

Analisis Kemampuan Pendeteksian Pengujian *Eddy Current Testing* (ECT) terhadap *Crack* pada *Bollard* dengan Bahan *Casting*

Steven Johannes Elia dan Wing Hendroprasetyo Akbar Putra
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: winghendroprasetyo@gmail.com

Abstrak—*Bollard* merupakan perangkat yang ada di kapal atau di pelabuhan yang digunakan untuk menambat kapal di dermaga atau perangkat untuk mengikat tali pada kapal. *Bollard* biasanya terbuat dari besi cor dan ditanamkan pada fondasi atau bibir dermaga sehingga mampu untuk menahan beban tarik yang bekerja pada penambat kapal di dermaga. Terjadinya beban tarik yang bekerja pada *bollard* dapat menimbulkan masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, dan lainnya. Oleh karena sebab di atas perlu dilakukan analisis kemampuan pendeteksian berupa *crack* pada *bollard* menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT). Dengan metode tersebut, diharapkan dapat mengukur kemampuan pendeteksian *crack* pada *bollard*. Dalam penelitian ini dilakukan penelitian terhadap material yang berbahan *cast iron* yang dibagi menjadi tiga spesimen. Tiap spesimen diberikan kedalaman retak dan panjang yang berbeda. Spesimen satu terdapat tiga retak yang berdimensi panjang 8 mm dan kedalaman 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm. Spesimen kedua terdapat tiga retak yang berdimensi panjang 1 mm dan kedalaman 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm. Spesimen ketiga terdapat tiga retak yang berdimensi panjang 2 mm dengan kedalaman retak 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah terdapat perbedaan sinyal yang didapatkan pada variasi kedalaman retak. Semakin dalam retak yang terbentuk, semakin besar juga tinggi indikasi sinyal retaknya. Tetapi hal ini tidak terjadi pada variasi panjang retak. Tinggi sinyal yang didapatkan dari panjang retak yang berbeda dan kedalaman yang sama adalah tetap sama sehingga dalam hal ini, panjang retak tidak berpengaruh dengan ketinggian sinyal. Sinyal retak yang paling tinggi terdapat pada retak dengan kedalaman 2 mm dan ketinggian sinyal retak paling rendah terdapat pada kedalaman retak 0.5 mm. Tingkat sensitivitas pada alat *eddy current* ini adalah sebesar 100% dan tingkat ketelitian pada alat *eddy current* ini adalah sebesar 77.70%.

Kata Kunci—*Cast Iron*, *Crack*, *Eddy Current Testing*.

I. PENDAHULUAN

BOLLARD merupakan perangkat yang ada di kapal atau di pelabuhan yang digunakan untuk menambat kapal di dermaga atau perangkat untuk mengikat tali pada kapal. Sedangkan *bollard* yang dipasang di kapal biasanya sepasang untuk melilitkan tali di kapal pada kedua *bollard*. *Bollard* biasanya terbuat dari besi cor dan ditanamkan pada fondasi atau bibir dermaga sehingga mampu untuk menahan beban tarik yang bekerja pada penambat kapal di dermaga.

Terjadinya beban tarik yang bekerja pada *bollard* dapat menimbulkan masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, dan lainnya [1]. *Bollard* yang mengalami masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, dan lainnya akan mengurangi kekuatan dari *bollard* itu sendiri. Hal ini

mengakibatkan *bollard* tidak mampu untuk menahan gaya yang bekerja pada *bollard* akibat tarikan dari kapal.

Oleh karena sebab di atas perlu dilakukan analisis pengujian pendeteksian berupa *crack* pada *bollard* menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT) yang merupakan salah satu metode dari non-destructive test (NDT). Dengan metode tersebut, diharapkan dapat mengukur kemampuan pendeteksian *crack* pada *bollard*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Non-Destructive Testing

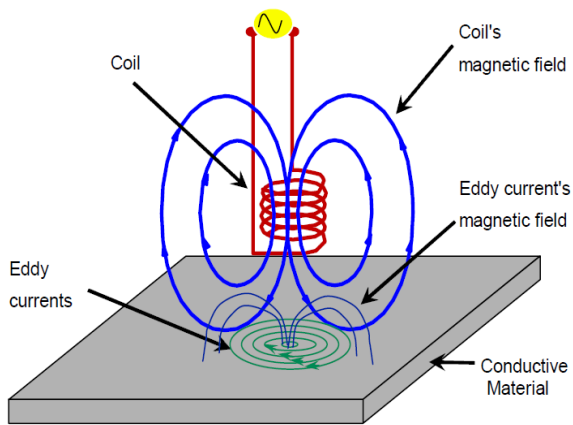
NDT adalah singkatan dari *Non-Destructive Testing* yang dapat diartikan sebagai suatu teknik pemeriksaan, instrumen pengujian atau penilaian yang dilakukan pada benda uji tanpa merusak benda uji tersebut. Tujuan dari NDT adalah untuk menentukan ada tidaknya diskontinuitas pada benda uji. Diskontinuitas ini akan mempengaruhi kegunaan atau kinerja dari benda tersebut. Ada dua kondisi dilakukannya pengerjaan NDT, yaitu dilakukan pada saat setelah melalui proses fabrikasi. Hal ini bertujuan untuk memberikan keseimbangan yang sangat baik antara pengendalian mutu (*quality control*). Kondisi yang kedua adalah pada jangka waktu tertentu untuk menemukan kesalahan atau diskontinuitas pada material setelah digunakan.

