

STUDI EKSPERIMENTAL PENENTUAN NILAI PARAMETER SISTEM INDUKSI MULTI RECEIVER

EXPERIMENTAL STUDY OF PARAMETERS VALUES DETERMINATION IN MULTI RECEIVER INDUCTION SYSTEM

Faisah Nasution¹, Dudi Darmawan², Mamat Rokhmat³

¹²³Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹faisah.nasution@gmail.com, ²dudidw@gmail.com, ³mamatrokhmat76@gmail.com

Abstrak

Kualitas suatu produk dapat dikontrol dan dievaluasi dengan menggunakan metode pengujian *Destructive Testing* (DT) dan *Nondestructive Testing* (NDT) yang merupakan metode pengujian produk yang dapat digunakan untuk menguji kelayakan dan kehandalan suatu produk tersebut. Pada dasarnya, pengujian ini dilakukan untuk menjamin bahwa suatu produk yang kita gunakan masih aman dan sesuai. *Nondestructive Testing* (NDT) merupakan metode pengujian produk untuk mengetahui adanya kesalahan suatu material sebelum dibentuk menjadi suatu produk berupa cacat, retak, atau diskontinu dan juga memprediksi posisi anomali tersebut tanpa merusak kegunaan produk. Dimana *Eddy Current Testing* (ECT) merupakan salah satu metode NDT yang menggunakan prinsip elektromagnetik dengan tanpa ada interaksi antara sensor (dalam hal ini berupa koil) dengan objek yang diuji. Pada penelitian ini dikaji penerapan ECT untuk studi eksperimental sistem induksi dengan *Multi Receiver* melalui pengenalan pola terhadap beberapa data parameter yang diberikan dengan sekali induksi menggunakan koil primer dengan membandingkan nilai potensial (tegangan) yang terukur, parameter tersebut akan diuji pada sembilan titik berfungsi sebagai *Multi Receiver* yang ditentukan pada objek konduktif berupa plat besi.

Kata Kunci : *eddy current testing, nondestructive testing, sistem induksi, multi receiver, data potensial*

Abstract

The quality of a product can be controlled and evaluated using the *Destructive Testing* (DT) and *Nondestructive Testing* (NDT) testing method which is a product testing method that can be used to test the feasibility and reliability of a product. Basically, the testing is used to ensure a product we used is still safe and appropriate. *Nondestructive Testing* (NDT) is a product testing method to determine the errors of a material before it is formed into a product such as deformity, crack, or discontinuous and also predicts the anomalous position without damaging the pertinence of the product. Which ECT is one of the methods using electromagnetic principle without any interaction between the sensor (in this case is a coil) and the object being tested. In this research the application of ECT is scrutinized for the experimental study of induction with *Multy Receivers* by pattern recognition of some parameters which is given by one induction using primary coil by comparing the measured potential value (voltage), the parameter will be tested at nine points as *Multy Receiver* determined on the conductive object as an iron plate.

Keywords : *eddy current testing, nondestructive testing, induction system, multi receiver, potential data*

1. Pendahuluan

Nondestructive Testing (NDT) merupakan metode pengujian produk untuk mengetahui adanya kesalahan suatu material berupa cacat, retak, atau diskontinu dan juga memprediksi posisi anomali tersebut tanpa merusak kegunaan produk. NDT memiliki beberapa metode diantaranya yaitu *Penetrant Testing, Ultrasonic, Acoustic Emission, Eddy Current Testing, Magnetic Particle Testing, Microwave, Radiography, dan Thermography* [1]. Dari beberapa metode tersebut, adapun metode yang digunakan untuk memprediksi posisi anomali pada penelitian tugas akhir ini adalah *Eddy Current Testing* (ECT) yang menggunakan sumber arus AC sebagai sumber pegeksitasi dan nilai potensial (tegangan) sebagai indikator adanya anomali.

