2795
f=100kHz				
2,0	7,0529	0,0832	0,1122	7,0529
2,5	6,3526	0,1151	0,1298	6,3526
3,0	5,7775	0,1491	0,1468	5,7775
3,5	5,3026	0,1847	0,1634	5,3026
4,0	4,9054	0,2218	0,1795	4,9054
4,5	4,5687	0,2601	0,1953	4,5687
5,0	4,2795	0,2996	0,2108	4,2795

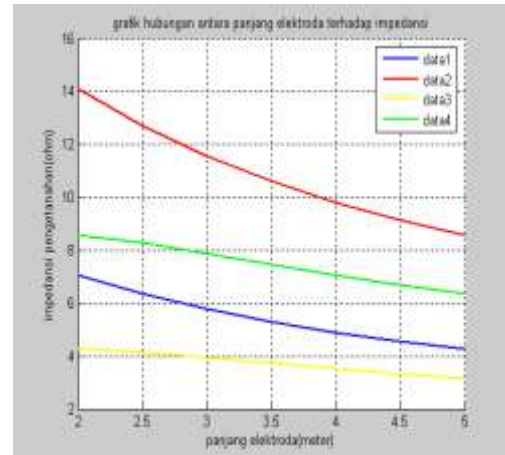
Tabel 2. Impedansi pentanahan (Z) pada jarak 0,5m dari grounding, resistivitas tanah 100 Ω/m

Panjang elektroda (m)	$R(\Omega)$	$f=10kHz$		$Z(\Omega)$
		$L(H)$ ($\times 10^{-5}$)	$C(F)$ ($\times 10^{-9}$)	
2,0	14,1058	0,0832	0,1122	14,1058
2,5	12,7052	0,1151	0,1298	12,7052
3,0	11,5549	0,1491	0,1468	11,5549
3,5	10,6052	0,1847	0,1634	10,6052
4,0	9,8109	0,2218	0,1795	9,8109
4,5	9,1373	0,2601	0,1953	9,1373
5,0	8,5590	0,2996	0,2108	8,5590
		$f=50kHz$		
2,0	14,1058	0,0832	0,1122	14,1058
2,5	12,7052	0,1151	0,1298	12,7052
3,0	11,5549	0,1491	0,1468	11,5549
3,5	10,6052	0,1847	0,1634	10,6052
4,0	9,8109	0,2218	0,1795	9,8109
4,5	9,1373	0,2601	0,1953	9,1373
5,0	8,5590	0,2996	0,2108	8,5590
		$f=100kHz$		
2,0	14,1058	0,0832	0,1122	14,1058
2,5	12,7052	0,1151	0,1298	12,7052
3,0	11,5549	0,1491	0,1468	11,5549
3,5	10,6052	0,1847	0,1634	10,6052
4,0	9,8109	0,2218	0,1795	9,8109
4,5	9,1373	0,2601	0,1953	9,1373
5,0	8,5590	0,2996	0,2108	8,5590

Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa semakin panjang elektroda, nilai induktansi dan kapasitansi semakin meningkat, tetapi nilai impedansi pentanahan semakin kecil. Semakin tinggi resistivitas tanah, nilai impedansi pentanahan semakin besar. Dan impedansi pentanahan tidak terpengaruh.

Penurunan nilai rata-rata impedansi pentanahan pada setiap penambahan panjang 0,5 m dari ukuran panjang sebelumnya yaitu 2 m, adalah 18,65 % pada resistivitas tanah 50 Ω/m , dan 37,23 % untuk resistivitas tanah 100 Ω/m .

Gambar 3 berikut menampilkan variasi panjang elektroda, permitivitas tanah dan jarak pengamatan dari grounding (r), terhadap impedansi pentanahan. Gambar 3 menunjukkan bahwa impedansi pentanahan sangat di pengaruhi oleh nilai resistivitas tanah. Pada panjang elektroda yang sama, diamati pada jarak yang sama dari *grounding*, dengan nilai resistivitas tanah yang lebih kecil didapatkan nilai impedansi pentanahan yang lebih kecil.



Gambar 3. Hubungan Panjang Elektroda terhadap Impedansi Pentanahan dan jarak pengamatan 0,5 dan 1,0 m dari grounding

Keterangan :

- Data 1 : $r = 0,5 m$, $\rho = 50 \Omega/m$
- Data 2 : $r = 0,5 m$, $\rho = 100 \Omega/m$
- Data 3 : $r = 1,0 m$, $\rho = 50 \Omega/m$
- Data 4 : $r = 1,0 m$, $\rho = 100 \Omega/m$

KESIMPULAN

Semakin panjang elektroda, maka impedansi pentanahan semakin kecil. Semakin besar resistivitas tanah, impedansi pentanahan semakin besar. Sedangkan nilai impedansi pentanahan tidak tergantung pada frekuensi arus petir. San penurunan nilai impedansi pentanahan setiap elektroda bertambah panjang 0,5 m dari ukuran sebelumnya adalah, 18,65 % pada resistivitas tanah 50 Ω/m , dan 37,23 % untuk resistivitas tanah 100 Ω/m .

REFERENSI

- [1]. Sugiharto, "Pentanahan untuk Perlindungan Peralatan dan Bangunan Gedung", Majalah Ilmiah, Swara Patra, Volume 9 No.2 tahun 2019.
- [2]. Pranoto, H. Tumaliang, Glanny M. ZCH, Mangindaan, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi)", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Volume 7, No.3, Juli-Oktober 2018, ISSN, 2301-8402.
- [3]. Jamaaluddin, Sumarno, "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan", Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA, Vol. 1, No. 1, 2017.
- [4]. Jr.WH. Hayt, J.A.Buck, "Elektromagnetika", Edisi Ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2006.
- [5]. Eritech, "Lightning Protection Handbook Designing To The IEC 62305 Series Of

- Lightning Protection Standards”, ERICO International Corporation, www.erico.com Furse, Standart BS EN/IEC 62305 *Lightning Protection*, Nottingham, www.furse.com, 2009.
- [6]. Badan Standarisasi Nasional (BSN), “Persyaratan Umum Instalasi Listrik “ (PUIL 2000), LIPI Jakarta, 2000.
- [7]. I.F. Gonos, F.V Topolos, L.A. Statopolus, “Transients Impedans of Grounding Rods”, IEEE Hight Voltage Engginering Symposium, Conference Publiction No. 467, 1999.
- [8]. Jr.WH. Hayt, J.E.Kemmerly, S.M.Durbin, “Rangkaian Listrik” Jilid 1, Edisi ketujuh, penerbit Erlangga, Jakarta, 2009.