STUDI PERBANDINGAN KONFIGURASI KOIL METODA EDDY CURRENT TESTING (ECT) PADA BAHAN FERROMAGNETIK DAN NON-FERROMAGNETIK

Febriyanti Novitasari[1], Dudi Darmawan[2], Mamat Rokhmat[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung
[1]vitasofyan93@gmail.com, [2]dudiddw@gmail.com, [3]mamatrokhmat76@gmail.com

Abstrak

Teknologi yang berkembang pesat saat ini merupakan efek dari kebutuhan manusia yang semakin meningkat, salah satunya yakni teknologi inspeksi. Teknologi inspeksi ini merupakan proses yang sistematik dan independen untuk memperoleh bukti inspeksi dan mengevaluasinya secara obyektif untuk menentukan sampai sejauh mana kriteria inspeksi terpenuhi. Berbagai tahap inspeksi telah dikembangkan saat ini mulai dari *Destructive Testing* maupun *Non-Destructive Testing.* Seiring dari berkembangnya teknologi, metode *Non-Destructive Testing* yang sering digunakan untuk melakukan pengujian, karena metode *Non-Destructive Testing* ini adalah pengujian tanpa merusak objek secara kontak langsung. *Non-Destructive Testing* memiliki beberapa metode, salah satunya metode *Eddy Current Testing* yang digunakan dalam penelitian topik tugas akhir ini. Dalam penelitian tugas akhir ini, objek uji yang akan digunakan berupa bahan ferromagnetik dan non-ferromagnetik. Sudah diketahui bahwa bahan non-ferromagnetik merupakan bahan yang mempunyai sifat kemagnetan sangat rendah. Oleh karena itu penelitian tugas akhir ini akan membandingkan objek uji yang bersifat ferromagnetik dengan non-ferromagnetik. Pengujiannya masing-masing menggunakan konfigurasi koil yang berbeda hingga mendapatkan konfigurasi koil yang tepat untuk dapat menghasilkan data potensial pada objek.

Kata kunci: ***Destructive Testing, Non-Destructive Testing, Eddy Current Testing,* Data Potensial.**

Abstract

Rapidly evolving technology is currently the effect of increasing human needs, one of which the inspection technology. Inspection technology is a systematic and independent process for obtaining evidence and evaluating it objectively inspection to determine the extent to which inspection criteria are met. Various stages of inspection have been developed at this time ranging from Destructive Testing and Non-Destructive Testing. As of the development of technology, Non-Destructive Testing methods are often used to do the testing, because the method of Non-Destructive Testing is testing without damaging the object direct contact. Non-Destructive Testing has several methods, one of which Eddy Current Testing methods used in the research topic of this thesis. In this research, the test object to be used in the form of a ferromagnetic material and non-ferromagnetic. It is known that the non-ferromagnetic material is a material that has a very low magnetic properties. Therefore, this research will compare the test object is ferromagnetic and non-ferromagnetic. Testing each using a different coil configurations to get the right coil configuration to produce potential data on the object.

Keywords: ***Destructive Testing, Non-Destructive Testing, Eddy Current Testing, Potential Data.***

1. Pendahuluan

Non-Destructive Testing ini adalah pengujian tanpa merusak objek secara kontak langsung, pengujian ini mampu mengetahui kondisi, kualitas, ketahanan suatu objek tanpa merusaknya terlebih dahulu. Seiring dari berkembangnya teknologi, maka pengujian *Non-Destructive Testing* adalah suatu pilihan yang harus diambil. Secara umum *Non-Destructive Testing* ada beberapa metode yaitu metode *visual testing*, *ultrasonic*, *radiography*, *liquid penetrant, magnetic*, *optic*, *electromagnetic*, dan lain-lain.

Dalam penelitian tugas akhir ini, objek uji yang digunakan adalah *ferromagnetic* dan *non-ferromagnetic*. Banyak penelitian metode induksi medan magnet yang menggunakan objek uji dari bahan *ferromagnetic*. Dan dengan memilih menggunakan objek *non-ferromagnetic* ini memiliki tujuan untuk membandingkan hasil pengujian yang didapatkan dari objek *non-ferromagnetic* terhadap objek *ferromagnetic*. Sudah diketahui bahan *non-ferromagnetic* merupakan bahan yang mempunyai sifat kemagnetan yang rendah. Alasan menggunakan bahan *non-ferromagnetic* merupakan tantangan yang akan dihadapi dalam penelitian tugas akhir ini.

