

**KARAKTERISASI DESAIN SENSOR *MAGNETIC INDUCTION*
TOMOGRAPHY UNTUK INSPEKSI JENIS CACAT LAS PADA
PELAT BAJA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh :

Aldy Yana Saputra
3334190018

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISASI DESAIN SENSOR *MAGNETIC INDUCTION*
TOMOGRAPHY UNTUK INSPEKSI JENIS CACAT LAS PADA
PELAT BAJA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.
NIP. 196705302002121001

Pembimbing II



Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198705262014041001

LEMBAR PERSETUJUAN

**KARAKTERISASI DESAIN SENSOR *MAGNETIC INDUCTION*
TOMOGRAPHY UNTUK INSPEKSI JENIS CACAT LAS PADA
PELAT BAJA**


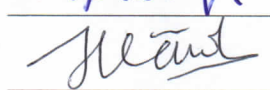
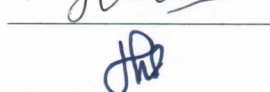
SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Aldy Yana Saputra

3334190018

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 06 Februari 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.	
Penguji II	: Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D.	
Penguji III	: Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Karakterisasi Desain Sensor *Magnetic Induction Tomography* Untuk Inspeksi Jenis Cacat Las Pada Pelat Baja

Nama Mahasiswa : Aldy Yana Saputra

NIM : 3334190018

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 06 Februari 2024



Aldy Yana Saputra
NIM. 3334190018

ABSTRAK

Salah satu proses fabrikasi yang saat ini banyak digunakan di industri adalah proses pengelasan. Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan pengisi dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan kontinu. Pasca pengelasan pengendalian kualitas produk hasil lasan menjadi salah satu langkah penting dan perlu dilakukan, karena sering ditemukan kegagalan atau cacat lasan pada produk sehingga perlu dilakukan pengujian. Pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui adanya cacat lasan atau kegagalan pada produk adalah pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test*). Salah satu metode NDT yang saat ini sedang dikembangkan adalah metode *Magnetic Induction Tomography* (MIT). Metode MIT ini mempunyai kelebihan seperti bersifat *non-intrusive*, *contactless*, aman dari radiasi dan relatif murah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif desain sensor yang dikembangkan dalam menginspeksi cacat las serta menganalisis pola sinyal hasil inspeksi. Penelitian ini menggunakan jenis desain sensor tipe I, II, dan III serta sampel uji yang digunakan adalah pelat baja SS400 dengan ukuran 10 cm x 10 cm. Eksperimen dilakukan dengan meletakkan sensor di atas cacat las dan sensor akan menginspeksi selama frekuensi 100 kHz – 500 kHz. Cacat yang diinspeksi berupa cacat retak dan cacat porositas diameter 5 mm dengan kedalaman 3, 7, serta 11 mm. Pada penelitian ini besaran yang terukur adalah nilai impedansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor tipe I menjadi sensor dengan karakteristik yang paling optimal dilihat berdasarkan nilai gap impedansi baja dengan udara yang paling jauh dan sensitivitas dalam inspeksi baja cacat. Kemudian hasil pengukuran baja cacat menunjukkan nilai impedansi baja cacat berada di antara nilai impedansi baja normal dan udara. Pada frekuensi 172 kHz nilai impedansi cacat porositas kedalaman 11 mm sebesar 34.587 m Ω , nilai impedansi cacat porositas kedalaman 7 mm sebesar 34.556 m Ω , dan nilai impedansi cacat porositas kedalaman 3 mm sebesar 34.518 m Ω . Hal tersebut menunjukkan pengukuran dengan sensor tipe I sudah dapat membedakan cacat porositas dengan variasi kedalaman dengan pengukuran optimum pada kedalaman 3 mm. Selain itu, sensor tipe I juga sudah sensitif untuk melihat perbedaan bentuk cacat yaitu cacat retak dan cacat porositas yang ditunjukkan dengan hasil nilai relatif impedansi pada frekuensi 172 kHz cacat retak menjadi nilai yang paling kecil dibandingkan dengan nilai relatif impedansi cacat porositas sebesar 0.222 m Ω . Sedangkan pada nilai relatif impedansi cacat porositas variasi kedalaman, nilai dari yang paling tinggi ke rendah adalah 0.356 m Ω pada kedalaman 11 mm, 0.325 m Ω pada kedalaman 7 mm, dan 0.287 m Ω pada kedalaman 3 mm.

