

ANALISIS PERBANDINGAN NILAI IMPEDANSI PENTANAHAN BERDASARKAN PANJANG ELEKTRODA GROUNDING DENGAN THREE POINT METHOD

Comparative Analysis of Grounding Impedance Value Based on Length of Electrodes Using Three Point Method

Ni Made Seniari¹, Fildzah Azzyati², Ida Bagus Feri Citarsa³¹

¹ Jurusan Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Email : seniari_nimade@unram.ac.id¹; fildaazzyati@gmail.com²; fericitarsa@unram.ac.id³

ABSTRAK

Sistem penangkal petir eksternal terdiri dari finial, down conductor, dan elektroda pengetanahan (grounding). Panjang pendeknya grounding menentukan besarnya kerapatan muatan petir pada batang elektroda. Kerapatan muatan petir tersebut selanjutnya mengalir ke dalam tanah persatuan waktu menjadilah arus listrik. Arus yang mengalir pada suatu titik menuju titik lainnya akan terhambat oleh besarnya impedansi tanah (Z). Besarnya impedansi tanah, selain dipengaruhi oleh struktur kimia dan fisika tanah (sebagai faktor internal), juga dipengaruhi oleh besarnya arus dan frekuensi arus yang terinjeksi ke grounding. Selanjutnya dengan kondisi tanah konstan yaitu type tanah padas, pasir dan tanah sawah, di simulasikan panjang elektroda, besar arus petir dan frekuensi arus petir untuk mendapatkan nilai Resistansi tanah (R), dan impedansi tanah (Z). Dengan mensimulasikan panjang elektroda pengetanahan 25, 50, 75, 100 cm, dan karakteristik petir daerah tropis meliputi arus puncak petir 10-392 kA dan frekuensi petir arus puncak petir 25-200 kHz. Nilai resistansi (R) dilakukan pengukuran dengan three point method, impedansi induktansi (ZL) dan impedansi kapasitansi (ZC) dilakukan perhitungan, selanjutnya didapatkan nilai impedansi pengetanahan (Zt). Hasil penelitian menunjukkan bahwa impedansi pentanahan dipengaruhi oleh panjang grounding, jenis tanah, arus puncak petir dan frekuensi petir. Pada panjang grounding 100 cm dengan kondisi tanah bervariasi nilai Zt tanah padas 153,45 Ω , tanah pasir 156,078 Ω dan tanah sawah 134,16 Ω . Impedansi pengetanahan (Zt) pada frekuensi petir 25-200 kHz didapatkan impedansi pengetanahan (Zt) untuk jenis tanah padas 137-406 Ω , tanah pasir 140- 406 Ω dan tanah sawah 18-146 Ω .

Kata kunci : panjang elektroda grounding, jenis tanah, impedansi pentanahan.

ABSTRACT

The external lightning rod system consists of finial, down conductor, and grounding electrode. The length of the grounding determines the amount of lightning charge on the electrode rod. The density of the lightning charge then flows into the ground when there is an electric current. The current flowing at a point to another point will be hampered by the amount of ground impedance (Z). The amount of soil impedance, besides being influenced by chemical structure and soil physics (as an internal factor), is also influenced by the amount of current and frequency of the current injected into the grounding. Furthermore, with constant soil conditions, namely the type of soil, dry, sand and paddy field soil, the length of the electrode, the amount of lightning current and the frequency of lightning current are simulated to obtain the value of soil resistance (R), and ground impedance (Z). This is done by simulating the length of the bonding electrodes 25, 50, 75, 100 cm, and the characteristics of lightning in the tropics include lightning peak currents of 10-392 kA and lightning peak lightning frequencies of 25-200 kHz. The value of resistance (R) is measured by a three point method, the inductance impedance (ZL) and capacitance impedance (ZC) are calculated, to obtain the grounding impedance (Zt). The results show that grounding impedance is affected by grounding length, soil type, lightning peakcurrent, and lightning frequency. At 100 cm grounding length the value of Ztis 153.45, 156,078, and 134,16 Ω for dry, sand, and paddy field soil respectively. At the lightning frequency of 25-200 kHz the value of Ztis 137-406, 140-406, and 18-146 Ω for dry, sand, and paddy field soil respectively.

Keywords: electrode length; soil type; grounding impedance.

PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang pengembangan pembangunan wilayah sampai di pinggir kota seperti pantai dan perbukitan. Banyak bangunan tinggi, dan tower telekomunikasi dikembangkan di daerah tersebut, dimana memiliki resiko lebih besar mengalami kerusakan akibat terkena sambaran petir. Kerusakan yang ditimbulkan dapat membahayakan manusia, beserta peralatan yang ada di dalam gedung tersebut.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 037015-2004 :“Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung”, menyatakan tentang persyaratan dari perlindungan gedung dari sambaran petir, yaitu Sistem Proteksi Petir (SPP) eksternal dan internal.

SPP eksternal terdiri dari finial, down conductor dan elektroda pentanahan (grounding). Untuk dapat mengalirkan, arus petir ke permukaan bumi, maka di butuhkan sistem pentanahan. Permasalahan yang penting dalam suatu pentanahan baik, untuk penangkal petir, atau pentanahan netral sistem tenaga adalah seberapa besar impedansi sistem pentanahan. Untuk mengetahui nilai impedansi pentanahan, maka dibutuhkan adanya pengukuran pada nilai resistansi tanah, sedangkan untuk nilai induktansi dan kapasitansi dapat dihitung menggunakan persamaan yang terdapat di dasar teori. Pengukuran dapat dilakukan, dengan cara menanamkan elektroda batang pada kedalaman dan tanah yang berbeda.

Para peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan pentanahan antara lain sebagai berikut.