B. Eddy Current Testing

Eddy Current Testing merupakan salah satu metode dari teknik NDT. *Eddy current* diciptakan melalui proses yang disebut induksi elektomagnetik. Ketika arus bolak-balik (AC) dialirkan pada suatu penghantar listrik, seperti kawat tembaga, maka akan tercipta medan magnet di sekitar penghantar tersebut [2]. Medan magnet tersebut meluas sebagai arus bolak-balik (AC) naik hingga maksimum dan turun sebagai arus yang direduksi menjadi nol. Jika penghantar listrik lainnya dibawa ke dekat medan magnet yang berubah-ubah ini, arus akan diinduksikan pada penghantar kedua tersebut. ECT digunakan untuk mendeteksi dan mendapatkan ukuran suatu *crack*, korosi, dan diskontinuitas material lainnya yang dihasilkan oleh proses pengelasan atau proses lain yang mengubah struktur. Selain itu, ECT juga dapat digunakan untuk mendeteksi *crack*, mengukur ketebalan material, mengukur ketebalan *coating* dan, mengukur konduktivitas suatu material [3].

C. Prinsip Pengujian Eddy Current Testing

Ketika kumparan dialirkan oleh arus bolak-balik, maka kumparan itu akan menghasilkan medan magnet primer di



Gambar 1. Prinsip eddy current testing.

sekitarnya (Gambar 1). Saat kumparan diletakan di sekitar konduktor, maka arus *eddy* akan tercipta pada konduktor tersebut. Arus *eddy* ini akan menghasilkan medan magnet sekunder yang melawan medan magnet primer. Medan magnet sekunder yang berlawanan ini akan menyebabkan perubahan pada medan magnet primer. Perubahan pada medan magnet primer akan mengakibatkan perubahan impedansi pada kumparan dan perubahan impedansi ini yang akan dideteksi oleh alat *eddy current testing* [4].

D. Faktor-Faktor dalam Pengujian Eddy Current Testing.

Ada beberapa faktor penting yang terdapat pada pengujian eddy current testing. Faktor ini yang akan mempengaruhi sinyal yang didapatkan oleh pengujian eddy current testing. Faktor tersebut adalah sebagai berikut :

1) Konduktivitas

Konduktivitas adalah kemampuan sebuah material dalam menghantarkan arus listrik. Material yang mempunyai konduktivitas tinggi, memiliki hambatan yang rendah. Sedangkan material yang mempunyai hambatan tinggi, mempunyai konduktivitas yang rendah. Satuan konduktivitas adalah "mho".

2) Permeabilitas

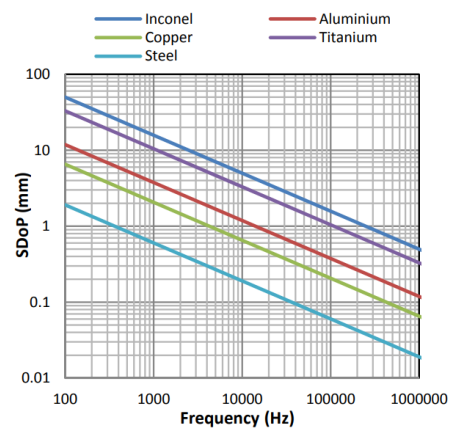
Permeabilitas adalah kemampuan sebuah material untuk memusatkan garis gaya magnet. Faktor ini hanya akan berpengaruh pada material yang bersifat *ferromagnetic*.

3) Frekuensi

Pada pengujian *eddy current*, biasanya menggunakan frekuensi dalam rentang *kilohertz* maupun dalam rentang *megahertz*. Frekuensi ini terbentuk melalui rangkaian elektronik khusus yang mengubah frekuensi 60 Hz menjadi frekuensi-frekuensi yang jauh lebih tinggi untuk dipakai dalam pengujian *eddy current testing* [2]. Saat frekuensi semakin tinggi, maka sensitivitas terhadap pendeteksian juga meningkat, tapi kemampuan penetrasi *eddy current* terhadap material akan menurun. Jika frekuensi semakin rendah, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian menurun, tapi kemampuan penetrasi *eddy current* akan meningkat [5].

4) Lift-off

Lift-off adalah perubahan sinyal yang terjadi pada *eddy current* saat *probe* dijauhkan atau diangkat dari permukaan material yang diuji. Selain itu, *lift-off* juga berfungsi untuk



Gambar 2. Standar kedalaman penetrasi berbanding frekuensi pada berbagai tipe material.

mencari diskontinuitas yang terjadi pada material uji.

5) Skin Effect

Skin-effect merupakan kecenderungan arus AC menjadi terdistribusi kedalam sebuah material sehingga kepadatan arus terbesarnya terdapat didekat permukaan material dan berkurang sebanding dengan kedalaman material. Dalam perubahan medan magnet yang sangat cepat mengakibatkan medan magnet tidak sependeknya menembus material. Hal ini mengakibatkan terjadinya *skin effect* [2].

6) Signal-to-Noise Ratio

Signal to noise ratio adalah perbandingan sinyal pengujian arus *eddy* 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. *Signal to noise ratio* merupakan keadaan yang terjadi pada hampir seluruh metode pengujian tidak merusak (*nondestructive testing*) dan memiliki persyaratan 3:1 [6]. Hal ini berarti bahwa sinyal pengujian yang menjadi perhatian harus menunjukkan respons paling jelas dibandingkan sinyal lain yang tidak diinginkan.

E. Cast Iron

Besi cor merupakan paduan antara unsur besi yang mengandung karbon (C), silikon (Si), mangan (Mg), fosfor (P), dan sulfur (S). Besi cor mempunyai keuntungan yaitu mempunyai *castability* yang baik dan kemudahan proses produksi. Besi cor juga mempunyai titik lebur yang relatif rendah yakni 1150°C - 1300 °C dan dapat dituang kedalam bentuk-bentuk yang sulit. Besi cor juga mempunyai kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi yang cukup baik [7].