Eddy Current Testing (ECT) adalah salah metode NDT yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik tanpa adanya interaksi antar objek yang diuji dengan sensor. Pada umumnya ECT dilakukan melalui *scanning* permukaan objek yang diobservasi yang menunjukkan bahwa ECT memiliki dua sensor yaitu sensor pegeksitasi (*Transmitter*) dan penerima (*Receiver*) [1] [3]. Tetapi pada beberapa kasus sulit mensterilkan permukaan *scanning* dari objek lain [9]. Selain itu, ECT yang menggunakan masing-masing satu sensor pegeksitasi dan penerima memiliki ketidak efisienan waktu untuk mendeteksi anomali jika dilakukan pengujian pada ukuran objek yang besar [10]. Oleh karena itu sistem induksi *Multi Receiver* ini diharapkan menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut

yang berdasarkan pola pikir bagaimana ECT masih bisa digunakan walaupun induksi hanya dilakukan pada beberapa titik saja dengan beberapa titik lokasi pengukuran tertentu yang terbatas.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan studi eksperimental sistem induksi Multi *Receiver* melalui beberapa percobaan dengan variasi nilai parameter seperti ukuran diameter lilitan koil (d), jumlah lilitan koil (N), jarak antar koil (x), frekuensi (f) dan anomali pada objek berupa plat besi dengan sistem induksi yang menggunakan metode atas-bawah [2] [11] sehingga dari nilai parameter-parameter tersebutlah dapat ditentukan nilai parameter mana saja yang dapat mempengaruhi sensitivitas koil *Receiver* pada sistem induksi Multi *Receiver*, yang diindikasikan dengan tegangan (V_{pp}) yang terukur pada koil *Receiver*.

2. Dasar Teori

2.1 Eddy Current Testing (ECT)

Eddy Current Testing (ECT) adalah salah satu metode NDT yang menggunakan prinsip elektromagnetik dengan tanpa ada interaksi antara sensor (dalam hal ini berupa koil) dengan objek yang diuji. ECT dapat mendeteksi *crack* (retak atau celah) dalam berbagai variasi bahan konduktif [2]. Prinsip elektromagnetik yang digunakan berupa induksi elektromagnetik yang dapat menghasilkan *Eddy Current* adalah arus bolak-balik yang diinduksi kedalam bahan induktif oleh medan magnet bolak-balik. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi *Eddy Current* adalah sebagai berikut:

- a. Konduktivitas bahan

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

dimana σ adalah konduktivitas dan ρ adalah resistivitas [3].

- b. Permeabilitas

Permeabilitas dapat menggambarkan sebagaimana mudahnya suatu bahan dibuat mengandung magnet atau dengan sebutan lainnya permeabilitas magnetik (μ) adalah jumlah induksi magnet B dari objek ketika medan magnet H diterima, yang ditunjukkan pada persamaan (2.2) [3].

$$B = \mu H \quad (2.2)$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.3)$$

dimana μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa, dan μ_r adalah permeabilitas relative, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$

- c. Frekuensi

Respon *Eddy Current* sangat berpengaruh dari frekuensi objek yang akan diuji [4], karena ketika frekuensi berubah maka impedansi koil akan menyesuaikan terhadap perubahan frekuensi tersebut, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.4) sebagai berikut [2]:

$$Z_0 = R_0 + 2\pi f L_0 \quad (2.4)$$

Dimana $X_0 = 2\pi f L_0$ yang merupakan reaktansi induksi pada koil dengan satuan ohm, f adalah nilai frekuensi pada yang diset (Hz) dan L_0 adalah nilai induktansi koil (Henry) [2].

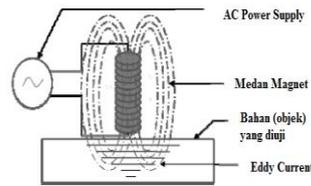
- d. Geometri

Sifat geometris seperti lengkungan, tepi, lekuk dan lainnya akan mempengaruhi respon *Eddy Current* [4].

- e. *Proximity (Lift-off)*

Lift-off adalah perubahan impedansi yang terjadi ketika adanya variasi jarak diantara probe koil penguji dan objek yang diuji. *Lift-off* menjelaskan penggunaan koil dengan aksis normal terhadap objek yang diuji. Probe Koil yang lebih dekat ke permukaan akan mempengaruhi koil tersebut [3].

