

Studi Karakteristik Impedansi Imajiner dan Riil Pentanahan Konfigurasi Vertikal dengan Variasi Panjang Batang Elektroda Menggunakan Injeksi Arus Bolak Balik Berfrekuensi 50 Hz - 2 MHz

BOBBY BERGY¹, BAMBANG ANGGORO², NASRUN HARIYANTO¹

1. Institut Teknologi Nasional Bandung

2. Institut Teknologi Bandung

Email : bobbybergy@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pembumian dirancang sebagai pengaman atau pelindung instalasi listrik dengan tujuan mencegah gangguan alat akibat kenaikan potensial tanah ketika terjadi arus gangguan atau arus petir serta untuk mengetahui seberapa besar tahanan pentanahan yang ada pada elektroda tersebut. Jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda batang yang ditanam dan kontak langsung dengan bumi. Penelitian ini menggunakan variasi panjang batang elektroda yang berbeda dengan panjang 3 meter dan 6 meter dengan menggunakan BC rod. Metode yang digunakan adalah metode tiga titik konfigurasi vertikal yang dimana disusun secara seri. Pengukuran pada penelitian ini menggunakan injeksi frekuensi bolak balik dari frekuensi 50 Hz sampai 2 MHz. Berdasarkan dari analisis penelitian ini nilai impedansi imajiner pada kurva frekuensi rendah bahwa menunjukkan lebih banyak bersifat resistif sedangkan pada kurva frekuensi tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak bersifat induktif. Sedangkan dari semua pengukuran impedansi riil menunjukkan bahwa nilai impedansi kecil dengan nilai tahanan maksimal 2,77 Ohm. Maka nilai resistivitas tanah yang ada di sekitar gedung kerja sama PLN-ITB memenuhi standar sistem pentanahan.

Kata kunci : Impedansi, Frekuensi, Elektroda

ABSTRACT

The grounding system is designed as a safety or protective electrical installations with the aim for preventing irritation due to the increase in ground potential when the fault current or lightning current and to know how big the earth prisoners that existed at the electrode. The type of electrode used was an electrode rod planted and direct contact with the earth. This study used a variety of different length electrode rod with a length of 3 meters and 6 meters using rod BC. The method was used the three-point vertical configuration which was arranged in series. The measurements in this study were used the injection frequency of the alternating frequency of 50 Hz to 2M Hz. Based on the analysis of this study, the imaginary impedance values at low frequency curve indicated resistive property whereas at high frequency curve showed inductive property. While from all the real impedance measurements, this small impedance values was maximum resistance of 2.77 Ohm. That indicated existing soil resistivity at regional cooperation buildings PLN-ITB met the standards grounding system.

Keywords: Impedance, Frequency, Electrodes

1. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, dengan pertumbuhan beban listrik yang terus meningkat menyebabkan sistem tenaga listrik terus berkembang dengan pesat dan besar. Apabila terjadi kesalahan di sistem tenaga listrik atau gangguan sistem maka arus gangguan yang ditimbulkan akan mengalir ke tanah semakin bertambah besar dan busur api yang ditimbulkan akan semakin sulit padam sendiri. Demikian pula apabila tegangan lebih transien yang ditimbulkan sangat tinggi sehingga sistem akan terganggu dan dapat merusak peralatan. Untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik tersebut diperlukan rancangan sistem yang disebut dengan sistem pentanahan *grounding system* yang dapat mengalirkan arus lebih ke tanah dengan menciptakan jalur resistansi pentanahan yang rendah terhadap permukaan bumi dengan cara melakukan penanaman elektroda batang pentanahan (Ardani I, 2002)

Sambaran petir merupakan salah satu penyebab gangguan yang cukup banyak terjadi dalam sistem tenaga listrik dan paling sering mengenai sistem peralatan yang ada di dalam suatu bangunan. Sambaran petir ini merupakan sumber arus impuls berfrekuensi tinggi yang dampaknya akan sangat fatal apabila mengenai peralatan listrik (Hutauruk TS, 1991). Oleh karena itulah diperlukan suatu sistem perlindungan yang baik sehingga dampak buruk yang diakibatkan oleh sambaran petir tersebut dapat dikurangi dan dihilangkan. Sistem perlindungan pada gedung dan transmisi dilakukan dengan pembuangan arus petir ke tanah melalui sistem pentanahan. Sistem pentanahan yang umumnya digunakan berupa elektroda batang tunggal yang ditanam ke dalam tanah (Anggoro B, 2002)

Terjadi permasalahan dimana dalam suatu pentanahan adalah seberapa besar impedansi pentanahan tersebut. Besar impedansi pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal (Grecev, 1997). Contoh dari faktor internal adalah diameter dan panjangnya *rod*, resistivitas tanah dan konfigurasi sistem pentanahan. Sedangkan contoh dari faktor eksternal adalah bentuk arus dan frekuensi arus yang mengalir. Hambatan jenis tanah yang akan menentukan impedansi pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur, besar arus, kandungan air dalam tanah, kelembaban dan cuaca (He, 2005). Kondisi lingkungan terbatas seperti impedansi tanah yang tinggi, lahan sempit, serta adanya peralatan yang berfrekuensi tinggi merupakan salah satu faktor untuk penentuan sistem pentanahan yang akan digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara memodifikasi sistem pentanahan yang akan digunakan. Dalam penelitian ini dibuat sistem pentanahan konfigurasi vertikal. Serta pengujian dilakukan dengan menginjeksi arus AC dari 50 Hz sampai 2 MHz dimana batang rod ditanam di sebelah utara gedung kerjasama PLN-ITB.

