

# IDENTIFIKASI DISTRIBUSI SERBUK LOGAM DALAM TANAH DENGAN METODA INDUKSI MEDAN MAGNET

## IDENTIFICATION OF METAL POWDER DISTRIBUTION ON SOIL WITH MAGNETIC FIELD INDUCTION

Jessica Pramesti<sup>1</sup>, Dudi Darmawan<sup>2</sup>, Abrar Ismardi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[jessicapramesti7@gmail.com](mailto:jessicapramesti7@gmail.com), <sup>2</sup>[dudidw@gmail.com](mailto:dudidw@gmail.com), <sup>3</sup>[abrarselah@gmail.com](mailto:abrarselah@gmail.com)

### Abstrak

Metoda induksi medan magnet adalah salah satu metoda *Non-Destructive Testing* dengan variabel eksitasi medan magnet pada objek yang akan diuji. Metoda induksi medan magnet ini diharapkan dapat mengidentifikasi distribusi serbuk logam dalam tanah. Pengujian menggunakan dua jenis kumparan yang berperan sebagai transmitter dan receiver. Serbuk logam tembaga (Cu), mangan (Mn) dan besi (Fe) divariasikan jumlah massanya dan disebar secara merata dalam tanah serta diinduksi tepat di tengah oleh kumparan transmitter. Respon nilai ggl yang terukur di kumparan receiver dianalisis dengan melihat perbedaan antara penambahan variasi massa serbuk. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, serbuk tembaga sensitif pada penambahan massa 30 gram dengan rentang perubahan 80-100 mV, serbuk mangan sensitif pada penambahan massa 50 gram sebesar 200 mV dan serbuk besi yang sudah sensitif pada awal penambahan massa 10 gram. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan, jenis serbuk besi (Fe) memiliki jarak sensitivitas pengukuran dan perubahan nilai ggl terbesar terhadap penambahan variasi massa serbuk.

**Kata Kunci : Metoda Induksi Medan Magnet, Serbuk Logam, Respon ggl**

### Abstract

*Magnetic Field Induction is one method of Non-Destructive Testing with excitation variable of magnetic field on the object to be tested. The Induction method of the magnetic field is expected to identify the distribution of metal powders in the soil. The testing used two types of coils that served as transmitters and receivers. The mass quantities of copper metal (Cu), manganese (Mn) and iron (Fe) powder are varied and spread evenly in the ground and induced precisely in the middle by the transmitter coil. The response of the measured ggl value in the receiver coil is analysed by looking at the difference between the addition of powder mass variations. Based on the measurements, the copper powder is sensitive to the addition of 30 grams of a mass with a change range of 80-100 mV; the manganese powder was sensitive to the addition of 50 grams of a mass of 200 mV; and iron powder had been sensitive at the beginning of 10 grams of a mass increase. From all the tests performed, iron powder (Fe) had a measurement sensitivity distance and changes in the largest ggl value to the addition of powder mass variation.*

**Keynote : Magnetic Field Induction, Metal Powder, ggl response**

### 1. Pendahuluan

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang ditinjau dari sifat kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara serta memiliki unsur-unsur esensial seperti : N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl. Tanah anorganik / mineral terbentuk dari batuan sehingga mengandung mineral [1]. Tanah yang kaya akan unsur-unsur esensial atau logam mineral menjadi suatu kegiatan eksplorasi pertambangan.

Jenis tambang yang banyak dihasilkan di Indonesia yaitu minyak dan gas bumi, logam mineral seperti emas, besi, nikel, belerang, mangan, tembaga, timah, air raksa, batu bara, intan, dan sebagainya. Oleh karena itu mengetahui ada atau tidaknya berdasarkan identifikasi logam dalam tanah sangat diperlukan sebelum melakukan penambangan. Struktur bawah permukaan bumi adalah sistem perlapisan memiliki nilai resistivitas yang berbeda. Sehubungan dengan hal tersebut, penentuan adanya kandungan logam dalam tanah terdapat kemungkinan diketahui melalui parameter resistivitas tanah.

