

Nilai Riil dan Imajiner Impedansi Pentanahan dengan Modifikasi Batang Elektroda Diinjeksi Arus Berfrekuensi 50 Hz-2 MHz

IKA MUTIARA AGUSTIN¹, BAMBANG ANGGORO², WALUYO¹

1. Institut Teknologi Nasional Bandung

2. Institut Teknologi Bandung

Email : ikamutiaraagustin@ymail.com

ABSTRAK

Nilai impedansi pentanahan tidak hanya terdiri dari resistansi atau riil saja, tetapi terdapat nilai imajiner yang perlu diperhatikan. Nilai imajiner merupakan parameter dari sifat induktansi (L) dan Kapasitansi (C). Pada penelitian ini dibuat sistem pentanahan dengan modifikasi batang elektroda pentanahan berbentuk tabung dengan isian pasir dan kondisi tanah yang berbeda-beda. Pengukuran sistem pentanahan menggunakan metoda tiga titik dengan konfigurasi vertikal dan injeksi arus AC (50 Hz sampai 2 MHz). Dari hasil diperoleh nilai riil dari impedansi pentanahan terkecil pada kondisi tanah basah dengan kedalaman 50 cm yaitu sebesar 0,001 Ω . Nilai riil dari impedansi pentanahan terkecil pada kondisi tanah setengah basah dengan kedalaman 60 cm yaitu sebesar 0,02 Ω . Nilai riil dari impedansi pentanahan terkecil pada kondisi tanah kering dengan kedalaman 100 cm yaitu sebesar 0,08 Ω . Pada frekuensi rendah nilai imajiner dari impedansi pentanahan cenderung bersifat kapasitif, tetapi pada frekuensi tinggi nilai imajiner dari impedansi pentanahan tersebut cenderung bersifat induktif.

Kata kunci: frekuensi, imajiner, impedansi pentanahan, riil, pasir.

ABSTRACT

Impedance grounding is not only as resistance or real value, but also imaginary value. Imaginary value is a measure of the inductance (L) and capacitance (C). In this research, it was made by using modified as tubular electrodes rods with stuffing sand and different soil conditions. The measurement of grounding system used the three-point vertical configuration with frequency AC current (50 Hz to 2 MHz). The results that the lowest real value of impedance grounding was the smallest of 0.001 Ω for the electrode rod tube with a depth of 50 cm on wet soil conditions. The lowest real value of impedance grounding with depth of 60 cm was 0.02 Ω on half wet soil conditions. The lowest real value of impedance grounding depth of 100 cm was 0.08 Ω on dry soil conditions. The imaginary value of grounding impedance tent to be capacitive in low frequency, but at high frequency tent to be inductive.

Keywords: frequency, imaginary, impedance grounding, real, sand.

1. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan merupakan salah satu faktor penting untuk proteksi sistem tenaga listrik. Nilai tahanan pada sistem pentanahan menjadi salah satu faktor penting untuk desain sistem pentanahan. Sistem pentanahan dengan konfigurasi vertikal paling sering digunakan pada sistem pentanahan (**Hasse, 1993**). Pada umumnya nilai resistansi yang baik yaitu bernilai di bawah 5 ohm (**Hutauruk, 1991**). Pada kenyataannya sistem pentanahan sering mendapatkan injeksi arus AC. Maka dari itu, nilai impedansi pentanahan tidak hanya terdiri dari nilai resistansinya saja tetapi terdapat nilai imajiner yang perlu diperhatikan. Nilai imajiner tersebut menunjukkan sifat dari impedansi pentanahan. Perilaku impedansi pentanahan pada suatu sistem pentanahan nilai besarnya berubah-ubah tergantung pada besar kecilnya frekuensi yang diinjeksikan terhadap sistem pentanahan (**Ardani, 2002**). Kondisi lingkungan juga merupakan salah satu faktor untuk menentukan sistem pentanahan yang akan digunakan (**Hakim, 2014**). Pengukuran harus dilakukan secara langsung pada lokasi yang akan digunakan karena setiap lokasi memiliki kondisi tanah yang berbeda (**Hutauruk, 1991**). Kondisi tanah pada saat pengukuran sangat mempengaruhi besar impedansi pentanahannya (**Agustin, 2015**). Upaya untuk mendapatkan nilai resistansi tanah yang rendah seringkali dilakukan dengan melakukan *treatment* suatu penambahan komposisi kimia tanah (**Pabla, 1981**) dan panjang atau kedalaman batang elektroda pentanahan (**Ningrum, 2014**). Dalam penelitian ini dilakukan sistem pentanahan konfigurasi vertikal dengan modifikasi batang elektroda. Modifikasi batang elektroda tersebut berbentuk tabung yang diberi isian pasir dan batang elektroda dengan variasi panjang sesuai dengan panjang tabung. Batang tabung tersebut ditanam di sebelah utara Gedung Kerma PLN-ITB. Pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan arus AC berfrekuensi 50 Hz sampai 2 MHz. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh besar nilai riil dan imajiner dari impedansi pentanahan yang dimodifikasi dan sifat impedansi pentanahannya.