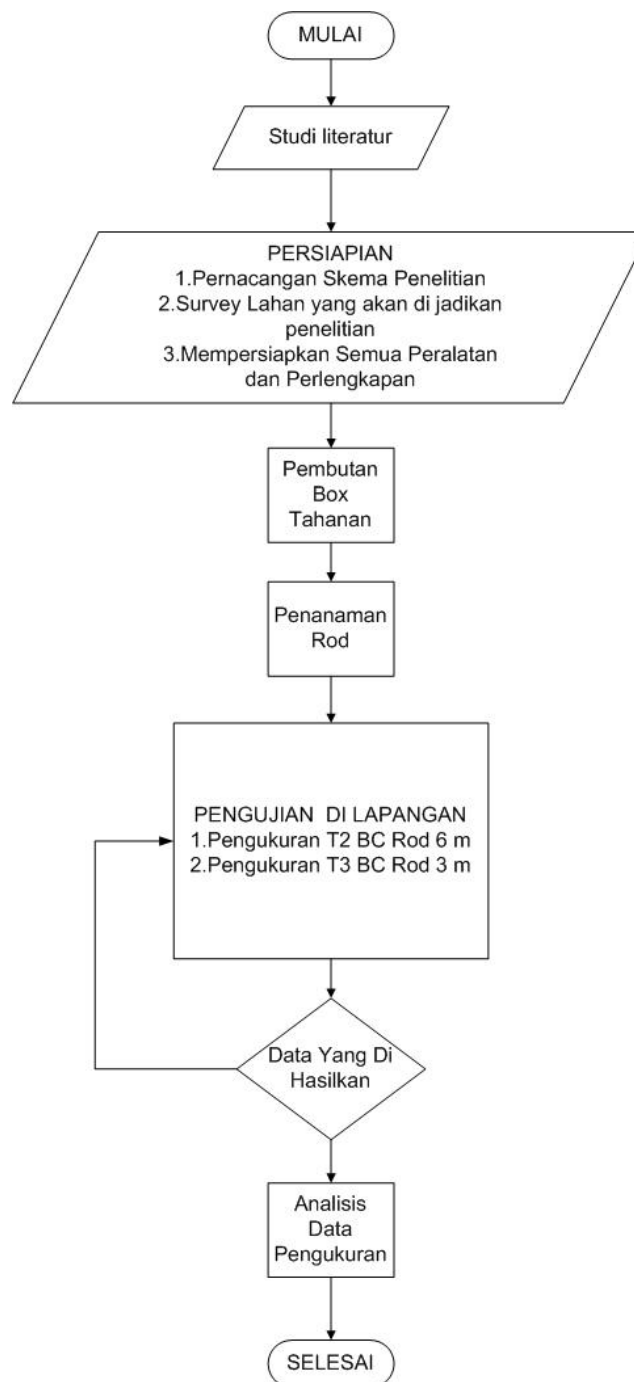
2. METODELOGI PENELITIAN

2.1 Studi Literatur

Tujuan dari adanya studi literatur untuk mendapatkan masukan-masukan dan menunjang tentang permasalahan yang akan diteliti. Pada tahap ini bisa dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan membaca buku, membaca jurnal, mencari di internet, membaca hasil penelitian sejenis atau yang berkaitan, berdiskusi dengan teman, dan dosen pembimbing. Hasil yang didapat dari studi literatur adalah mengetahui latar belakang masalah, pokok permasalahan, tujuan penelitian, dan menentukan pembatas masalah dalam melakukan penelitian.

2.2 Diagram Alir (*Flowchart*)

Gambar 1 menjelaskan diagram alir/*flowchart* yang berisi langkah-langkah dalam penelitian ini. Ketika data yang dihasilkan kurang dari yang dibutuhkan maka akan dilakukan pengulangan tahap pengukuran (Bergy, 2015).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3 Tahap Persiapan

Tahapan pertama adalah tahapan persiapan yang dimana mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Speksifikasi serta fungsi alat untuk pengujian dijelaskan pada di bawah ini.

1. Jenis Tanah
Jenis tanah pada penelitian ini yang digunakan tanah di lingkungan kampus ITB tanah tersebut akan di uji karakteristik fisiknya yang akan dijelaskan pada tahap pengujian.
2. Potensio dengan tahanan maksimal 50 k ohm
Potensiometer yang berfungsi untuk sebagai pengatur resistansi dan membuat tegangan jatuh dari arus yang akan diukur. Potensio yang digunakan adalah 50 k Ω serta berbentuk rotary yaitu yang potensiometer yang nilai resistansinya dapat diatur dengan cara memutar *Wiper*-nya sepanjang lintasan yang melingkar
3. Kabel Cloaxial
Kabel yang digunakan dalam penelitian adalah kabel dengan jenis cloaxial dengan panjang 100 meter. Kabel koaksial ini berfungsi sebagai penghubung antar batang elektroda ke oscilloscope, tahanan, serta generator sinyal. Keunggulan pemakaian kabel koaksial ini adalah dapat ditanam di dalam tanah sehingga biaya perawatan lebih rendah, dan karena menggunakan penutup isolasi maka kecil kemungkinan terjadi interferensi dengan sistem lain, serta menghindari pengaruh medan elektromagnetik dari luar.
4. *Oscilloscope*
Pada penelitian ini media pengukuran menggunakan *oscilloscope* digital. Fungsi dari *oscilloscope* digital adalah untuk mengukur besarnya tegangan jatuh dan mengukur beda fasa antara sinyal tegangan dan sinyal arus.
5. *Generator Function*
Fungsi generator sinyal/frekuensi adalah untuk memberikan arus injeksi ke sistem pengentanan dalam rentang frekuensi yang ditentukan.

