

CURRENT TESTING (ECT) UNTUK MENDETEKSI ANOMALI PADA BAHAN FEROMAGNETIK

DESIGN AND REALIZATION OF SCANNING SYSTEM FOR EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD TO DETECT ANOMALY IN FERROMAGNETIC MATERIAL

Anggi Ari Pranasa¹, Dudi Darmawan², Asep Suhendi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹anggiaripranasa@gmail.com, ²dudidw@gmail.com, ³as.suhendi@gmail.com³

Abstrak

Eddy Current Testing (ECT) merupakan salah satu metode *Non-Destructive Testing* yang didasarkan pada interaksi antara sumber medan magnet dengan objek yang diuji. ECT ini dapat mendeteksi cacat, retak, lubang dalam berbagai macam objek yang bersifat konduktif.

Untuk mempermudah pengujian ECT, dibutuhkan sistem pemindaian atau *scanning* yang akan secara otomatis menginduksi medan magnet, membaca data tegangan di setiap titik pengujiannya, dan pergerakan koil yang otomatis. Data tegangan tersebut memuat distribusi nilai tegangan yang terbaca dari seluruh titik pengujian. Pada objek yang terdapat anomali, data tegangan yang terbaca akan berbeda dengan objek yang normal. Dari data distribusi data tersebutlah dapat mendeteksi adanya anomali pada bahan. Data tegangan yang didapatkan tersebut selanjutnya dibentuk matriks dan divisualisasikan sehingga akan dengan mudah mengetahui letak anomali pada objek. Dengan adanya hal tersebut keakurasian pengujian dan efisiensi waktu & tenaga akan semakin baik. Sistem pemindaian yang dirancang memiliki akurasi >94 % dengan menggunakan frekuensi optimal penginduksian 200 kHz. Sistem ini mampu mendeteksi adanya anomali dengan ukuran anomali 10 mm.

Kata Kunci: *Eddy Current Testing*, pergerakan koil, induksi medan magnet akuisisi data, pemetaan data.

Abstract

Eddy Current Testing (ECT) is a *Non-Destructive Testing* methods that are based on the interaction between the source of the magnetic field with the object being tested. ECT is able to detect defects, cracks, holes in a wide variety of objects that are conductive.

To facilitate testing of ECT, required scanning system that automatically induce a magnetic field, read the voltage data at each point of the test, and the movement of the automatic coil. The voltage data load distribution voltage value read from the whole point of the test. Objects contained on anomalies, voltage data is read will be different from a normal object. The distribution of that data can detect any anomalies in the material. Voltage data obtained is formed matrix and visualized so it will easily find out the location of the anomaly on the object. With this system, ccuracy and efficiency of time and energy would be better. Scanning system was designed to have an accuracy > 94% by inducing optimal use frequency of 200 kHz. This system can detect anomaly with in 10 mm of size.

Keynote: *Eddy Current Testing*, the movement of the coil, the induction of the magnetic field data acquisition, data mapping.

1. Pendahuluan

Pengendalian kualitas hasil produksi merupakan hal yang penting dilakukan oleh suatu industri. Tidak jarang terdapat cacat pada produk yang dihasilkan yang dapat mempengaruhi performa dan kelayakan dari produk tersebut. Cacat produksi bisa ditimbulkan dari proses pembuatan ataupun perakitan. Hal tersebut dapat berpengaruh pada tingkat kepuasan konsumen dan kualitas produk yang dihasilkan. Sehingga diperlukan pemeriksaan pada akhir tahapan produksi secara keseluruhan.

Salah satu metoda pemeriksaan pada produk yaitu dengan *Non-Destructive Testing (NDT)*, dimana dengan metode ini dapat mengetahui kondisi suatu objek tanpa merusak kondisi objek tersebut. Dengan menggunakan metode ini kondisi, ketahanan, dan kualitas bahan akan diketahui tanpa harus merusak bahan tersebut terlebih dahulu.

Pada penggunaan prinsip elektromagnetik sebagai pemeriksaan atau pengujian, terdapat metode *Eddy Current Testing (ECT)*. Prinsip ECT ini didasarkan adanya interaksi antara sumber medan magnet dengan objek yang diuji. ECT ini dapat mendeteksi anomali berupa retak dan lubang dalam berbagai macam objek yang bersifat konduktif.

Peralatan pendukung untuk metode ECT yang ada dipasaran saat ini, dalam proses pemeriksaan terhadap objek uji masih manual. Artinya untuk menguji banyak objek uji memerlukan waktu dan tenaga sehingga dapat mengakibatkan hasil pengujiannya kurang presisi. Oleh karena itu, sistem pemindaian atau *scanning* dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Sistem ini dapat dengan otomatis menguji semua objek uji dengan cepat dan hasil yang presisi. Hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam monitor sehingga pengguna dapat dengan mudah menemukan anomali pada bahan uji.