2. Dasar Teori

2.1 Non-Destructive Testing (NDT)

Non-Destructive Testing (NDT) adalah pengujian, evaluasi, atau inspeksi pada berbagai macam bahan yang tidak akan merusak fungsi dari objek. Ada beberapa keuntungan menggunakan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) seperti mengurangi *downtime*, mengurangi kerusakan pada komponen dan mencegah kegagalan selama pengerjaannya[2].

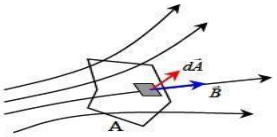
Non-Destructive Testing (NDT) banyak digunakan dalam industri otomotif, *aerospace*, manufaktur dan bidang konstruksi. Ada beberapa macam metode *Non-Destructive Testig* (NDT) seperti *ultrasonic*, *electromagnetic*, *visual testing*, *liquid penetrant*, dan lain-lain[2]. Salah satu bagian *Non-Destructive Testing* adalah *Eddy Current Testing* yang menggunakan metode *electromagnetic* dan paling banyak digunakan dalam pengujian objek yang bersifat konduktif seperti besi, baja, aluminium, tembaga, dan lain-lain. Prinsip *Eddy Current Testing* ini didasarkan adanya interaksi antara sumber medan magnet dengan objek yang diuji, yang disebut arus eddy[1].

2.2 Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah suatu peristiwa medan magnet yang dapat menghasilkan medan listrik. Fluks magnetik ini berkaitan dengan jumlah garis medan magnet yang melewati luas suatu permukaan bidang. Pada Gambar 2.1 medan magnetik tegak lurus terhadap suatu bidang yang dibatasi oleh rangkaian sederhana yang terbuat dari satu lilitan kawat[4]. Dalam hal ini, fluks magnetik ϕ_m didefinisikan sebagai perkalian medan magnetik **B** dengan luasan A, seperti:

$$\phi_m = BA \tag{2.1}$$

Karena medan magnetik sebanding dengan jumlah garis medan magnetik per luas satuan, fluks magnetik tersebut sebanding dengan jumlah garis yang melalui luasan tersebut.



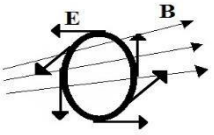
Gambar 2.1 Fluks magnetik menyatakan garis gaya yang menembus permukaan dalam arah tegak lurus[5].

2.3 Ggl Induksi dan Hukum Faraday

Istilah ggl disebabkan karena adanya sebuah gaya listrik yang bekerja untuk menggerakkan elektron dalam konduktor[6] yang menyatakan bahwa apabila terjadi perubahan fluks dalam suatu loop maka dihasilkan gaya gerak listrik (tegangan listrik) induksi yang berbanding lurus dengan laju perubahan fluks[5]. Ggl biasanya dideteksi dengan mengamati arus dalam suatu rangkainnya (lilitan kumparan). Ggl yang diinduksi oleh fluks magnetik yang berubah dapat dianggap terdistribusi di seluruh rangkaiannya (lilitan kumparan)[4].

$$\mathcal{E} = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \tag{2.2}$$

Hasil ini dikenal sebagai hukum Faraday. Tanda negatif dalam hukum Faraday berkenaan dengan arah ggl induksinya[4].

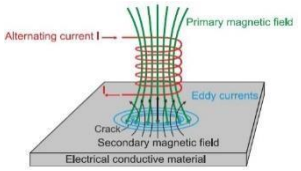


Gambar 2.2 Fluks magnetik terhadap ggl

2.4 Eddy Current Testing (ECT)

Eddy Current Testing (ECT) merupakan salah satu teknik utama dalam metode NDT yang digunakan pada pengujian objek untuk mendeteksi cacat, retak, lubang dalam berbagai macam bahan bersifat konduktif[3]. Prinsip *Eddy Current Testing* ini didasarkan adanya interaksi antara sumber medan magnet dengan objek uji[1].

Seperti pada Gambar 2.3 jika medan magnetik **B** antara permukaan berubah terhadap waktu (ini akan terjadi jika arus dalam gulungan magnet berupa arus bolak-balik), fluks yang melalui objek akan berubah juga. Jika **B** berubah, fluks akan berubah juga, dan akan terdapat ggl induksi di sekeliling objek.