Pada metode ECT, arus listrik (*eddy current*) dibangkitkan oleh perubahan medan magnet pada bahan konduktif yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Kerusakan suatu bahan menyebabkan gangguan dalam aliran *eddy current*. Gangguan tersebut menunjukkan adanya cacat atau perubahan lain pada bahan atau material yang diuji [3]. Pada dasarnya, pengujian dengan menggunakan *Eddy Current Testing* memanfaatkan arus listrik dengan bantuan probe. Arus listrik pada koil yang diinduksi akan menghasilkan medan magnet \vec{H} sepanjang koordinatnya. Kemudian medan magnet \vec{H} menghasilkan fluks magnet ϕ_p [1]. Prinsip ECT didasarkan pada interaksi pada sumber medan magnet pada koil primer dan bahan uji. Interaksi tersebut menginduksi *Eddy Current* pada objek [2].



Gambar 2.1 Eddy Current Testing [3]

2.2 Induksi Elektromagnetik

Pengujian *Eddy Current* berdasarkan hukum induksi elektromagnetik *Faraday* yang ditunjukkan dalam persamaan (2.6) yang menyatakan apabila terjadi perubahan fluks dalam suatu *loop* maka dihasilkan gaya gerak listrik (tegangan listrik) induksi yang berbanding lurus dengan laju perubahan fluks[6]. Dengan kata lain kerapatan fluks magnetik induksi dengan waktu yang bervariasi menginduksi arus dalam konduktor listrik[3]. Ggl (gaya gerak listrik) biasanya dideteksi dengan mengamati arus dalam suatu rangkaian (lilitan kumparan). Karena ggl merupakan kerja yang dilakukan per muatan satuan, harus ada gaya yang dikerahkan pada muatan tersebut yang merupakan medan listrik \mathbf{E} , yang dalam hal ini diinduksi oleh fluks yang berubah. Integral tertutup medan listrik di sekeliling rangkaian tertutup sama dengan kerja yang dilakukan per muatan satuan (medan listrik \mathbf{E}), yang menurut definisi merupakan ggl dalam rangkaian tersebut[5]:

$$\varepsilon = \oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.5)$$

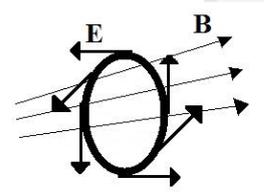
Medan listrik yang timbul dari fluks magnetik yang berubah tidak konservatif. Integral tertutup di sekeliling kurva tertutup sama dengan ggl induksi, yang sama dengan laju perubahan fluks magnetiknya:

$$\varepsilon = \oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d\phi_m}{dt} \quad (2.6)$$

Hasil ini dikenal sebagai hukum Faraday. Tanda negatif dalam hukum Faraday berkenaan dengan arah ggl induksinya seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2 [5]. Dengan kata lain Gaya gerak listrik ε sebanding dengan perubahan laju waktu kerapatan fluks magnetik induksi[3]. Dalam hal ini, fluks magnetik ϕ_m didefinisikan sebagai perkalian medan magnetik \mathbf{B} dengan luas bidang A , seperti:

$$\phi_m = \mathbf{B}A \quad (2.7)$$

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. Dimana medan magnetik tegak lurus terhadap suatu bidang yang dibatasi oleh rangkaian sederhana yang terbuat dari satu lilitan kawat[5].



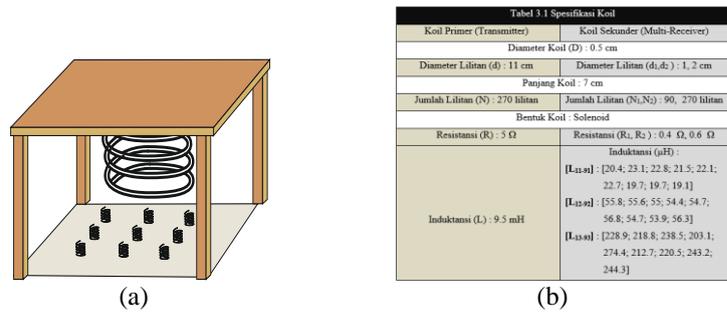
Gambar 2.2 Fluks magnetik terhadap ggl

Pengujian berdasarkan Hukum induksi Faraday bahwa fluks ϕ_m menghasilkan *Secondary Circular Current* pada objek yang diuji, dimana ϕ_m merupakan fluks dalam objek yang diperoleh dari hasil induksi koil. *Eddy current* menghasilkan fluks ϕ_s disekitar koil sekunder[1]. Adapun potensial yang melewati koil sekunder dengan N_s (jumlah lilitan koil sekunder) berdasarkan rumus dibawah ini :