F. Hubungan Antara Kedalaman Penetrasi dengan Frekuensi Probe

Pengujian eddy current seringkali menggunakan frekuensi dalam rentang *kilohertz* (dikalikan seribu siklus per detik [kHz]) atau kadangkala dalam rentang *megahertz* (dikalikan satu juta siklus per detik [MHz]). Frekuensi-frekuensi tersebut tidak dihasilkan oleh putaran kumparan di dalam suatu medan magnet, melainkan melalui rangkaian elektronik khusus yang mengubah frekuensi 60 Hz menjadi frekuensi-frekuensi yang jauh lebih tinggi untuk dipakai dalam



Gambar 3. Bagan alir pengerjaan tugas akhir.

pengujian *eddy current* [2]. Kedalaman penembusan pada *eddy current testing* bergantung pada frekuensinya. Hal ini dikarenakan adanya *skin effect* yang berkaitan dengan arus bolak-balik, frekuensi tinggi cenderung menjaga *eddy current* beredar di dekat permukaan. Menurunkan frekuensi memungkinkan *eddy current* untuk menembus lebih dalam ke material dan sebaliknya. Kedalaman penembusan standar didefinisikan sebagai kedalaman dimana kerapatan *eddy current* kurang lebih 37% dari kerapatan di permukaan. Gambar 2 menunjukkan kedalaman penembusan standard dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda. Rumus kedalaman penembusan menggunakan hambatan, frekuensi, dan permeabilitas dapat dilihat di bawah ini

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

dimana,

- δ = Kedalaman penembusan standar
- K = 50 (untuk milimeter) atau 1.98 (untuk inci)
- ρ = Resistivitas
- f = Frekuensi (Hz)
- μ_{rel} = 1 (untuk *nonferromagneti c material*)

III. METODOLOGI

A. Bagan Alir

Langkah-langkah awal yang dituju dalam mengerjakan tugas akhir, bisa dilakukan dengan membuat persiapan-persiapan seperti studi literatur, pengadaan material, referensi pengujian, dan lain-lain. Bagan dari pengerjaan penelitian ini

Tabel 1.
Dimensi *test piece* 1

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)
1	8.0	0.5	0.25
2	8.0	1.0	0.25
3	8.0	2.0	0.25

Tabel 2.
Dimensi *test piece* 2

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)
1	10.0	0.5	0.25
2	10.0	1.0	0.25
3	10.0	2.0	0.25

Tabel 3.
Dimensi *test piece* 3

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)
1	15.0	0.5	0.25
2	15.0	1.0	0.25
3	15.0	2.0	0.25

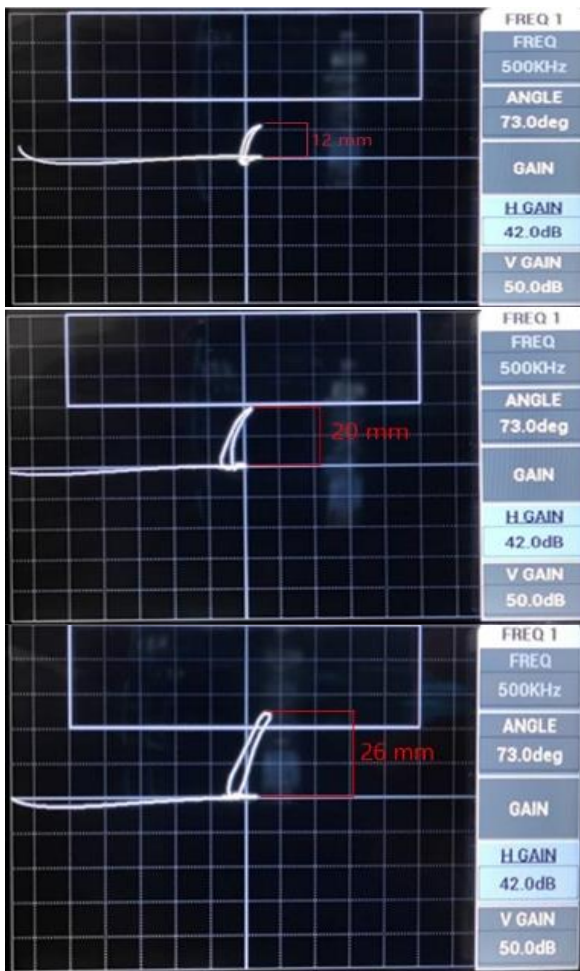
dapat dilihat pada Gambar 3.

B. Spesimen Uji

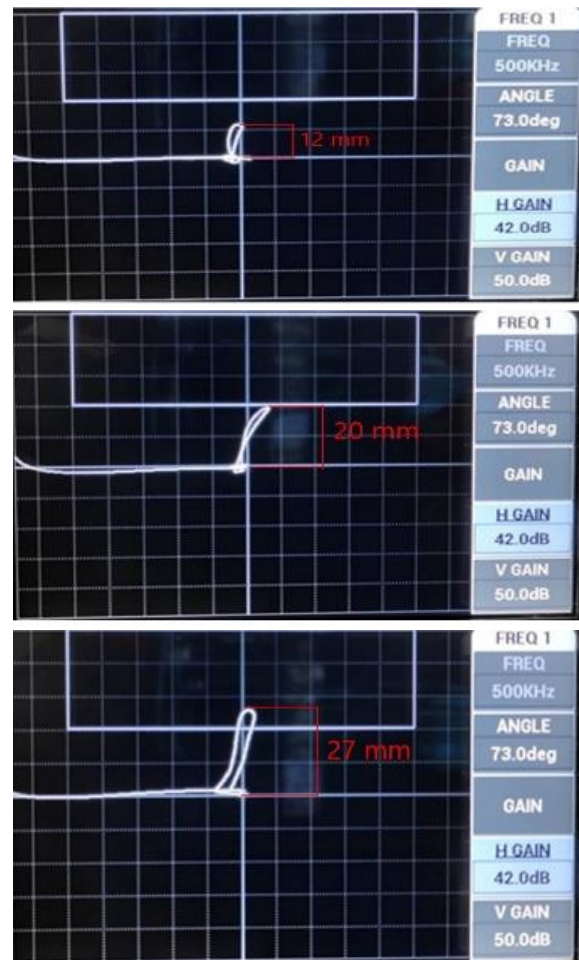
Terdapat 3 material uji dengan variasi panjang dan kedalaman yang dapat dilihat pada Tabel 1-3.