Pengukuran resistivitas tanah dapat dilakukan dengan metoda Wenner, yaitu menggunakan pin yang ditanam pada tanah yang akan diukur kemudian diinjeksikan arus sehingga perubahan tegangan terukur. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan [2] dalam pengukuran resistivitas dengan metoda Wenner, nilai resistivitas yang diperoleh berupa resistivitas semu keseluruhan dari objek jenis tanah yang diukur. Serta pengukuran dengan metoda Wenner juga bersifat merusak dengan menanamkan pin ke dalam objek berupa tanah. Sehingga dalam mengidentifikasi kepadatan logam

dalam tanah belum tentu bisa atau tidaknya dilakukan. Berdasarkan dari kekurangan metoda Wenner, metoda lain yang dapat digunakan dalam identifikasi distribusi resistivitas adalah tomografi [3]. Tomografi elektrik menggunakan besaran listrik seperti arus, tegangan yang diinjeksikan pada objek yang akan diuji. Pada tomografi elektrik ini memiliki kendala dalam persoalan ketidak-sensitifan akibat pemberian stimulus dan pengukuran yang dilakukan di batas objek uji. Pada penelitian sebelumnya [4] sistem pengeksitasian serta pengukuran pada injeksi arus sudah dilakukan, dari hasil penelitian tersebut sistem pengukuran potensial listrik diadopsikan pada metoda induksi medan magnet.

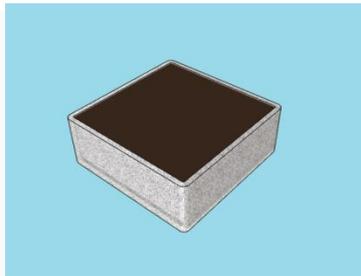
Dengan kendala tersebut maka pada penelitian Tugas Akhir ini ditawarkan solusi metoda induksi medan magnet. Penggunaan metoda induksi medan magnet membutuhkan dua jenis koil yaitu koil *transmitter* dan koil *receiver*. Metoda induksi medan magnet dapat dilakukan dengan cara menginduksikan medan magnet pada koil *transmitter* dan mengukur ggl yang terjadi di koil *receiver*. Sampel tanah yang divariasikan massa serbuk logam diinduksi tepat di tengah oleh koil *transmitter*. Respon ggl yang terukur di koil *receiver* dianalisis dengan melihat perbedaan ggl disetiap variasi penambahan massa masing-masing jenis serbuk logam.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Preparasi Sampel Tanah, Serbuk Logam dan Alat pengujian serbuk logam

Jenis sampel tanah yang di ambil dalam penelitian ini adalah tanah laterit mengindikasikan jenis tanah pertambangan yang mengandung logam. Pada penelitian tanah laterit dikeringkan dan disaring untuk dilihat morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan Kandungan unsur yang akan dijadikan sebagai *background* penelitian menggunakan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

Pada penelitian ini, digunakan serbuk logam dengan jenis Tembaga (Cu), Mangan (Mn), dan Besi (Fe) dengan kemurnian 98-99,9%. Masing-masing jenis serbuk logam disebar secara merata / dicampur dengan tanah dengan variasi massa masing-masing serbuk adalah 10, 20, 30, 40 dan 50 gram. Untuk massa tanah disesuaikan dengan indikator kepadatan dalam wadah akrilik berukuran 5x5 cm dengan kedalaman 2 cm.



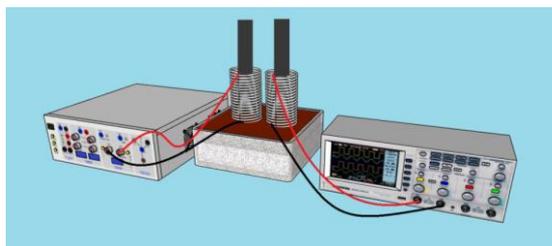
Gambar 1. Ilustrasi sampel tanah dalam wadah berukuran 5x5 cm

Spesifikasi kumparan dan alat penguji serbuk logam yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan dua jenis kumparan yaitu kumparan *transmitter* dan *receiver*, variasi lilitan kumparan untuk proses karakterisasi berjumlah 200-200, 300-300 dan 400-400 lilitan, panjang lilitan kumparan sebesar 3,5 cm dengan 100 lilitan per-layer dan kumparan diberi batang ferrit berukuran 14 cm dengan diameter 1 cm di letakkan pada posisi tengah dan tepat di atas objek yang akan diuji berupa sampel tanah yang akan disebar serbuk logam.

Serta jarak dari kumparan ke material sampel uji disesuaikan dengan respon pada kumparan receiver dengan rentang 0,5 cm hingga menempel sampel uji.

### 2.2 Karakterisasi Kumparan dan Pengujian Alat untuk Mendeteksi Serbuk Logam

Perangkat lain yang digunakan sebagai sumber arus yang akan diinjeksikan kepada kumparan *transmitter* yaitu menggunakan *Function Generator* serta Osiloskop untuk melihat respon gelombang dan nilai ggl yang dihasilkan oleh kumparan *receiver*.



