

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*

Achmad Suseno Tony Prayuda dan Wing Hendroprasetyo Akbar Putra
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: winghendroprasetyo@gmail.com

Abstrak—Dalam industri perkapalan, material aluminium sering digunakan sebagai bahan utama dalam pembangunan kapal. Dengan karakteristik dan keunggulan tersendiri membuat aluminium menjadi pilihan utama dalam pembangunan kapal-kapal tertentu seperti kapal nelayan, kapal cepat dan patroli, dan kapal-kapal lainnya. Pengelasan merupakan salah satu faktor utama dalam pembangunan kapal. Pengelasan tidak sempurna yang terdapat diskontinuitas dapat menyebabkan kerusakan yang fatal jika tidak dilakukan pendeteksian dan dibiarkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kemampuan pendeteksian *crack toe* dengan variasi kedalaman dan panjang pada sambungan *tee* material aluminium 5083 yang diberi lapisan *non-conductive coating* dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT). Dalam penelitian ini dibuat spesimen dari material aluminium 5083 berjumlah lima buah dengan ukuran 200 mm x 50 mm x 10 mm yang dilas dengan sambungan *tee*. Tiap spesimen diberi *crack* buatan sejumlah empat buah yang diberi variasi kedalaman dan panjang *crack*. Setelah itu, spesimen dilapisi *non-conductive coating* dengan ketebalan 200 mikron. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan pengaruh variasi kedalaman dan panjang terhadap pendeteksian *crack toe*. Seiring dengan bertambah dalam dan panjang suatu *crack*, tinggi sinyal *eddy current* yang dihasilkan juga mengalami peningkatan ketinggian. Selain itu juga dilakukan perhitungan nilai sensitivitas dan ketelitian untuk mengetahui kemampuan pendeteksian *crack toe* dengan pengaruh dua variasi, yaitu panjang dan kedalaman dalam kondisi pengelasan yang diberi lapisan *non-conductive coating* serta kondisi alur las. Nilai sensitivitas pengujian *eddy current* pada penelitian ini adalah 100%. Pengujian *eddy current* berdasarkan kedalaman *crack* pada spesimen 5 memiliki nilai ketelitian tertinggi, yaitu 84,82%, sedangkan pengujian terhadap spesimen 3 memiliki nilai ketelitian terendah, yaitu 53,95%. Ketelitian pendeteksian terhadap panjang *crack* yang terbaca tiap spesimen berturut-turut adalah 77,55% untuk spesimen 1, 94,65% untuk spesimen 2, 94,26% untuk spesimen 3, 94,77% untuk spesimen 4, dan 94,74% untuk spesimen 5.

Kata Kunci—Aluminium 5083, *Eddy Current Testing*, *Non-Destructive Testing*, *Surface Crack*.

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN material baja dalam pembangunan kapal tidak selalu menjadi pilihan utama mengingat terdapat material lain yang memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri, seperti contohnya material aluminium. Penggunaan aluminium di industri perkapalan cukup berkembang mengingat beberapa keunggulan yang dimiliki

aluminium dibandingkan dengan baja. Aluminium memiliki massa jenis yang lebih ringan dan daya tahan korosi lebih tinggi terhadap air laut serta kemampulan yang baik. Pemilihan material bukan sebuah acuan untuk menghasilkan konstruksi yang kokoh dalam pembangunan kapal. Salah satu faktor yang mempengaruhi kokoh apa tidaknya suatu konstruksi adalah proses pengelasan.

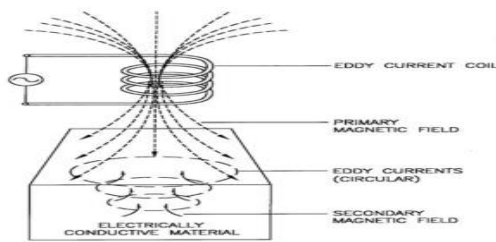
Pengelasan pada konstruksi bangunan kapal seringkali mengalami masalah seperti timbulnya kerusakan akibat kesalahan dalam proses pengelasannya atau faktor eksternal yang permukaan pengelasan dan di dalam permukaan pengelasan. Kerusakan di permukaan pengelasan biasanya dapat dideteksi secara visual atau dideteksi dengan alat khusus. Sedangkan untuk kerusakan yang terjadi dalam permukaan pengelasan, akan lebih sulit dideteksi kerusakannya. Dalam mendeteksi kerusakan terutama *crack* tanpa perlu merusak dalam proses pengujian dapat dilakukan dengan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Pendeteksian tersebut berguna untuk mengukur kerusakan yang terjadi khususnya pada pengelasan untuk mengurangi resiko yang terjadi akibat kerusakan tersebut.

Metode *non-destructive testing* yang digunakan untuk mendeteksi *crack* salah satunya adalah metode *Eddy Current Testing* (ECT). Metode tersebut akan digunakan untuk menganalisa kemampuan pendeteksian *crack* di daerah *toe* pada sambungan *tee* material Aluminium 5083 yang diberi lapisan *non-conductive coating* dengan variasi kedalaman dan panjang *crack*.