2. Dasar Teori

2.1. Hukum Faraday

Hukum Faraday diambil dari nama seorang ilmuwan asal Inggris, Michael Faraday (1791-1867) yang menyatakan bahwa “Gaya gerak listrik (ggl) induksi yang timbul antara ujung-ujung suatu loop penghantar berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar tersebut” [7].

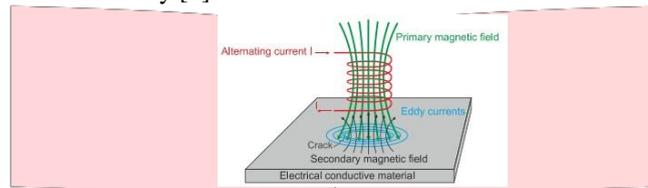
Dari pernyataan tersebut muncul persamaan:

$$\text{---} \quad (2.1)$$

Tanda negatif pada persamaan tersebut sesuai dengan Hukum Lenz dimana “Arah arus sedemikian sehingga menghasilkan medan atau fluks yang melawan penyebab timbulnya arus tersebut” [5].

2.2. Eddy Current Testing (ECT)

Prinsip ECT didasarkan pada interaksi antara sumber medan magnet dan bahan uji. Interaksi ini menyebabkan arus eddy di objek uji. Para ilmuwan dapat mendeteksi keberadaan retak pada bahan konduktif yang sangat kecil dengan memonitor perubahan dalam aliran arus eddy [2].



Gambar 2. 1 Ilustrasi ECT

Ketika arus bolak-balik (AC) memberi energi pada koil, hal tersebut membuat medan magnet berubah terhadap waktu. Fluks magnetik cenderung terkonsentrasi pada pusat koil. Eddy Current Testing merupakan inspeksi berdasarkan hukum induksi elektromagnetik Faraday. Faraday menemukan bahwa fluks magnetik yang berubah terhadap waktu menginduksi arus pada konduktor. Gaya gerak listrik sebanding dengan perubahan fluks magnetik terhadap waktu yang dapat dilihat pada persamaan 2.1 diatas.

Setiap koil mempunyai parameter impedansi Z_0 yang merupakan bilangan kompleks dan merepresentasikan perbandingan arus dan tegangan untuk untuk frekuensi sinusoidal f .

$$\text{---} \quad (2.2)$$

dengan

$$\text{---} \quad \text{dan} \quad (2.3)$$

Ketika diberi arus bolak-balik (AC), impedansi koil Z_0 mendekati bidang uji berupa material konduktif, medan magnet primer akan menembus material dan menghasilkan arus Eddy. Arus induksi yang mengalir pada bidang uji akan membentuk medan magnet sekunder yang arahnya melawan medan magnet primer. Medan magnet sekunder ini berasal dari bahan konduktif dan memberikan efek melemahnya medan magnet primer. Hasilnya, bagian imajiner pada impedansi koil berkurang ketika arus Eddy pada bidang uji bertambah. Arus Eddy juga berpengaruh menambah daya disipasi yang merubah bagian real pada impedansi. Pengukuran impedansi koil ini dari Z_0 ke Z_c dengan memonitor sinyal tegangan dan arusnya dapat menemukan informasi spesifik seperti konduktivitas dan komposisi kimia pada bahan.

Pada saat belum ada bidang uji yang didekati koil, maka nilai impedansi koil adalah Z_0 ,

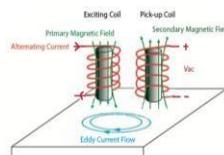
$$Z_0 = R_0 + jX_0 \quad (2.4)$$

dimana R_0 yaitu bagian real dan jX_0 bagian imajiner dari Z_0 . Nilai $X_0 = 2 \pi f L_0$. L_0 adalah koefisien induksi.

Pada saat material konduktif didekatkan pada koil, maka muncul arus Eddy pada bidang uji. Arus Eddy menghasilkan medan magnet sekunder yang berinteraksi dengan medan magnet primer. Efeknya muncul impedansi baru Z_c .

$$Z_c = R_c + jX_c \quad (2.5)$$

dimana R_c yaitu bagian real dan jX_c bagian imajiner dari Z_0 . Nilai $X_c = 2 \pi f L_c$. L_c adalah koefisien induksi ketika koil didekatkan ke bidang uji [2].