2.4 Pengukuran Karakteristik Tanah

Pengujian karakteristik tanah dilakukan di laboratorium mekanika tanah ITENAS Bandung. Pada pengujian karakteristik tanah ini dilakukan dua pengujian yaitu *index properties* dan *Grain Size Analysis*. Tujuan dari pengujian karakteristik tanah tersebut adalah untuk mengetahui karakteristik fisik tanah dan mengetahui susunan komposisi dari sampel tanah yang diuji. Setelah melakukan pengujian karakteristik tanah maka diperoleh data tanah yang diuji, kemudian untuk mengetahui jenis kategori tanah maka dilakukan analisis diagram diagnosis penyusun tanah.

Gambar 2 menunjukkan peralatan pengujian *grain size analysis* yang bertujuan untuk mengetahui susunan partikel yang berbeda. Pada analisis saringan dilakukan proses penyaringan tanah dengan ukuran cawan yang berbeda kemudian di timbang kembali percawan sehingga menghasilkan ukuran butiran yang halus maka partikel-partikel seperti batu, kerikil, pasir, dan sedimen tanah terpisah.



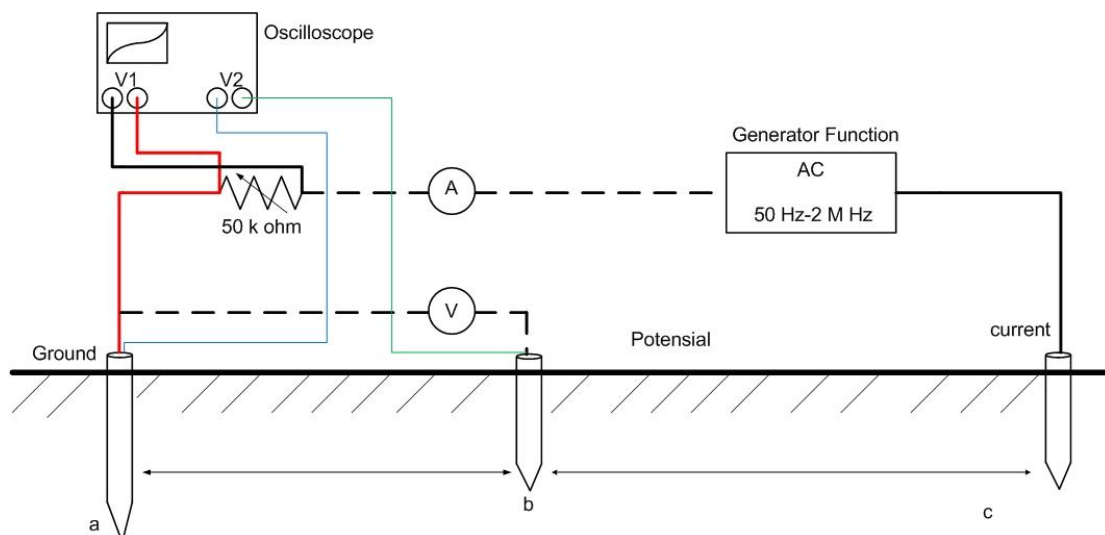
Gambar 2. Analisis Saringan Tanah

Secara bersamaan pada saat pengujian analisis saringan tanah dilakukan, pengujian hidrometer yang bertujuan untuk mengukur partikel dengan ukuran diameter kuang lebih 0,075 mm. Pada pengujian hidrometer bertujuan untuk mengetahui nilai debu (*silt*), tanah liat (*clay*) dan tanah (*sand*).

2.5 Penanaman Batang Pentanahan

Dalam penelitian ini penanaman batang pentanahan dilakukan di sebelah utara Gedung Kerja Sama PLN-ITB. Dalam melakukan penanaman batang pentanahan harus digali terlebih dahulu tanah yang sudah di tentukan titiknya untuk pengukuran. Penanaman batang yang digunakan dalam pengukuran dimana panjang batang tersebut sudah ditentukan. Untuk BC rod (T2) panjangnya 6 meter sedangkan BC rod (T3) panjangnya 3 meter. Setelah batang pentanahan yg di butuhkan sudah lengkap barulah melakukan penggalian tanah untuk penanaman batang tersebut sesuai dengan kedalamannya masing-masing.

2.6 Pengujian di Lapangan



Gambar 3. Rangkaian pengukuran pentanahan metoda 3 titik

Pada Gambar 3 dijelaskan bahwa dalam pengukuran ada tiga batang dimana batang (a) adalah batang utama. Batang (a) tersebut adalah BC1 rod panjangnya 6 meter, BC2 rod panjangnya 3 meter. Batang (b) dan (c) adalah elektroda yang terbuat dari besi dengan

panjang 50 cm. Jarak antara batang ke batang yang lain sudah di tentukan dengan total 100 meter dalam pengukuran ini jarak antara (a) ke (b) adalah 40 meter sedangkan jarak (b) ke (c) adalah 60 meter.

Rangkaian pengukuran terdiri dari oskiloskop, generator frekuensi, batang pentanahan, elektroda dan box tahanan yang tahananannya bias di ubah ubah. Generetor frekuensi berguna untuk meninjeksi arus dan mengatur frekuensi dai 50 Hz – 2 M Hz. Pada sistem pengujian ini pentanahan tersebut diinjeksi oleh frekuensi AC dari range 50 Hz hingga 2 MHz. Dari sumber AC mensupply ke generator sinyal yang dimana generator sinyal tersebut berfungsi sebagai memberi injeksi arus AC dengan rentang frekuensi yang ditentukan jadi dengan kata lain menginjeksi arus berupa frekuensi. Arus yang telah diinjeksikan melalui elektroda pentanahan akan mengalir ke referensi yang mengalir melalui tahanan. Dan hasil pengukuran pentanahan tersebut ditampilkan di osiloskop berupa sinyal AC. Injeksi arus dari generator sinyal Sinyal CH₁ pada osiloskop membaca tegangan pada tahanan 1-50k Ω , dimana tegangan ini digunakan untuk mengukur arus maka disebut sinyal arus pada (V₁), hasil sinyal tersebut dari adalah arus yang mengalir antara main rod dengan ref 2 dan sinyal CH₂ membaca tegangan sistem pentanahan atau beda potensial antara main rod dan referensi 1 (V₂). Penelitian ini dilakukan dengan mengubah frekuensi dari 50 Hz sampai dengan 2MHz. Data yang diambil dalam penelitian ini adalah nilai tegangan pada sistem pentanahan (V₂) dan perbedaan sudut fasa yang dapat dilihat dari perbedaan fasa antara tegangan pada tahanan 50 k Ω (V₁) dengan tegangan pada sistem pentanahan (V₂).