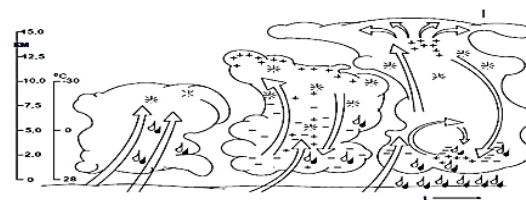
Purwanti (2013), menyimpulkan bahwa semakin dalam penanaman elektrode pentanahan baik secara horisontal maupun vertikal mempunyai nilai resistansi tanah yang rendah.

Mukmin (2014), menyatakan bahwa semakin dalam penanaman elektrode batang maka hasil resistansi tanah yang didapatkan akan semakin kecil atau semakin baik.

Lei, dkk (2014), menyatakan bahwa dalam pengukuran resistensi grounding, metode linear kabel 3-tiang ini berlaku untuk pengukuran resistensi grounding untuk bangunan (struktur) dalam air, yang memecahkan masalah tentang bagaimana mengukur resistansi grounding bangunan (struktur) dalam air.

Sistem Proteksi Petir (SPP).

Sambaran petir adalah pelepasan muatan listrik tunggal pada kilat petir ke bumi. Sambaran akan diawali oleh kanal muatan negatif, menuju daerah yang terinduksi positif, dan sambaran yang terjadi umumnya adalah sambaran muatan negatif, dari awan ke tanah. Posisi Indonesia yang terletak pada koordinat 6° LU - 11° LS 141° BT, telah menempatkan wilayah Indonesia pada daerah dengan iklim tropis. Pada daerah tropis, petir memiliki karakteristik sendiri dimana untuk 10-392 kA, dengan frekuensi 25-200 kHz (Zorro R, 1999).



Gambar 1. Proses Pembentukan Awan Bermuatan (Gassing, 2012)

Sambaran petir yang mengenai sistem proteksi listrik dapat membuat tanah di sekitar lokasi menjadi konduktif. Oleh karena itu, sebuah sistem instalasi proteksi petir haruslah memiliki tingkat keamanan yang tinggi, sehingga tidak memberikan kerusakan terhadap bangunan, peralatan, serta makhluk hidup di lingkungan sekitar sambaran petir.

Sistem Proteksi Petir (SPP) memiliki dua konstruksi yaitu internal dan proteksi. Untuk melindungi bangunan dan makhluk hidup dari sambaran petir langsung, maka sistem proteksi eksternal yang akan di butuhkan. Pada eksternal proteksi terdapat tiga macam sistem yaitu terminasi udara, konduktor penyalur, dan pentanahan (grounding). Untuk dapat mengalirkan arus petir ke permukaan bumi, maka di butuhkan sistem pentanahan.

Sistem Pentanahan.

Sistem pentanahan biasanya terdapat komponen elektrode pentanahan untuk mencapai lapisan tanah yang besar tahanannya sekecil mungkin (SNI 04-0225-2000). Menurut IEEE Std 142™-2007, tujuan sistem pentanahan adalah:

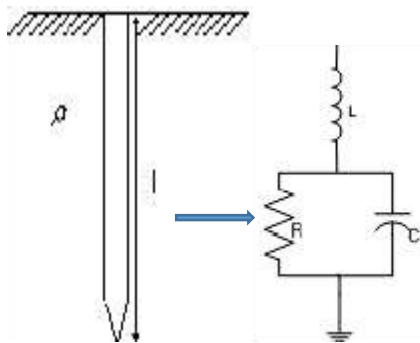
- Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
- Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya

hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor system dan bumi.

Rangkaian Ekuivalen.

Rangkaian ekuivalen satu elektrode batang dibuat dengan elemen rangkaian terkonsentrasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Model tersebut didasarkan kenyataan bahwa impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni tetapi juga berperilaku sebagai induktansi (L) dan kapasitansi (C).



Gambar 2. Rangkaian ekivalen dari sistem pentanahan batang elektroda (Supardi, 2004)

Untuk satu batang elektrode pentanahan yang mempunyai panjang l dan radius r pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah ρ homogen, maka elektrode bersama tanah akan mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah:

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

$$L = 2.1 \cdot \ln \left[\frac{2l}{r} \right] \cdot 10^{-7} \dots\dots\dots (2)$$

$$C = \frac{l \cdot \epsilon_r}{18 \cdot \ln \frac{2l}{r}} \cdot 10^{-9} \dots\dots\dots (3)$$

Berdasarkan model sistem pentanahan yang dipakai dapat dihitung besarnya impedansi pentanahan tersebut.

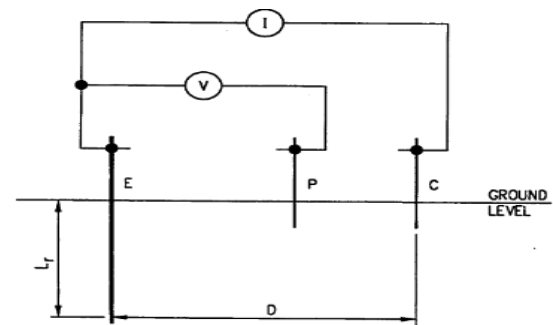
$$Z_L = j\omega L \dots\dots\dots (4)$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \dots\dots\dots (5)$$

$$Z_t = Z_L + \frac{R \cdot Z_C}{R + Z_C} \dots\dots\dots (6)$$

Metode Tiga Titik (Three-Point-Method).