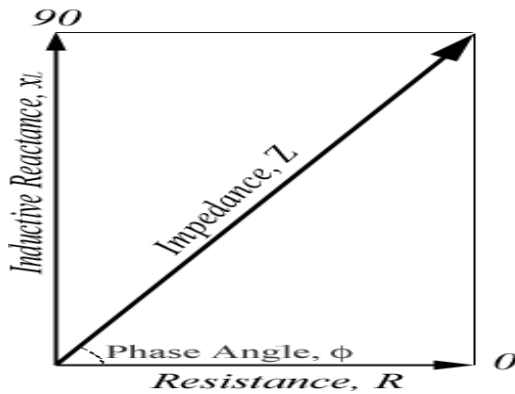
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Elektromagnetisme

Hubungan antara listrik dan gaya magnetik dapat menghasilkan suatu bentuk lain dari gaya magnetik tersebut, bentuk lain tersebut dinamakan elektromagnetisme. Oleh karena itu, elektromagnetisme terdiri dari efek magnetik dari arus listrik. Elektromagnetisme dihasilkan ketika aliran listrik yang mengalir melewati konduktor sederhana seperti halnya kabel dan kawat. Elektron-elektron yang bergerak berhubungan dengan medan magnet; medan magnet yang bergeak dapat menghasilkan arus. efek elektromagnetisme dipakai menjadi prinsip dasar dari metode NDT (*Non-Destructive Testing*) yang menggunakan prinsip fisika elektromagnetisme, yaitu EMNDT atau *Electromagnetic*



Gambar 1. Pengujian *eddy current*.



Gambar 2. *Impedance plane diagram*.

Nondestructive Testing. Salah satu metode NDT yang termasuk *electromagnetic non-destructive testing* yaitu *eddy current testing* [1].

B. Medan Magnet pada Konduktor

Aliran listrik yang melewati sebuah konduktor akan menciptakan medan magnet yang melingkar dengan garis-garis magnet yang membentuk *loop* dan tidak melewati sepanjang konduktor tersebut.

Arah dari rotasi medan magnet diatur oleh arah aliran listrik yang melewati konduktor dengan menghasilkan medan magnet yang tegak lurus yang akan semakin kuat mendekati pusat dari konduktor yang menghasilkan aliran listrik. Hal tersebut dikarenakan panjang lintasan *loop* yang semakin jauh dari konduktor menyebabkan garis *flux* yang lebih lemah.

C. Induksi Magnet

Induksi terjadi ketika fluks magnetik yang bergerak membuat garis-garis magnetik yang memotong konduktor memaksa elektron bebas dalam konduktor untuk bergerak dan menghasilkan arus. Arus induksi merupakan hasil dari generator sebagai kinerja mekanis yang diletakkan ke dalam sebuah medan magnet yang bergerak dan diubah ke dalam energi listrik ketika arus mengalir ke dalam konduktor. Tanpa adanya gerakan tersebut tidak akan timbul arus. Gerakan ini sangat diperlukan agar garis-garis medan magnet memotong konduktor secara melintang. Pemotongan ini dapat dicapai dengan gerakan dari medan magnet maupun konduktor [2].

D. Eddy Current Testing

Eddy Current Testing merupakan salah satu dari metode pengujian tanpa merusak atau *Non-Destructive Testing* (NDT). *Eddy current testing* menggunakan prinsip dasar dari listrik dan magnet atau elektromagnetik dalam pengujiannya. Metode *eddy current* ini merupakan teknik evaluasi elektromagnetik tanpa merusak untuk mendeteksi retak permukaan dan kerusakan bawah permukaan pada berbagai macam material konduktif, baik material tersebut

feromagnetik maupun non-feromagnetik. Selain kegunaannya dalam pendeteksian retak, pengujian tersebut juga dapat melakukan berbagai macam inspeksi dan pengukuran diluar kemampuan metode lainnya, seperti; pengukuran ketebalan *non-conductive coating* dan pengukuran konduktivitas. Konduktivitas dikaitkan dengan komposisi dan perlakuan panas pada material uji. Oleh karena itu, metode *eddy current* juga dapat digunakan untuk membedakan antara material murni dan komposisi paduan dan untuk menentukan kekerasan spesimen setelah diberlakukan perlakuan panas [3].

1) Prinsip Pengujian

Prinsip yang bekerja pada pengujian *eddy current* adalah induksi elektromagnetik. Induksi elektromagnetik bekerja dengan menghasilkan arus *eddy* yang diinduksikan ke material atau bagian yang berdekatan medan fluks yang dihasilkan oleh arus bolak balik pada *coil probe*.

2) Faktor Penting dalam Pengujian Eddy Current

a. Konduktivitas

Konduktivitas merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan aliran listrik. Hal tersebut merupakan kebalikan dari resistivitas (*resistivity*). Konduktivitas dari unsur logam bervariasi berbanding terbalik dengan temperatur absolut di atas kisaran temperatur normal tetapi temperatur yang mendekati absolut nol ketidaksempurnaan dan ketidakmurnian pada struktur kisi material [4].

b. Permeabilitas

Permeabilitas menentukan kemampuan sebuah material untuk dimagnetisasi, yaitu kemampuan untuk mengkonsentrasi flux magnet. Nilai angka permeabilitas untuk material-material yang berbeda, disebut dengan permeabilitas relatif (μ_r), dinyatakan dalam perbandingan terhadap permeabilitas udara atau ruang hampa udara [5].

c. Frekuensi

Frekuensi sebuah arus bolak-balik dinyatakan sebagai jumlah siklus arus yang terjadi dalam 1 (satu) detik. Satuannya adalah hertz, dimana 1 hertz merupakan 1 (satu) siklus per detik [6]. Pemeriksaan frekuensi dalam pengujian *eddy current* sangatlah penting untuk mendeteksi cacat-cacat, dikarenakan frekuensi dapat menentukan kedalaman penembusan dalam pengujian.