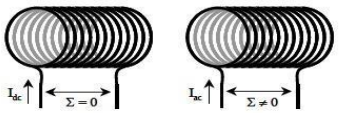


Gambar 2.3 Arus Eddy yang dihasilkan medan magnetik melalui objek[1].

2.5 Induktansi

Ketika dua buah kumparan didekatkan, maka akan menimbulkan medan magnet induksi. Atau dapat didefinisikan bahwa ketika terjadi perubahan arus, maka akan terjadi perubahan fluks magnetik di kumparan tersebut, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan induksi (tegangan kumparan)[7]. Berdasarkan hukum Faraday maka solenoid menghasilkan ggl induksi. Dengan demikian, ketika dialiri arus bolak-balik (AC) maka

muncul tegangan antara dua ujung solenoid. Tegangan ini tidak muncul ketika solenoid dialiri arus konstan searah (DC)[5].



(a) (b)

Gambar 2.4 (a) Solenoid yang dialiri arus DC konstan, tidak muncul tegangan antara dua ujung solenoid sedangkan (b) Solenoid dialiri arus AC maka muncul tegangan antara dua ujung solenoid[5].

Kuat medan magnet dalam rongga solenoid, adalah:

$$B = \mu_0 nI \tag{2.3}$$

Jika luas penampang solenoid A maka fluks magnetis dalam solenoid, adalah:

$$\phi = BA = \mu_0 nIA \tag{2.4}$$

Oleh karena itu, berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi yang dihasilkan solenoid:

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} = -N\frac{d(\mu_0 nIA)}{dt} = -\mu_0 n^2 A\frac{dI}{dt} \tag{2.5}$$

Fluks sebanding dengan arus I. Konstanta sebanding dengan induktansi diri:

$$L = \frac{N\phi_m}{I} = \mu_0 n^2 lA \tag{2.6}$$

Apabila arus dalam rangkaian berubah, fluks magnetik juga berubah, sehingga ggl akan diinduksi dalam rangkaiannya (kumparan). Karena induktansi diri suatu rangkaian konstan, perubahan fluks dihubungkan dengan perubahan arus oleh[4]:

$$\frac{N\Delta\phi_m}{\Delta t} = \frac{N\Delta(LI)}{\Delta t} = L\frac{\Delta I}{\Delta t} \tag{2.7}$$

Menurut hukum Faraday, diperoleh:

$$\varepsilon = -\frac{N\Delta\phi_m}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \tag{2.8}$$

Dengan demikian, ggl induksi diri sebanding dengan laju perubahan arusnya.

2.6 Skin Depth

Skin Depth dari radiasi elektromagnetik sering disebut kedalaman penetrasi, maksudnya adalah jarak ke dalam sebuah logam beradiasi sampai $\frac{1}{e}$ dari intensitas awalnya. Namun Skin Depth juga dapat menunjukkan ke kedalaman dari permukaan suatu konduktor di mana $\frac{1}{e}$, atau sekitar 37%, dari *current density*. Ini menunjukkan bahwa medan magnet yang berubah terhadap waktu menginduksi arus eddy dalam melakukan pengujian pada suatu bahan[8]. Skin depth dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} = \frac{1}{\sqrt{f\sigma\mu\pi}} \tag{2.9}$$

2.7 Magnetic Permeabilitas

Magnetik permeabilitas μ adalah angka yang mengkuantifikasi tingkat induksi magnetik **B** bahan ketika medan magnet **H** diterapkan, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.10):

$$\boldsymbol{B} = \mu\boldsymbol{H} \tag{2.10}$$

$$\mu = \mu_r\mu_0 ; \text{di mana } \mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ H/m} \tag{2.11}$$

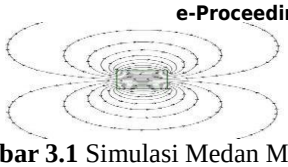
Tabel 2.1 Tabel Resistivitas dan Koefisien (Pada Suhu 20ºC)[4]

Material	Resistivity, ρ (Ω-m)	Coefficient, α $(C^o)^{-1}$
Tembaga	1.68×10^{-8}	0.0068
Aluminium	2.65×10^{-8}	0.00429
Besi	9.71×10^{-8}	0.00651

3. Metode Penelitian

3.1 Simulasi Perancangan Induksi Medan Magnet Pada Lilitan Koil

Simulasi besar dan arah medan magnet dapat menggunakan *software Vizimag* 3.18 seperti pada Gambar 3.1 di bawah ini.