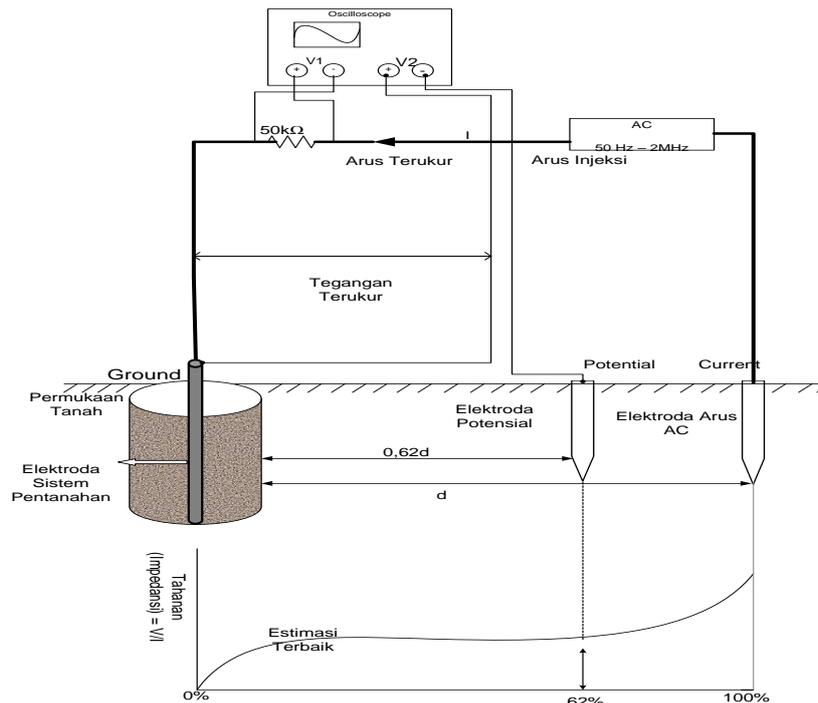
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan penelitian

Pertama yang dilakukan yaitu mempersiapkan peralatan yang akan digunakan seperti potensiometer 50 k Ω , elektroda tembaga, tabung, kabel koaksial, pasir, osiloskop dan generator sinyal. Kemudian pembuatan modifikasi batang pentanahan dibuat 3 batang elektroda dengan ukuran variasi panjang 50 cm, 60 cm dan 100 cm dan tabung dengan diameter yang sama 20 cm dan kedalaman sesuai dengan batang elektroda. Setelah itu penanaman batang elektroda dilakukan di sebelah utara Gedung Kerma PLN-ITB. Tabung yang ditanam di tanah kemudian diberi isian pasir dan batang elektroda ditancapkan di tengah diameter tabung. Tabung diberi *treatment* penambahan air guna pasir, tanah dan batang elektrodanya homogen. Pasir yang digunakan berasal dari Garut. Sistem pentanahan dibuat seperti pada Gambar 1.

2.2 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan menggunakan metoda tiga titik yang dimana tegangan pada pengukuran dapat langsung terbaca oleh osiloskop. Pada osiloskop tidak dapat membaca arus, tapi tegangan pada tahanan murni (R) dapat ditampilkan pada osiloskop. Besar tegangan pada tahanan murni tersebut digunakan untuk menghitung arus. Besar tegangan pada tahanan tersebut dibagi dengan nilai tahanan murni maka didapat besar arus injeksinya. Tahanan murni diukur menggunakan multimeter pada keadaan tidak berbeban.



Gambar 1. Rangkaian Pengukuran Sistem Pentanahan

Gambar 1 menunjukkan rangkaian pengukuran sistem pentanahan dengan menggunakan metoda tiga titik. Pada pengukuran sistem pentanahan diinjeksikan arus AC dari frekuensi 50 Hz sampai 2 MHz yang dimana hasil dari pengukuran sistem pentanahan akan ditampilkan pada osiloskop.