Kata kunci: Cacat las, desain sensor, impedansi, medan magnet, MIT

ABSTRACT

One fabrication process that is currently widely used in industry is the welding process. Welding is the process of joining two metals by melting some of the parent metal and filler with or without additional metal and producing a continuous connection. After welding, controlling the quality of the welded product is one of the important steps and needs to be done, because there are often failures or weld defects in the product so that testing is needed. Tests that are commonly used to determine the presence of weld defects or failures in products are non-destructive tests (NDT). One of the NDT methods currently being developed is the Magnetic Induction Tomography (MIT) method. This MIT method has advantages such as being non-intrusive, contactless, safe from radiation and relatively cheap. This study aims to determine how effective the developed sensor design is in inspecting weld defects and analyzing the signal pattern of the inspection results. This research uses type I, II, and III sensor designs and the test sample used is SS400 steel plate with a size of 10 cm x 10 cm. Experiments were conducted by placing the sensor over the weld defect and the sensor will inspect during the frequency of 100 kHz - 500 kHz. The defects inspected were crack defects and porosity defects of 5 mm diameter with depths of 3, 7, and 11 mm. In this study, the measured quantity is the impedance value. The results showed that the type I sensor is the sensor with the most optimal characterization based on the value of the impedance gap between steel and air and sensitivity in the inspection of defective steel. Then the measurement results of defective steel show that the impedance value of defective steel is between the impedance value of normal steel and air. At a frequency of 172 kHz, the impedance value of 11 mm depth porosity defect is 34.587 m Ω , the impedance value of 7 mm depth porosity defect is 34.556 m Ω , and the impedance value of 3 mm depth porosity defect is 34.518 m Ω . This shows that measurements with type I sensors can distinguish porosity defects with depth variations with optimum measurements at a depth of 3 mm. In addition, type I sensors have also been sensitive to see the difference in the form of defects, namely cracks and porosity defects, which are indicated by the results of the relative value of impedance at a frequency of 172 kHz, cracking defects being the smallest value compared to the relative value of impedance of porosity defects of 0.222 m Ω . While the relative impedance value of porosity defects varies in depth, the values from highest to lowest are 0.356 m Ω at a depth of 11 mm, 0.325 m Ω at a depth of 7 mm, and 0.287 m Ω at a depth of 3 mm.

Keywords: Weld defects, sensor design, impedance, magnetic fields, MIT

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, nikmat kesehatan, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Karakterisasi Desain Sensor *Magnetic Induction Tomography* Untuk Inspeksi Jenis Cacat Las Pada Pelat Baja**. Skripsi ini dipersembahkan khusus oleh penulis tidak hanya untuk CTECH Labs Edwar Technology maupun Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, melainkan untuk semua pihak yang tertarik dengan topik riset ini. Sehingga dengan demikian segala harapan penulis yang tersirat untuk kemajuan bangsa Indonesia dapat terus berkembang tidak hanya sekedar gagasan tertulis, melainkan bentuk yang realistik. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak rasa terimakasih kepada

1. Bapak Dr. Eng. Abdul Aziz, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
2. Bapak Dr. Didied Haryono, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I pada Seminar Proposal Skripsi.
3. Bapak Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., PhD. selaku pembimbing II skripsi atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Keluarga penulis serta teman-teman yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan selama proses penyusunan proposal skripsi penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan serta kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik serta saran dari pembaca agar proposal ini

menjadi lebih baik. Penulis berharap semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau sebagai bahan kajian serta studi sebagai sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Cilegon, 06 Februari 2024

Aldy Yana Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.	iii
LEMBAR PERNYATAAN.	iv
ABSTRAK.	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengelasan.....	5
2.2 Jenis Cacat Lasan	7
2.2.1 Cacat Retak.....	8
2.2.2 Cacat Porositas.	9
2.3 <i>Eddy Current Testing</i>	10

2.3.1	Kemagnetan.....	11
2.3.2	Induksi Elektromagnetik.....	14
2.3.3	Karakteristik <i>Eddy Current</i>	16
2.3.4	Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi.	19
2.4	Frekuensi Resonansi.....	20
2.5	<i>Magnetic Induction Tomography</i>	21
2.6	Sensor <i>Magnetic Induction Tomography</i> (MIT).	23
2.6.1	Sifat-Sifat Listrik pada Sensor MIT	27