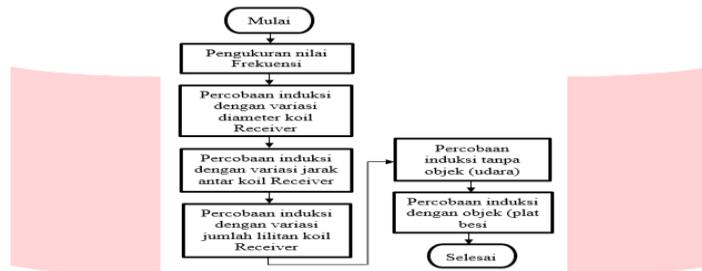
$$V_s = -N_s \frac{d\phi_s}{dt} \quad (2.8)$$

3. Pembahasan

Perancangan sistem pada Tugas Akhir ini dibuat berdasarkan koil Multi *Receiver* pada 9 titik koordinat yang diasumsikan mempresentasikan seluruh area objek yang diuji dengan menggunakan metode ECT dengan satu titik induksi yang ditunjukkan pada gambar 3.1 (a) dengan spesifikasi koil seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 (b). Dan adapun metode pengujian Sistem Induksi Multi *Receiver* pada Tugas Akhir ini dapat ditunjukkan oleh gambar 3.2



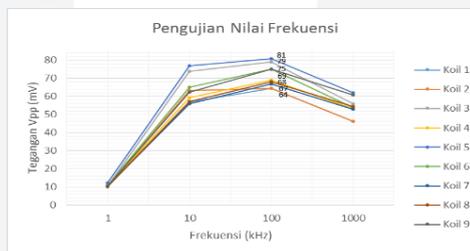
Gambar 3.1 (a) Perancangan Sistem Sistem Induksi Multi Receiver ; (b) Spesifikasi Koil



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Sistem Induksi Multi Receiver

3.1 Pengujian Nilai Frekuensi

Nilai frekuensi sangat mempengaruhi pada sistem induksi yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 sebelumnya, sehingga dilakukan pengujian nilai frekuensi yang tersetting pada *Function Generator* (secara manual) terhadap hasil tegangan yang terukur pada koil *Receiver* yang ditampilkan pada osiloskop dengan jangkauan frekuensi 1 kHz – 1 MHz seperti yang ditunjukkan oleh grafik 4.1



Gambar 3.3 Pengaruh Frekuensi terhadap Tegangan (Vpp)

Berdasarkan pada grafik 4.1, maka dapat diketahui hubungan antara frekuensi yang diberikan terhadap hasil tegangan (Vpp) yang terukur pada kesembilan koil *Receiver* adalah berbanding lurus dengan kondisi mencapai frekuensi 100kHz, dimana semakin besar nilai frekuensi yang diberikan maka tegangan (Vpp) yang terukur akan semakin besar juga. Dalam hal ini masing-masing koil *Receiver* (K₁-K₉) memiliki nilai tegangan (Vpp) terbesar pada saat frekuensi 100 kHz. Sehingga dapat ditentukan bahwa nilai frekuensi yang paling optimal pada percobaan ini adalah 100kHz dimana frekuensi ini yang digunakan pada percobaan sistem induksi *Multi Receiver* selanjutnya.

3.2 Kalibrasi Nilai Tegangan (Vpp) Multi Receiver

Berdasarkan pada posisi koil seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.4, jika salah satu Tegangan yang terukur pada koil *Receiver* di masing-masing kelompok tidak bernilai sama maka koil *Receiver* tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara dikalikan dengan bilangan kalibrator yang menghasilkan nilai Tegangan yang sama dengan koil *Receiver* lainnya, dalam hal ini harus ada salah satu koil *Receiver* yang menjadi nilai acuan. Jika kasus tersebut terjadi pada koil K₁, K₃ dan K₉, maka yang menjadi nilai acuan adalah Vpp pada K₇, sedangkan pada koil *Receiver* K₂, K₄ dan K₆ maka nilai acuan adalah Vpp pada K₈. Pada penelitian Tugas Akhir ini yang dimaksud dengan bilangan kalibrator adalah suatu bilangan yang terdiri dari suatu pembilang (nilai acuan) dibagi dengan nilai Tegangan yang ingin dikalibrasi sehingga terkonversi ke nilai Tegangan acuan.