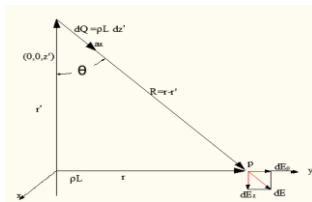
Metode yang digunakan untuk mengukur pentanahan. Pengukuran tersebut menggunakan elektroda batang yang akan diukur (ground), dan tambahan 2 batang elektroda sebagai elektroda bantu (potensial dan current) untuk pengukuran. Pada 3 titik tersebut terdapat titik elektroda pentanahan, titik arus balik, dan titik potensial. Dua elektroda bantu (potensial dan current) ditanam ke dalam bumi segaris dan sejajar dengan elektroda (ground). Untuk mendapatkan nilai R menggunakan alat Digital Earth Resistance Tester 4105A dengan menginjeksikan arus DC konstan sebesar arus (I) di antara elektroda ground dan elektroda current yang menimbulkan beda potensial sebesar tegangan (V) di antara elektroda ground dan elektroda potensial seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Resistansi Pentanahan (IEEE Std 80,2000)

Intensitas Medan Listrik.

Jika kita pegang ρ dan φ tetap ketika kita bergerak turun naik sepanjang garis muatan dengan mengubah z, muatan garis tersebut tetap kelihatan memanjang ke jarak tak berhingga ke kedua arah. Hal tersebut menunjukkan sumbu simetri dan adanya medan yang bukan merupakan fungsi dari z, dan menghasilkan pertambahan unsur kontribusi pada intensitas medan listrik (E), yang arahnya menjauhi unsur muatan tersebut. Tidak ada unsur yang menimbulkan komponen dari intensitas medan listrik ke arah φ, sehingga Eφ = nol. Untuk unsur Ep dan Ez, tidak berharga nol. Bila unsur Ez dari unsur muatan yang berjarak sama diatas dan dibawah titik tempat kita menentukan medan, maka unsur Ez akan saling meniadakan sehingga yang ada hanya komponen Ep atau Er saja, dan besaran besaran ini berubah terhadap ρ atau r (Hayt, 2006).



Gambar 4 Geometri medan di sekitar muatan garis (Hayt, 2006)

$$dE = \frac{\rho_L dz' (r-r')}{4\pi \epsilon_0 |r-r'|^3} \dots\dots\dots (7)$$

dengan,

$$r = y a_y = \rho a_\rho$$

$$r' = z' a_z$$

$$r - r' = \rho a_\rho - z' a_z$$

menghasilkan,

$$E_\rho = \int \frac{\rho_L dz'}{4\pi \epsilon_0 (\rho^2 - z'^2)^{3/2}} \dots\dots\dots (8)$$

Potensial Listrik (V) dan Beda Potensial diantara Dua Titik (ΔV).

Medan potensial suatu muatan titik adalah linier terhadap muatan, sehingga prinsip superposisi dapat dipakai. Akibatnya potensial sistem muatan pada suatu titik tidak bergantung pada lintasan yang diambil untuk membawa muatan uji ke titik tersebut. Jadi medan potensial sebuah muatan titik bermuatan Qn pada titik rn hanya berhubungan dengan jarak |r - rn| dari Qn ke titik di r tempat potensial tersebut dicari. Untuk acuan titik nolak berhingga, didapatkan, (Hayt Jr., 2006).

$$V(r) = \frac{Q_n}{4\pi \epsilon_0 |r - r_n|} \dots\dots\dots (9)$$

Potensial titik A terhadap titik B didefinisikan sebagai usaha yang dilakukan dalam memindahkan suatu muatan positif Q, dari B ke A.

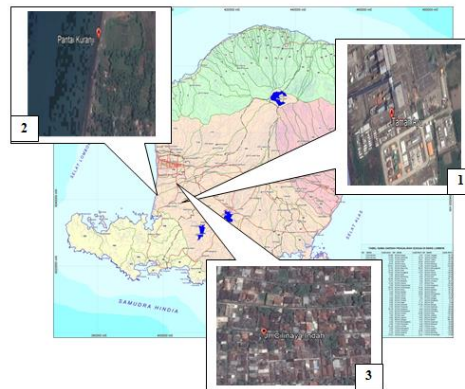
$$V_{AB} = - \int_B^A E \cdot dl \dots\dots\dots (10)$$

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini melakukan perhitungan nilai Z_L, Z_c, Z_t dan pengukuran resistansi tanah. Metode yang digunakan untuk pengukuran ini adalah metode tiga titik (*Three-Point-Method*). Pengukuran dilakukan di tanah padas, tanah pasir, dan tanah sawah, dimana untuk

masing-masing tanah memiliki lokasi yang berbeda, sebagai berikut:

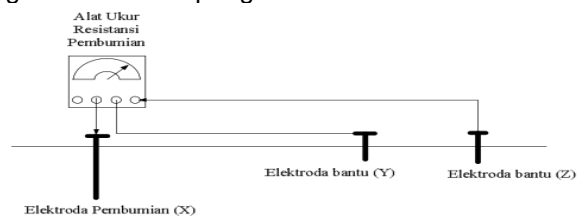
1. Tanah padas berlokasi di Desa Taman Ayu, Kecamatan Gerung, Lombok Barat.
2. Tanah pasir berlokasi di Pantai Kuranji, Desa Kuranji, Kecamatan Labuapi, Lombok Barat.
3. Tanah sawah berlokasi di Jl. Cilinaya Indah, Kekalik Jaya, Mataram.



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian

Rangkaian Pengukuran.