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir	30
3.2	Alat dan Bahan.....	31
3.2.1	Alat yang Digunakan	31
3.2.2	Bahan yang Digunakan.....	31
3.3	Prosedur Percobaan.....	32
3.3.1	Preparasi Pelat Baja.....	32
3.3.2	Pengujian Sensor MIT.....	34

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi Sinyal <i>Output</i> pada Sensor Tipe I, II, dan III.	39
4.2	Analisis Hasil Eksperimen Inspeksi Cacat dengan Sensor Optimal.....	46
4.3	Analisis Nilai Relatif Impedansi pada Variasi Kedalaman dan Bentuk Cacat	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.	54
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN.....	59
LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN.	60
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN.	85

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1 Parameter Sensor.....	34
Tabel B.1 Data Rata-Rata Impedansi Pengukuran Sensor Tipe II.....	66
Tabel B.2 Data Nilai Relatif Impedansi Sensor II.	68
Tabel B.3 Data Rata-Rata Impedansi Pengukuran Sensor Tipe I.	71
Tabel B.4 Data Nilai Relatif Impedansi Sensor I.....	74
Tabel B.5 Data Rata-Rata Impedansi Pengukuran Sensor Tipe III.	76
Tabel B.6 Data Nilai Relatif Impedansi Sensor III.	79
Tabel B.7 Data Selisih Impedansi Baja Normal dengan Udara.	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Jenis cacat <i>cracks</i>	9
Gambar 2.2 Cacat porositas.	10
Gambar 2.3 Arah medan magnet.	12
Gambar 2.4 Distribusi kerapatan fluks.....	12
Gambar 2.5 Proses induktansi diri	15
Gambar 2.6 Cacat pada aliran <i>eddy current</i> (a) cacat sejajar dengan aliran arus (b) cacat tegak lurus dengan aliran arus.....	17
Gambar 2.7 Efek batasan material (a) <i>eddy current</i> tidak terganggu batasan material dan (b) <i>eddy current</i> memadat karena batasan material.	17
Gambar 2.8 <i>Eddy current testing</i>	18
Gambar 2.9 Prinsip kerja MIT.	23
Gambar 2.10 Representasi vektor medan magnet eksitasi, B , dan medan magnet gangguan, ΔB ,	23
Gambar 2.11 Arah medan magnet pada selenoida.....	25
Gambar 2.12 Hubungan frekuensi, konduktivitas dan permeabilitas.	26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2 Sampel pelat baja.	33
Gambar 3.3 Kondisi cacat retak.	33
Gambar 3.4 Rangkaian sistem MIT.	35
Gambar 3.5 Tampilan <i>software</i> LibreVNA.	36
Gambar 3.6 <i>Setting</i> LibreVNA pada <i>software spyder</i>	36

Gambar 3.7 Ilustrasi kondisi pengukuran sensor; (a) tipe I dan (b) tipe II.	37
Gambar 3.8 Ilustrasi kondisi pengukuran sensor tipe III.	38
Gambar 4.1 Sinyal output sensor tipe I pada objek udara dan baja normal.	42
Gambar 4.2 Sinyal output sensor tipe II pada objek udara dan baja normal.	42
Gambar 4.3 Sinyal output sensor tipe III pada objek udara dan baja normal.	43
Gambar 4.4 Selisih nilai impedansi normalisasi baja normal dengan udara.	44
Gambar 4.5 Hasil inspeksi objek uji baja normal, baja cacat, dan udara pada sensor II.	46
Gambar 4.6 Hasil inspeksi objek uji baja normal, baja cacat, dan udara.	47
Gambar 4.7 <i>Zoom out</i> hasil inspeksi objek uji baja normal, baja cacat, dan udara.	48
Gambar 4.8 <i>Zoom out</i> hasil inspeksi pada variasi kedalaman cacat porositas.	49
Gambar 4.9 Grafik variasi kedalaman cacat porositas pada frekuensi 172 kHz.	50
Gambar 4.10 Nilai relatif impedansi pada variasi kedalaman dan bentuk cacat. ..	50
Gambar 4.11 Nilai relatif impedansi variasi kedalaman dan bentuk cacat pada frekuensi 172 kHz.	51
Gambar 4.12 Ilustrasi perubahan arus eddy akibat diskontinuitas.	53
Gambar B.1 Nilai relatif impedansi variasi kedalaman dan bentuk cacat sensor tipe II.	85
Gambar B.2 Nilai relatif impedansi variasi kedalaman dan bentuk cacat sensor tipe III.	85
Gambar C.1 <i>Masking tape</i>	86
Gambar C.2 Mesin bor duduk.	86
Gambar C.3 Sampel pelat baja.	86
Gambar C.4 Sensor MIT.	86