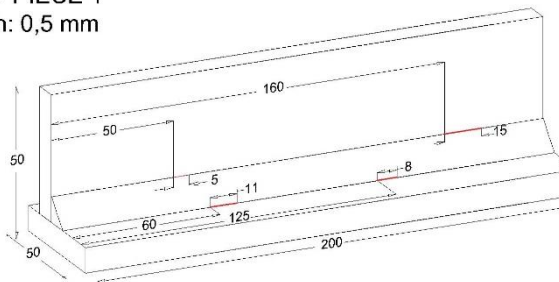
d. Lift-off

Lift-off adalah perubahan impedansi (ukuran penolakan terhadap arus bolak-balik sinusoid) yang terjadi ketika terdapat variasi jarak antara *coil probe* inspeksi dan spesimen uji. Variasi *lift-off* dapat disebabkan oleh berbagai ketebalan coating, permukaan sampel yang acak atau pergerakan operator. Medan magnet lebih kuat dekat coil, jadi *lift-off* lebih besar didekat probe. Dalam banyak pengaplikasiannya, pengukuran *eddy current* dipengaruhi oleh *lift-off*. *Lift-off* dianggap sebagai sumber *noise* dan tidak diinginkan dalam pendeteksian kecacatan [3].

e. Skin-Effect

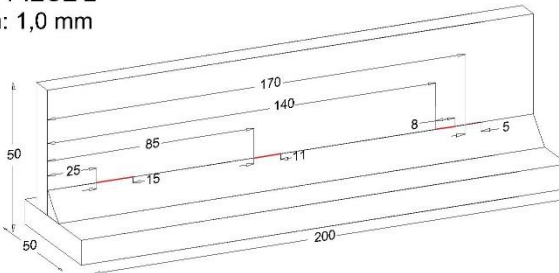
Eddy current diinduksi oleh konsentrasi medan magnet yang berubah dekat permukaan yang berdekatan dengan *coil*. *Eddy current* yang mengalir di benda uji pada kedalaman apapun menghasilkan medan magnet yang bertolak dengan medan magnet utama sehingga mengurangi flux magnet dan menyebabkan pengurangan aliran arus sebanding dengan bertambahnya kedalaman [7].

TEST PIECE 1
Depth: 0,5 mm



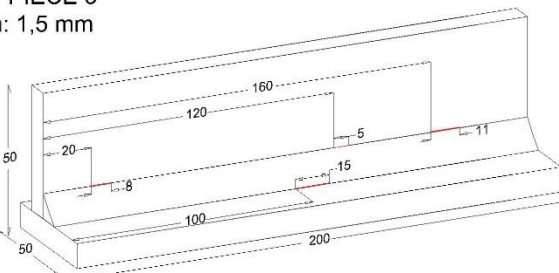
Gambar 3. Spesifikasi dan posisi crack pada spesimen 1.

TEST PIECE 2
Depth: 1,0 mm



Gambar 4. Spesifikasi dan posisi crack pada spesimen 2.

TEST PIECE 3
Depth: 1,5 mm



Gambar 5. Spesifikasi dan posisi crack pada spesimen 3.

f. *Signal to Noise Ratio*

Signal-to-noise ratio adalah perbandingan sinyal pengujian arus eddy current yang menjadi perhatian terhadap sinyal yang tidak diinginkan. Sumber-sumber gangguan yang umum terjadi adalah variasi pada benda uji seperti kekasaran, bentuk, dan ukuran serta homogenitas. Gangguan kelistrikan lainnya dapat diakibatkan oleh sumber-sumber luar seperti mesin las, motor listrik dan generator. *Signal-to-noise ratio* merupakan keadaan yang terjadi pada hampir seluruh metode pengujian tidak merusak (*non-destructive testing*) dan memiliki persyaratan 3:1.

3) *Pemilihan Frekuensi*

Frekuensi berperan penting dalam pengujian *eddy current* untuk menentukan kedalaman penetrasi. Selain frekuensi, permeabilitas dan konduktivitas juga mempengaruhi kemampuan dan keefektifan kedalaman penetrasi. Frekuensi yang lebih tinggi cenderung memiliki kedalaman penetrasi yang kecil dikarenakan arus *eddy* yang dibatasi untuk mengalir di permukaan saja. Sebaliknya, frekuensi rendah memiliki kedalaman penetrasi yang besar. Penggunaan frekuensi tinggi biasanya untuk mendeteksi retak kecil pada permukaan. Frekuensi menengah sangat berguna untuk melakukan pengukuran konduktivitas sedangkan frekuensi rendah biasanya dibutuhkan untuk memeriksa material yang tebal [6].

4) *Sistem Analisis Fase*

Perubahan impedansi selalu diikuti oleh pergeseran oleh pergeseran fase, maka dari itu dimungkinkan untuk mengamati pergeseran fase ketimbang perubahan impedansi dalam menentukan kondisi yang terjadi di dalam material [7]. Impedansi merupakan kombinasi dari resistensi, kapasitansi reaktan, dan induktif reaktan (disimbolkan dengan Z). Perubahan impedansi dapat digambarkan melalui grafik X-Y untuk berbagai kondisi pengujian. Penggambaran tersebut dikenal dengan diagram bidang impedansi (*impedance-plane diagram*). Diagram tersebut merupakan diagram dua dimensi yang menampilkan amplitudo dan sudut fase dari sebuah respon pengujian [2].

5) *Kedalaman Penembusan*

Arus *eddy current* terdistribusi secara merata pada material uji. Arus *eddy current* yang terbentuk cenderung rapat pada permukaan material uji yang paling dekat dengan *probe* dan menjadi semakin berkurang kerapatannya seiring dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan dari material uji tersebut. Kedalaman penetrasi dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas dari material yang diuji.