2.3 Parameter Pengujian Sistem Pentanahan

1. Arus injeksi ($I_{injeksi}$)

Nilai arus didapat dari

$$I_{injeksi} = \frac{V_1}{R} \quad (1)$$

Dimana: $I_{injeksi}$ = Arus (Ampere)

V_1 = Tegangan pada tahanan murni yang ditampilkan pada sinyal CH₁ (Volt)

R = Tahanan murni yang terukur pada multimeter (Ω)

2. Impedansi (Z)

Nilai impedansi pada tahanan dapat dihitung dari :

$$Z = \frac{V_2}{I_{injeksi}} \quad (2)$$

Dimana: Z = Impedansi (Ω)

V_2 = Tegangan sistem pentanahan yang ditampilkan pada sinyal CH₂ (Volt)

$I_{injeksi}$ = Arus Injeksi (Ampere)

3. Sudut Fasa (\emptyset)

Sudut fasa (\emptyset) dapat dihitung dari perbedaan fasa antara sinyal CH₁ dan sinyal CH₂.

4. Nilai riil dan imajiner dari Impedansi Pentanahan (**Anggoro, 2007**)

$$Z = Riil + j \text{ Imajiner} \quad (3)$$

$$Z = Z \cos \varphi + j Z \sin \varphi \quad (4)$$

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik tanah

No	Pembanding	Sampel Pasir	Sampel Tanah
1	Perbandingan Volume Padat, Cair dan Gas	Volume Udara 19,19% Air 49,30% Tanah 31,51%	Volume Udara 2,42 % Air 47,97 % Tanah 49,61%
2	Komposisi	<i>Gravel</i> 12,48% <i>Sand</i> 87,51% <i>Silt</i> 0% <i>Clay</i> 0%	<i>Gravel</i> 5,07% <i>Sand</i> 43,98% <i>Silt</i> 43,31% <i>Clay</i> 7,64%
3	Kadar Air	14,02 %	43,83 %

Pada Tabel 1 diperoleh hasil komposisi tanah dan kadar air dari sampel tanah dan pasir. Sampel tanah berasal dari pekarangan Gedung PLN-ITB. Sampel pasir berasal dari Garut.

3.2 Hasil Pengujian Sistem Pentanahan

Pada Tabel 2 diperoleh hasil pengujian sistem pentanahan batang elektroda dengan kedalaman 50 cm pada kondisi tanah basah. Kondisi tanah basah ini merupakan kondisi pada saat pengukuran dilakukan setelah terjadi hujan.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem pentanahan (d=20 cm dan p=50 cm)

F	Z (Ω)	ϕ ($^{\circ}$)	Z cos ϕ	Z sin ϕ	Keterangan
50	0,04	-72	0,01	-0,03	Kapasitif
100	0,06	-63	0,03	-0,05	Kapasitif
200	0,07	-30	0,06	-0,04	Kapasitif
300	0,07	-11.25	0,07	-0,01	Kapasitif
400	0,08	-6.93	0,08	-0,01	Kapasitif
500	0,08	0	0,08	0	Resistif
600	0,08	11.25	0,08	0,02	Induktif
700	0,08	11.25	0,08	0,02	Induktif
800	0,09	12.86	0,08	0,02	Induktif
900	0,09	15	0,09	0,02	Induktif
1 k	0,08	18	0,08	0,03	Induktif
5 k	0,06	36	0,05	0,04	Induktif
10 k	0,05	54	0,03	0,04	Induktif
100 k	0,02	72	0,01	0,02	Induktif
200 k	0,01	0	0,01	0	Resistif
300 k	0,01	22.5	0,01	0,005	Induktif
400 k	0,02	0	0,02	0	Resistif
500 k	0,02	18	0,02	0,006	Induktif
600 k	0,02	30	0,02	0,009	Induktif
700 k	0,02	38.57	0,01	0,011	Induktif
800 k	0,02	40.72	0,01	0,010	Induktif
1 M	0,02	63	0,01	0,014	Induktif
1,1 M	0,01	85	0,001	0,016	Induktif
1,2 M	0,01	78.75	0,003	0,015	Induktif
1,3 M	0,01	64.29	0,01	0,012	Induktif
1,4 M	0,01	64.29	0,003	0,011	Induktif
1,5 M	0,01	64.29	0,002	0,010	Induktif
1,6 M	0,01	90	0	0,010	Induktif
1,7 M	0,01	70	0,002	0,008	Induktif
1,8 M	0,01	71	0,003	0,007	Induktif
1,9 M	0,005	54	0,002	0,005	Induktif
2 M	0,005	72	0,001	0,005	Induktif