C. Pengujian Eddy Current

Pengujian *eddy current* dilakukan setelah seluruh spesimen sudah diberikan retak. Langkah pertama yang dilakukan adalah spesimen dan blok kalibrasi diletakan pada tempat kerja yang tidak dapat menghantarkan listrik. Setelah itu melakukan kalibrasi alat menggunakan blok kalibrasi yang sudah dibuat. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu frekuensi, *h-gain*, *v-gain*, dan *angle* pada pengaturan alat untuk membuat sinyal yang bagus. Pengaturan dilakukan sampai perbedaan fase antara sinyal *lift-off* dan indikasi retak mempunyai sudut sebesar 90 derajat. Kalibrasi dilakukan pada setiap akan dilakukannya pengujian sesuai dengan kondisi spesimen uji tersebut. Tahap selanjutnya adalah dilakukan pengujian pada spesimen uji, harus diperhatikan posisi *probe* dengan material harus tegak lurus untuk mendapatkan sinyal yang bagus. Sebelum melakukan *scanning*, harus dilakukan *nulling*. *Nulling* adalah proses penyamaan impedansi antara *probe* dengan alat *eddy current* dengan posisi *probe* menempel pada spesimen uji. Selanjutnya *probe* dijalankan ke daerah permukaan yang terdapat retakan. Jika sinyal pada tampilan layar berubah, itu menandakan adanya indikasi retak. Setelah terdapat perubahan sinyal, tekan *freeze* untuk menahan layar dan segera tekan *save* untuk menyimpan hasil indikasi tersebut. Untuk mengukur panjang, dilakukan dengan cara *probe* diletakan pada ujung retakan lalu *probe* digerakan secara horizontal melewati panjang retak tersebut. Saat tinggi sinyal berubah, berikan tanda titik pada spesimen, hal ini menunjukkan ujung retakan tersebut. Saat sinyal pada layar *eddy current* kembali ke titik nol, berikan tanda titik lagi pada material, hal ini menunjukkan ujung dari retakan tersebut. Setelah selesai, ukur titik awal dengan titik akhir maka akan menemukan panjang retak tersebut. Setelah semua retakan sudah diuji, dilakukan analisis data yang didapatkan dari hasil pengujian.



Gambar 4. Pengujian pada test piece 1.



Gambar 5. Pengujian pada test piece 2.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dilakukan analisis dan pembahasan dari hasil pengujian pendeteksian retak menggunakan metode *eddy current testing*. Semua prosedur pengujian dilakukan dengan dasar metodologi penelitian yang sudah diberikan.

A. Pengujian pada Test Piece

Setelah alat eddy current siap, dilakukan pengujian pada material pada variasi kedalaman retak yang dapat dilihat pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengujian pada test piece 1, yang dapat dilihat pada Gambar 4, menghasilkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal *crack* pada retak yang terjadi akibat perbedaan kedalaman retak. Sinyal retak yang ketinggiannya paling tinggi didapatkan pada kedalaman 2 mm dan sinyal yang memiliki ketinggian retak paling rendah didapatkan pada kedalaman 0.5 mm. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Pengujian pada test piece 2 ini menghasilkan tinggi indikasi sinyal retak yang berbeda-beda (Gambar 5). Ketinggian sinyal paling rendah adalah sebesar 12 mm yang didapatkan dari kedalaman retak sebesar 0.5 mm dan ketinggian sinyal paling tinggi adalah sebesar 27 mm yang didapatkan pada retak dengan kedalaman 2 mm. Pengujian ini menandakan bahwa semakin dalam retak yang terjadi, semakin tinggi juga sinyal yang terbentuk pada pengujian ECT. Rekapitulasi dari hasil pengujian ECT ini dapat dilihat