Kedalaman penetrasi *eddy current* memiliki standar yang telah ditentukan. Kedalaman penetrasi standar (SDP) merupakan kedalaman dimana kerapatan *eddy current* sebesar 37% dari kerapatan arus di permukaan material. Rumus kedalaman penetrasi standar adalah sebagai berikut:

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f\mu_{rel}}}$$

Keterangan:

δ : kedalaman penetrasi standar (SDP)

K : konstan (50 jika satuan pakai mm)

P : resistivitas

f : frekuensi (Hz)

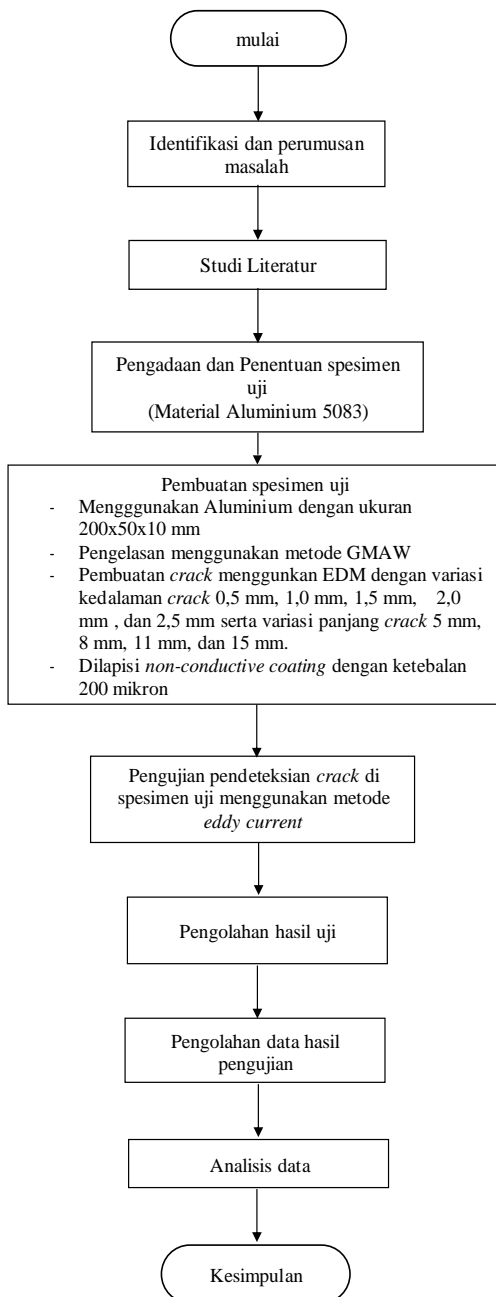
μ : permeabilitas

6) *Kumpulan Pengujian*

Pengujian *eddy current* memiliki beberapa jenis kumpulan pengujian berdasarkan bentuk material uji. Jenis-jenis kumpulan *eddy current* yaitu *surface probe* untuk material bentuk pelat, *encircling probes* untuk material batangan dan bentuk tabung, serta *bobbin probes* untuk material berbentuk tabung. Setiap probe memiliki jangkauan operasi frekuensi dan penyesuaian nilai impedansi *bridge circuit* alat tersebut [7].

E. *Aluminium*

Aluminium dan paduan aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Aluminium 5083 adalah aluminium *non-heat-treatable* yang terdiri dari 4.5% magnesium, 0.15% chrom, dan 0.7% mangan. Al 5083 dikenal sebagai pelat yang digunakan untuk konstruksi kapal. Material Al 5083 diperkeras dengan pengerjaan dingin seperti *cold rolling*. Material ini memiliki *weldability* yang baik. GMAW dan GTAW dipilih dan banyak digunakan untuk mengelas material ini [8].



Gambar 8. Bagan alir pengerjaan.

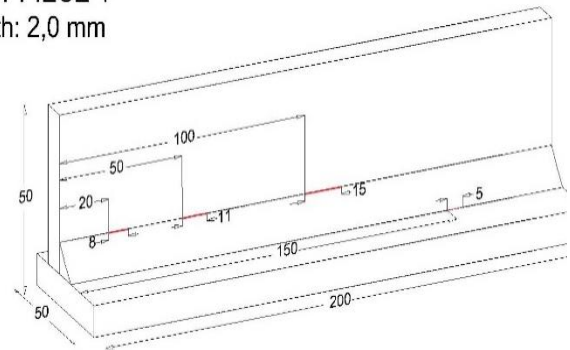
METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembuatan Spesimen Uji

Pada tahap penyiapan spesimen, dilakukan pengadaan material berupa pelat aluminium 5083 sebanyak sepuluh buah. Material dipotong dan dilas sambungan *tee* dengan metode GMAW. Spesimen uji berjumlah lima buah dan memiliki dimensi panjang 200 mm x lebar 50 mm x tebal 10 mm.

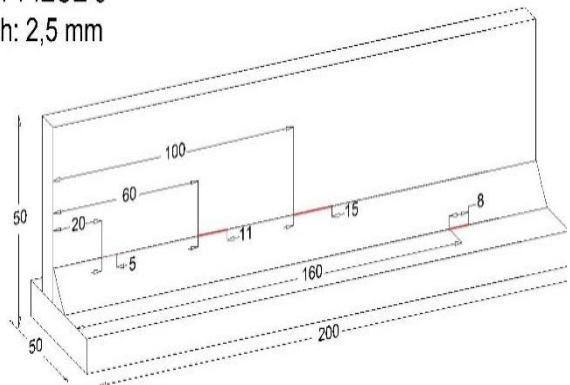
Pembuatan *crack* pada spesimen uji menggunakan mesin *electrical discharge machine* (EDM) dan berjumlah empat buah di setiap spesimen. *Crack* buatan memiliki dimensi lebar 0,25 mm, dimensi panjang yang bervariasi, yaitu sebesar 5 mm, 8mm, 11mm, dan 15 mm, serta dimensi kedalaman *crack* yang bervariasi sebesar 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, dan 2,5 mm. Adapun perencanaan pembuatan *crack* pada spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 1-Gambar 7.

TEST PIECE 4
Depth: 2,0 mm



Gambar 6. Spesifikasi dan posisi *crack* pada spesimen 4.