Gambar 2. Ilustrasi Proses Identifikasi Kepadatan Serbuk Logam dalam Tanah

Karakterisasi kumparan dilakukan pada variasi lilitan kumparan dengan variasi jarak antar kumparan sebesar 0,5 cm , 0,75 cm dan 1 cm. Langkah pertama karakterisasi dilakukan dengan mendata respon nilai *ggl receiver* terhadap jumlah lilitan kumparan dan jarak antar kumparan dengan media udara atau tanpa objek pada rentang frekuensi 100-500 kHz, kemudian mendata respon nilai *ggl receiver* terhadap jumlah lilitan kumparan dan jarak antar kumparan dengan objek tanah pada rentang frekuensi 100-500 kHz. Karakterisasi kumparan dilakukan untuk mengetahui jumlah pasangan lilitan, frekuensi kerja dan jarak antar kumparan berapa yang memiliki perubahan terbesar respon *ggl receiver*-nya ditandai dengan adanya perbedaan antara ada dan tidak adanya objek. Setelah mendapatkan jumlah pasangan lilitan, frekuensi kerja dan jarak antar kumparan yang tepat kemudian dilakukan pengukuran selanjutnya untuk mendeteksi serbuk logam.

### 2.3 Mengukur Nilai *ggl receiver* pada Sampel Tanah dengan Variasi Massa Serbuk Logam

Proses pengukuran nilai *ggl receiver* pada masing-masing jenis serbuk logam dapat dilihat dari Gambar 3



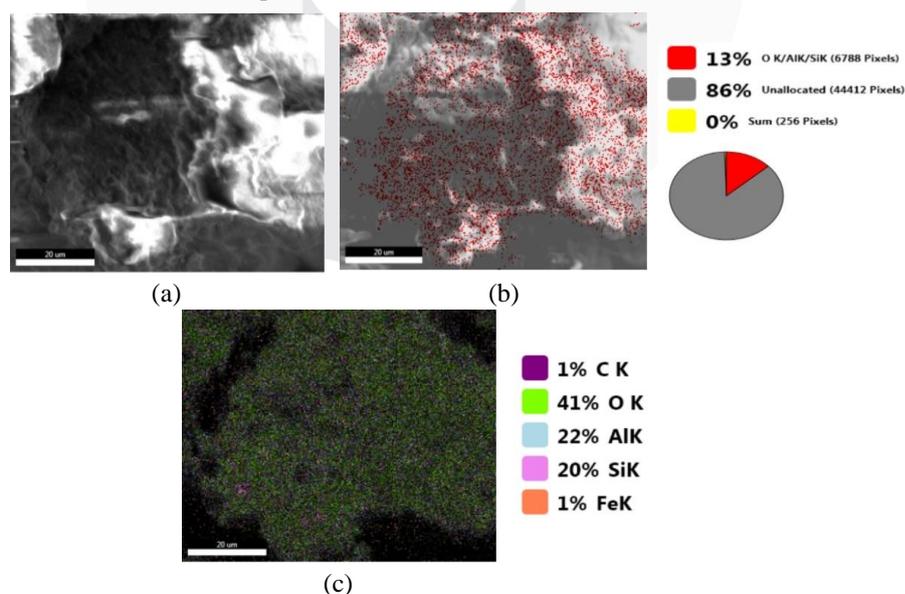
Gambar 3. Skema pengukuran respon nilai *ggl receiver* dengan variasi massa serbuk logam

Proses menganalisa data berupa hasil pengukuran nilai *ggl* pada kumparan *receiver* akibat pengaruh variasi massa masing-masing jenis serbuk logam. Respon data hasil pengukuran dimuat dalam bentuk tabel. Setelah itu dibuat grafik variasi jumlah massa masing-masing jenis serbuk logam terhadap nilai *ggl* yang dihasilkan pada kumparan *receiver* apakah data yang didapatkan sesuai berdasarkan sifat kemagnetan masing-masing jenis serbuk logam dalam merespon induksi yang diberikan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Karakterisasi Tanah Laterit dengan SEM-EDAX