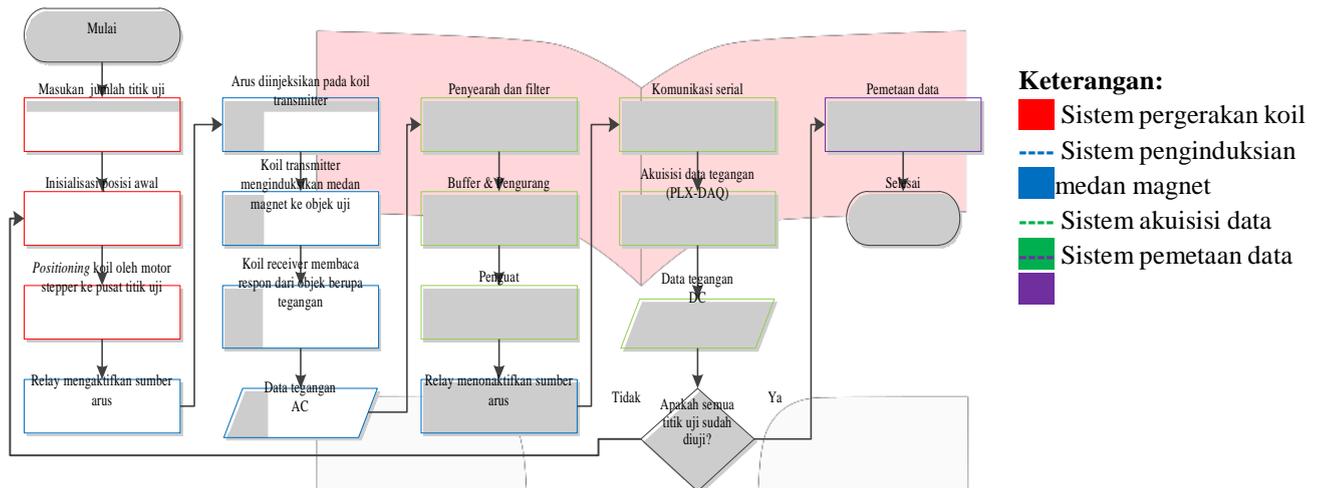
Gambar 2. 2 Konfigurasi koil

Konfigurasi ini tidak menggunakan koil yang sama untuk menghasilkan arus eddy dan mengambil potensial bidang sekunder seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.

Koil pemancar dapat dirancang khusus untuk membuat aliran arus eddy. Koil penerima dibuat untuk menerima potensial bidang sekunder dari arus eddy dengan cukup sensitif. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah desain koil dapat dioptimalkan. Impedansi koil pemancar dapat disesuaikan untuk menghasilkan medan magnet utama yang kuat dan seragam dengan menyesuaikan parameter seperti diameter koil, diameter kawat dan jumlah lilitan. Koil pemancar dapat dirancang untuk mengambil potensial bidang sekunder secara maksimal dengan meminimalkan sumber kebisingan [2].

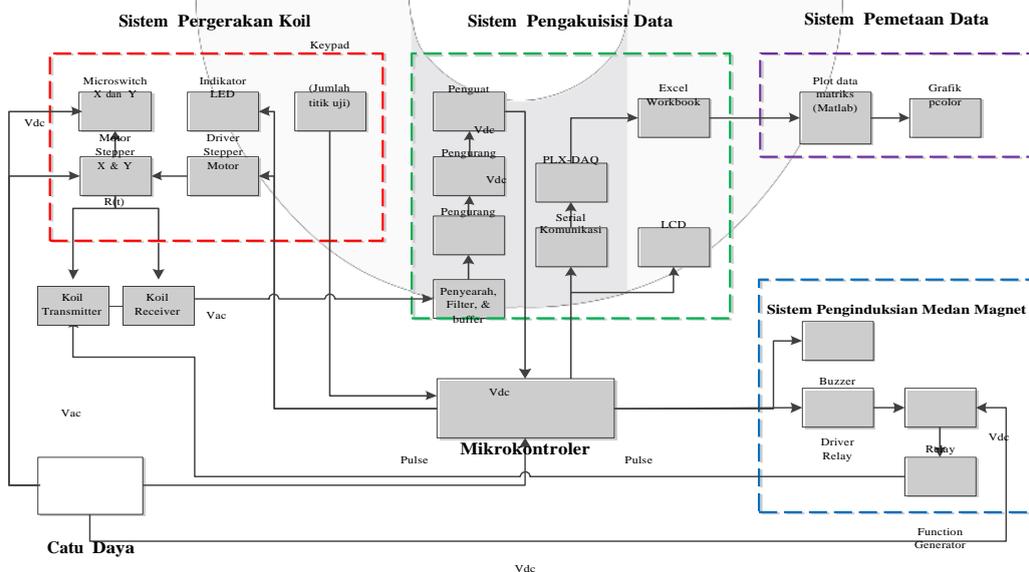
3. Pembahasan

Secara umum terdapat empat bagian utama dalam perancangan sistem pemindaian ini, yaitu sistem pergerakan koil, sistem penginduksian medan magnet, sistem pengakuisisi data tegangan, dan sistem pemetaan data. Berikut ini adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram alir cara kerja sistem