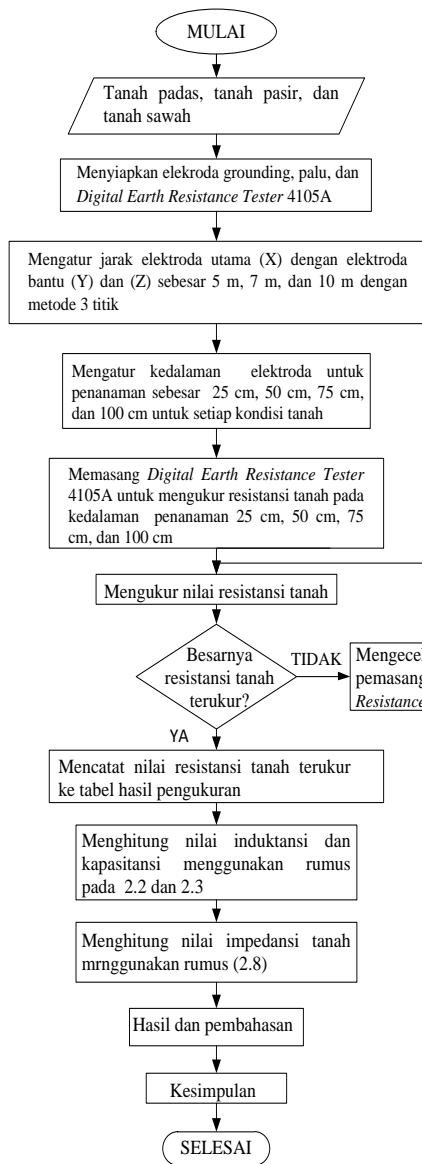
Pengukuran menggunakan metode tiga titik dengan menginjeksikan arus DC konstan sebesar arus (I) di antara elektroda uji (X) dan elektroda arus (Z) yang menimbulkan beda potensial sebesar tegangan (V) di antara elektroda uji (X) dan elektroda tegangan (Y). Untuk jarak antara elektroda utama (X) dengan elektroda bantu (Y) dan antara elektroda bantu (Y) dengan (Z), diatur sebesar 5 m, 7 m, dan 10 m dengan posisi sejajar. Penambahan jarak pada masing-masing elektroda dilakukan, untuk mendapat nilai pentanahan yang semakin kecil. Berikut adalah model rangkaian pengukuran yang digunakan dalam pengambilan data.



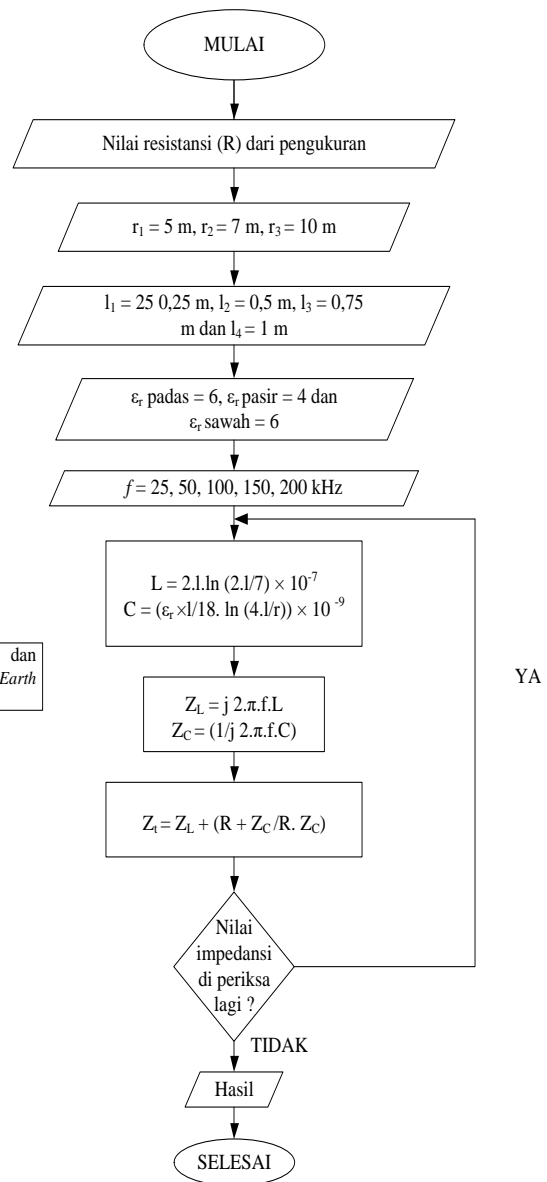
Gambar 6. Model rangkaian pengukuran

Diagram Alir Penelitian.

Tahapan demi tahapan yang dilakukan penulis pada saat melakukan penelitian tugas akhir ini. Agar penelitian dilakukan secara baik maka di buat diagram alir.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram Alir Perhitungan Nilai Impedansi Pentanahan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Nilai Resistansi Tanah.

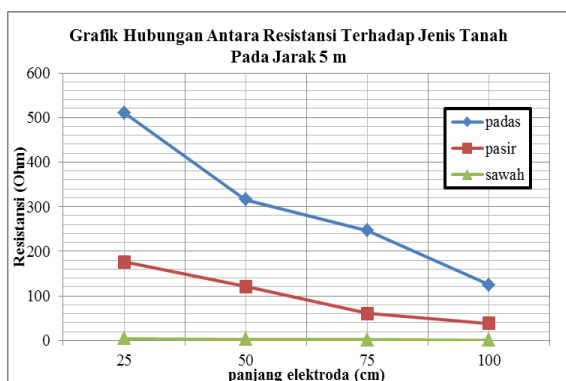
Pengukuran yang dilakukan di lapangan pada masing-masing tanah dengan variasi panjang elektroda grounding dan jarak elektroda batang pada tanah padas, pasir dan sawah, di peroleh nilai resistansi tanah yang berbeda. Untuk mengetahui nilai resistansi yang diukur saat pengukuran lapangan valid, maka dilakukan validasi nilai resistansi tanah.