3. PENGOLAHAN DATA HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

3.1 Hasil Pengujian Fisik Tanah

Di dalam pengujian laboratorium yang di lakukan lab mekanika tanah ITENAS yaitu *index properties* dan pengujian analisis ukuran butir (*grain size*). Pengujian *index properties* untuk mengetahui volume zat tanah (air, tanah dan udara) *Natural Water Content, Bulk Density, Dry Density, Specific Gravity, Void Ratio, Porosity dan Degree of Saturation*.

Tabel 1. Hasil Uji *index poperties* tanah

LOCATION		Pasir Homogen	Pasir Non Homogen	Tanah
DEPTH		0.50-1.00	0.50-1.00	0.50-1.00
SAMPLE STATUS		DS	DS	DS
No	VOLUME WEIGHT			
1	Natural Water Content	14.02	11.64	43.83
2	Bulk Density	1.48	1.83	1.49
3	Dry Density	1.29	1.44	1.05
4	Specific Gravity	2.65	2.58	1.71
5	Void Ratio	0.79	0.61	0.14
6	Porosity	0.44	0.38	0.12
7	Degree of Saturation	0.03	0.04	0.12
SIEVE AND HYDROMETER ANALYSIS				
8	Gravel	12.487	18.617	5.073
9	Sand	87.513	81.383	43.978
10	Silt	0	0	43.306
11	clay	0	0	7.643
12	% Finer by weight passing sieve #200	0.23	0.4	2.44

Tabel 1 di atas menunjukkan hasil uji *index properties* kondisi tanah yang terdapat di belakang gedung kerja sama PLN-ITB. Di lihat pada kondisi kolom tanah nilai kadar air yang di hasilkan cukup tinggi sekitar 43,83 % hal ini dikarenakan karena pada waktu pengujian kondisi di lapangan sering hujan hal ini menyebabkan tanah yang terdapat pada lokasi

menjadi basah Kadar air adalah kandungan air pada tanah yang ditentukan dari perbandingan berat air yang dikandung tanah dengan berat bagian padat (solid) dari tanah. Untuk memperoleh hasil uji kadar air yaitu sample yang telah disediakan ditimbang kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu 110^oC. Setelah di oven berat tanah kembali ditimbang maka terdapat 2 berat yaitu berat tanah sebelum dioven (W_1) dan sesudah di oven (W_2), maka dapat dihitung dengan *weight of water* (W_3) / berat air :

$$W_3 = W_1 - W_2 \quad (1)$$

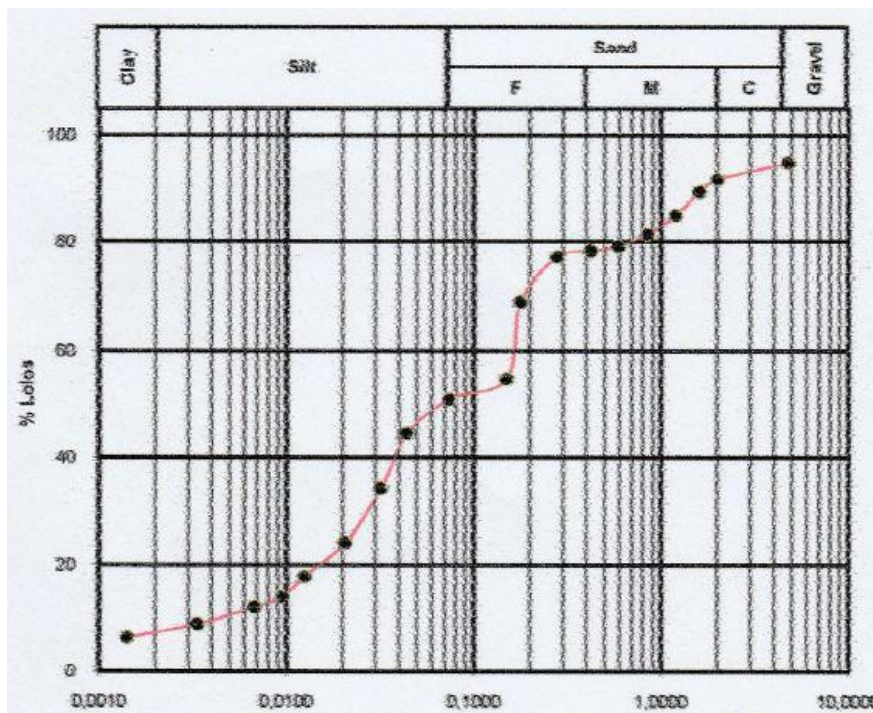
Sedangkan berat tanah kering murni dapat dihitung dari selisih berat cawan (W_4) dengan berat tanah sebelum di oven (W_2):

$$W_5 = W_2 - W_4 \quad (2)$$

Sehingga diperoleh perumusan kadar air dari (w) kedua hasil berat tanah yaitu menggunakan rumus :

$$Kadar\ air = w = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering}} \times 100\% \quad (3)$$