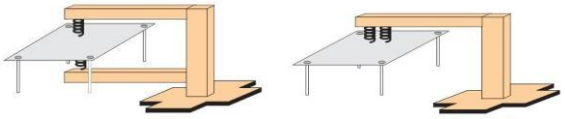
Gambar 3.1 Simulasi Medan Magnet

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa arah gerak medan magnet menyebar secara merata. Pada bagian dalam lilitan koil medan magnet yang ditimbulkan lebih banyak daripada yang berada di luar lilitan koil, garis-garis tersebut membentuk suatu simpal karena tidak adanya titik dalam ruang bidang magnet yang menjadi tempat berawal dan berakhirnya suatu medan magnet.

3.2 Perancangan Alat

Pada perancangan alat ini dalam skala laboratorium dan eksperimen, meliputi (dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3):

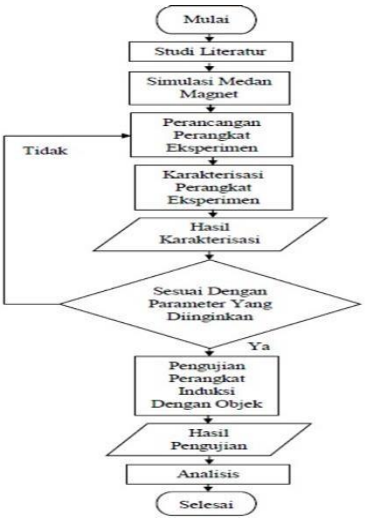
1) Menentukan spesifikasi bahan atau komponen yang akan digunakan dalam perancangan alat pada penelitian tugas akhir.
2) Objek uji yang digunakan adalah berupa bahan yang homogen untuk bahan ferromagnetik seperti plat besi, dan untuk bahan non-ferromagnetik seperti plat aluminium, dan plat tembaga (ukuran tidak dibahas) yang akan digunakan untuk penginduksian *eddy current.* Diharapkan dengan adanya perbedaan objek eksperimen ini dapat memberikan hasil untuk bahan perbandingan.
3) Koil yang digunakan sebagai sumber induksi medan magnet dililit bermacam-macam dengan ukuran menyesuaikan parameter yang akan digunakan dengan objek uji.



(a) (b)

Gambar 3.2. (a) Perancangan Alat Koil Atas-Bawah (b) Perancangan Alat Koil Samping-Samping

Adapun diagram alir dari proses penelitian tugas akhir secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 3.3.

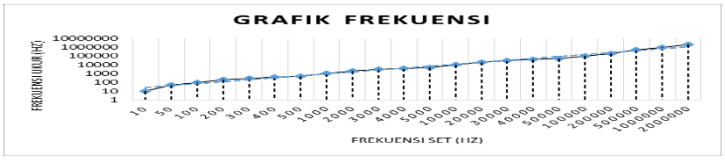


Gambar 3.3. Diagram Alir Seluruh Perancangan

4. Hasil Pengujian dan Analisis Data

4.1 Pengujian Nilai Frekuensi

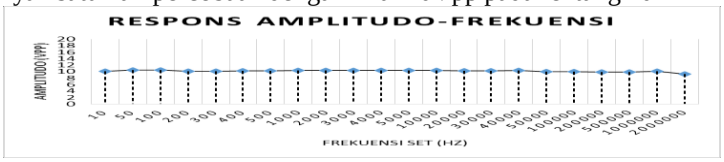
Pada pengujian nilai frekuensi ini dilakukan untuk mengetahui keakurasian dari pengaturan (function generator) dan hasil pengukuran (osiloskop). Pengujian untuk ketepatan nilai frekuensi dilakukan sebanyak satu kali percobaan dengan mengubah-ubah nilai frekuensi dari 10Hz – 2MHz. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Frekuensi Set – Frekuensi Osiloskop

Pada gambar diatas ini dapat dilihat bahwa nilai frekuensi yang diatur function generator dengan diukur pada osiloskop ini memiliki ketepatan nilai atau keakurasian nilai yang tinggi dengan nilai error 0,001631%.

Pengujian selanjutnya yang akan dilakukan yakni respons amplitudo terhadap frekuensi. Pengujian ini dilakukan dengan sebanyak satu kali percobaan dengan nilai 10Vpp pada rentang 10Hz–2MHz.