Pada Gambar 8 saat panjang elektroda 100 cm nilai resistansi (R) untuk tanah padas yaitu 124,9 Ω, tanah pasir yaitu 38,48 Ω dan tanah sawah yaitu 0,942 Ω. Pada ketiga jenis tanah tersebut, semakin panjang elektroda (l)

nilai R semakin kecil. Hal ini disebabkan karena Semakin panjang elektroda (l) yang di tanam kedalam tanah, maka penyebaran kerapatan muatan (ρ_l) dalam elektroda semakin kecil. Dengan demikian, penyebaran medan listrik (E) pada titik elektroda tanah akan semakin kecil. Hal ini di sebabkan (E) berbanding lurus dengan ρ_l . (E) semakin kecil, maka beda potensial (V) di tanah semakin kecil, hal ini disebabkan karena E berbanding lurus dengan V. Nilai V pada elektroda tersebut akan mempengaruhi nilai resistansi (R) tanah, sehingga nilai resistansi (R) semakin kecil. Hal ini disebabkan karena R berbanding lurus dengan V.

Tabel 1. Hasil pengukuran resistansi tanah dan perhitungan resistivitas tanah

r (m)	l (m)	Tanah Padas		Tanah Pasir		Tanah Sawah	
		Resistansi (Ω)	Resistivitas (Ω-m)	Resistansi (Ω)	Resistivitas (Ω-m)	Resistansi (Ω)	Resistivitas (Ω-m)
		Pengukuran	Validasi Batas Rentang (4-8000)	Pengukuran	Validasi Batas Rentang (≤200)	Pengukuran	Validasi Batas Rentang (0-150)
5	0.25	510.6	307.365	176.02	105.958	4.412	2.656
	0.5	315.76	517.661	120.6	197.713	2.232	3.659
	0.75	246.62	769.228	60.58	188.954	1.462	4.560
	1	124.9	641.601	38.48	197.669	0.942	4.839
7	0.25	199.2	106.216	148.9	79.395	2.812	1.499
	0.5	164.52	229.432	74.64	104.089	1.44	2.008
	0.75	119.6	305.095	43.56	111.120	0.614	1.566
	1	78	314.237	23.18	93.385	0.342	1.378
10	0.25	107.1	50.940	72.3	34.388	0.432	0.205
	0.5	63.42	76.354	27.4	32.988	0.232	0.279
	0.75	34.02	72.739	13.96	29.848	0.156	0.334
	1	19.8	64.921	4.5	14.755	0.142	0.466



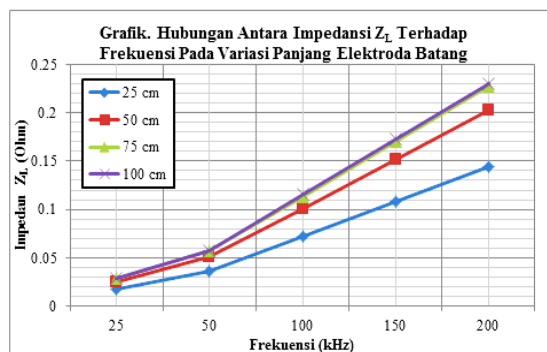
Gambar 8. Grafik perbandingan nilai resistansi di tanah padas, pasir, dan sawah pada jarak elektroda 5 m.

Nilai Impedansi Induktansi (Z_L).

Saat arus petir (I_p) yang berfrekuensi tinggi injeksi elektroda di tanah, maka pada sistem pentanahan akan terdapat nilai impedansi Z_L . Nilai Z_L di pengaruhi oleh frekuensi petir (f) dan induktansi (L). Hal disebabkan, Z_L berbanding lurus dengan frekuensi (f) dan induktansi (L).

Tabel 2. Perbandingan impedansi Z_L pada jarak 5 meter

Frekuensi (kHz)	Nilai Impedansi Z _L			
	Variasi Panjang Elektroda Pada Jarak 5 meter			
	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm
25	j18.084	j25.280	j28.367	j28.786
50	j36.168	j50.561	j56.735	j57.572
100	j72.337	j101.123	j113.471	j115.144
150	j108.506	j151.685	j170.207	j172.716
200	j144.675	j202.247	j226.943	j230.288



Gambar 9. Perbandingan impedansi Z_L pada frekuensi 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz, dan 200 kHz untuk jarak 5 m.

Gambar 9 nilai impedansi Z_L paling besar berada pada panjang elektroda 100 cm dengan frekuensi 200 kHz mencapai j230,28 Ω. Hal ini disebabkan karena, frekuensi petir mempengaruhi nilai impedansi Z_L di dalam tanah. Nilai impedansi Z_L berbanding lurus dengan frekuensi petir (f). Semakin besar frekuensi (f) petir, maka nilai Z_L akan semakin besar.

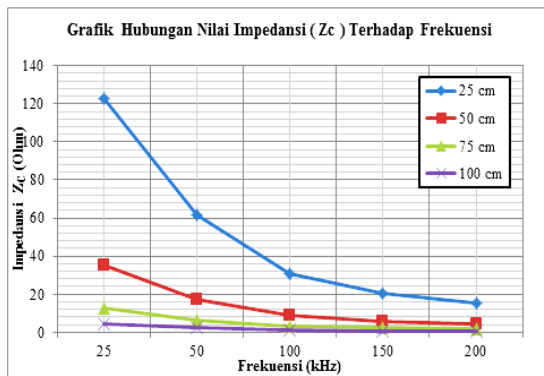
Nilai Impedansi Kapasitansi (Z_c).

Saat arus petir (I_p) yang berfrekuensi tinggi injeksi elektroda di tanah, maka pada sistem pentanahan akan terdapat nilai impedansi Z_c . Nilai Z_c di pengaruhi oleh frekuensi petir (f) dan kapasitansi (C). Hal disebabkan, Z_c berbanding terbalik dengan frekuensi (f) dan kapasitansi (C).