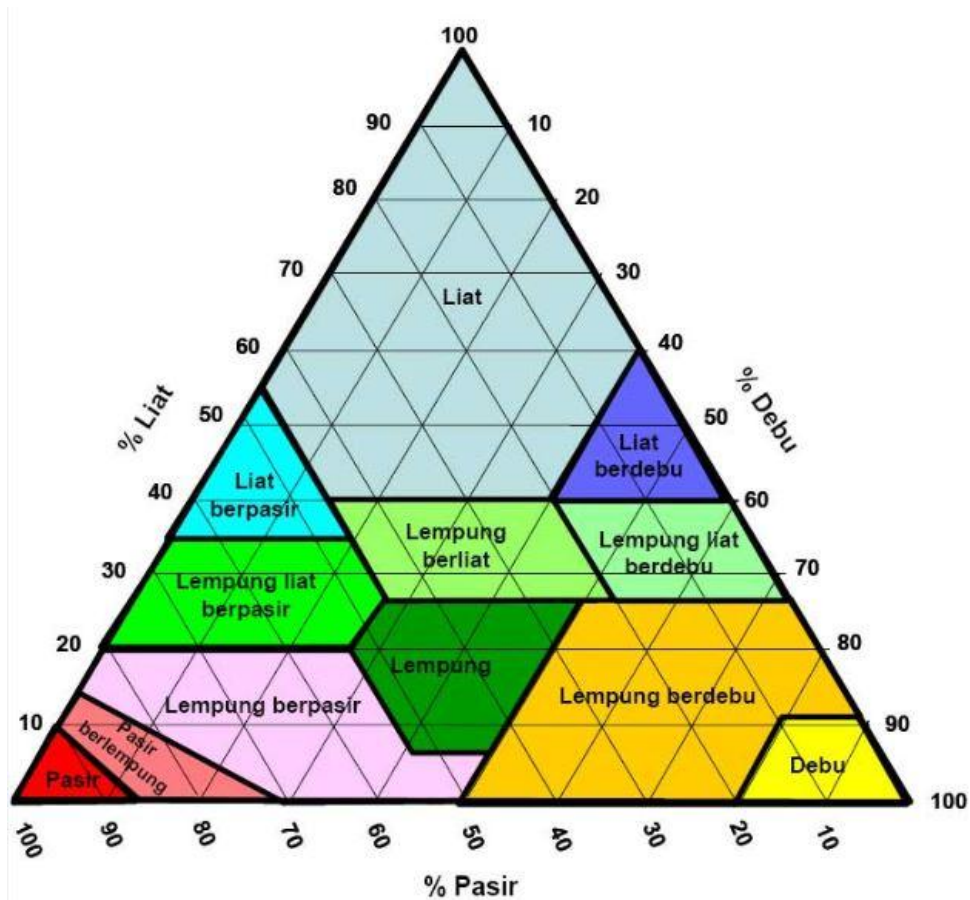
Kurva di bawah ini adalah untuk mengetahui kandungan apa saja yang ada pada tanah yang di uji pada penelitian yang di lakukan. Sumbu x menandakan persentasi lolosnya butiran butiran kandungan seperti tanah liat, lumpur, pasir dan kerikil sedangkan sumbu y adalah untuk menentukan besar kecilnya butiran butiran yang lolos uji saring.



Gambar 4. kurva pengujian ukuran butir (*grain size analysis*) sampel tanah

Dari hasil kurva pada Gambar 4 terdapat nilai *Gravel* (Batu) : 5,073%, *Sand* (Pasir) : 49,97%, *Silt* (Lanau) : 43,3%, *Clay* (Lempung) : 7,64% yang terdapat pada sampel tanah yang diuji pada penelitian. Kondisi tanah tersebut tidak 100% persen tanah yang murni tanah tersebut sudah tercampur dengan pasir, lanau, lempung dan batu.

Untuk mengetahui masa jenis yang terkandung dalam tanah yang diuji hasil dari kurva di atas bisa dilihat dari metoda diagnosis penyusun tanah dalam Gambar 5.



Gambar 5. Diagnosis penyusun tanah (Segitiga tekstur tanah)

Tekstur tanah adalah keadaan tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir (*sand* = diameter 2-0,22 mm), debu (*silt* = diameter 0,2-0,002 mm), dan liat (*clay* = diameter lebih kecil dari 0,002 mm). Partikel berukuran diatas 2 mm seperti kerikil dan batuan kecil tidak digolongkan sebagai fraksi tanah. Segitiga tekstur merupakan suatu diagram untuk menentukan kelas-kelas tekstur tanah. Ada 12 kelas tekstur tanah yang dibedakan oleh jumlah persentase ketiga fraksi tanah tersebut. Dalam penelitian hasil nilai dari uji *grain size analysis* bahwa pada sampel tanah mengandung *Gravel* (Batu) : 5,073%, *Sand* (Pasir) : 49,97%, *Silt* (Lanau) : 43,3%, *Clay* (Lempung) : 7,64%. Pada sampel yang diambil maka jenis tanah nya masuk dalam kategori liat berpasir.

3.2 Hasil pengujian penelitian metoda vertikal dengan tiga titik

Pada pengujian pertama dilakukan pada spot 2 yang menggunakan BC rod sebagai elektrodanya. Main rod di sini didesain dengan kedalaman 6 meter dan terbuat dari batang besi dengan menginjeksi arus AC dengan frekuensi antara 50 – 2 M Hz. Setelah menentukan titik dua yang akan di ukur untuk penelitian langkah berikutnya adalah melakukan pengukuran yang di awali dengan merangkai pengukuran pentanahan dengan metoda vertikal seperti ditunjukkan oleh Gambar 3 kemudian dicatat semua data yang tertera pada oscilloscope. Dengan demikian di dapat data pengukuran pengujian titik dua seperti Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Data Pengujian Spot 2