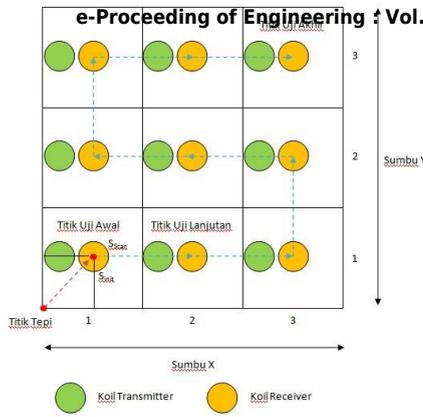
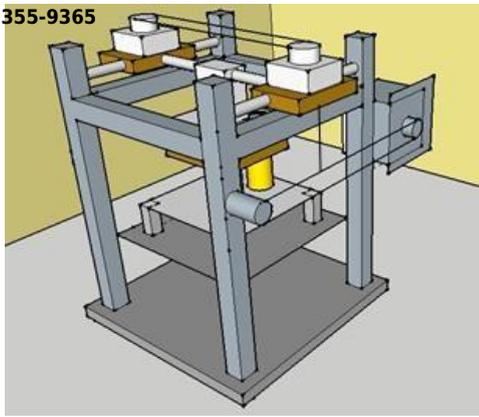
Sedangkan diagram blok dibawah ini menunjukkan keterkaitan secara rinci antar sistem yang dirancang. Mulai dari sistem pergerakan koil, sistem penginduksian medan magnet, sistem pengakuisisi data tegangan, dan sistem pemetaan data.



Gambar 3. 2 Diagram blok rinci sistem

3.1. Sistem Penggerak Koil

Agar dapat menguji semua titik uji dengan otomatis, perlu melakukan perpindahan posisi koil. Maka dirancang pula sistem pergerakan koil. Berikut ini adalah bagian mekanik yang menggunakan motor stepper 12 V, 0.4 A, dan 1.8⁰ perstep.



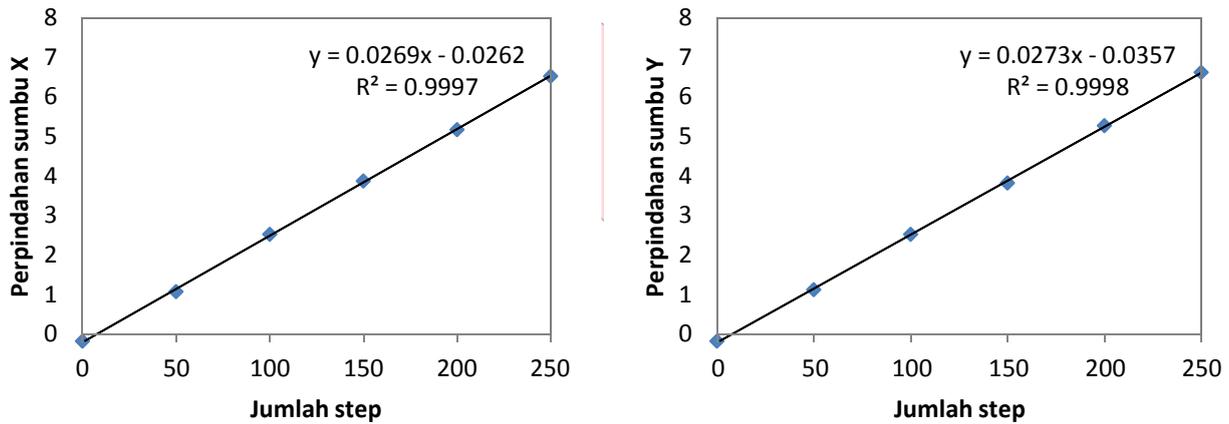
$$S_{init} = \frac{5}{\sqrt{N}}$$

$$S_{scan} = \frac{10}{\sqrt{N}}$$

S_{init} = Jarak dari titik tepi ke titik awal pengujian (cm)
 S_{scan} = Jarak antar pusat titik uji (cms)
 N = Jumlah titik uji

Gambar 3. 3 Perancangan mekanik dan ilustrasi alur pergerakan koil

Untuk memastikan posisi koil diperlukan karakterisasi antara jumlah step motor terhadap perpindahan posisi koil. Berikut ini adalah grafik karakterisasi tersebut.



Gambar 3. 4 Grafik perpindahan sumbu X dan Y terhadap jumlah step

Berdasarkan grafik Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa jumlah step terhadap perpindahan posisi koil adalah mendekati linear. Didapatkan bahwa resolusi pergerakan koil sumbu X adalah 0,0269 cm/step dan 0,0273 cm/step untuk pergerakan koil sumbu Y. Agar pergerakan lebih akurat, maka dilakukan interpolasi linear antara jumlah step terhadap perpindahan koil yang dapat dilihat pada tabel berikut.