TEST PIECE 5
Depth: 2,5 mm



Gambar 7. Spesifikasi dan posisi *crack* pada spesimen 5.

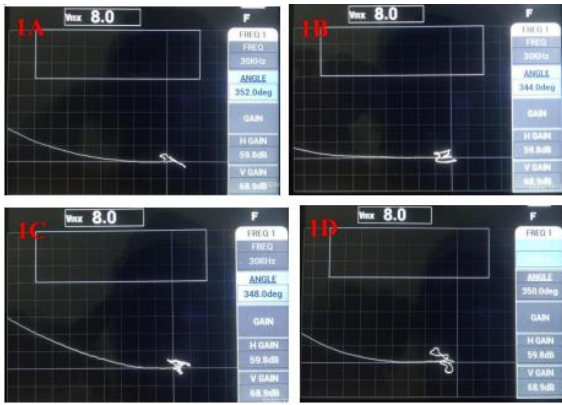
B. Pengujian Eddy Current

Pengujian *eddy current* dilakukan setelah spesimen uji diberi *crack* buatan. Pengujian terhadap spesimen bertujuan untuk mengetahui kemampuan pendeteksian terhadap *crack* di daerah *toe* pada sambungan las *tee* aluminium 5083 yang dilapisi *non-conductive coating* dengan variasi kedalaman dan panjang *crack*.

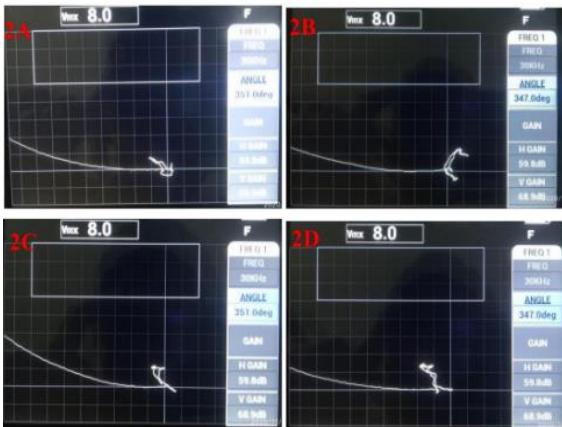
Proses pengujian diawali dengan menyiapkan spesimen uji dan alat pengujian berupa *eddy current testing* (ECT), *probe* pengujian, dan blok kalibrasi aluminium pada meja kerja. Meja kerja yang digunakan sebaliknya terbuat dari bahan insulator listrik agar tidak mengganggu arus *eddy* saat proses pengujian berlangsung. Tahap pertama melakukan kalibrasi blok aluminium guna mendapatkan konfigurasi pengujian. Konfigurasi yang didapatkan adalah frekuensi, *gain*, dan sudut fase. Proses kalibrasi alat perlu dilakukan sebelum menguji suatu material. Setelah tahapan kalibrasi selesai, dilakukan pengujian terhadap spesimen uji dengan menggunakan konfigurasi yang didapat pada tahap kalibrasi. Pengujian dilakukan pada daerah *toe* alur las. Sinyal-sinyal ECT yang didapat saat proses pengujian diukur ketinggiannya dan didokumentasikan. Setelah proses tersebut selesai, dapat dilanjutkan ke tahap analisis dan pembahasan dari hasil pengujian *eddy current*.

C. Bagan Alir

Bagan alir pengerjaan penelitian analisis kemampuan pendeteksian pengujian *eddy current* terhadap *crack toe* pada sambungan *tee* material aluminium 5083 dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 9. Hasil pengujian spesimen 1.



Gambar 10. Hasil pengujian spesimen 2.



Gambar 11. Hasil pengujian spesimen 3.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

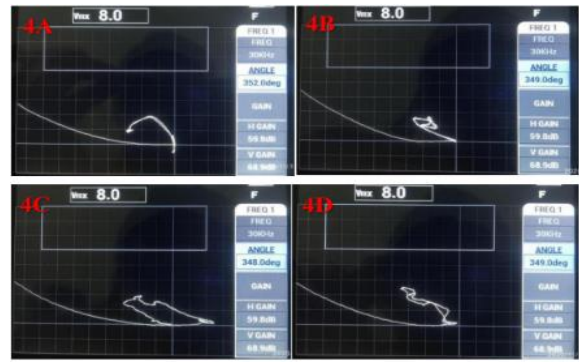
A. Konfigurasi Blok Kalibrasi

Konfigurasi pada blok kalibrasi dilakukan sebelum melakukan pengujian terhadap spesimen. Hasil konfigurasi alat eddy current yang didapat adalah sebagai berikut:

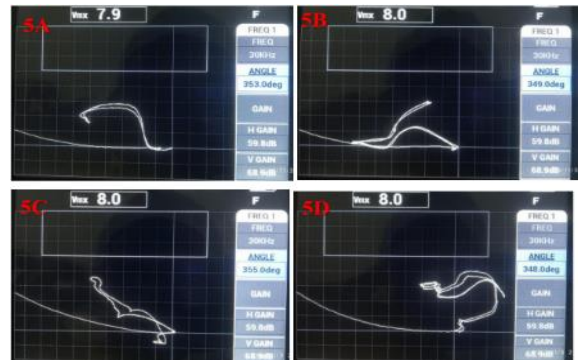
- Probe connector : BNC
- frequency : 30 kHz
- Display mode : IMP
- Angle : 352,0°
- Frequency mode : Single
- Gain (H/V) : 59,8 dB/68,9 dB

B. Pengujian Eddy Current

Setiap spesimen memiliki empat buah crack yang memiliki spesifikasi dimensi masing-masing. Dalam mempermudah dalam mengolah data, crack-crack diberi kode huruf dan angka berdasarkan kedalaman dan panjang crack.