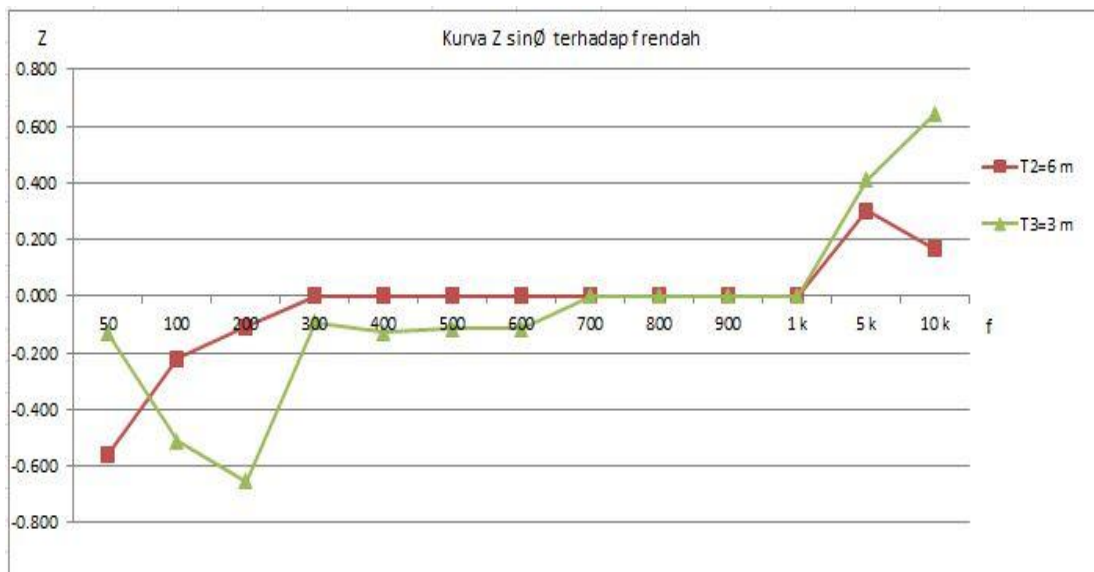
Titik 2 BC rod 6 meter					
f	Z	Ø	Z sin Ø	Z cos Ø	sifat
50	1.542	-21	-0.559	1.437	kapasitif
100	0.25	-63	-0.22	0.112	kapasitif
200	0.331	-20	-0.110	0.312	kapasitif
300	0.167	0	0	0.167	resistif
400	0.174	0	0	0.174	resistif
500	0.246	0	0	0.246	resistif
600	0.111	0	0	0.111	resistif
700	0.109	0	0	0.109	resistif
800	0.105	0	0	0.105	resistif
900	0.044	0	0	0.044	resistif
1 k	0.042	0	0	0.042	resistif
5 k	1.584	11	0	1.555	induktif
10 k	0.20	56	0.16	0.111	induktif
100 k	0.353	-21	-0.128	0.329	kapasitif
200 k	0.164	-61	-0.144	0.079	kapasitif
300 k	0.431	23	0.165	0.398	induktif
400 k	0.862	38	0.525	0.684	induktif
500 k	0.877	-37	-0.527	0.701	induktif
600 k	0.623	-43	-0.423	0.456	induktif
700 k	0.214	43	0.145	0.158	induktif
800 k	0.25	47	0.19	0.173	induktif
1 M	0.313	34	0.174	0.259	induktif
1.1 M	0.56	28	0.26	0.499	induktif
1.2 M	0.53	14	0.132	0.512	induktif
1.3 M	0.622	19	0.207	0.587	induktif
1.4 M	0.109	25	0.046	0.099	induktif
1.5 M	0.640	28	0.299	0.566	induktif
1.6 M	0.652	24	0.266	0.595	induktif
1.7 M	1.03	25	0.435	0.933	induktif
1.8 M	0.65	55	0.53	0.373	induktif
1.9 M	0.059	-76	-0.057	0.014	kapasitif
2 M	0.276	-47	-0.200	0.190	kapasitif

Pada pengujian kedua dilakukan pada spot 3 yang menggunakan BC rod sebagai elektrodanya. Main rod disini di desain dengan kedalaman 3 meter dan terbuat dari batang besi dengan menginjeksi arus AC dengan frekuensi antara 50 – 2 M Hz. Setelah menentukan titik tiga yang akan di ukur untuk penelitan langkah berikutnya adalah melakukan pengukuran yang di awali dengan merangkai pengukuran pentanahan dengan metoda vertikal seperti pada Gambar 3 kemudian dicatat semua data yang tertera pada oscilloscope. Dengan demikian didapat data pengukuran pengujian titik tiga seperti Tabel 3 di bawah ini.