Tabel 3. Hasil pengujian sistem pentanahan ($d=20$ cm dan $p=60$ cm)

f	Z (Ω)	θ ($^\circ$)	Z cos θ	Z sin θ	Keterangan
50	0,17	-72	0,05	-0,16	Kapasitif
100	0,26	-45	0,18	-0,18	Kapasitif
200	0,35	-31,5	0,30	-0,18	Kapasitif
300	0,34	-27,86	0,30	-0,16	Kapasitif
400	0,45	-27,85	0,40	-0,21	Kapasitif
500	0,4	-36	0,3	0	Resistif
600	0,41	0	0,41	0	Resistif
700	0,41	0	0,41	0	Resistif
800	0,41	0	0,41	0	Resistif
900	0,38	0	0,38	0	Resistif
1 k	0,4	36	0,3	0,24	Induktif
5 k	0,31	36	0,25	0,19	Induktif
10 k	0,27	45	0,19	0,19	Induktif
100 k	0,05	-72	0,02	-0,05	Kapasitif
200 k	0,07	-40,5	0,05	-0,05	Kapasitif
300 k	0,2	-45	0,1	-0,14	Kapasitif
400 k	0,14	-36,35	0,12	-0,09	Kapasitif
500 k	0,13	-27	0,11	-0,06	Kapasitif
600 k	0,07	-32,5	0,06	-0,04	Kapasitif
700 k	0,07	-24,1	0,06	-0,03	Kapasitif
800 k	0,09	26	0,08	0,04	Induktif
1 M	0,11	36	0,1	0,06	Induktif
1,1 M	0,10	36	0,08	0,06	Induktif
1,2 M	0,11	45	0,08	0,08	Induktif
1,3 M	0,09	78,75	0,02	0,09	Induktif
1,4 M	0,09	63,75	0,04	0,08	Induktif
1,5 M	0,09	83,57	0,01	0,09	Induktif
1,6 M	0,09	48,22	0,06	0,06	Induktif
1,7 M	0,1	63,75	0,04	0,07	Induktif
1,8 M	0,08	60	0,04	0,07	Induktif
1,9 M	0,07	66	0,03	0,07	Induktif
2 M	0,06	75	0,02	0,06	Induktif

Pada Tabel 3 diperoleh hasil pengujian sistem pentanahan batang elektroda dengan kedalaman 50 cm pada kondisi tanah setengah basah. Kondisi tanah setengah basah ini merupakan kondisi pada saat pengukuran dilakukan beberapa jam setelah terjadinya hujan.

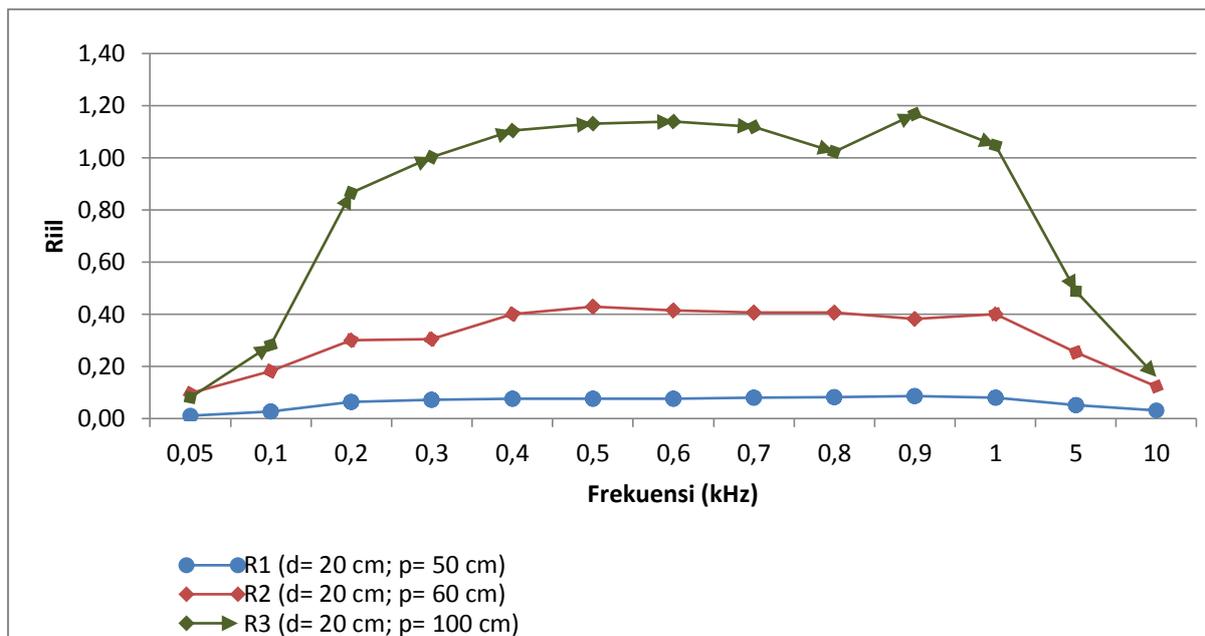
Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Pentanahan (d=20 cm dan p=100 cm)