Gambar C.5 Sensor tipe I.....	86
Gambar C.6 Sensor tipe II.....	86
Gambar C.7 Sensor tipe III.	87
Gambar C.8 Sistem MIT.....	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan adalah salah satu metode penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Pengelasan termasuk salah satu teknik fabrikasi yang banyak digunakan dalam industri manufaktur saat ini, mulai dari bidang konstruksi baja, bidang konstruksi perkapalan, instalasi pemipaan, konstruksi otomotif, hingga alat berat. Dalam industri manufaktur, pengendalian kualitas produk hasil lasan merupakan salah satu hal penting yang perlu diperhatikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari cacat produk hasil lasan yang dapat merugikan konsumen.

Kualitas hasil las yang sempurna ditinjau dari memenuhi atau tidaknya hasil las tersebut terhadap kualifikasi atau spesifikasi las yang ada. Hasil las yang memiliki cacat dan tidak memenuhi spesifikasi, maka dianggap tidak sempurna. Pada hasil las pipa baja, cacat atau kegagalan biasa terjadi, terutama cacat inklusi, retak, porositas, dan cacat lainnya. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan evaluasi untuk memastikan apakah hasil las telah memenuhi standar dan spesifikasi yang telah ditentukan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk evaluasi adalah pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing*). Pengujian ini dapat menginspeksi dan menganalisis kegagalan tanpa harus merusak material uji serta dapat digunakan sebagai perawatan terhadap sarana atau peralatan yang terdapat

dalam industri. Salah satu pengaplikasian proses inspeksi cacat las menggunakan metode NDT adalah inspeksi pada sambungan las pipa baja yang sudah terpasang. Saat ini metode yang sering digunakan untuk pemeriksaan saluran pipa baja adalah *radiography testing*. Namun pada penggunaan metode tersebut terdapat beberapa kekurangan yang mengakibatkan keefektivitasnya kurang seperti waktu operasi yang lama, alat relatif cukup mahal terutama pada sumber sinar-x, serta untuk mengoperasikan harus memiliki keahlian khusus. Oleh karena itu diperlukan metode lain yang memiliki kemampuan hampir sama dengan biaya yang dikeluarkan lebih sedikit.

Saat ini, salah satu metode alat inspeksi cacat las yang sedang dikembangkan adalah *Magnetic Induction Tomography* (MIT). MIT mampu menghasilkan citra pada objek-objek yang memiliki nilai konduktivitas yang tinggi seperti objek-objek logam sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan pada dunia industri terutama pada industri manufaktur. Penggunaan metode MIT sebagai pengujian tidak merusak dengan teknik pencitraan memiliki keunggulan seperti tidak memerlukan kontak langsung dengan sampel, objek atau material yang akan diinspeksi, bersifat non-destruktif, tidak ada radiasi dan biaya yang dikeluarkan untuk pemeriksaan cacat relatif rendah serta sistem MIT ini dapat dilakukan secara *real time* (Sutisna *et al.*, 2014). Berdasarkan keunggulan dan kemampuan MIT maka metode ini sesuai untuk dijadikan alat inspeksi cacat las dan perlu dilakukan pengembangan lanjutan.