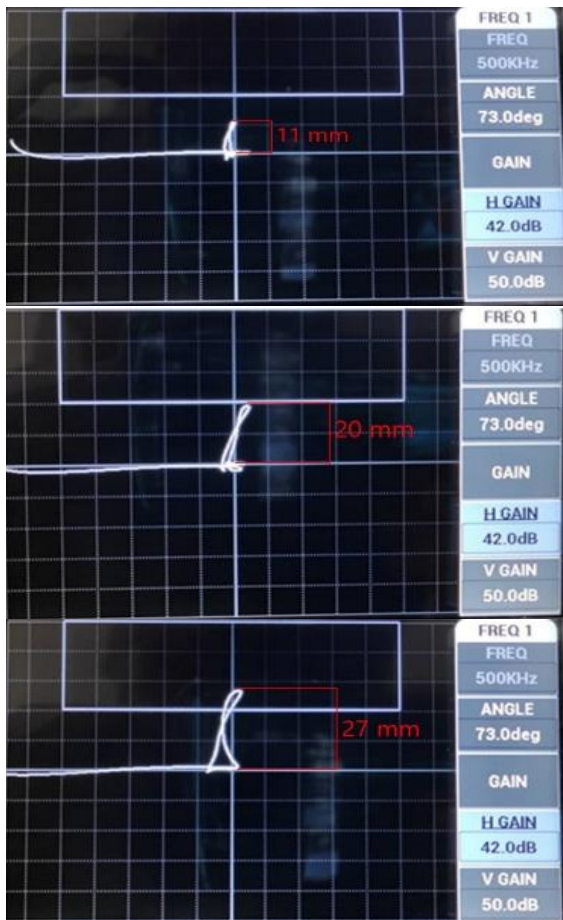
pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil pengujian pada test piece 3, yang ditunjukkan pada Gambar 6, terjadi perbedaan dengan pengujian-pengujian sebelumnya. Perbedaan yang pertama adalah dari ketinggian sinyal indikasi pada kedalaman retak sebesar 0.5 mm. Tinggi sinyal pada pengujian ini adalah sebesar 11 mm, berbeda 1 mm dari pengujian pada test piece 1 dan test piece 2 yaitu sebesar 12 mm. Perbedaan ini tidak terlalu signifikan dan dianggap kecil sehingga dianggap tidak berpengaruh. Rekapitulasi dari ketinggian sinyal test piece 3 dapat dilihat pada Tabel 6.

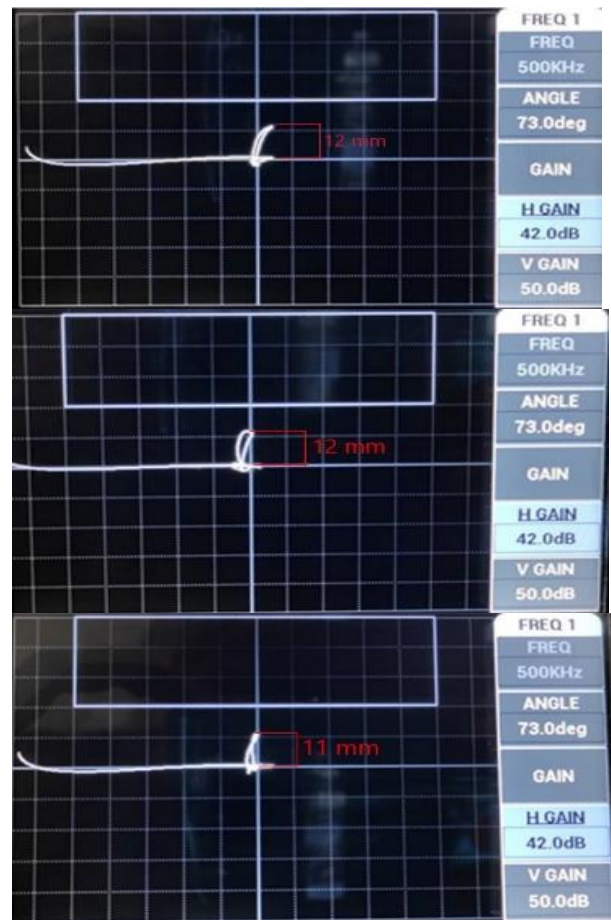
Selanjutnya dilakukan pengujian dengan variasi panjang retak. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan panjang retak yang berbeda dengan kedalaman yang sama (Gambar 7).

Berdasarkan Tabel 7, didapatkan data bahwa hasil pengukuran ketinggian sinyal crack pada panjang retak yang berbeda menghasilkan ketinggian yang sama atau hampir mendekati. Dari Tabel 7, dapat disimpulkan juga bahwa dimensi panjang pada retak tidak terlalu berpengaruh banyak terhadap ketinggian sinyal indikasi retak, sehingga pada retak 0.5 mm dengan panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm memiliki ketinggian sinyal yang sama.

Gambar 8 menunjukkan perbandingan ketinggian sinyal yang didapatkan dengan variasi panjang yang berbeda yang memiliki kedalaman 1 mm. Pada Tabel 8 dan Tabel 9 dapat dilihat dan disimpulkan bahwa ketinggian sinyal yang terbentuk adalah sama yaitu sebesar 20 mm pada setiap panjang retak yang berbeda. Hal ini dapat diartikan bahwa



Gambar 6. Pengujian pada *test piece* 3.



Gambar 7. Pengujian pada variasi panjang dengan kedalaman 0.5 mm.

Tabel 4.
Rekapitulasi pengujian pada *test piece* 1

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
1	8.0	0.5	0.25	12
2	8.0	1.0	0.25	20
3	8.0	2.0	0.25	26

Tabel 5.
Rekapitulasi pengujian pada *test piece* 2

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	10.0	0.5	0.25	12
2	10.0	1.0	0.25	20
3	10.0	2.0	0.25	27

Tabel 6.
Rekapitulasi pengujian pada *test piece* 3

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	15.0	0.5	0.25	11
2	15.0	1.0	0.25	20
3	15.0	2.0	0.25	27

panjang retak tidak mempengaruhi tinggi sinyal yang dihasilkan.

Kesimpulan yang didapatkan pada Gambar 9 adalah kedalaman retak sebesar 2 mm akan menciptakan tinggi sinyal sebesar 27 mm dan panjang retak tidak mempengaruhi ketinggian sinyal yang didapatkan. Pada retak nomor satu, terjadi perbedaan sedikit sebesar 1 mm dari sinyal yang lainnya.