F	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)	Z cos ϕ	Z sin ϕ	Keterangan
50	0,57	-81,82	0,08	-0,56	Kapasitif
100	0,91	-72	0,28	-0,9	Kapasitif
200	1,05	-34,29	0,9	-0,59	Kapasitif
300	1,16	-30	1,00	-0,58	Kapasitif
400	1,2	-20,36	1,10	-0,41	Kapasitif
500	1,1	-7,5	1,13	-0,15	Kapasitif
600	1,1	0	1,14	0	Resistif
700	1,13	6,43	1,12	0,13	Induktif
800	1,03	6,94	1,02	0,12	Induktif
900	1,18	8,18	1,17	0,17	Induktif
1 k	1,10	18	1,05	0,34	Induktif
5 k	0,76	50	0,49	0,58	Induktif
10 k	0,52	72	0,16	0,50	Induktif
100 k	0,15	-75	0,04	-0,15	Kapasitif
200 k	0,24	-40,5	0,19	-0,2	Kapasitif
300 k	0,15	-11,25	0,15	-0,03	Kapasitif
400 k	0,27	-43,27	0,20	-0,18	Kapasitif
500 k	0,32	0	0,32	0,32	Resistif
600 k	0,48	11	0,48	0,09	Resistif
700 k	0,75	25,71	0,68	0,33	Induktif
800 k	0,91	27,86	0,80	0,42	Induktif
1 M	0,54	45	0,38	0,38	Induktif
1,1 M	1,07	48	0,71	0,79	Induktif
1,2 M	0,55	73,75	0,15	0,53	Induktif
1,3 M	0,51	78,75	0,10	0,50	Induktif
1,4 M	0,89	64,29	0,39	0,80	Induktif
1,5 M	0,72	83,57	0,08	0,7	Induktif
1,6 M	0,58	81	0,09	0,57	Induktif
1,7 M	0,55	83,57	0,06	0,55	Induktif
1,8 M	0,46	60	0,23	0,40	Induktif
1,9 M	0,39	51	0,24	0,30	Induktif
2 M	0,33	54	0,19	0,27	Induktif

Pada Tabel 4 diperoleh hasil pengujian sistem pentanahan dengan batang pentanahan (diameter = 20 cm dan panjang = 100 cm) pada kondisi tanah kering. Kondisi tanah kering ini merupakan kondisi pada saat pengukuran tidak terdapat curah hujan.