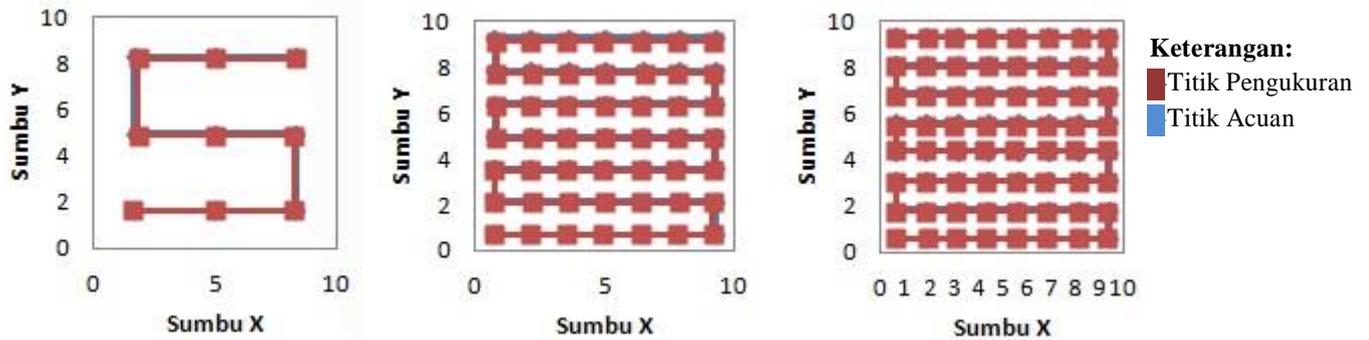
Tabel 3. 1 Tabel persamaan interpolasi untuk pergerakan sumbu X

No	Posisi X (cm)	Persamaan Interpolasi Inisialisasi	Persamaan Interpolasi Scanning
1	0 – 1.25	step_x_init = 0 + 40 x (s_init – 0)	step_x_scan = 0 + 40 x (s_scan – 0)
2	1.25 – 2.7	step_x_init = 50 + 34.4827 x (s_init – 1.25)	step_x_scan = 50 + 34.4827 x (s_scan – 1.25)
3	2.7 – 4.05	step_x_init = 100 + 37.0371 x (s_init – 2.7)	step_x_scan = 100 + 37.0371 x (s_scan – 2.7)
4	4.05 – 5.35	step_x_init = 150 + 38.4615 x (s_init – 4.05)	step_x_scan = 150 + 38.4615 x (s_scan – 4.05)
5	5.35 – 6.7	step_x_init = 200 + 37.0371 x (s_init – 5.35)	step_x_scan = 200 + 37.0371 x (s_scan – 5.35)

Tabel 3. 2 Tabel persamaan interpolasi untuk sumbu Y

No	Posisi Y (cm)	Persamaan Interpolasi	Persamaan Interpolasi
1	0 – 1.3	step_x_init = 0 + 38.4615 x (s_init – 0)	step_x_scan = 0 + 38.4615 x (s_scan – 0)
2	1.3 – 2.7	step_x_init = 50 + 35.7142 x (s_init – 1.3)	step_x_scan = 50 + 35.7142 x (s_scan – 1.3)
3	2.7 – 4	step_x_init = 100 + 38.4615 x (s_init – 2.7)	step_x_scan = 100 + 38.4615 x (s_scan – 2.7)
4	4 – 5.45	step_x_init = 150 + 34.4827 x (s_init – 4)	step_x_scan = 150 + 34.4827 x (s_scan – 4)
5	5.45 – 6.8	step_x_init = 200 + 37.0371 x (s_init – 5.45)	step_x_scan = 200 + 37.0371 x (s_scan – 5.45)

Pada grafik dibawah ini, merupakan hasil pengujian posisi koil sesuai koordinat dan jumlah titik ujinya. Terdapat beberapa variasi jumlah titik uji yang digunakan. Berikut ini adalah hasil pengujian posisi koil pada sistem yang sudah dirancang.



Gambar 3. 5 Evaluasi pergerakan 9, 49, dan 100 titik uji

Dari evaluasi yang dilakukan dengan beberapa sampel jumlah titik uji, didapatkan akurasi dari pergerakan koil adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Tabel hasil evaluasi posisi

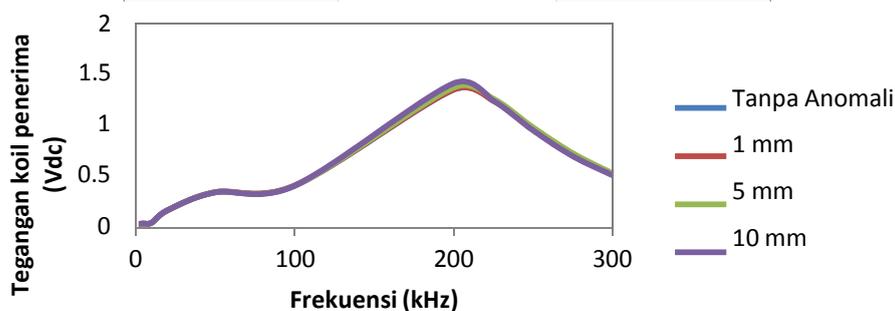
No	Jumlah Titik Uji	Akurasi (%)	
		Sumbu X	Sumbu Y
1	9	94.96	96.82
2	49	95.43	95.48
3	100	96.42	95.44