Tabel 7.
Rekapitulasi pada variasi panjang dan kedalaman 0.5 mm

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	8.0	0.5	0.25	12
2	10.0	0.5	0.25	12
3	15.0	0.5	0.25	11

Tabel 8.
Rekapitulasi pada variasi panjang dan kedalaman 1 mm

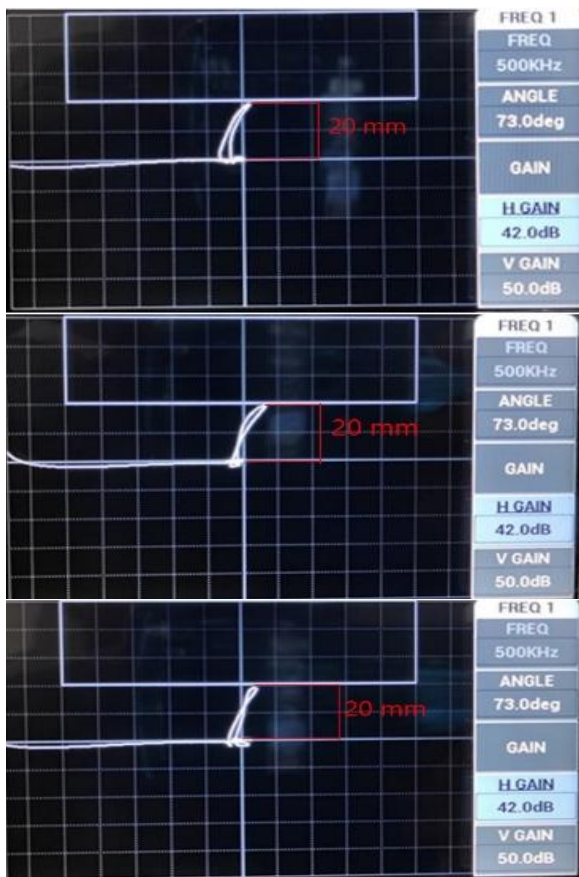
No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	8.0	1.0	0.25	20
2	10.0	1.0	0.25	20
3	15.0	1.0	0.25	20

Tabel 9.
Rekapitulasi pada variasi panjang dan kedalaman 2 mm

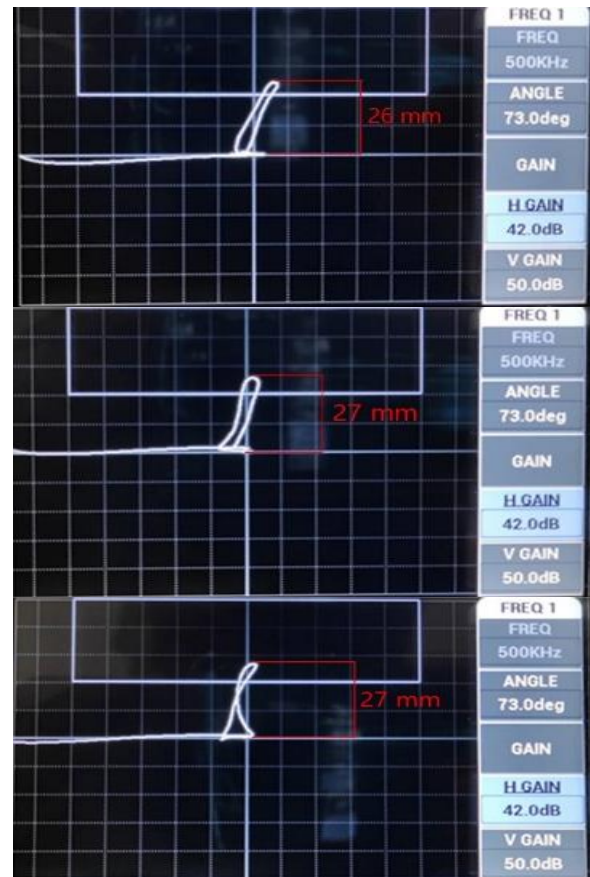
No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	8.0	2.0	0.25	26
2	10.0	2.0	0.25	27
3	15.0	2.0	0.25	27

B. Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi

Blok kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui arah dan bentuk sinyal *eddy current* ketika terindikasi retak, sehingga bentuk dan arah sinyal saat pengujian *test piece* harus sama dengan bentuk dan arah sinyal yang dihasilkan pada blok kalibrasi. Blok kalibrasi ini berfungsi juga untuk membandingkan ketelitian dari alat *eddy current* ini. Tinggi sinyal pada blok kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Pengujian pada variasi panjang dengan kedalaman 1 mm.



Gambar 9. Pengujian pada variasi panjang dengan kedalaman 2 mm.

Tabel 10.
Rekapitulasi ketinggian sinyal

No	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)	Lebar (mm)	Ketinggian Sinyal (mm)
1	8.0	0.5	0.25	12
2	8.0	1.0	0.25	20
3	8.0	2.0	0.25	26
4	10.0	0.5	0.25	12
5	10.0	1.0	0.25	20
6	10.0	2.0	0.25	27
7	15.0	0.5	0.25	11
8	15.0	1.0	0.25	20
9	15.0	2.0	0.25	27

Tabel 11.
Perhitungan nilai ketelitian

Kedalaman (mm)	Retak (%)	Presentase Error (%)	Presentase Ketelitian (%)
0.5		27.5	72.5
1.0		20.0	80.0
2.0		19.39	80.61

Tabel 12.
Perbandingan ketinggian sinyal

No	AL 5083 (mm)	SS 316L (mm)	Cast Iron (mm)
1	4.5	9.0	11.6
2	11.0	18.5	20.0
3	13.9	22.2	26.6

C. Hasil dan Analisis Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Test Piece Berdasarkan Variasi Kedalaman Retak

Berdasarkan Tabel 10, didapatkan data bahwa hasil pengukuran ketinggian sinyal *crack* pada kedalaman yang berbeda akan berubah juga tinggi indikasi sinyal yang didapatkan. Semakin tinggi kedalaman retak pada sebuah spesimen, semakin tinggi juga indikasi sinyal retak yang didapatkan. Dan semakin rendah kedalaman retak pada suatu spesimen, semakin rendah juga indikasi sinyal retak yang didapatkan. Dari Tabel 10, dapat disimpulkan juga bahwa antara *test piece 1*, *test piece 2*, dan *test piece 3*, dengan kedalaman retak yang sama dapat menghasilkan ketinggian yang sama juga.