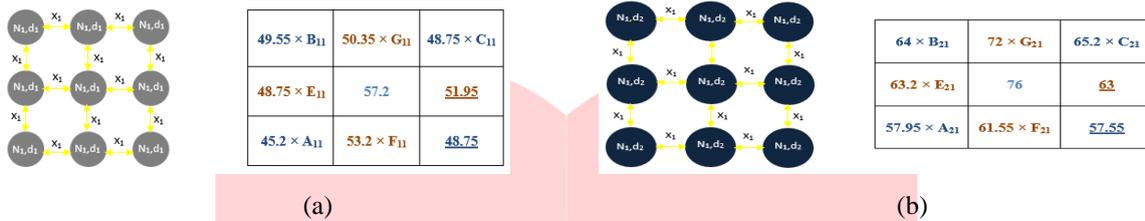


Gambar 3.4 Konfigurasi Posisi Koil Multi Receiver

3.3 Percobaan Sistem Induksi dengan Variasi Parameter

Percobaan ini dilakukan untuk menentukan nilai parameter yang digunakan pada pengujian sistem induksi Multi Receiver terhadap objek berdasarkan penengaruh nilai parameter terhadap tegangan di frekuensi 100 kHz.

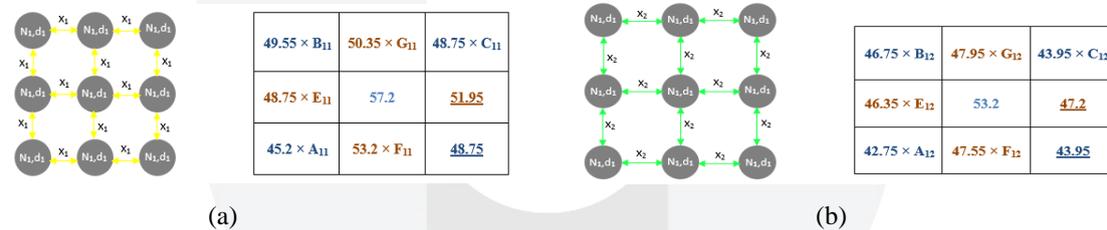
3.3.1 Percobaan Induksi dengan Variasi Diameter Lilitan Koil Receiver



Gambar 3.5 Nilai Tegangan Vpp (mV) yang terukur pada koil Multi Receiver dengan diameter lilitan (d) : (a) 1 cm, (b) 2 cm

Berdasarkan gambar 3.5 (a) dan (b), semakin besar nilai diameter lilitan koil Receiver yang diberikan maka semakin besar pula nilai tegangan yang terukur pada koil Receiver, dimana luas Penampang Solenoida (A) berbanding lurus dengan Fluks Magnetik (ϕ_m) yang melewati luas Solenoida tersebut sehingga nilai tegangan yang terukur (ggl induksi) akan semakin besar. Akan tetapi pada percobaan induksi dengan parameter jarak antar koil selanjutnya akan membuat koil Receiver tertentu seperti K₁, K₃, K₇ dan K₉ semakin menjauh dari sistem jika menggunakan diameter lilitan koil yang lebih besar sehingga nilai parameter yang diambil dari hasil percobaan ini adalah 1 cm yang digunakan pada pengujian sistem induksi Multi Receiver selanjutnya.

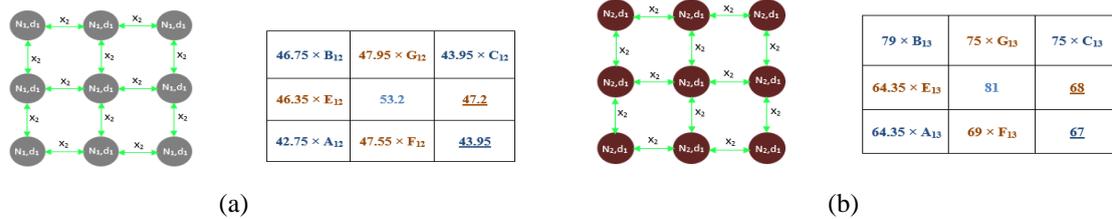
3.3.2 Percobaan Induksi dengan Variasi Jarak antar Koil Receiver