Gambar 10 nilai impedansi Z_c paling besar berada pada panjang elektroda 100 cm dengan frekuensi 200 kHz mencapai -j0.53 Ω. Hal ini disebabkan karena, frekuensi petir mempengaruhi nilai impedansi Z_c di dalam tanah. Nilai impedansi Z_c berbanding terbalik dengan frekuensi petir (f). Semakin besar frekuensi (f) petir, maka nilai Z_c akan semakin kecil.

Tabel 3. Perbandingan impedansi Z_c pada jarak 5 meter

Frekuensi (kHz)	Nilai Impedansi Z _c			
	Variasi Panjang Elektroda Pada Jarak 5 meter			
	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm
25	-j122.9	-j34.98	-j13	-j4.26
50	-j61.45	-j17.49	-j6.50	-j2.13
100	-j30.72	-j8.74	-j3.25	-j1.06
150	-j20.48	-j5.83	-j2.16	-j0.71
200	-j15.36	-j4.37	-j1.62	-j0.53



Gambar 10. Perbandingan impedansi Z_L pada frekuensi 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz, dan 200 kHz untuk jarak 5 m

Tabel 4. Perbandingan impedansi Z_C saat jarak elektroda 5 meter

Panjang Elektroda l (cm)	Variasi Tanah pada saat $f = 25$ kHz		
	Padas	Pasir	Sawah
	Nilai Impedansi Z_C (Ω)		
25	-j122.9	-j184.35	-j73.74
50	-j34.98	-j52.47	-j20.99
75	-j13	-j19.5	-j7.80
100	-j4.26	-j6.39	-j2.55

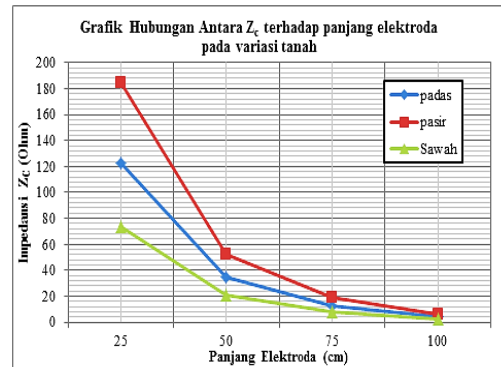
Gambar 11 Nilai Z_C pada panjang elektroda 25 cm, untuk tanah padas, dan pasir yaitu sebesar $-j122.9 \Omega$, dan $-j184.35 \Omega$, sedangkan tanah sawah memiliki nilai Z_C yang paling kecil $-j73.74 \Omega$. Hal ini di karenakan, permitivitas relatif (ϵ_r) tanah sawah lebih besar dari tanah padas dan pasir. Besar nilai permitivitas untuk masing-masing tanah, yaitu ϵ_r sawah = 10, ϵ_r padas = 6, ϵ_r pasir = 4. Semakin besar nilai ϵ_r tanah, maka nilai kapasitansi (C) yang di dihasilkan juga semakin besar. hal ini dikarenakan ϵ berbanding lurus dengankapasitansi (C). Demikian sebaliknya, nilai impedansi Z_c akan semakin kecil, karena Z_c berbanding terbalik dengan kapasitansi (C).

Nilai Impedansi Total Pentanahan.

Arus petir yang terinjeksi pada SPP eksternal sesuai karakteristik arus petir daerah tropis yaitu arus puncak impuls petir (I_p)= 10-392 kA dengan frekuensi 25, 50, 100, 150, 200 kHz. Frekuensi petir tersebut terjadi pada saat waktu yang di dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak arus petir sebesar 10^{-6} detik.

Elektroda pengetanahan (grounding) yang terinjeksi arus petir, maka arus di dalam tanah akan mengalir secara konduksi (I_c) maupun secara perpindahan (I_d). Arus konduksi (I_c)

dominan dipengaruhi oleh konduktifitas tanah (σ), arus perpindahan (I_d) dominan dipengaruhi oleh frekuensi arus. Semakin tinggi frekuensi arus petir (f), maka aliran arus perpindahan atau arus displacement (I_d) akan



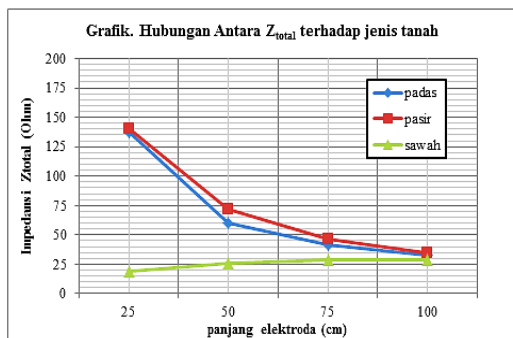
Gambar 11. Grafik perbandingan nilai impedansi kapasitansi (Z_C), pada tanah padas, pasir, dan sawah pada frekuensi 25 kHz.

Tabel 5. Perbandingan impedansi Z_t terhadap frekuensi petir pada variasi tanah.

Jarak Elektroda (m)	Panjang Elektroda (l) (cm)	Variasi Tanah		
		Padas	Pasir	Sawah
		Nilai Impedansi Z_{total} (Ohm)		
5 meter	Frekuensi 25 kHz			
	25	137.14	140.41	18.87
	50	59.96	72.01	25.61
	75	41.34	46.39	28.67
	100	33.04	35.02	29.10
	Frekuensi 50 kHz			
	25	97.02	114.93	36.95
	50	68.01	75.81	51.06
	75	63.23	66.26	57.23
	100	59.70	60.75	58.03
	Frekuensi 100 kHz			
	25	102.97	116.02	73.46
	50	109.86	114.10	101.95
	75	116.72	118.32	114.18
	100	116.21	116.74	115.58
	Frekuensi 150 kHz			
25	128.96	138.42	109.98	
50	157.51	160.39	152.71	
75	172.37	173.45	170.93	
100	173.43	173.78	173.07	
Frekuensi 200 kHz				
25	160.03	167.36	146.44	
50	206.62	208.79	203.35	
75	228.57	229.38	227.62	
100	230.82	231.09	230.58	

semakin meningkat, karena I_d merupakan fungsi dari frekuensi.