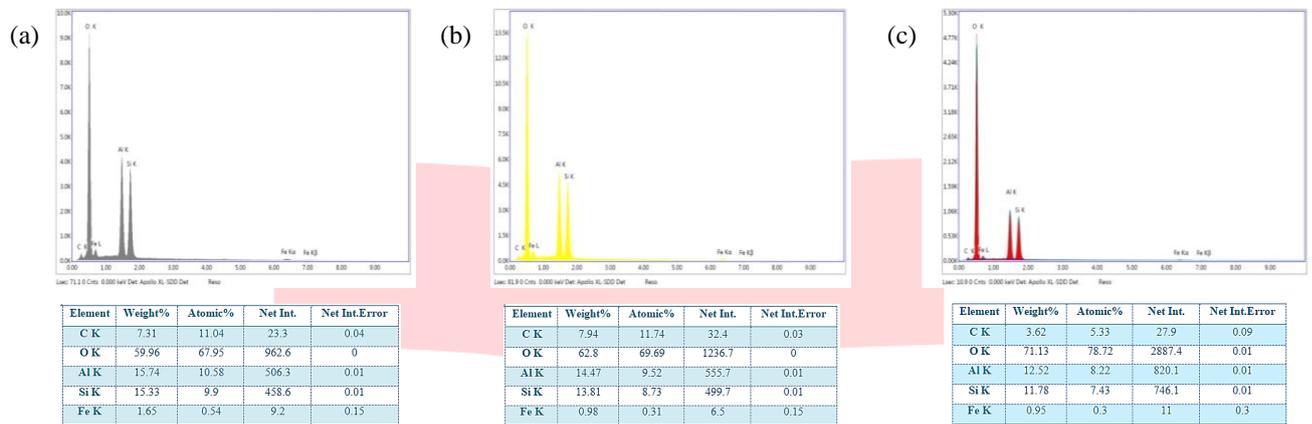
Tanah laterit merupakan tanah yang memiliki kandungan logam seperti besi dan aluminium. Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan karakterisasi tanah laterit untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur yang terkandung pada sampel tanah laterit yang akan digunakan untuk mendeteksi serbuk logam dalam tanah laterit. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi permukaan pada sampel tanah laterit dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) sebagai hasil analisis komposisi yang terkandung dalam sampel tanah laterit secara kualitatif dan kuantitatif sebagai *background* penelitian. Hasil karakterisasi SEM-EDAX tanah laterit dapat dilihat dari Gambar 4



Gambar 4. Morfologi permukaan dan komposisi unsur pada sampel tanah laterit dengan resolusi 20  $\mu\text{m}$  (a) Morfologi umum, (b) Morfologi spesifik, (c) Komposisi Unsur

Pada Gambar 4(a) menunjukkan citra morfologi permukaan sampel tanah laterit secara umum yang tidak merata dan tidak berpori, sedangkan pada Gambar 4(b) menunjukkan citra morfologi permukaan sampel tanah laterit yang lebih spesifik berdasarkan sebaran kandungan unsur yang teralokasi dan tak teralokasi. Pada sampel tanah laterit mengandung 13% unsur yang teralokasi, 86% unsur yang tak teralokasi dan 0% jumlah spektrum yang di analisis kembali secara kualitatif berupa jenis unsur apa saja yang terdapat dalam persentase tersebut berdasarkan puncak energi pada kurva dan kuantitatif berupa komposisi unsur yang dimuat dalam persentase massa dan atomic. Pada Gambar 4(c) menunjukkan persentase sebaran unsur C,O,Al,Si dan Fe pada seluruh permukaan sampel tanah laterit dengan persentase 1% C , 41% O , 22% Al, 20% Si, 1% Fe.

Kurva puncak energi yang akan menunjukkan jenis unsur, persentasi massa serta atomik pada masing-masing bagian yang teralokasi, tak teralokasi dan jumlah spektrum ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Kurva dan komposisi persentase hasil karakterisasi EDAX (a) teralokasi, (b) tak teralokasi, (c) jumlah spektrum

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik atau kurva jumlah keseluruhan kandungan unsur (C,O,Al,Si,Fe) tanpa memperhitungkan sebaran namun berdasarkan persentase massa dan atomik. Berdasarkan Gambar 5(a) menunjukkan persentase massa dan atomik unsur yang teralokasi pada sampel tanah laterit, sedangkan Gambar 5(b) menunjukkan persentase massa dan atomik unsur yang tak teralokasi pada sampel tanah laterit dan Gambar 5(c) menunjukkan persentase massa dan atomik pada keseluruhan jumlah spektrum tanah laterit.

Berdasarkan hasil SEM-EDAX dapat diketahui bahwa tanah laterit yang digunakan untuk mendeteksi unsur logam dalam tanah dipengaruhi oleh unsur logam lain yang berasal dari tanah laterit itu sendiri yaitu aluminium (Al) dan silikon (Si) yang bersifat paramagnetik dan besi (Fe) yang bersifat ferromagnetik.

### 3.2 Pengujian Alat untuk Mendeteksi Serbuk Logam

Untuk melakukan pengujian alat untuk mendeteksi serbuk logam dilakukan karakterisasi kumparan dan pengujian alat sebelum dan sesudah diberikan objek sampel tanah laterit.