Terdapat penelitian menggunakan MIT untuk menginspeksi cacat lasan (Hilzaviani, 2021). Penelitian tersebut menggunakan desain sensor dua kumparan

dua sumbu dan berhasil menunjukkan bahwa sensor tersebut sensitif dalam mendeteksi cacat pada variasi kedalaman 2, 6, dan 7 mm dengan nilai relatif magnitude yang ditunjukkan bernilai maksimum pada kedalaman cacat 2 mm. Akan tetapi, desain sensor tersebut belum mampu menginspeksi cacat yang lebih dalam dan belum menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kedalaman cacat. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai MIT dengan menggunakan desain sensor yang berbeda agar bisa mendeteksi cacat yang lebih dalam dan dapat mendeteksi bentuk cacat yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif alat prototipe sistem inspeksi dan mengetahui jenis desain sensor yang optimal dalam menginspeksi cacat las dengan kedalaman cacat porositas dan bentuk cacat yang berbeda. Sehingga diharapkan dari penelitian yang dilakukan ini dapat menjadi salah satu upaya optimalisasi dari alat prototipe sistem inspeksi cacat las yang dikembangkan agar dapat diaplikasikan sebagai alat inspeksi cacat las dalam skala industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisasi pola sinyal standar baja normal dan udara yang terbentuk berdasarkan desain sensor?
2. Bagaimana menentukan desain sensor yang paling optimal?
3. Bagaimana mendeteksi cacat porositas kedalaman 3, 7, dan 11 mm serta cacat retak menggunakan sensor optimal?
4. Bagaimana pola sinyal hasil inspeksi cacat las yang diperoleh?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari desain sensor paling optimal untuk inspeksi cacat lasan.
2. Mengetahui fenomena tren yang terbentuk hasil inspeksi cacat las pada pelat baja.
3. Menganalisis pola sinyal hasil inspeksi cacat las menggunakan desain sensor optimal.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Maju dan Tomografi FT UNTIRTA, dan PT. C-Tech Lab Edwar Teknologi. Bahan yang digunakan untuk eksperimen inspeksi ini adalah pelat baja SS400 dengan dimensi 10 cm x 10 cm. Variabel yang terdapat pada penelitian ini meliputi variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas untuk penelitian ini adalah cacat artifisial (buatan) dengan diameter 5 mm, dan juga dengan variasi kedalaman cacat pada 3 mm, 7 mm dan 11 mm serta variasi bentuk cacat berupa cacat porositas dan cacat retak. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah data pengukuran sinyal yang didapatkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab, daftar pustaka dan lampiran. Bab I pendahuluan membahas mengenai latar belakang yang melandasi perlunya dilakukan penelitian mengenai deteksi cacat, identifikasi masalah penelitian yang dilakukan, tujuan penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan laporan.

Bab II tinjauan pustaka berisi mengenai literatur serta teori pendukung dilakukannya suatu penelitian. Bab III metode penelitian berisi tentang metodologi penelitian yang berisi tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta prosedur penelitian yang bersangkutan. Bab IV hasil dan pembahasan menjelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan mengenai eksperimen yang telah dilakukan beserta analisis pembahasannya. Bab V kesimpulan dan saran mencakup kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan secara keseluruhan. Daftar pustaka menyebutkan beberapa literatur yang digunakan sebagai dasar dan penunjang penelitian. Lampiran menjelaskan beberapa contoh perhitungan, data hasil penelitian, dan gambar alat serta bahan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Huda, Mahfudz, et al., 2020. "Characterization of Magnetic Induction Coil Sensor for VOID Detection in Steel Plate." 2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA). IEEE.
- A. Rahim, 2012. "Single Phase Measurement of Magnetic Induction Tomography," Thesis. Diterbitkan. Malaysia: Teknik Listrik dan Instrumen, Universiti Teknologi Malaysia.
- ASNT. 2007. "Depth of Penetration and Current Density". <https://www.nde-ed.org/Physics/Electricity/depthcurrentdensity.xhtml>. [Diakses pada 29 Februari 2024]
- Bowler, N. (1999) Eddy Current Nondestructive Evaluation, Springer Series in Measurement Science and Technology Series.
- Chandra, P. and Bhagi, R. (2014) 'Basics Eddy Current Testing : Basics', (March 2011).
- D. Hadzihafizovic. (2022) 'Porosity in Welding Causes Remedies. Journal Article. 1-14.
- Das, J. C. (2015). Power system harmonics and passive filter designs. John Wiley & Sons.
- García-Martín, J., Gómez-Gil, J. and Vázquez-Sánchez, E. (2011) 'Non-destructive techniques based on eddy current testing', Sensors, 11(3), pp. 2525–2565.
- Ghoni, R. et al. (2014) 'Defect Characterization Based on Eddy Current Technique: Technical Review', Advances in Mechanical Engineering, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/182496>.
- Giawa, I.R.F., Hutagaol, K. and Saragih, H., 2013. Penggunaan Model Pembelajaran Auditori Intellectually Repetition (AIR) untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi Matematis Siswa SMP. In Prosiding Seminar Kontribusi Fisika 2013 (SKF 2013) (pp. 175-180).