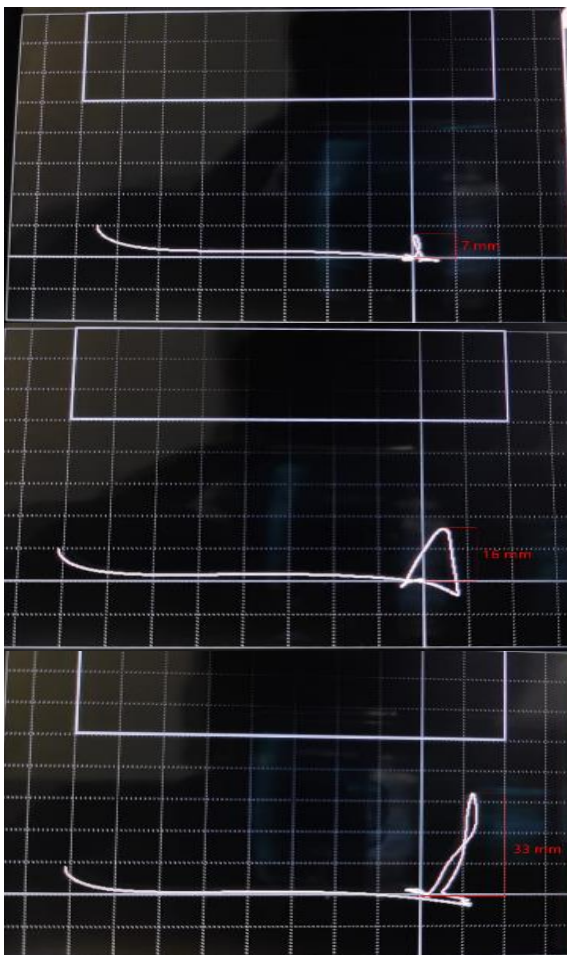
D. Perubahan Ketinggian Sinyal Retak

Setelah dilakukan pengujian *eddy current testing*, dapat dilihat bahwa ketinggian sinyal retak terjadi perubahan ketinggian bergantung pada kedalaman retaknya. Semakin dalam retak, semakin tinggi juga sinyal retak yang terbentuk dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena adanya hubungan antara hambatan (R), impedansi (Z) dan induktif reaktan

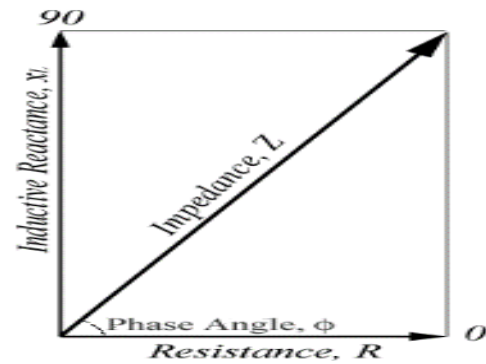
(XL). Impedansi adalah hambatan yang terdiri dari R dan XL. XL adalah hambatan pada kumparan dan R adalah hambatan pada suatu rangkaian yang pada penelitian ini adalah sebuah retak. Besaran dari R, Z dan XL adalah vektor yang mempunyai arah. R mempunyai arah horizontal sedangkan XL mempunyai arah Vertical sehingga tidak bisa dijumlahkan secara langsung.

Hubungan dari R, Z dan XL dapat dilihat pada Gambar 11, ketika R semakin besar, maka mengakibatkan Z juga akan semakin besar. Perubahan pada Z inilah yang dapat dideteksi oleh alat *eddy current*.

Dari penjelasan sebelumnya, ketika probe dipindahkan ke area yang mempunyai retak, maka panjang lintasan aliran arus *eddy* akan bertambah panjang yang mengakibatkan hambatannya juga semakin besar. Ketika hambatan semakin besar, maka terjadi perubahan pada nilai impedansi yang akan semakin besar juga. Nilai impedansi ini yang akan diterjemahkan oleh alat *eddy current* menjadi ketinggian sinyal.



Gambar 10. Pengujian pada blok kalibrasi.



Gambar 11. Impedance-plane diagram.



Gambar 12. Grafik perbandingan ketinggian sinyal.

Tabel 13. Hasil perhitungan SDP dan EDP

	Standard Depth of Penetration (mm)		
	Aluminium 5083	Stainless Steel 316L	Cast Iron
SDP	0.1724	0.6082	0.6324
EDP	0.5172	1.8246	1.8972

E. Perhitungan Nilai Ketelitian Pengujian Eddy Current

Nilai ketelitian pada pengujian ini dapat dihitung dengan cara mencari presentase *error* pada pengujian dan dikurangkan dengan 100%. Presentase *error* didapatkan dari tinggi sinyal blok kalibrasi dikurangkan dengan rata-rata tinggi sinyal pengujian lalu dibagi dengan tinggi sinyal blok kalibrasi dikalikan 100%. Lalu presentase ketelitian didapatkan dari 100% dikurangkan dengan presentase *error*. Presentase ketelitian dapat dilihat pada Tabel 11.