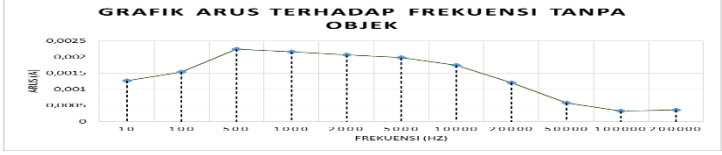


Gambar 4.2 Grafik Respon Amplitudo terhadap Frekuensi

Dari gambar 4.2 pada rentang 10Hz-2Mhz sinyal sinusoidal amplitudo memiliki nilai rata-rata (mean) yakni 10,15455 Vpp dan memiliki nilai error 1,545455%.

4.2 Pengujian Pada Koil Samping-Samping Tanpa Objek

Pengujian pada koil samping-samping terlebih dahulu dilakukan tanpa menggunakan objek. mengetahui hasil pengukuran dari nilai tegangan terhadap frekuensi pada koil tersebut. Pengujian ini juga dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan mengubah-ubah nilai frekuensi dari 10Hz-200kHz dengan menggunakan nilai amplitudo 10Vpp.

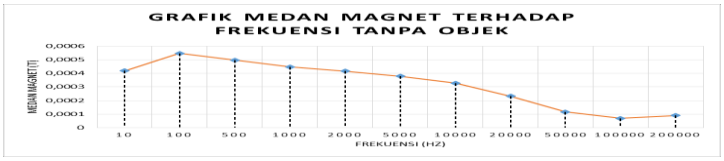


Gambar 4.3 Grafik Pengukuran Arus pada Koil Samping-Samping

Pada gambar diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan arus terhadap tegangan yang diukur oleh receiver pada koil samping-samping tanpa menggunakan objek. Pada perhitungan ini bila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan dari nilai 10Hz-500Hz arusnya meningkat tetapi bila dari nilai 500Hz dan diatas 500Hz maka arusnya menurun dan arus yang timbul pada koil samping-samping ini sangat kecil.

4.3 Pengujian Koil Atas-Bawah Tanpa Objek

Pengujian pada koil atas-bawah terlebih dahulu dilakukan tanpa menggunakan objek. mengetahui hasil pengukuran dari nilai tegangan terhadap frekuensi pada koil tersebut. Pengujian ini juga dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan mengubah-ubah nilai frekuensi dari 10Hz-200kHz dengan menggunakan nilai amplitudo 10Vpp.



Gambar 4.4 Grafik Medan Magnet pada Koil Atas-Bawah

Pada gambar 4.6 diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan medan magnet terhadap tegangan yang diukur oleh receiver pada koil atas-bawah tanpa menggunakan objek. Pada perhitungan ini bila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan dari nilai 10Hz-100Hz medan magnetnya meningkat tetapi bila dari nilai 100Hz dan diatas 100Hz maka medan magnetya menurun dan medan magnet yang timbul pada penelitian koil atas-bawah ini sangat kecil.

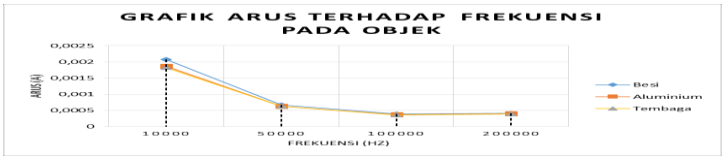
4.4 Pengujian Pada Objek

Pengujian ini dilakukan dengan metode penginduksian ECT. Objek yang dipakai yakni berupa plat yang dikondisikan homogen dengan tiga macam plat yaitu plat besi, plat aluminium, dan plat tembaga. Tegangan yang diinduksikan yakni 10Vpp dengan frekuensi yang bervariasi dari 10kHz, 50kHz, 100kHz, dan 200kHz. Pengujian pada objek memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil induksi terbaik.

Pengujian dilakukan pada dua kondisi yakni homogen dan dengan anomali. Contoh anomali yang diberikan adalah tiga jenis ukuran yakni 3mm, 6mm, dan 8mm berupa lubang. Setelah pemberian anomali maka dilakukan pengukuran data tegangan layaknya kasus homogen. Dan pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua macam koil yakni koil samping-samping dan koil atas-bawah untuk masing-masing objek plat.