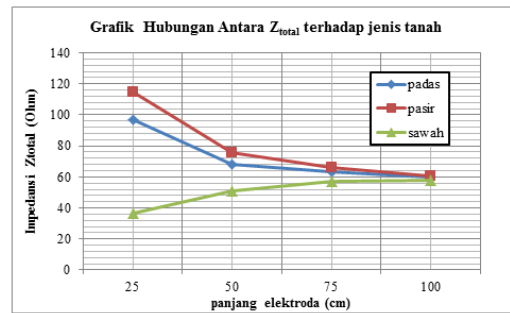
Gambar 12 dan 13 memiliki *trend* yang sama. Pada frekuensi 50 kHz dengan rentang panjang elektroda 25-100 cm, Z_t pada tanah padas sebesar 97,02-59,70 Ω , tanah pasir 114,93-60,75 Ω dan tanah sawah 36,95-58,03 Ω . Adanya perbedaan nilai pada masing-masing tanah disebabkan karena pengaruh resistansi tanah dan permitivitas tanah (ϵ_r), dimana tanah sawah memiliki nilai ϵ_r paling besar. Dengan demikian, nilai kapasitansi semakin besar. Hal ini di sebabkan karena kapasitansi berbanding lurus dengan ϵ_r . Sebaliknya, impedansi Z_c berbanding terbalik dengan kapasitansi, sehingga nilai Z_c tanah sawah paling kecil. Dimana tanah sawah memiliki nilai resistansi paling kecil. Pada rangkaian impedansi pentanahan Z_c diparalel oleh nilai resistansi, sehingga nilai resistansi tanah dan Z_c pentanahan semakin kecil.



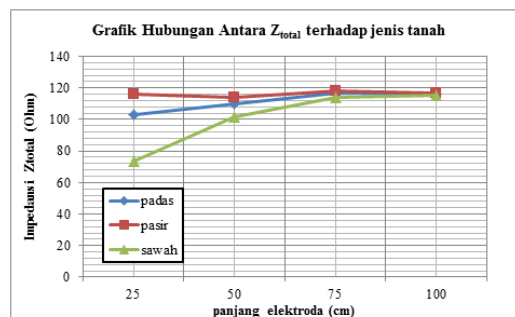
Gambar 12. Grafik perbandingan nilai impedansi total (Z_t) terhadap variasi jenis tanah di jarak 5 m pada frekuensi 25 kHz.

Dengan demikian nilai Z_L pentanahan lebih besar dibandingkan dengan Z_c . Semakin besar frekuensi petir, maka nilai Z_L akan semakin besar juga, hal ini di sebabkan Z_L berbanding lurus dengan frekuensi petir. Semakin besar nilai Z_L , maka nilai impedansi total (Z_t) akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena impedansi Z_L berbanding lurus dengan Z_t . Hal ini menunjukkan tanah sawah memiliki nilai Z_t semakin besar, begitu pula sebaliknya dengan tanah padas dan pasir.

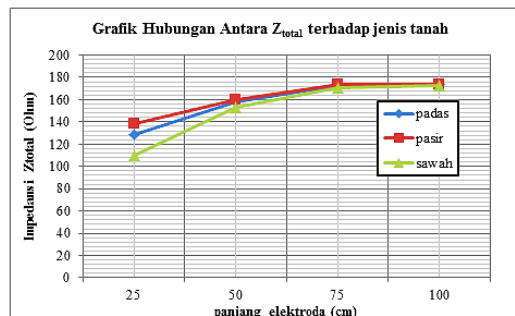
Gambar 14, 15 dan 16 memiliki *trend* yang sama. Pada frekuensi 200 kHz dengan rentang panjang elektroda 25-100 cm Z_t pada tanah padas sebesar 160,03-220,82 Ω , tanah pasir 163,76-231,09 Ω dan tanah sawah 146,44-230,58 Ω . Hal ini menunjukkan dengan semakin panjang elektroda grounding, maka



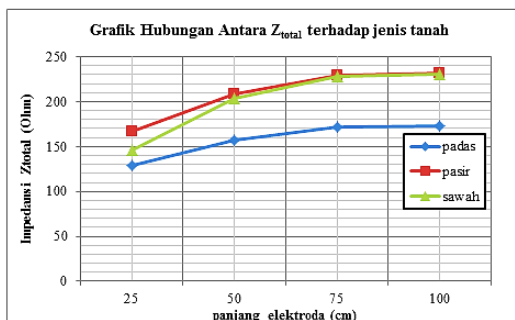
Gambar 13. Grafik perbandingan nilai impedansi total (Z_t) terhadap variasi jenis tanah di jarak 5 m pada frekuensi 50 kHz.



Gambar 14. Grafik perbandingan nilai impedansi total (Z_t) terhadap variasi jenis tanah di jarak 5 m pada frekuensi 100 kHz.



Gambar 15. Grafik perbandingan nilai impedansi total (Z_t) terhadap variasi jenis tanah di jarak 5 m pada frekuensi 100 kHz.