- Karakterisasi kumparan

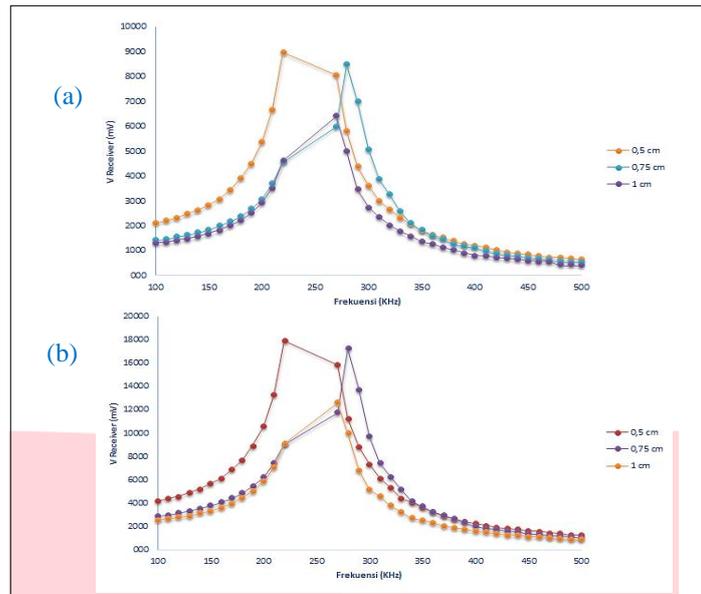
Karakteristik kumparan yang akan digunakan untuk karakterisasi kumparan ini sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Kumparan

Jumlah Lilitan	Induktansi	Resistansi	Panjang	Diameter Kumparan
Transmitter & Receiver : 200 Lilitan	1,89 mH	2,5 Ω	3,5 cm	0,3 mm
Transmitter & Receiver : 300 Lilitan	4,17 mH	3,9 Ω	3,5 cm	0,3 mm
Transmitter & Receiver : 400 Lilitan	7,67 mH	5,5 Ω	3,5 cm	0,3 mm

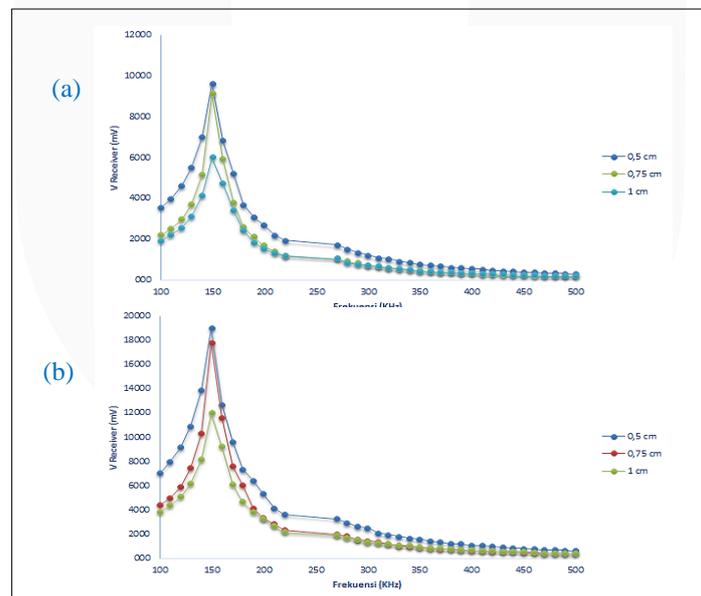
Pada tahap karakterisasi kumparan ini, masing-masing pasangan kumparan memiliki variasi jarak antar kumparan sebesar 0,5, 0,75 dan 1 cm serta diberikan input amplitudo sebesar 10 dan 20 Vpp dengan rentang frekuensi 100-500 KHz.

Berikut adalah grafik hubungan tegangan pada kumparan *receiver* terhadap perubahan frekuensi pada kumparan 200 lilitan dengan variasi jarak dan besaran input 10 dan 20 Vpp.