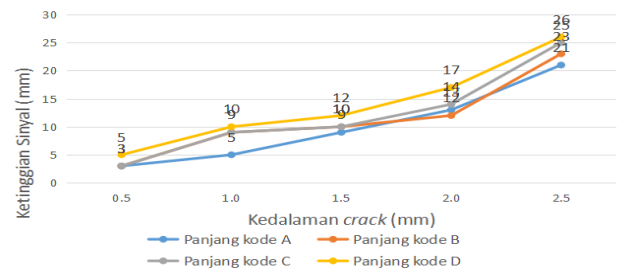


Gambar 12. Hasil pengujian spesimen 4.



Gambar 13. Hasil pengujian spesimen 5.

Perbandingan Ketinggian Sinyal Berdasarkan Kedalaman Crack



Gambar 14. Grafik perbandingan ketinggian sinyal berdasarkan kedalaman crack.

1) Kode Angka Berdasarkan Nomer Spesimen dan Kedalaman Crack

Berdasarkan Gambar 14 mengenai grafik perbandingan ketinggian sinyal berdasarkan kedalaman crack, terbagi atas:

- Kode 1: spesimen 1 kedalaman 0,5 mm
- Kode 2: spesimen 2 kedalaman 1,0 mm
- Kode 3: spesimen 3 kedalaman 1,5 mm
- Kode 4: spesimen 4 kedalaman 2,0 mm
- Kode 5: spesimen 5 kedalaman 2,5 mm

2) Kode Huruf Berdasarkan Dimensi Panjang Crack

Berdasarkan Gambar 15 mengenai grafik perbandingan ketinggian sinyal berdasarkan dimensi panjang crack, terbagi atas:

- Kode A: crack dengan panjang 5 mm
- Kode B: crack dengan panjang 8 mm
- Kode C: crack dengan panjang 11 mm
- Kode D: crack dengan panjang 15 mm

Untuk hasil pengujian eddy current pada setiap spesimen dapat dilihat pada Gambar 9-Gambar 13.

Dari hasil pengujian di setiap spesimen, didapatkan data pengukuran ketinggian sinyal indikasi tiap kode crack.

Rekapitulasi data pengukuran tersebut disajikan pada Tabel 1.

C. Kemampuan Pengujian Eddy Current dengan Pengaruh Variasi Kedalaman dan Panjang Crack.

Berdasarkan tabel rekapitulasi sebelumnya (Tabel 2), dilakukan perbandingan ketinggian sinyal indikasi crack berdasarkan variasi kedalaman untuk melihat kemampuan pendeteksian eddy current terhadap crack toe. Hal tersebut dilakukan dengan membandingkan satu crack dengan lainnya yang memiliki dimensi panjang yang sama tetapi nomor spesimen dan kedalaman crack-nya berbeda. Perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 15. Dari gambar grafik tersebut menunjukkan semua crack dapat terdeteksi dan memiliki ketinggian sinyal yang berbeda berdasarkan ukuran kedalaman crack tersebut. Untuk perbandingan tinggi sinyal berdasarkan variasi panjang crack dapat dilihat pada Gambar 15.

Hasil perbandingan crack toe berdasarkan dimensi panjang rata-rata menunjukkan peningkatan ketinggian sinyal seiring dengan bertambahnya dimensi panjang crack. Tetapi, Perbedaan ketinggian sinyal antar crack dalam satu spesimen tidak terlalu signifikan. Pada analisis terhadap pengujian dengan variasi kedalaman yang menunjukkan peningkatan ketinggian sinyal seiring dengan bertambahnya kedalaman crack, pengaruh diskontinuitas berupa crack akan mengganggu atau menghalangi arus eddy yang diinduksi ke spesimen uji.

Gangguan tersebut akan mendistorsi arus eddy yang bergerak secara melingkar sehingga arus mengambil jalur yang lebih jauh melewati crack. Pergerakan arus tersebut menghasilkan perubahan impedansi. Semakin dalam suatu crack akan membuat arus eddy menembus lebih dalam lagi dan menghasilkan perubahan impedansi yang lebih besar. Semakin besarnya perubahan impedansi akan tercatat sebagai sinyal indikasi yang lebih tinggi pada layar ECT.

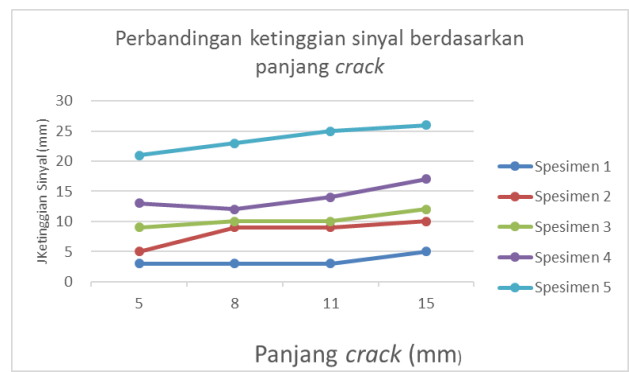
Sedangkan, pada pengujian dengan variasi panjang, kedalaman sepanjang crack berbeda-beda dikarenakan alur pengelasan yang tidak dihaluskan dan kondisi pengelasan sehingga pengujian tersebut akan mencari kedalaman terbesar sepanjang crack tersebut. Crack dengan ukuran panjang terbesar cenderung memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dibandingkan dengan ukuran yang lebih kecil.