3.2. Sistem Penginduksian Medan Magnet

Pada penelitian ini, menggunakan konfigurasi koil dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Lilitan (N) : 300 lilitan
- Panjang koil : 2,5 cm
- Bahan koil : Ferrit
- Diameter Ferrit : 1 cm
- Jarak antar koil : 5 mm
- Jarak antar koil-plat : 5 mm

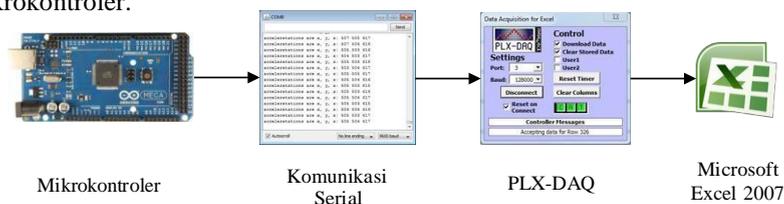
Berdasarkan gambar 3.6, menunjukkan bahwa frekuensi 200 kHz optimal untuk pembacaan nilai tegangan oleh koil penerima karena tegangan yang terbaca paling besar diantara frekuensi yang lainnya. Namun perbedaan tegangannya antar ukuran anomali masih kecil.



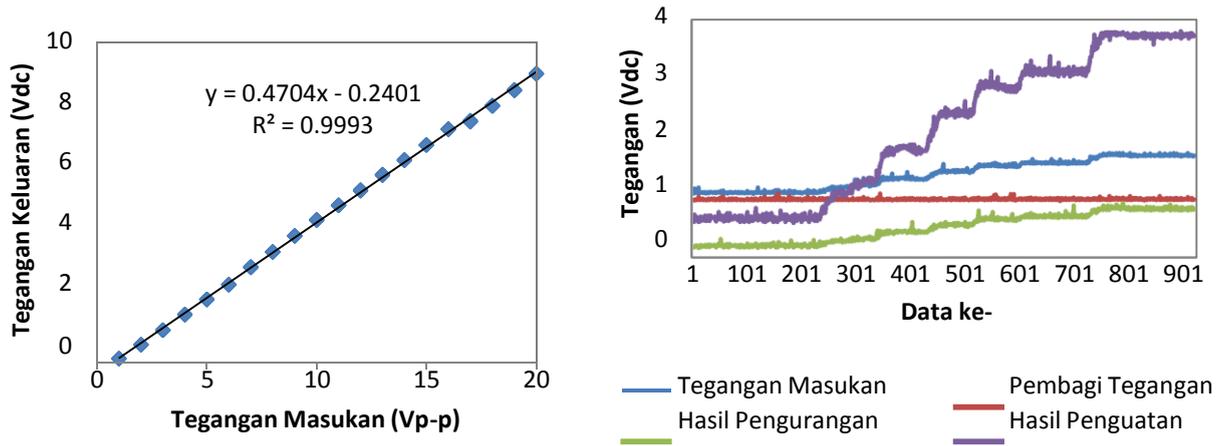
Gambar 3. 6 Grafik frekuensi optimal dan tegangan koil penerima dengan variasi ukuran anomali

3.3. Sistem Pengakuisisi Data

Berikut ini adalah alur sistem pengakuisisi data, dimana tegangan dari koil penerima dikondisikan terlebih dahulu sebelum masuk ke mikrokontroler.



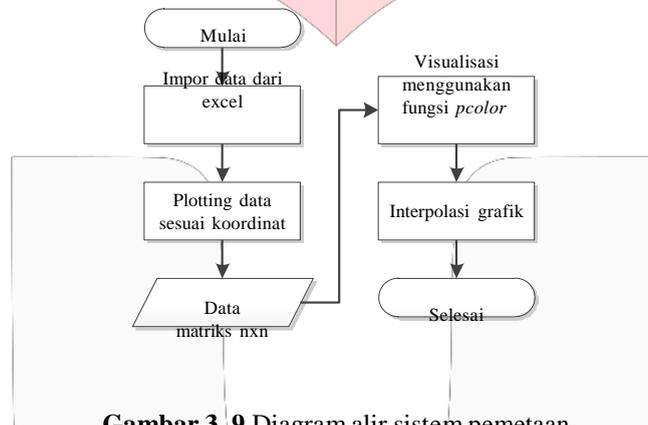
Gambar 3. 7 Sistem Pengakuisisi data



Gambar 3. 8 Pengujian Penyearah dan Pengkondisi Pembacaan Tegangan

3.4. Sistem Pemetaan

Sistem pemetaan yang sudah dirancang dapat memvisualisasikan data tegangan yang terbaca oleh koil penerima. Berikut ini adalah diagram alir sistem pemetaan yang dilakukan.