Gambar 3.6 Nilai Tegangan Vpp (mV) yang terukur pada koil Multi Receiver dengan jarak antar koil (x) : (a) 1 cm, (b) 2 cm

Berdasarkan gambar 3.6 (a) dan (b), semakin besar nilai jarak antar koil Receiver yang diberikan maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan dengan kata lain dengan semakin besar jarak antar koil Receiver maka masing-masing koil akan semakin menjauh sebanding dengan perubahan jaraknya yang mengakibatkan garis fluks magnetik tidak menyebar secara merata. Akan tetapi untuk menghindari adanya pengaruh antar koil pada konfigurasi 1 cm yang mengakibatkan tegangan yang diperoleh lebih besar maka jarak antar koil Receiver yang digunakan pada pengujian sistem induksi multi Receiver selanjutnya adalah 2 cm.

3.3.3 Percobaan Induksi dengan Variasi Jumlah Lilitan Koil Receiver

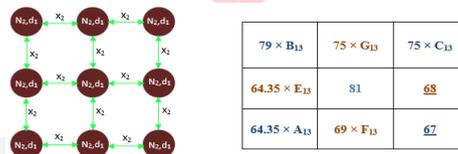


Gambar 3.7 Nilai Tegangan V_{pp} (mV) yang terukur pada koil multi Receiver dengan jumlah lilitan (N) : (a) 90; (b) 270

Berdasarkan gambar 3.7 (a) dan (b), dengan semakin banyak jumlah lilitan koil yang diberikan, maka semakin besar nilai tegangan yang diperoleh pada koil Receiver dengan kata lain asumsi awal (teori) yang menyatakan tegangan yang terukur pada Receiver adalah perubahan fluks terhadap waktu dikalikan dengan jumlah lilitan koil dapat dibuktikan oleh percobaan pada Tugas Akhir ini. Sehingga pada pengujian sistem induksi Receiver selanjutnya dapat ditentukan jumlah lilitan yang digunakan adalah 270 lilitan.

3.4 Percobaan Induksi tanpa Objek

Percobaan induksi tanpa objek dilakukan untuk dibandingkan dengan hasil percobaan induksi terhadap objek (plat besi) sehingga dapat diketahui apakah sistem induksi Multi Receiver pada penelitian Tugas Akhir ini sudah dapat membedakan ada atau tidaknya objek. Adapun data Tegangan yang diperoleh pada percobaan induksi ini ditunjukkan oleh gambar 3.8

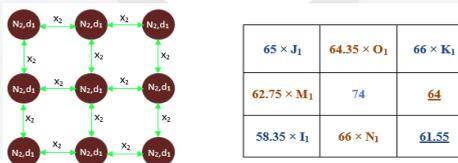


Gambar 3.8 Nilai Tegangan V_{pp} (mV) yang terukur pada koil multi Receiver tanpa objek

3.4 Percobaan Induksi terhadap Objek (Plat Besi)

Pada pengujian ini dilakukan percobaan induksi koil terhadap suatu objek berupa plat besi dengan masing-masing panjang, lebar dan tebal adalah 12 cm, 12 cm dan 5 mm, dalam hal ini plat besi yang digunakan dibedakan menjadi 2 yaitu plat utuh dan plat beranomali (bolong). Adapun konfigurasi nilai parameter dan frekuensi yang digunakan adalah diameter lilitan (d) 1 cm, jumlah lilitan (N) 270, jarak antar koil (x) pada Receiver 2 cm dengan posisi koil Receiver seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.4 pada frekuensi 100 kHz.

3.5.1 Percobaan Sistem Induksi Multi Receiver dengan Plat Utuh



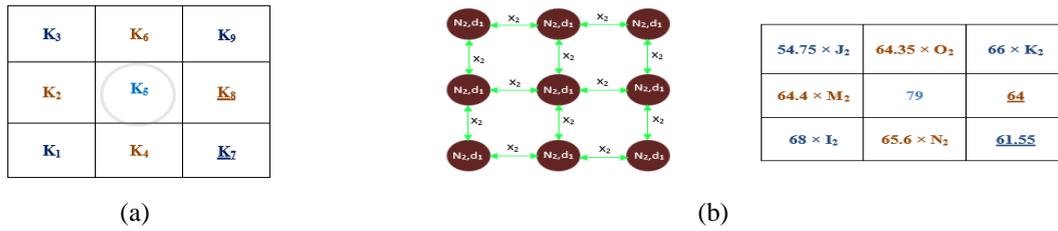
Gambar 3.9 Nilai Tegangan V_{pp} (mV) yang terukur pada koil Multi Receiver dengan plat utuh