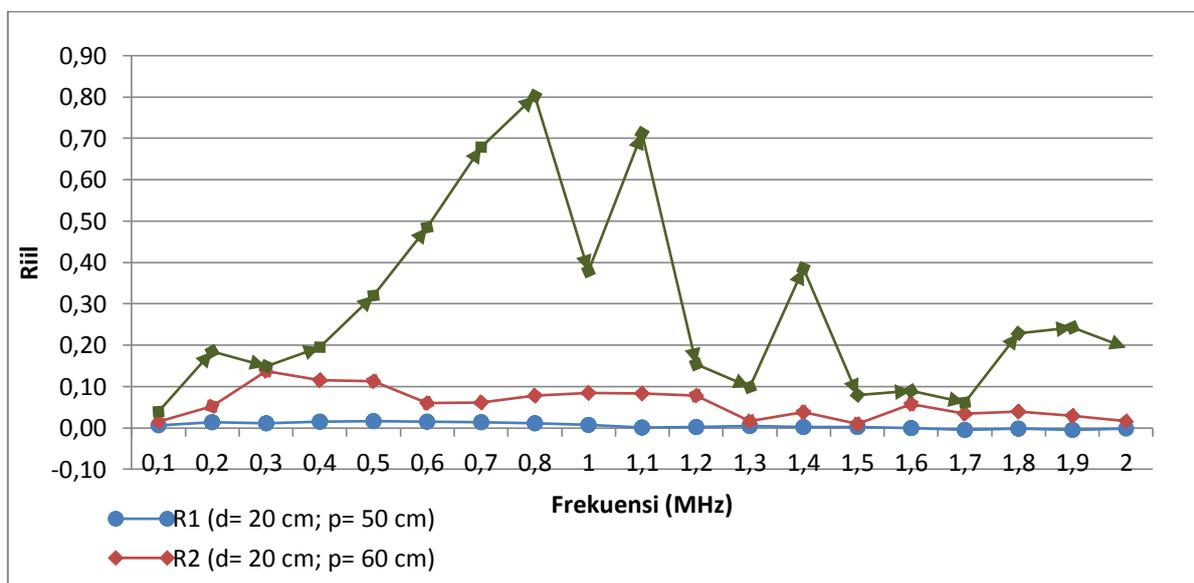
3.3 Analisis

Dari hasil pengukuran karakteristik tanah dan pasir pada Tabel 1 diperoleh komposisi pada sampel pasir mengandung *gravel* 12,48 %; *sand* 87,51 %; *silt* 0% dan *clay* 0 %, sedangkan pada sampel tanah mengandung *gravel* 5,07 %; *Sand* 43,98 %; *Silt* 43,31 % dan *Clay* 7,64 %. Pada sampel tanah kadar airnya lebih besar dibanding sampel pasir yaitu pada sampel pasir kadar airnya 14,02 % dan pada sampel tanah cukup tinggi yaitu 43,83 %, maka dari itu pada persiapan pengukuran tabung yang sudah ditanam dan diberi pasir harus dilakukan treatment penambahan air. Hal tersebut dilakukan agar pasir, tanah, dan batang elektrodanya homogen. Impedansi (Z) bernilai rasional bila Z cos ϕ bernilai positif. Dari hasil pengujian sistem pentanahan maka didapat grafik hubungan antara nilai riil dari impedansi pentanahan terhadap frekuensi rendah yang ditunjukkan pada Gambar 2.



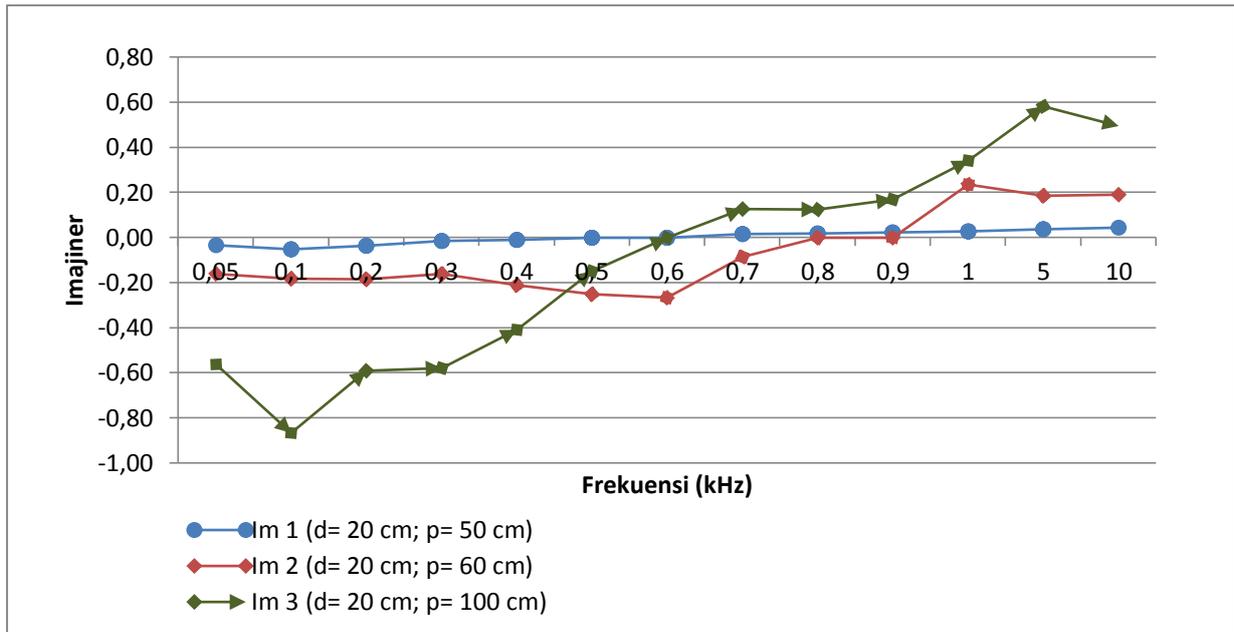
Gambar 2. Grafik hubungan nilai riil impedansi pentanahan terhadap frekuensi rendah