D. Pengaruh Ketebalan Lapisan Non-conductive terhadap Kemampuan Pendeteksian

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wahyuadi (2017) tentang analisis pengaruh ketebalan non-conductive coating terhadap pendeteksian subsurface crack, ketebalan lapisan non-conductive dapat mempengaruhi atau mengurangi sensitivitas pendeteksian crack pada suatu material. Lapisan non-conductive dalam penelitian ini tidak diberi variasi ketebalan dan memiliki ketebalan yang sama semua, yaitu 200 mikron. Hal tersebut menjelaskan bahwa ketebalan non-conductive coating terhadap kemampuan pendeteksian tidak terlalu terlihat di dalam penelitian ini.

E. Perhitungan Kedalaman Penembusan

Pengujian eddy current terhadap spesimen berbahan aluminium 5083 sebelumnya menggunakan probe tipe right angle surface probe yang memiliki frekuensi 30 kHz. Pemilihan frekuensi untuk kumparan merupakan salah satu



Gambar 15. Grafik perbandingan ketinggian sinyal berdasarkan panjang crack..

Tabel 1.
Rekapitulasi hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi crack

Nomer Spesimen	Kode Crack	Panjang Crack (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
Spesimen 1	1A	5	3
	1B	8	3
	1C	11	3
	1D	15	5
Spesimen 2	2A	5	5
	2B	8	9
	2C	11	9
	2D	15	10
Spesimen 3	3A	5	9
	3B	8	10
	3C	11	10
	3D	15	12
Spesimen 4	4A	5	13
	4B	8	12
	4C	11	14
	4D	15	17
Spesimen 5	5A	5	21
	5B	8	23
	5C	11	25
	5D	15	26

Tabel 2.
Perbandingan jumlah crack yang terdeteksi dengan jumlah crack yang direncanakan

Spesimen	Jumlah Crack yang Terdeteksi	Jumlah Crack yang Direncanakan
Spesimen 1	4	4
Spesimen 2	4	4
Spesimen 3	4	4
Spesimen 4	4	4
Spesimen 5	4	4
Total	20	20

faktor pengujian yang dapat mempengaruhi kedalaman penembusan. Kedalaman penembusan memiliki rumus sebagai berikut:

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_{rel}}}$$

Keterangan:

- δ : kedalaman penembusan standard (SDP)
- K : konstan (50 jika satuan pakai mm)
- P : resistivitas
- f : frekuensi (Hz)
- μ_{rel} : permeabilitas relatif

Dari perhitungan rumus tersebut dengan frekuensi sebesar 30 kHz, maka bisa didapatkan nilai δ = 0,704 mm. Sedangkan, nilai EDP yang memiliki nilai tiga kali SDP adalah sebesar 2,012 mm.

Tabel 3.
Rekapitulasi perhitungan ketelitian berdasarkan kedalaman crack

Nomer Spesimen	Kode Crack	Panjang Crack (mm)	Kedalaman Crack (mm)	Persentase Kesalahan (%)	Persentase Ketelitian (%)	Rata-Rata Ketelitian (%)
Spesimen 1	1A	5	0,5	40,00	60,00	70,00
	1B	8	0,5	40,00	60,00	
	1C	11	0,5	40,00	60,00	
	1D	15	0,5	0,00	100,00	
Spesimen 2	2A	5	1,0	58,33	41,67	68,75
	2B	8	1,0	25,00	75,00	
	2C	11	1,0	25,00	75,00	
	2D	15	1,0	16,67	83,33	
Spesimen 3	3A	5	1,5	52,63	47,37	53,95
	3B	8	1,5	47,37	52,63	
	3C	11	1,5	47,37	52,63	
	3D	15	1,5	36,84	63,16	
Spesimen 4	4A	5	2,0	48,00	52,00	56,00
	4B	8	2,0	52,00	48,00	
	4C	11	2,0	44,00	56,00	
	4D	15	2,0	32,00	68,00	
Spesimen 5	5A	5	2,5	25,00	75,00	84,82
	5B	8	2,5	17,86	82,14	
	5C	11	2,5	10,71	89,29	
	5D	15	2,5	7,14	92,86	

Tabel 4.
Rekapitulasi perhitungan ketelitian terhadap panjang crack yang terbaca

Nomer Spesimen	Kode Crack	Kedalaman Crack (Mm)	Panjang Crack (mm)	Panjang Crack yang Terdeteksi (mm)	Persentase Ketelitian (%)	Rata-Rata Ketelitian (%)
Spesimen 1	1A	0,5	5	3,10	62,00	77,55
	1B	0,5	8	7,20	90,00	
	1C	0,5	11	10,80	98,18	
	1D	0,5	15	9,00	60,00	
Spesimen 2	2A	1,0	5	3,10	92,00	94,65
	2B	1,0	8	7,20	96,25	
	2C	1,0	11	10,80	96,36	
	2D	1,0	15	9,00	94,00	
Spesimen 3	3A	1,5	5	4,50	90,00	94,26
	3B	1,5	8	7,50	93,75	
	3C	1,5	11	10,70	97,27	
	3D	1,5	15	14,40	96,00	
Spesimen 4	4A	2,0	5	4,80	96,00	94,77
	4B	2,0	8	7,60	95,00	
	4C	2,0	11	10,20	92,73	
	4D	2,0	15	14,30	95,33	
Spesimen 5	5A	2,5	5	4,90	98,00	94,74
	5B	2,5	8	7,30	91,25	
	5C	2,5	11	10,60	96,36	
	5D	2,5	15	14,00	93,33	

F. Nilai Sensitivitas Pengujian

Nilai sensitivitas pengujian didapatkan dengan membandingkan jumlah crack yang terdeteksi pada proses pengujian dengan jumlah crack yang direncanakan dari awal. Berikut ini disajikan jumlah crack yang dapat dideteksi oleh pengujian eddy current.