Berdasarkan pada perbandingan gambar 3.9 (percobaan induksi Multi Receiver dengan plat utuh) dan 3.8 (percobaan induksi multi Receiver tanpa objek) tegangan V_{pp} pada percobaan dengan plat utuh < Tegangan V_{pp} pada percobaan Receiver tanpa objek. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem induksi Multi Receiver pada Tugas Akhir ini sudah dapat membedakan ada atau tidaknya objek.

3.5.2 Percobaan Induksi terhadap Objek Beranomali

Pada penelitian Tugas Akhir ini adapun objek beranomali dibagi menjadi 3 konfigurasi yaitu anomali konfigurasi 1 (diameter bolong 1 cm dengan posisi di tengah-tengah plat), anomali konfigurasi 2 (diameter bolong 0.5 cm dengan posisi di tengah-tengah plat) dan anomali konfigurasi 3 (diameter bolong 0.5 cm dengan posisi pinggir plat). Percobaan induksi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh anomali terhadap sistem induksi.

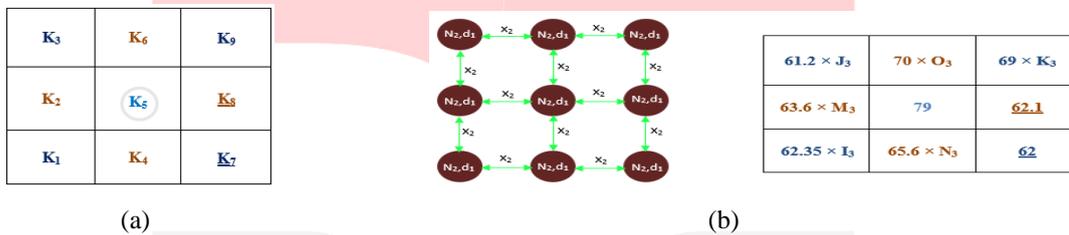
3.5.2.1 Pengaruh Objek Beranomali Konfigurasi 1 terhadap Tegangan



Gambar 3.10 (a) Posisi anomali pada titik koordinat coil Multi Receiver; (b) Nilai Tegangan (Vpp) terukur pada percobaan induksi terhadap objek beranomali konfigurasi 1

Berdasarkan gambar 3.10 maka dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang terukur pada coil Receiver (K₅) lebih besar dibandingkan saat percobaan induksi dengan plat utuh (gambar 3.9), sehingga dapat dikatakan bahwa sistem induksi Multi Receiver yang digunakan pada Tugas Akhir ini sudah dapat membedakan ada atau tidak nya anomali.

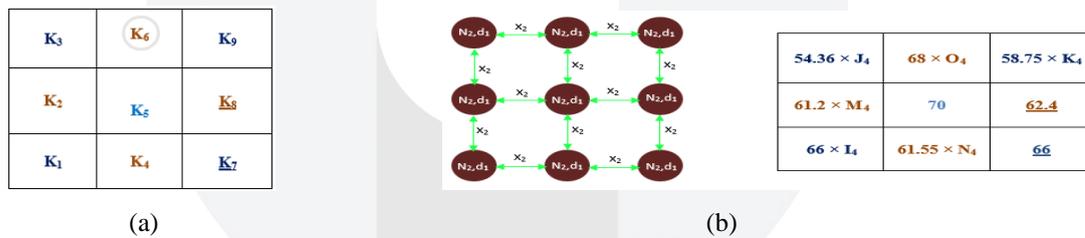
3.5.2.2 Pengaruh Objek Beranomali Konfigurasi 2 terhadap Tegangan



Gambar 3.11 (a) Posisi anomali pada titik koordinat coil multi Receiver; (b) Nilai Tegangan (Vpp) terukur pada percobaan induksi terhadap objek beranomali konfigurasi 2

Berdasarkan perbandingan antara gambar 3.11 (b) dan 3.10 (b) maka dapat diketahui bahwa ukuran anomali tidak mempengaruhi tegangan, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem induksi yang digunakan pada Tugas Akhir ini belum bisa membedakan ukuran anomali pada plat.