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai riil pada frekuensi rendah membesar pada frekuensi 50 Hz sampai 900 Hz. Pada frekuensi 1 kHz sampai 10 kHz nilai riil dari impedansi pentanahan kembali mengecil. Nilai riil dari impedansi pentanahan bergantung pada besar nilai impedansi pentanahan (Z) dan kondisi tanah sekitarnya.



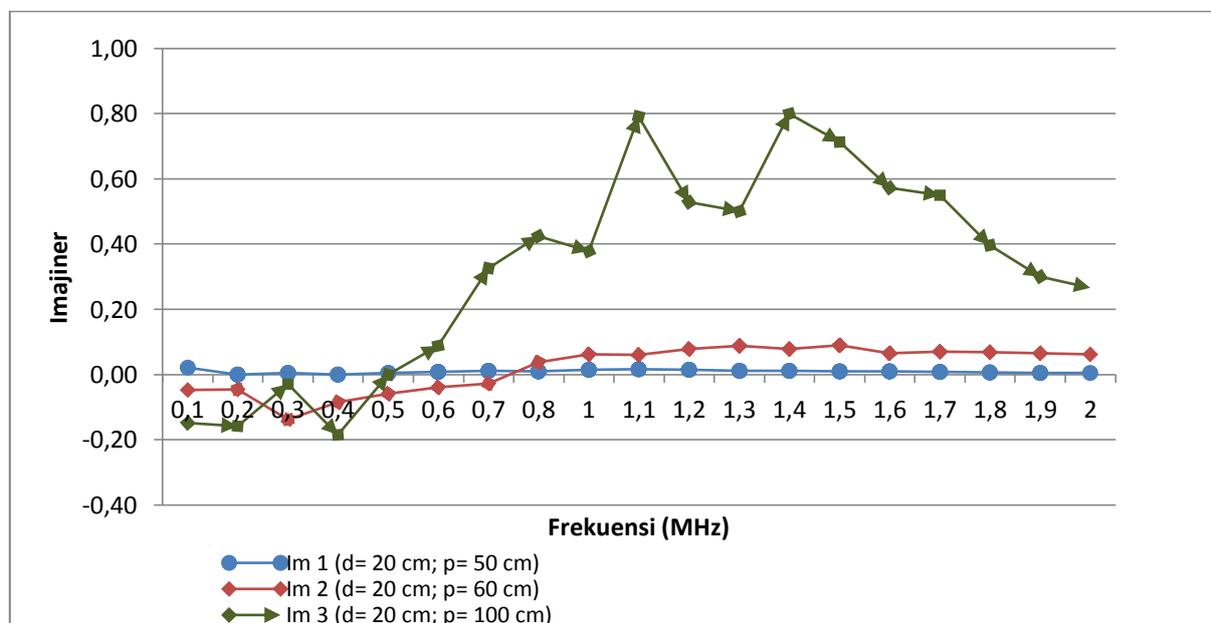
Gambar 3. Grafik hubungan nilai riil impedansi pentanahan terhadap frekuensi tinggi

Gambar 3 grafik menunjukkan bahwa pada batang elektroda kondisi tanah kering dengan diameter 20 cm dan kedalaman 100 cm pada frekuensi tinggi nilai riilnya lebih besar dibanding pada kondisi tanah basah pada kedalaman 50 cm dan 60 cm. Impedansi (Z) bersifat resistif bila pada frekuensi dimana nilai imajiner bernilai 0 atau disebut juga frekuensi resonansi. Impedansi (Z) bersifat induktif bila $Z \sin \varphi$ bernilai positif dan bersifat kapasitif apabila $Z \sin \varphi$ bernilai negatif. Frekuensi resonansi terjadi dimana nilai imajiner bernilai 0, sehingga hanya terdiri dari riil nya saja. Pada grafik Gambar 4. dan Gambar 5. menunjukkan grafik hubungan nilai imajiner dari impedansi pentanahan terhadap frekuensi.