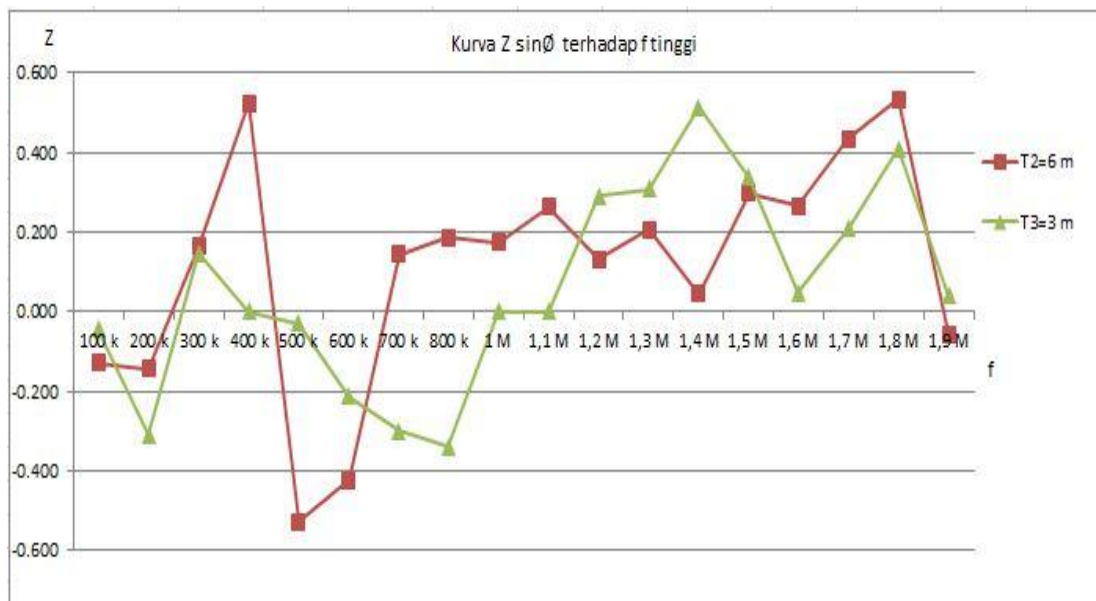
Tabel 3. Data Pengujian Spot 3

Titik 3 BC rod 3 meter					
f	Z	Ø	Z sin Ø	Z cos Ø	sifat
50	0.231	-35	-0.132	0.189	kapasitif
100	1.286	-24	-0.513	1.179	kapasitif
200	2.181	-18	-0.656	2.080	kapasitif
300	0.441	-12	-0.092	0.431	kapasitif
400	0.462	-16	-0.127	0.444	kapasitif
500	0.484	-14	-0.117	0.469	kapasitif
600	0.442	-15	-0.114	0.427	kapasitif
700	0.472	0	0	0.472	resistif
800	2.677	0	0	2.677	resistif
900	0.480	0	0	0.480	resistif
1 k	2.658	0	0	2.658	resistif
5 k	2.368	10	0	2.332	induktif
10 k	1.887	20	0.645	1.773	induktif
100 k	0.101	-26	-0.044	0.091	kapasitif
200 k	0.999	-18	-0.309	0.950	kapasitif
300 k	0.734	12	0.146	0.719	kapasitif
400 k	0.146	1	0.001	0.146	kapasitif
500 k	0.176	-10	-0.029	0.173	kapasitif
600 k	2.046	-6	-0.214	2.035	kapasitif
700 k	2.307	-8	-0.301	2.287	kapasitif
800 k	2.163	-9	-0.338	2.137	kapasitif
1 M	2.301	0	0	2.301	resistif
1.1 M	2.532	0	0	2.532	resistif
1.2 M	2.787	6	0.291	2.772	induktif
1.3 M	2.716	7	0.307	2.699	induktif
1.4 M	2.119	14	0.513	2.056	induktif
1.5 M	1.265	16	0.338	1.219	induktif
1.6 M	0.175	16	0.047	0.169	induktif
1.7 M	0.756	16	0.208	0.727	induktif
1.8 M	1.327	18	0.410	1.262	induktif
1.9 M	0.116	20	0.040	0.109	induktif
2 M	1.090	22	0.408	1.010	induktif

3.3 Analisis Kurva Impedansi Imajiner Terhadap Frekuensi



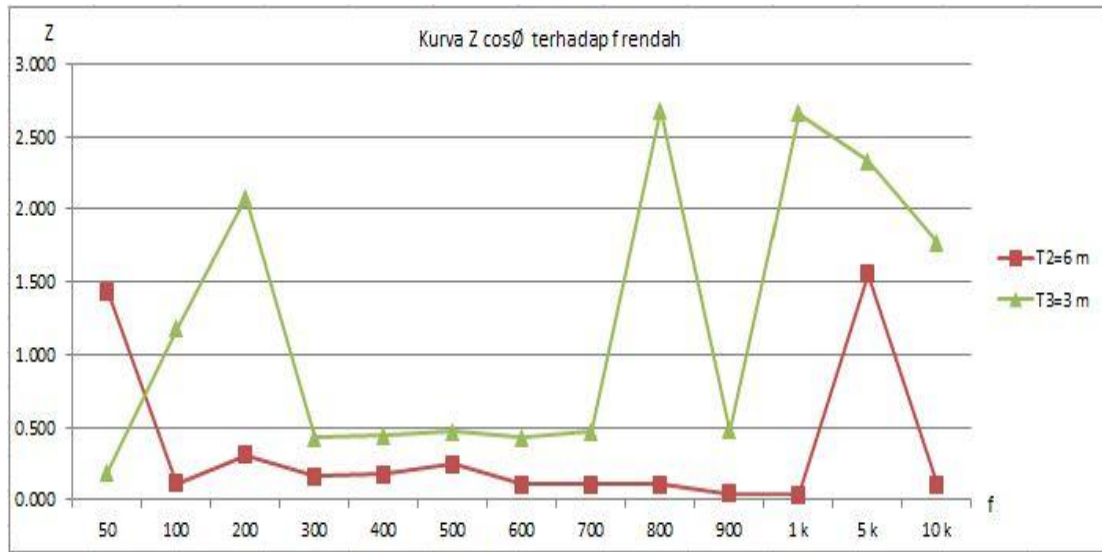
Gambar 6. Kurva Z sin Ø terhadap frekuensi 50-10 k Hz