Setelah itu dihitung rata-rata presentase ketelitian dan didapatkan senilai 77.70%.

F. Pengaruh Konduktivitas dan Permeabilitas terhadap Pengujian Eddy Current Testing

Pada pengujian *eddy current* ini, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu dimensi material, konduktivitas, dan permeabilitas material, dimana konduktivitas dan permeabilitas yang tinggi akan membuat arus *eddy* yang diserap akan terkumpul di permukaan material tersebut. Hal ini yang akan membuat setiap material yang memiliki konduktivitas dan permeabilitas berbeda akan memiliki ketinggian indikasi sinyal yang berbeda juga. Konduktivitas berkaitan erat dengan hambatan. Penghantar yang baik harus memiliki hambatan yang kecil. Artinya semakin besar konduktivitas, maka hambatan akan semakin kecil dan semakin kecil konduktivitas maka hambatan akan semakin besar (Gambar 11).

Untuk mengetahui pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap pengujian *eddy current* ini, dilakukan

perbandingan antara penggunaan material *stainless steel* 316L dan aluminium 5083 (Tabel 12). Konduktivitas dari material *stainless steel* 316L adalah sebesar 2.3% IACS, konduktivitas dari material aluminium 5083 adalah sebesar 64.94% IACS dan konduktivitas dari material besi cor adalah sebesar 2.155% IACS.

Pada Gambar 12, dapat dilihat ketinggian sinyal yang didapatkan pada aluminium 5083 yang memiliki konduktivitas 64.94% IACS mendapatkan ketinggian sinyal berturut-turut sebesar 4.5 mm, 11 mm dan 13.9 mm. Sedangkan ketinggian sinyal yang didapatkan pada material *stainless steel* 316L yang memiliki konduktivitas 2.3% IACS adalah sebesar 9 mm, 18.5 mm dan 22.2 mm. Lalu pada besi cor yang memiliki konduktivitas sebesar 2.155% mendapatkan ketinggian sinyal sebesar 11.6 mm, 20 mm, dan 26.6 mm. Dari hasil yang sudah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai konduktivitas yang dimiliki oleh suatu material, semakin tinggi indikasi sinyal *eddy current* yang didapatkan dan sebaliknya. Hal ini terjadi karena ketika nilai konduktivitas rendah, maka hambatan akan semakin besar yang menyebabkan nilai impedansi pada rangkaian juga akan semakin besar dan ketika impedansi semakin besar, maka ketinggian sinyal juga akan semakin besar.

Selain itu terdapat kedalaman penembusan standar yang dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas dan permeabilitas

yang akan membuat kedalaman penembusan standar kedalamannya semakin rendah atau semakin dalam. Berikut akan disajikan hasil perhitungan kedalaman penembusan standar atau SDP pada setiap material dengan frekuensi 500 kHz.

Dari Tabel 13 didapatkan kedalaman penembusan standar pada aluminium 5083 adalah sebesar 0.1724 mm, *stainless steel* 316L adalah sebesar 0.6082 dan *cast iron* adalah sebesar 0.6324. Lalu nilai EDP (*Effective Depth of Penetration*) yang didapatkan pada aluminium 5083 adalah sebesar 0.5172 mm, *stainless steel* sebesar 1.8246 mm dan *cast iron* sebesar 1.8972 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *cast iron* mendapatkan kedalaman penembusan yang paling dalam dari ketiga material tersebut karena mempunyai konduktivitas dan permeabilitas yang lebih besar dari pada material yang lainnya. Semakin rendah konduktivitas dan permeabilitas akan membuat *standard depth of penetration* akan semakin dalam dan sebaliknya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan, diantaranya; (1) Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin dalam retak pada suatu spesimen, maka ketinggian indikasi sinyal crack akan semakin tinggi juga karena adanya perubahan pada nilai

hambatan dan impedansi. (2) Didapatkan hasil sinyal tertinggi sebesar 27 mm pada *test piece* 2 dan *test piece* 3 dengan kedalaman retak sebesar 2 mm dan sinyal terendah sebesar 11 mm pada kedalaman retak 0.5 mm. (3) Nilai sensitivitas *Eddy Current Testing* adalah sebesar 100%. (4) Nilai ketelitian pada pengujian *Eddy Current* ini adalah sebesar 77.70%. (5) Penelitian ini menggunakan dua variasi, yaitu variasi kedalaman *crack* dan variasi panjang *crack* untuk melihat sensitivitas pendeteksian *probe* terhadap material. Sensitivitas pendeteksian dipengaruhi oleh kedalaman *crack*, sedangkan panjang *crack* tidak mempengaruhi sensitivitas pendeteksian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kotsakis, "Feasibility of investment cast RF (radiofrequency) load housing with integral Silicon Carbide (SiC) absorber element," *Int. J. Met.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–66, 2014.
- [2] C. J. Hellier, *Handbook of Nondestructive Evaluation*, 1st ed. United States of America: The McGraw-Hill Companies Inc, 2013.
- [3] Ichinose *et al.*, "Applications of eddy current test to fatigue crack inspection of steel bridges," *Mem. Eng. Osaka City Univ.*, vol. 48, no. 57, 2007.
- [4] I. G. Scott and C. M. Scala, "A review of non-destructive testing of composite materials," *NDT Int.*, vol. 15, no. 2, pp. 75–86, 1982.
- [5] D. J. Hagemaier, *Fundamentals of Eddy Current Testing*, 1st ed. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc, 1990.
- [6] H. Sadek, *Electromagnetic Testing Classroom Training Book*, 1st ed. Columbus: ASNT, 2006.
- [7] Tata, Sordia, Saito, and Shinroku, *Pengetahuan Bahan Teknik*, 4th ed. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1999.