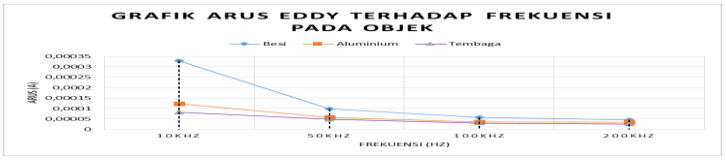
4.4.1 Pengujian Koil Samping-Samping

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metoda koil samping-samping pada objek yang homogen.



Gambar 4.5 Grafik Arus pada Koil Samping-Samping

Dapat dilihat pada gambar diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan arus terhadap tegangan yang diukur oleh receiver pada koil samping-samping pada rentang frekuensi 10kHz–200kHz dengan menggunakan objek. Pada perhitungan ini bila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan maka nilai arusnya menurun dan arus yang timbul pada masing-masing objek ini pada koil samping-samping ini sangat kecil.

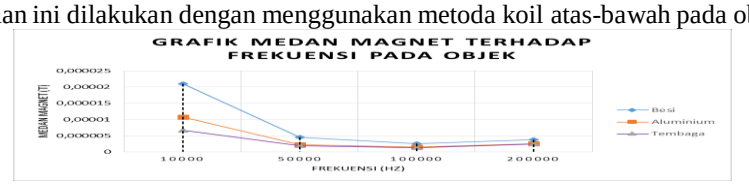


Gambar 4.6 Grafik Arus Eddy yang terjadi pada Objek

Pada gambar diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan arus eddy yang terjadi pada objek pada rentang frekuensi 10kHz–200kHz. Pada perhitungan arus eddy ini terlihat bila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan maka arusnya menurun pada ketiga objek.

4.4.2 Pengujian Koil Atas-Bawah

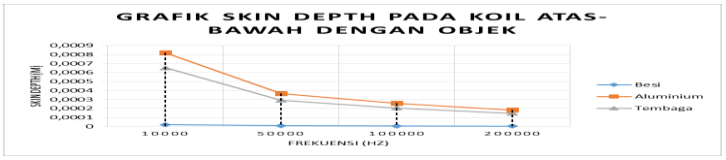
Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metoda koil atas-bawah pada objek yang homogen.



Gambar 4.7 Grafik Medan Magnet pada Koil Atas-Bawah

Dapat dilihat pada gambar diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan medan magnet terhadap tegangan yang diukur oleh receiver pada koil atas-bawah pada rentang frekuensi 10kHz–200kHz dengan menggunakan objek. Pada perhitungan ini bila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan maka nilai medan magnetnya menurun dan medan magnet yang dihasilkan pada masing-masing objek ini pada koil atas-bawah ini sangat kecil.

Gambar 4.8 Grafik Delta Medan Magnet pada Objek



Gambar 4.9 Grafik Skin Depth pada Objek

Pada gambar diatas ini menunjukkan grafik hubungan hasil perhitungan delta medan magnet dan *skin depth* yang terjadi pada objek dan objek yang sudah diberi anomali pada rentang frekuensi 10kHz–200kHz.

4.5 Pembahasan

Rangkaian (lilitan kumparan) yang dibuat dengan menggunakan dua macam metoda yakni metoda koil atas-bawah dan koil samping-samping. Sumber tegangan yang digunakan adalah sinyal generator yang memiliki rentang frekuensi dari 10Hz–200kHz dengan tegangan maksimal 10Vpp. Pada penelitian kali ini juga akan dibandingkan kedua rangkaian untuk mencari hasil induksi terbaik. Untuk rangkaian dengan metoda koil atas-bawah ini memiliki nilai resistansi (R) sebesar 3,2Ω, induktansi (L) sebesar $3{,}880 \times 10^{-3}$H dengan (N) 300 lilitan dan panjang solenoid (l) 2,5cm. Dan untuk rangkaian dengan metoda koil samping-samping memiliki nilai

resistansi (R) sebesar 3,2Ω, induktansi (L) sebesar $3{,}879 \times 10^{-3}$H dengan (N) 300 lilitan dan panjang solenoid (l) 2,5cm.

Untuk pengujian pada kedua metoda koil yang dilakukan terlebih dahulu dengan tidak menggunakan objek plat. Dari pengujian tersebut kumparan dihubungkan pada sumber tegangan AC dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi arus bolak-balik dalam kumparan, maka akan semakin tinggi laju perubahan arusnya sehingga semakin tinggi pula ggl induksinya. Secara teori pengaruh frekuensi akan signifikan (dapat dilihat) pada kondisi batas maksimal dari sistem. Untuk mengujinya perlu diterapkan frekuensi sangat rendah yang di representasikan dengan 10Hz dan frekuensi sangat tinggi yang direpresentasikan dengan 200kHz. Kedua konfigurasi dari rangkaian (lilitan koil) yang telah dirancang kemudian diuji pada objek dengan input dari *function generator*.