Gambar 4. Grafik hubungan nilai imajiner impedansi pentanahan terhadap frekuensi rendah

Gambar 4 menunjukkan bahwa impedansi pentanahan pada frekuensi dibawah 600 Hz cenderung bersifat kapasitif kemudian resistif pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi diatas 600 Hz kondisi tanah kering pada batang pentanahan dengan kedalaman 100 cm impedansi pentanahannya bersifat lebih induktif dibanding pada kondisi tanah basah pada batang pentanahan dengan kedalaman 60 cm dan kondisi tanah kering dengan kedalaman 50 cm.



Gambar 5. Grafik hubungan nilai imajiner impedansi pentanahan terhadap frekuensi tinggi

Gambar 5 menunjukkan nilai imajiner dari impedansi pentanahan pada frekuensi tinggi. Pada batang elektroda dengan kedalaman 100 cm kondisi tanah kering cenderung lebih induktif pada frekuensi diatas 500 khz dibanding pada kondisi basah. Pada frekuensi 100 khz sampai

400 khz pada kedalaman 100 cm kondisi tanah kering impedansi pentanahannya lebih bersifat kapasitif dibanding pada kondisi tanah basah.

4. KESIMPULAN

Nilai riil atau nilai resistansi dari impedansi pentanahan dengan modifikasi batang pentanahan tabung dengan isian pasir menghasilkan nilai yang relatif kecil. Pada kondisi tanah basah dengan batang pentanahan 50 cm nilai riil terkecil dari impedansi pentanahannya yaitu sebesar 0,001 Ω . Pada kondisi tanah setengah basah batang elektroda kedalaman 60 cm nilai riil terkecil dari impedansi pentanahannya yaitu sebesar 0,02 Ω . Pada kondisi tanah kering batang elektroda kedalaman 100 cm nilai riil terkecil dari impedansi pentanahannya yaitu sebesar 0,08 Ω . Nilai resistansi tersebut cukup baik karena kurang dari 1 Ohm. Nilai riil dan imajiner dari impedansi pentanahan berubah-ubah tergantung pada frekuensi injeksi dan kondisi tanah sekitarnya. Pada kondisi tanah basah nilai imajiner dari impedansi pentanahan lebih kecil dibanding pada kondisi tanah setengah basah dan kondisi tanah kering. Nilai imajiner tersebut menunjukkan sifat dari impedansi pentanahannya. Pada frekuensi rendah impedansi pentanahan cenderung bersifat kapasitif dan pada frekuensi tinggi impedansi pentanahannya cenderung bersifat induktif.

DAFTAR RUJUKAN

- Anggoro, B., Sinisuka, N.I., Pakpahan, P.M. dan Irman, Dicky B. (2007) : *The Physical Treatment Soil Characteristics for Grounding Systems on Madiun and Surabaya Regions*, Majalah IPTEK, **18**, 1.
- P. Hasse and J. Wiesinger (1993) : *Handbook for Lightning and Grounding*, 4th ed Munich, Germany: Pflaum.
- Hutauruk, T.S. (1991) : *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Erlangga, Jakarta.
- Ardani, I., Anggoro, B., Kudrat, S., Sinisuka, N.I. dan Parouli, M.P. (2002) : *Perilaku Impedansi Pengetanahan Batang Konduktor Terhadap Injeksi Arus Bolak-Balik*, FOSTU, Yogyakarta.
- Hakim, D., Rio (2014) : *Characteristics Study of Vertical Configuration Grounding System with Two Layer Modified Using Type of Different Soil for Variation Diameter and Frequency Injection*, Power Engineering and Removable Ebetty (ICEPERE) International Conference, Bali-Indonesia.
- Ningrum, Hanifah N.K. and Anggoro, Bambang (2014) : *Characteristics Study of Two Layer Vertical Grounding System Variation Length Rod and High Frequency Injection (100kHz-14MHz)*, Power Engineering and Removable Ebetty (ICEPERE) International Conference, Bali-Indonesia
- Pabla, A.S. dan Abdul, Hadi (1981) : *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Penerbit Erlangga, edisi-1.
- Agustin, Ika M., Anggoro, B., dan Waluyo (2015) : *Studi Karakteristik Impedansi Pentanahan Konfigurasi Vertikal dan Modifikasi Batang Elektroda Kedalaman Tabung Dengan Injeksi Arus Bolak Balik Berfrekuensi 50 Hz – 2 MHz*, Seminar Nasional Ketenagalistrikan dan Aplikasinya (SENKA), Bandung-Indonesia.