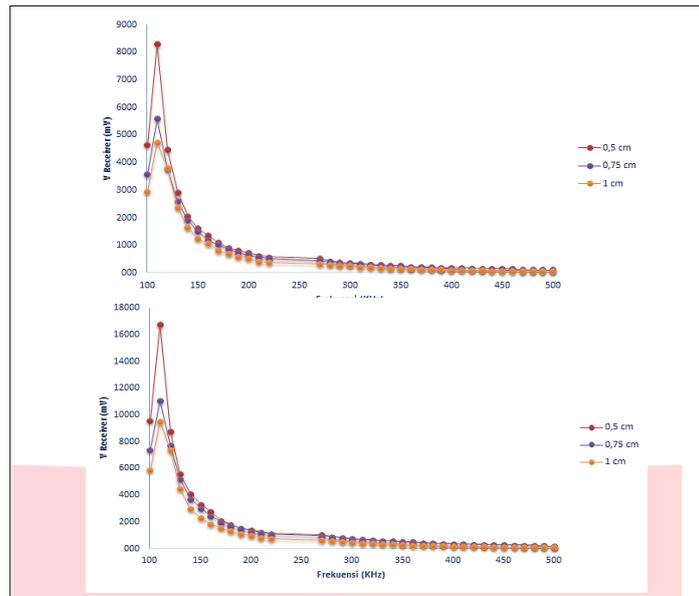
Gambar 6. Grafik tegangan receiver terhadap frekuensi (a) 200 lilitan pada 10 Vpp, (b) 200 lilitan pada 20 Vpp

Berdasarkan Gambar 6. dapat diketahui frekuensi optimum / frekuensi kerja dari masing-masing pasangan kumparan yaitu 200 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,5 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 220 KHz sebesar 8960 mV dan 17800 mV. 200 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,75 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 240 KHz sebesar 8480 mV dan 16800 mV. 200 lilitan dengan jarak antar kumparan 1 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 230 KHz sebesar 6400 mV dan 12600 mV.



Gambar 7. Grafik tegangan receiver terhadap frekuensi (a) 300 lilitan pada 10 Vpp, (b) 300 lilitan pada 20 Vpp

Berdasarkan Gambar 7. dapat diketahui frekuensi optimum / frekuensi kerja dari masing-masing pasangan kumparan yaitu 300 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,5 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 150 KHz sebesar 9600 mV dan 19000 mV. 300 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,75 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 150 KHz sebesar 9120 mV dan 17800 mV. 300 lilitan dengan jarak antar kumparan 1 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 150 KHz sebesar 6000 mV dan 12000 mV.



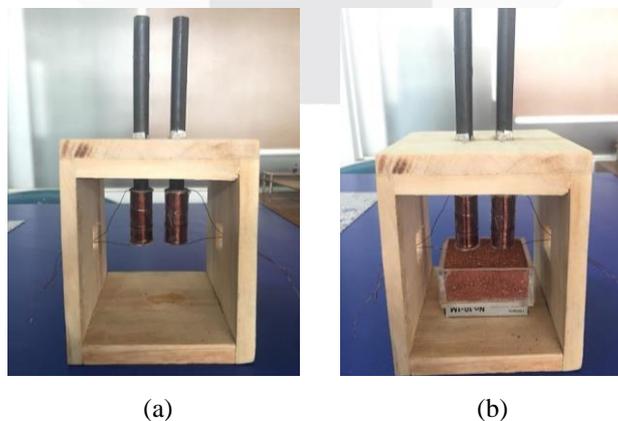
Gambar 8. Grafik tegangan receiver terhadap frekuensi (a) 400 lilitan pada 10 Vpp, (b) 400 lilitan pada 20 Vpp

Berdasarkan Gambar 8. dapat diketahui frekuensi optimum / frekuensi kerja dari masing-masing pasangan kumparan yaitu 400 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,5 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 110 KHz sebesar 8320 mV dan 16800 mV. 400 lilitan dengan jarak antar kumparan 0,75 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 110 KHz sebesar 5600 mV dan 11100 mV. 400 lilitan dengan jarak antar kumparan 1 cm pada 10 Vpp & 20 Vpp pada frekuensi 110 KHz sebesar 4720 mV dan 9520 mV.

Dari karakterisasi yang telah dilakukan pada masing-masing pasangan kumparan dapat dilihat bahwa perubahan frekuensi dapat mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan oleh kumparan *receiver*. Semakin banyak jumlah lilitan maka semakin cepat respon frekuensi optimum yang dihasilkan dan sebaliknya semakin sedikit jumlah lilitan maka semakin lambat respon frekuensi optimum yang dihasilkan. Jarak antar kumparan juga mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan oleh kumparan *receiver*, semakin jauh jarak antar kumparan pada masing-masing lilitan maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan kumparan *receiver*.