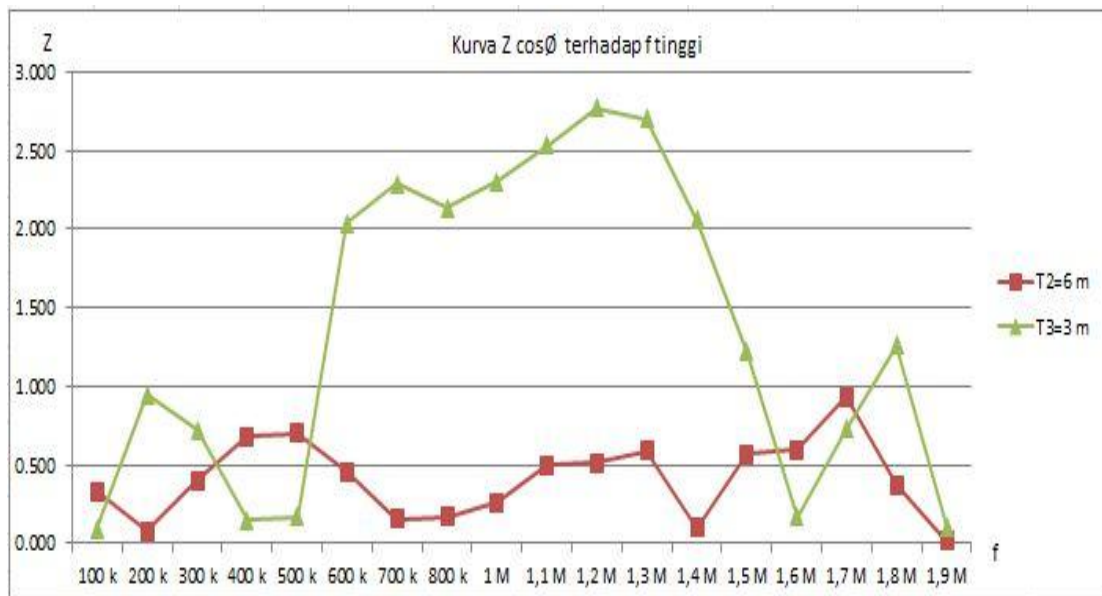
Gambar 7. Kurva Z sin Ø terhadap frekuensi 100 k – 2 M Hz

Gambar 6 menjelaskan grafik impedansi terhadap frekuensi imajiner rendah dan Gambar 7 di atas merupakan grafik impedansi imajiner terhadap frekuensi tinggi . Dari hasil grafik tersebut berkaitan dengan nilai beda fasa, jika sudut fasa nya minus maka hasil impedansi imajiner juga minus begitu pula sebaliknya. Jika hasil impedansi imajiner nya negatif maka bersifat kapasitif, sedangkan jika hasil impedansi imajiner nya positif maka bersifat induktif. Pada Gambar 6 bahwa menunjukkan lebih banyak bersifat resistif sedangkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa lebih banyak bersifat induktif.

3.4 Analisis Kurva Impedansi Rill Terhadap Frekuensi



Gambar 8. Kurva $Z \cos \emptyset$ terhadap frekuensi 50-10 k Hz



Gambar 9. Kurva $Z \cos \emptyset$ terhadap frekuensi 100 k – 2 M Hz

Gambar 8 menjelaskan grafik impedansi riil terhadap frekuensi rendah dan Gambar 9 di atas merupakan grafik impedansi riil terhadap frekuensi tinggi. Untuk sistem pentanahan memiliki nilai pentanahan yang baik adalah nilai impedansi yang sesuai kebutuhan sistem pentanahan. Semakin kecil nilai tahanan maka semakin baik pula untuk pengamanan peralatan. Melihat dari hasil pengujian dan perhitungan di dapat nilai impedansi riil, sehingga diperoleh hasil pada semua pengukuran yang memiliki nilai impedansi sesuai standard sistem pentanahan. Hal ini menunjukkan bahwa resistivitas tanah di sekitaran gedung kerja sama PLN-ITB menghasilkan nilai tahanan yang kecil.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian dan analisa pada seluruh pengukuran, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil dari semua pengukuran impedansi rill menunjukkan bahwa nilai impedansinya kecil hal ini menunjukkan bahwa resistivitas tanah yang ada di sekitaran gedung kerja sama PLN-ITB memenuhi standar sistem pentanhan.
2. Pengaruh frekuensi pada sistem pentanahan konfigurasi vertikal ini dapat dilihat bahwa karakteristik impedansi berubah-ubah terhadap frekuensi AC hal ini banyak faktor yang mempengaruhi yaitu cuaca dan tanah yang mengandung bebatuan.
3. Pada pengujian karakteristik tanah terdapat hasil dimana kandungan tanah yang di uji memiliki komposisi tanah yaitu *Gravel* (Batu) : 5,073%, *Sand* (Pasir) : 49,97%, *Silt* (Lanau) : 43,3%, *Clay* (Lempung) : 7,64%. Pada sampel yang diambil maka jenis tanahnya masuk dalam kategori liat berpasir.

DAFTAR PUSTAKA

Ardani I ; Anggoro B ; S Kudrat ; IS Ngapuli ; MP Parouli. (2002). *Perilaku Impedansi Pengetanahan Batang Konduktor Terhadap Injeksi Arus Bolak-balik*. FOSTU : Yogyakarta.

Anggoro B ; Kodrat S. (2002). *Kontur potensial tanah disekitar konduhor Pengetanahan dengan Injeksi berfrekuensi*. FOSTU : Yogyakarta.

Grecev L ; Helimbach M. (1997). *Frequeuncy Dependent and Transient Characteristics of Substation Grounding Systems*. IEEE Transaction on Power Delivery.

He J ; J Yuan ; R Zeng ; B Zhang ; J Zou ; dan Z Guan. (2005). *Decreasing Grounding Resistance of Substation by Deep-Ground-Well Methode*. IEEE Transaction on Power Delivery.

Hutauruk TS. (1991). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, edisi ke 2*. Penerbit Erlangga :Jakarta.

Bergy B ; Anggoro B ; Hariyanto N. (2015). *Studi Karakteristik Impedansi Pentanahan Konfigurasi Vertikal Dengan Variasi Panjang Batang Elektroda Menggunakan Injeksi Arus Bolak-Balik Berfrekuensi 50 Hz – 2 MHz*. Seminar Nasional Ketenaga Listrikan dan Aplikasinya (SENKA) : Bandung.