- Griffiths, H. (2001) 'Magnetic induction tomography', *Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications*, 1126, pp. 309–337. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429399886-16>.
- Helier, C. (2003) *Handbook Of Nondestructive Evaluation*. Second Edi. USA: McGraw-Hill Companies.
- Hilzaviani, N. 2021. Deteksi Cacat Las Pori Menggunakan Metode Machine Learning Sistem Magnetic Induction Tomography (MIT). Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Igney, C.H. et al. (2005) 'Design and performance of a planar-array MIT system with normal sensor alignment', *Physiological Measurement*, 26(2). Available at: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/26/2/025>.
- Jing, S., Fuqun, S. and Yafei, S., 2010. 'Analysis of sensor field in electromagnetic 85 tomography', 2010 6th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2010. doi: 10.1109/WICOM.2010.5600860.
- Kadir, 1984. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: LP3ES.
- Khan, I. (2007) *Welding Science And Technology*. New Delhi: New Age International Publisher.
- Lusiyana, A., Toifur, M. and Rohman, F., 2014. Uji sifat magnetik pasir pantai melalui penentuan permeabilitas relatif menggunakan Logger Pro. *Jurnal Fisika*, 4(2).
- Ma, L. and Soleimani, M. (2017) 'Magnetic induction tomography methods and applications: A review', *Measurement Science and Technology*, 28(7). Available at: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa7107>.
- Mansor, M.S.B. et al. (2015) 'Magnetic induction tomography: A brief review', *Jurnal Teknologi*, 73(3), pp. 91–95. Available at: <https://doi.org/10.11113/jt.v73.4252>.
- Maulandari, E.Z., 2018. Analisis Hasil Pengukuran Impedansi Listrik Dengan Menggunakan Metode Injeksi Arus Tipe Floating Dan Howland. Skripsi UB. Malang.

- MIT. (2012). "Chapter 11. Inductance and Magnetic Energy". [Online] Available at : <http://web.mit.edu/viz/EM/visualizations/coursenotes/modules/guide11.pdf> [diakses 15 Februari 2024].
- Prayuda, A.S.T. and Putra, W.H.A., 2021. Analisis Kemampuan Pendeteksian Pengujian Eddy Current terhadap Crack Toe pada Sambungan Tee Material Aluminium 5083 yang Dilapisi Non-Conductive Coating dengan Variasi Kedalaman dan Panjang Crack. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), ppG14-G21.
- A. Rahim, "Single Phase Measurement of Magnetic Induction Tomography," Thesis. Diterbitkan. Malaysia: Teknik Listrik dan Instrumen, Universiti Teknologi Malaysia. 2012
- Rais, R. and Putra, W.H.A., 2015. Studi Perbandingan Kecepatan dan Ketelitian Pengujian Magnetic Particle Testing (MT) dan Eddy Current Testing (ECT) pada Material Baja Karbon.
- Singh, S. (2018) 'Analysis of various defects involved in Welding metallurgy Renewable Energy View project Production View project Analysis of various defects involved in Welding metallurgy', (August). Available at: <https://www.researchgate.net/publication/335172629>.
- Slodička, M., & Van Bockstal, K. (2021). A time discrete scheme for an electromagnetic contact problem with moving conductor. *Applied Mathematics and Computation*, 404, 125997.
- Society, A.W. (2015) *Welding Inspection Handbook*. Fourth. USA: American Welding Society.
- Sutisna, D. et al. (2014) 'Flaw detection in welded metal using magnetic induction tomography', *Advanced Materials Research*, 896, pp. 722–725. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.896.722>.
- Tondok, Y.P., Patras, L.S. and Lisi, F., 2019. Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), pp.83-92.
- Wahyuningrum, R.R. and Budi Legowo, D., 2013. Aplikasi Software 3 Dimensi Inversi Dalam Interpretasi Sebaran Air Tanah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(2).
- Yang, X., Feng, Y. and Li, S., 2018, December. Influence of Measuring Coil Geometry on Detection Performance of Eddy Current Sensor. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 452, No. 4, p. 042045). IOP Publishing.