Objek yang digunakan berupa 3 macam plat yakni plat besi, plat aluminium, dan plat tembaga dengan kondisi homogen dan anomali. Dari hasil pengamatan, rangkaian yang telah dirancang dapat digunakan pada objek dengan nilai *error* 1,545455% dari *function generator*. Dengan nilai *error* yang kecil tersebut proses pengujian selanjutnya dapat dilakukan dengan hasil yang baik.

5.1 Kesimpulan

Penelitian dan Tugas Akhir ini memiliki tujuan yakni untuk mendapatkan hasil induksi terbaik dari beberapa konfigurasi koil pada bahan *ferromagnetic* dan *non-ferromagnetic*.

Pada penelitian dan tugas akhir ini konfigurasi koil yang digunakan untuk induksi pada ECT telah berhasil dirancang dengan konfigurasi terbaik. Melihat hasil pengamatan dan analisis data yang telah dilakukan kesimpulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1) Frekuensi set dari *function generator* sama dengan frekuensi ukur dari osiloskop.
2) Hasil uji pada kedua konfigurasi koil nilai potensial meningkat pada range 10Hz - 200kHz.
3) Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat keakurasian dan ketepatan nilai frekuensi error sebesar 0,001631%.
4) Hasil data tegangan induksi lebih baik pada bahan ferromagnetik dibanding dengan non-ferromagnetik.
5) Pada pengukuran nilai tegangan untuk kedua konfigurasi koil tanpa objek, metoda koil atas-bawah yang terukur nilai tegangan lebih besar dibandingkan metoda koil samping-samping.
6) Daya deteksi dari kedua konfigurasi koil, metoda koil samping-samping yang menghasilkan *eddy current*, terbukti dari adanya pemantulan dari sumber input yang diberikan saat diberi objek yang menyebabkan nilai tegangan yang terukur lebih besar dibandingkan saat tidak ada objek.
7) Perbandingan hasil data pengukuran kedua konfigurasi koil terhadap objek yang diuji homogen dengan objek yang diuji dengan anomali lebih baik pada objek ferromagnetik dibandingakan dengan objek non-ferromagnetik

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan tugas akhir ini, saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki kekurangan yang ada dan diharapkan dapat mengembangkan apa yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Melakukan digitalisasi pada pengaturan amplitudo dengan menggunakan digital potensiometer agar akurasi pada pengukuran semakin meningkat.
2) Pelilitan untuk koil dilakukan dengan cara memperpanjang nilai **?**nya untuk memperbesar medan magnetnya.
3) Melakukan perbandingan dengan cara menggunakan objek yang lebih *ferromagnetic* seperti nikel, cobalt, baja dan lain-lain.

Daftar Pustaka

[1] Martin, J.G. Gil, J.G. Sánchez, E.V. (2011). *Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing.* Journal. Department of Signal Theory, Communications and Telematic Engineering. University of Valladolid (UVA), Spain.

[2] Abdullah, N.R. Abdullah, S.A. Hussain, M. (2006). *Application of Lamb Waves (Ultrasonic Waves) In Wear Detection On Alumunium Plate*. Universiti Teknologi Mara, Malaysia.

[3] Sikora, R. Chady, T. Gratkowski, S. Komorowski, M. Stawicki, K. (2003). *Review of Quantitative Non-Destructive Evaluation.* Vol. 22.

[4] Tipler, Paul. A. (1991). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. (edisi ketiga). Jakarta: Erlangga. Hal: 280-283

[5] Abdullah, Mikrajuddin. (2006). *Diktat Kuliah Fisika Dasar II Tahap Persiapan Bersama ITB*. Institut Teknologi Bandung.

[6] Darmawan, Dudi. (2010). *Diktat Kuliah Fisika II.* Institut Teknologi Telkom, Bandung.

[7] Ramdhani, Mohamad. (2008). *Rangkaian Listrik*. Institut Teknologi Telkom, Bandung.

[8] Fraser, Ian.W. (2012). *Electromagnetic Skin Depth of Metals.* University of British Columbia, Canada.