Gambar 3. 9 Diagram alir sistem pemetaan

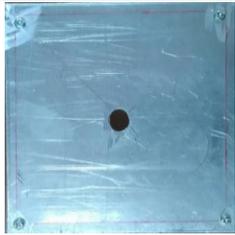
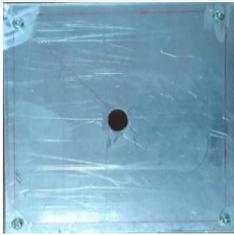
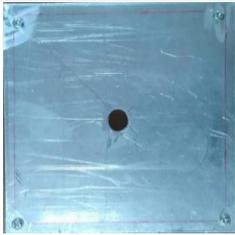
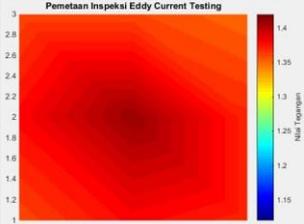
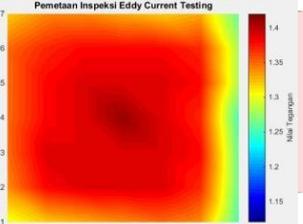
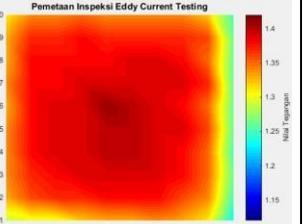
Data tegangan dari setiap titik pengujian akan ditampung di *Excel*. Kemudian data tersebut diplot sesuai koordinat pengujiannya sehingga membentuk matriks *n x n*. Setelah data terbentuk matriks maka akan divisualisasikan menggunakan fungsi *Pseudocolor (pcolor)*. *Pcolor* adalah salah satu fungsi di *Matlab* yang memvisualisasikan data sesuai posisi koordinat data. Perbedaan warna pada grafik ini menunjukkan nilai data yang berbeda dengan data homogen. Sehingga dapat merepresentasikan letak anomali dengan perbedaan warna tersebut. Agar hasil visualisasi lebih halus, maka dilakukan interpolasi. Berikut ini adalah hasil pengujian dengan menggunakan objek.

Tabel 3. 4 Pengaruh Jenis Bahan terhadap Hasil Visualisasi

Jenis Bahan	Aluminium	Besi	Tembaga
	Aluminium ($d_{anomali} = 10 \text{ mm}$)	Besi ($d_{anomali} = 10 \text{ mm}$)	Tembaga ($d_{anomali} = 10 \text{ mm}$)
Hasil Visualisasi			

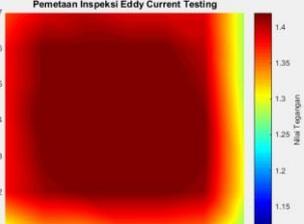
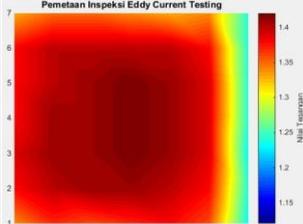
menggunakan tabel 3.4, jenis bahan dapat mempengaruhi hasil visualisasi. Semakin besar nilai tegangan yang dibaca oleh koil penerima, maka visualisasinya pun akan semakin mendekati warna merah. Diantara ketiga bahan yang diuji, aluminium mempunyai respon koil penerima paling baik diantara bahan tembaga maupun besi.

Tabel 3. 5 Pengaruh Jumlah Titik Uji terhadap Hasil Visualisasi

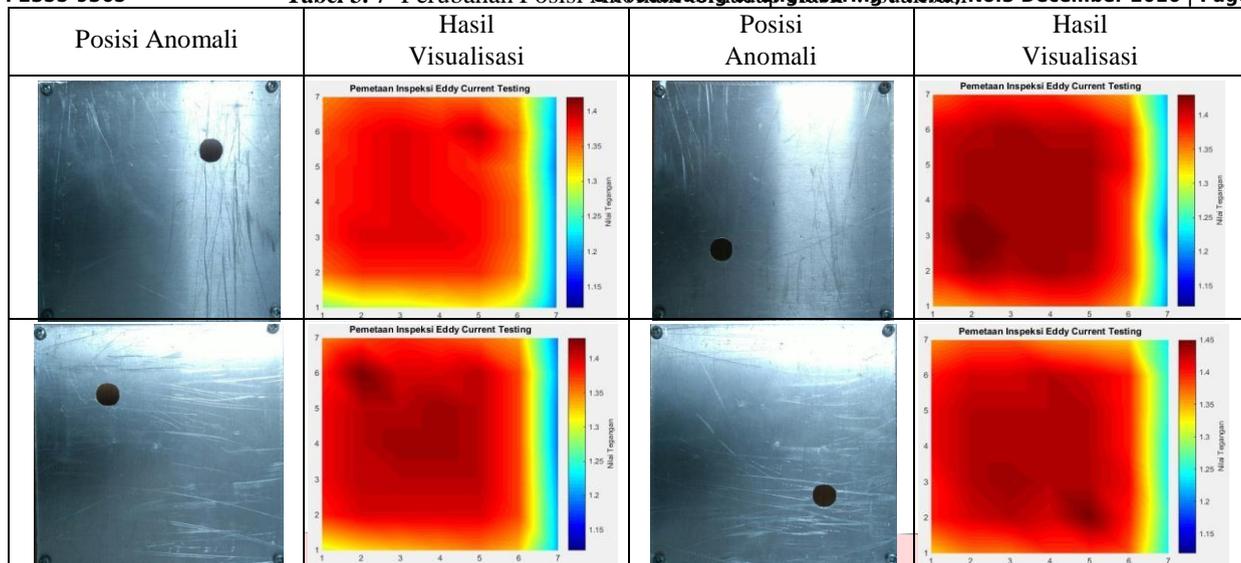
Jumlah Titik Uji			
	9 titik uji	49 titik uji	100 titik uji
Hasil Visualisasi			