Gambar 16. Grafik perbandingan nilai impedansi total (Z_t) terhadap variasi jenis tanah di jarak 5 m pada frekuensi 200 kHz.

impedansi Z_t untuk ketiga jenis tanah tersebut semakin besar. Pada rangkaian impedansi pentanahan Z_c diparalel oleh nilai resistansi, sehingga nilai resistansi tanah dan Z_c pentanahan semakin kecil. Dengan demikian nilai Z_L pentanahan lebih besar dibandingkan dengan Z_c . Semakin besar frekuensi petir, maka nilai Z_L akan semakin besar juga, hal ini di sebabkan Z_L berbanding lurus dengan frekuensi petir. Semakin besar nilai Z_L , maka nilai impedansi total (Z_t) akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena impedansi Z_L berbanding lurus dengan Z_t .

PENUTUP

Kesimpulan.

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Saat panjang elektroda pentanahan (*grounding*) sebesar 25, 50, 75, dan 100 cm di dapatkan hubungan Z_{total} dan ΔV di tanah, seperti berikut:
 - a. Semakin panjang elektroda pentanahan (*grounding*), maka nilai R di tanah semakin kecil, sedangkan nilai impedansi total (Z_{total}) ada yang bernilai semakin kecil dan besar.
 - b. Semakin panjang elektroda pentanahan (*grounding*) menyebabkan medan listrik (E) pada titik elektroda tanah akan merata, sehingga beda potensial (ΔV) di tanah semakin kecil.
2. Jenis tanah yang berbeda mempengaruhi nilai R, Z_c , dan Z_{total} , sedangkan nilai Z_L tidak di pengaruhi. Nilai Z_c , Z_L , Z_{total} di pengaruhi oleh frekuensi petir, sedangkan nilai R tidak di pengaruhi. Nilai Z_{total} di peroleh dari paralel antara Z_c dan R, kemudian diseri dengan Z_L . Semakin panjang elektroda pentanahan (*grounding*), didapatkan nilai Z_{total} pada frekuensi petir 25-200 kHz untuk setiap tanah berbeda, seperti berikut :
 - a. Pada rentang frekuensi 25-50 kHz dengan semakin panjang elektroda pentanahan (*grounding*) diperoleh nilai Z_{total} tanah padas dan tanah pasir semakin kecil, sedangkan tanah sawah semakin besar. Saat frekuensi 50 kHz pada panjang elektroda pentanahan (*grounding*) 25- 100 cm nilai Z_{total} tanah padas 97,02-59,70 Ω , tanah pasir sebesar 114,93- 60,75 Ω ,

sedangkan tanah sawah sebesar 36,95-58,03 Ω .

- b. Pada rentang frekuensi 100-200 kHz dengan semakin panjang elektroda pentanahan (*grounding*) diperoleh nilai Z_{total} tanah padas, tanah pasir dan tanah sawah semakin besar. Saat frekuensi 200 kHz pada panjang elektroda pentanahan (*grounding*) 25-100 cm nilai Z_{total} tanah padas 160,03-230,82 Ω , tanah pasir sebesar 167,36-231,09 Ω dan tanah sawah sebesar 146,44-230,58 Ω .
3. Pengaruh jenis tanah terhadap nilai impedansi petanahan (Z_t) yaitu adanya perbedaan nilai Z_t pada masing-masing tanah. Pada frekuensi 200 kHz dengan panjang elektroda 1 m, didapatkan rata-rata nilai Z_t tanah padas sebesar 262,03 Ω , tanah pasir 265,07 Ω , sedangkan tanah sawah 255,40 Ω , sehingga tanah sawah memiliki nilai impedansi total pentanahan paling kecil.

Saran.

1. Untuk penelitian seperti ini, sebaiknya panjang elektroda yang ditanam lebih panjang, sehingga didapatkan nilai resistansi yang lebih kecil dan akurat.
2. Sebelum melakukan pengukuran, sebaiknya alat yang akan digunakan di presisi terlebih dahulu, sehingga nilai yang terbaca pada alat tersebut lebih akurat.
3. Data-data yang akan digunakan untuk perhitungan, sebaiknya lengkap dan akurat, sehingga dalam perhitungan tidak banyak terjadi error.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwarka, Prasa, 2012. Soil resistivity and earthing system. Department of Electrical Engineering, Laxmi Devi Institute of Engineering & Technology, Alwar, Rajasthan, India.
- Gassing. 2012. Analisa Sistem Proteksi Petir (Lighting Performance) Pada SUTT 150 kV Sistem Sulawesi Selatan. Tugas Akhir. Jurusan teknik Elektro. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Lei, Yang., Bin-quan, Qin., Fang, Luo., Xiang, Mi. 2014. Field Experimental Study on the Measurement of Grounding resistance of Buildings in Water. International Conference on Lightning Protection (ICLP). Shanghai, China.

- Hayt, Jr.2006. Elektromagnetikan Teknologi. Edisi Ketujuh. Penerbit Erlangga, Jakarta
- IEEE Std 80-2000. Guide For Safety in AC Substation Grounding, New York.
- IEEE Std 142™-2007. Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- Mukmin, Mirwan.2014. Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Pada Area Reklamasi Pantai (Citriland). Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
- Purwanti, Wiwik. 2013. Perubahan Konfigurasi Elektrode Pentanahan Batang Tunggal Untuk Mereduksi Tahanan Pentanahan. Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang.
- SNI 04-0225-2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik, Jakarta.
- Supardi, Agus. 2004. Karakteristik Impedansi Pentanahan pada Gedung Psikologi UMS. Laporan Tugas Akhir. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah. Surakarta.
- Zoro, Reynaldo.1999. Karakteristik Petir Tropis. ITB: Bandung.
- Supardi, Agus. 2004. Karakteristik Impedansi Pentanahan pada Gedung Psikologi UMS. Laporan Tugas Akhir. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.