- Pengujian alat sebelum dan sesudah diberikan objek sampel tanah laterit

Pengujian dilakukan langsung dengan dan tanpa memberikan objek sampel tanah laterit. Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui pasangan koil yang memiliki kemampuan maksimum dalam mendeteksi ada dan tidak adanya objek yang diharapkan dapat mendeteksi serbuk logam dalam tanah. Pengujian tanpa dan adanya objek tanah laterit dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)

(b)

Gambar 9. Pengujian alat pendeteksi serbuk logam dalam tanah (a) tanpa objek atau udara (b) dengan objek tanah laterit

Spesifikasi alat pendeteksi serbuk logam yang dipilih dilihat dari perubahan terbesar dari masing-masing pasangan kumparan dalam merespon antara ada dan tidak adanya objek sampel tanah laterit. Berikut adalah data hasil pengujian masing-masing kumparan tanpa dan dengan objek sampel tanah laterit

Tabel 2. Hasil Pengujian kumparan tanpa dan dengan objek

Jumlah Lilitan	Amplitudo	Jarak antar kumparan	Sebelum diberi tanah laterit (mV)	Sesudah diberi tanah laterit(mV)	$\Delta V$ Receiver
200 lilitan	10 Vpp	0,5 cm	8960 mV	9120 mV	160 mV
		0,75 cm	8480 mV	-	-
		1 cm	6400 mV	-	-
	20 Vpp	0,5 cm	17800 mV	18200 mV	400 mV
		0,75 cm	16800 mV	-	-
		1 cm	12600 mV	-	-
300 lilitan	10 Vpp	0,5 cm	9600 mV	9760 mV	160 mV
		0,75 cm	9120 mV	9280 mV	160 mV
		1 cm	6000 mV	-	-
	20 Vpp	0,5 cm	19000 mV	19400 mV	400 mV
		0,75 cm	17800 mV	18200 mV	400 mV
		1 cm	12000 mV	-	-
400 lilitan	10 Vpp	0,5 cm	8320 mV	8880 mV	560 mV
		0,75 cm	5600 mV	6080 mV	480 mV
		1 cm	4720 mV	4800 mV	80 mV
	20 Vpp	0,5 cm	16800 mV	18000 mV	1200 mV
		0,75 cm	11100 mV	12100 mV	1000 mV
		1 cm	9520 mV	9600 mV	80 mV

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat membuktikan bahwa perubahan jumlah lilitan mempengaruhi perubahan ada dan tidak adanya objek sampel tanah laterit. Selain itu, jarak antar kumparan mempengaruhi perubahan ada dan tidak adanya objek sampel tanah laterit. Semakin jauh jarak antar kumparan semakin kecil kemungkinan bisa mendeteksi adanya objek.

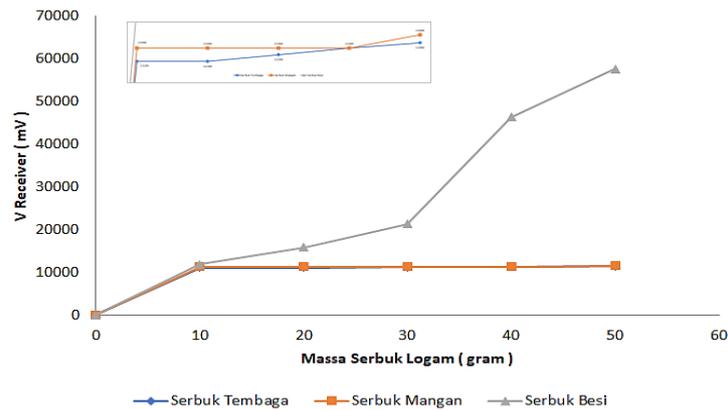
Dari Tabel 4.2 juga dapat dilihat perubahan terbesar dari ada dan tidak adanya objek sampel tanah berada pada pasangan kumparan 400 lilitan dengan jarak 0,5 cm pada input 20 Vpp dengan perubahan sebesar 1200 mV. Pemilihan kumparan dapat dipengaruhi juga oleh jarak, pemilihan kumparan pada jarak yang terlalu dekat diminimalisir untuk mengurangi terjadinya mutual induktansi atau akan merespon koil transmitter terlalu dekat. Selain itu, pemilihan jarak yang terlalu jauh akan mempengaruhi sisi luar yang terlalu berdekatan dengan wadah objek. Sehingga pemilihan kumparan tetap pada penelitian ini yaitu pada 400 lilitan dengan jarak 0,75 cm pada 20 Vpp karena hasil yang tidak jauh berbeda dengan 400 lilitan pada jarak 0,5 cm dengan input 20 Vpp.