Tabel 3.5 menunjukkan bahwa jumlah titik uji yang digunakan dapat mempengaruhi hasil visualisasi. Pada percobaan diatas menggunakan plat aluminium ukuran 10 cm x10 cm dengan anomali 10 mm di pusatnya. Semakin banyak jumlah titik uji yang digunakan, maka hasil interpolasi antar titik uji akan semakin halus. Sehingga akan lebih teliti menunjukkan letak anomali pada objek.

Tabel 3. 6 Pengaruh Ukuran Anomali terhadap Hasil Visualisasi

Ukuran Anomali	Hasil Visualisasi	Ukuran Anomali	Hasil Visualisasi
Tanpa anomali		$d_{anomali} = 5 \text{ mm}$	
$d_{anomali} = 1 \text{ mm}$		$d_{anomali} = 10 \text{ mm}$	

Berdasarkan tabel 3.6, sistem yang dirancang sudah mampu membedakan objek tanpa anomali dan objek beranomali. Ukuran anomali yang dapat terdeteksi adalah 10 mm. Untuk ukuran anomali dibawah itu masih belum terdeteksi dengan baik. Diperlukan penelitian lebih lanjut lagi untuk mendapatkan konfigurasi koil yang optimal untuk mendeteksi anomali yang berukuran lebih kecil.



Tabel 3.7 merupakan pengujian objek beranomali 10 mm dengan perbedaan letak anomali. Dapat dilihat bahwa, sistem sudah mampu menunjukkan letak anomali yang ada pada objek dengan cukup baik walaupun masih terdapat *noise*.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Keakuratan dari pergerakan koil di beberapa jumlah titik uji yang berbeda cukup baik dengan tingkat akurasi > 94 % untuk sumbu X dan > 95 % untuk sumbu Y. Perpindahan koil mendekati dengan titik acuan yang diinginkan sesuai jumlah titik uji yang digunakan.
2. Nilai frekuensi optimal untuk penginduksian adalah 200 kHz.
3. Sistem mampu mengakuisisi data tegangan yang terbaca koil penerima secara *real time*.
4. Sistem mampu mendeteksi anomali pada plat besi, aluminium, dan tembaga dengan ukuran anomali 10 mm dengan posisi anomali yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. Garcia, G. J. Gomez and S. E. Vazquez, "Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing," *Sensor*, vol. 11, pp. 2525-2565, 2011.
- [2] F. Novitasari, "Studi Perbandingan Konfigurasi Koil Metoda Eddy Current Testing (ECT) pada Bahan Ferromagnetik dan Non-Ferromagnetik," Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung, 2014.
- [3] V. Klyuev, "Non-Destructive Testing," *Energy System and Sustainable Development*, vol. I, 1995.
- [4] D. Darmawan, Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet, Bandung: CV. Maju Jaya, 2010.
- [5] M. Abdullah, Diktat Kuliah Fisika Dasar II Tahap Persiapan Bersama ITB, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [6] W. H. Hayt and J. A. Buck, Elektromagnetika, Jakarta: Erlangga, 2006.
- [7] Supriyanto, "Perambatan Gelombang Elektromagnetik," Departemen Fisika-FMIPA, Universitas Indonesia, Depok, 2007.
- [8] A. S. Putra, "Perancangan dan Realisasi Alat Penggerak Koil untuk Automasi Induced-Current Electrical Impedance Tomography," Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung, 2015.
- [9] D. Hanselman and B. Littlefield, Matlab, New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1997.
- [10] M. Grenier, "Eddies and Currents," Eddyfi, May 2015. [Online]. Available: <http://www.eddyfi.com/ndt/basics-skin-depth/>. [Accessed 04 November 2016].