3.5.2.3 Pengaruh Objek Beranomali Konfigurasi 3 terhadap Tegangan



Gambar 3.12 (a) Posisi anomali pada titik koordinat coil multi Receiver; (b) nilai tegangan (Vpp) terukur pada percobaan induksi terhadap objek beranomali konfigurasi 3

Pada gambar 3.12 (b) maka dapat diketahui bahwa sistem induksi belum bisa membedakan posisi anomali dengan indikator tegangan yang terukur pada coil Receiver (K₆) dibandingkan dengan dengan nilai tegangan yang terukur pada coil Receiver (K₅), sehingga dapat dikatakan bahwa sistem induksi Multi Receiver yang digunakan pada Tugas Akhir ini belum bisa membedakan posisi anomali.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini maka telah diperoleh kesimpulan yaitu :

1. Nilai Frekuensi optimal pengundiksian adalah 100 kHz.
2. Semakin besar nilai parameter yang diberikan (dalam hal ini diameter lilitan (d) dan jumlah lilitan (N)) maka nilai tegangan (Vpp) yang terukur pada koil *Receiver* pun semakin besar, sebaliknya pada parameter jarak antar koil *Receiver* dimana semakin besar nilai parameter yang diberikan maka nilai tegangan (Vpp) yang terukur pada koil *Receiver* akan semakin kecil.
3. Pada pengujian sistem induksi multi *Receiver* tanpa objek menghasilkan tegangan (Vpp) > Tegangan (Vpp) pada pengujian dengan objek (plat besi) sehingga dapat dikatakan bahwa sistem induksi multi *Receiver* yang digunakan pada Tugas Akhir ini sudah dapat membedakan ada atau tidaknya objek.
4. Berdasarkan perbandingan tegangan pada percobaan induksi dengan plat utuh terhadap percobaan induksi dengan plat beranomali konfigurasi 1 sehingga sistem induksi multi *Receiver* yang digunakan sudah bisa membedakan adanya anomali.
5. Berdasarkan hasil tegangan pada percobaan induksi dengan plat beranomali 3 konfigurasi maka dapat dikatakan sistem induksi multi *Receiver* yang digunakan belum bisa membedakan ukuran dan posisi anomali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hussein, E.M.A. (2011). *Nondestructive Testing*. e-book. Department of Mechanical Engineering. University of New Brunswick. Canada.
- [2] Martín, J.G., Gil, J.G and Sánchez, E.V. (2011). *Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing*. Journal. Departement of Signal Theory, Communications and Telematic Engineering. University of Valladolid (UVA). Valladolid. Spain.
- [3] Palani,S., S, K., and P, H. (2012). *A Study on Non Destructive Evaluation of Materials Defects by Eddy Current Methods*. International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering (ICMAME'2012). Dubai.
- [4] Buckley, J. M. (1993). *An introduction to Eddy Current Testing theory and technology*. Paper. formerly of HOCKING NDT.
- [5] Tipler, P.A. (1991). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. (edisi ketiga). Jakarta: Erlangga.
- [6] Abdullah, M. (2006). *Diktat Kuliah Fisika Dasar II Tahap Persiapan Bersama ITB*. Institut Teknologi Bandung.
- [7] Darmawan, D. (2010). *Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet*. Bandung: CV. Maju Jaya.
- [8] Ramdhani, M. (2008). *Rangkaian Listrik*. Institut Teknologi Telkom, Bandung.
- [9] Kim, J., Le, M., Lee, J.,Hwang, Y.H. (2014). *Eddy Current Testing and Evaluation of Far Side Corrosion Around Rivet in Jet-Engine Intake of Aging Supersonic Aircraft*. Department of Control and Instrumentation Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea.
- [10] Beaumont, P.W.R. (2013). *On the Problems of Cracking and the Question of Structural Integrity of Engineering Composite Materials*. Journal. Engineering Departement. Cambridge University. Cambidge. UK.
- [11] Novitasari, F. (2014). *Studi Perbandingan Konfigurasi Koil Metoda Eddy Current Testing (ECT) Pada Bahan Ferromagnetik dan Non-Ferromagnetik*. Teknik Fisika, Universitas Telkom, Bandung.