### 3.3 Penggunaan Alat untuk Pengujian Variasi Serbuk Logam

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan melihat pengaruh jenis serbuk dan penambahan massa serbuk logam terhadap nilai tegangan yang terukur di kumparan *receiver*. Pengujian ini juga dilakukan dengan melihat sensitivitas terkecil jarak kumparan ke objek yang diuji. Terdapat komposisi kemurnian dari masing-masing serbuk logam yaitu :

- Serbuk Tembaga (Cu) kemurnian 99,5% (mengandung Pb 0,05%, Fe 0,018%, As 0,003%, Sb 0,005% )
- Serbuk Mangan (Mn) kemurnian 99,7% (mengandung Fe 0,02%, Si 0,015% dan C 0,2% )
- Serbuk Besi (Fe) kemurnian 98% (mengandung SO<sub>4</sub> 0,06%, N 0,005%, Cu 0,005%, Senyawa tak larut 0,1% dan Bahan larut dalam air 0,06% )

Berikut grafik hubungan tegangan terhadap variasi massa serbuk logam yang ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Grafik tegangan receiver terhadap variasi massa serbuk logam

Berdasarkan Gambar 10, jenis serbuk dan variasi massa mempengaruhi nilai tegangan yang terukur di kumparan *receiver*. Pada jenis serbuk tembaga (Cu) yang tergolong diamagnetik tidak terjadi perubahan tegangan pada massa 10 dan 20 gram. Kemudian terjadi perubahan yang tidak terlalu signifikan pada penambahan massa 30, 40 dan 50 gram sekitar 80-100 mV. Perubahan tegangan *receiver* pada serbuk tembaga (Cu) mulai sensitif pada penambahan massa 30 gram. Perubahan tegangan pada serbuk tembaga (Cu) ini juga masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan sampel tanah laterit tanpa dicampur serbuk logam (12100 mV). Pada serbuk tembaga pengukuran dilakukan dengan menempelkan kumparan langsung ke sampel objek.

Pada jenis serbuk mangan (Mn) yang tergolong paramagnetik tidak terjadi perubahan tegangan sama sekali pada setiap penambahan massa hingga 40 gram, perubahan tegangan pada serbuk mangan (Mn) mulai sensitif pada penambahan massa 50 gram sebesar 200 mV serta nilai tegangan yang terukur di kumparan *receiver* lebih besar dibandingkan serbuk tembaga (Cu). Sama halnya dengan serbuk mangan yang masih sangat jauh berbeda dengan sampel tanah laterit tanpa dicampur serbuk logam (12100 mV) serta pengukuran juga dilakukan dengan menempelkan kumparan langsung ke sampel objek.

Perubahan besar dan signifikan terjadi pada jenis serbuk besi (Fe) yang tergolong ferromagnetik. Pada setiap penambahan massa serbuk besi terjadi kenaikan yang sangat besar hingga dua kali lipat dan jauh melebihi sampel tanah laterit tanpa dicampur dengan serbuk logam. Serbuk besi memiliki sensitivitas jarak terhadap objek sampel. Pada saat melakukan pengujian, pada rentang jarak 0,5-1 cm tanpa harus ditempel dengan kumparan, pengujian dengan serbuk besi pada rentang tersebut sudah dapat merespon perubahan yang terjadi di kumparan *receiver*.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian berhasil mengidentifikasi distribusi serbuk logam dalam tanah berdasarkan nilai ggl yang terukur pada kumparan *receiver* dengan variasi massa masing-masing jenis serbuk (Cu, Mn, Fe). Serbuk tembaga sensitif pada penambahan massa 30 gram dengan rentang perubahan 80-100 mV, serbuk mangan sensitif pada penambahan massa 50 gram sebesar 200 mV dan serbuk besi yang sudah sensitif pada awal penambahan massa 10 gram. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan, jenis serbuk besi (Fe) memiliki jarak sensitivitas pengukuran dan perubahan nilai ggl terbesar terhadap variasi massa serbuk.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahman, A., & Madiung, B. 2017. *Politik Hukum Pertahanan*. Celebes Media Perkasa
- [2] Salam, M. A., Rahman, Q. M., Ang, S. P., & Wen, F. 2017. *Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil*. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 5(2), 290–297
- [3] Darmawan, D., & Suprijanto. 2017. *Pengembangan Sistem Koleksi Data Tomografi Induksi Medan Magnet Berbasis Multi Kumparan Transmitter untuk Mendeteksi Kandungan Bahan Logam dalam Tanah*. Proposal Penelitian Pascadoktor
- [4] Darmawan, D., Kurniadi, D., & Suyatman. 2014. *Boundary Potential Distribution in Rectangular Object Based on Data Collection System*. AIP Conference Proceedings 1617.