Dari data Tabel 3, menunjukkan bahwa sensitivitas pengujian eddy current dalam penelitian ini memiliki nilai sebesar 100%. Nilai tersebut didapatkan karena crack toe di setiap spesimen telah diketahui lokasi dan jumlahnya serta semua crack tersebut dapat terdeteksi oleh pengujian eddy current.

G. Perhitungan Ketelitian Pendeteksian Berdasarkan Kedalaman

Perhitungan nilai ketelitian dapat dicari dengan menghitung persentase kesalahan terlebih dahulu. Rumus perhitungan persentase kesalahan dan ketelitian dapat dilihat dibawah ini.

Persentase kesalahan (%):

$$\left(\frac{\text{tinggi sinyal blok kalibrasi} - \text{tinggi sinyal pengujian}}{\text{tinggi sinyal blok kalibrasi}} \right) \times 100\%$$

Persentase ketelitian (%) = 100% - persentase kesalahan (%)

Rekapitulasi perhitungan nilai ketelitian tiap crack dapat dilihat pada Tabel 3. Jika melihat data pada Tabel 3, pengujian eddy current pada crack di spesimen 5 mempunyai rata-rata ketelitian tertinggi dibandingkan spesimen lainnya, yaitu sebesar 84,82%, sedangkan spesimen 3 memiliki persentase ketelitian rata-rata paling kecil, yaitu sebesar 53,95 %. Terjadinya kesalahan atau kurangnya ketelitian dapat disebabkan oleh cacat pada las dan kondisi las yang tidak rata serta lapisan non-conductive coating pada permukaan spesimen sehingga mempengaruhi kemampuan pendeteksian.

H. Perhitungan Ketelitian terhadap Dimensi Panjang Crack yang Terdeteksi

Dimensi panjang crack yang terdeteksi akan menunjukkan respon pada alat eddy current berupa sinyal indikasi. Pengukuran terhadap dimensi tersebut dilakukan dengan jangka sorong digital yang memiliki ketelitian 0,1 mm. Dari

hasil pengukuran yang didapatkan akan digunakan untuk menghitung nilai ketelitian terhadap dimensi panjang *crack* yang terdeteksi. Perhitungan ketelitian tersebut dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase ketelitian (\%)} = \frac{L_o}{L} \times 100 \%$$

Keterangan:

L_o : panjang *crack* yang direncanakan (mm)

L : panjang *crack* yang terdeteksi (mm)

Untuk rekapitulasi pengukuran panjang dan perhitungan ketelitian terhadap panjang *crack* yang terdeteksi dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, spesimen 2 hingga spesimen 5 rata-rata mempunyai nilai ketelitian sebesar 94%, sedangkan spesimen 1 memiliki nilai ketelitian terendah dibandingkan lainnya, yaitu sebesar 77,55%. Terjadinya kesalahan atau pengurangan ketelitian dapat disebabkan oleh pembuatan *crack* yang kurang sempurna akibat pengaruh kondisi las yang tidak diratakan.

KESIMPULAN/RINGKASAN

Ketinggian sinyal indikasi *crack* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kedalaman dan panjang suatu *crack*. Pengujian *eddy current* menggunakan *probe* dengan frekuensi 30 kHz, memiliki kedalaman penembusan standar (SDP) 0,704 mm dan kedalaman penembusan efektif (EDP) 2,012 mm. Nilai sensitivitas pendeteksian terhadap *crack toe* pada penelitian ini adalah 100%. Persentase ketelitian pendeteksian tertinggi berdasarkan kedalaman terdapat pada spesimen 5 dengan nilai sebesar 84,82%. Persentase

ketelitian terendah terdapat pada spesimen 3 dengan nilai sebesar 53,95% Persentase ketelitian pendeteksian terhadap panjang *crack* tiap spesimen adalah 77,55% untuk spesimen 1, 94,65% untuk spesimen 2, 94,26% untuk spesimen 3, 94,77% untuk spesimen 4, dan 94,74% untuk spesimen 5. Ketidakefektifan dalam pembuatan *crack*, permukaan pengelasan yang tidak rata, dan hasil pengelasan yang kurang bagus dapat mempengaruhi kemampuan pendeteksian pengujian *eddy current*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. He, B. Gao, A. Sophian, and R. Yang, *Transient Electromagnetic-Thermal Nondestructive Testing: Pulsed Eddy Current and Transient Eddy Current Thermography*, 1st ed. United Kingdom: Elsevier; National Defense Industry Press, 2017.
- [2] D. J. Hagemaier, *Fundamentals of Eddy Current Testing*, 1st ed. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc, 1990.
- [3] J. García-Martín, J. Gómez-Gil, and E. Vázquez-Sánchez, "Non-destructive techniques based on eddy current testing," *Sensors*, vol. 11, no. 3, pp. 2525–2565, 2011.
- [4] C. Yong-Moo, C. M. Sabir, E. Paul, G. Paul, R. John, and K. A. Asghar, *Eddy Current Testing at Level 2: Manual for The Syllabi Contained in IAEA-TECDOC-628. Rev. 2" Training Guidelines for Non Destructive Testing Techniques*, 1st ed. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.
- [5] C. J. Hellier, *Handbook of Nondestructive Evaluation*, 1st ed. United States of America: The McGraw-Hill Companies Inc, 2013.
- [6] H. Sadek, *Electromagnetic Testing Classroom Training Book*, 1st ed. Columbus: ASNT, 2006.
- [7] B. P. C. Rao, "Eddy current testing: Basics," *J. Non Destruct. Test. Eval.*, vol. 10, pp. 1–16, 2011.
- [8] C. Huang, Z. Wu, R. Huang, W. Wang, and L. Li, "Mechanical properties of AA5083 in different tempers at low temperatures," in *IOP conference series: materials science and engineering*, 2017, vol. 279, no. 1, p. 12002.