TUGAS AKHIR – MN 184802

# ANALISIS KEMAMPUAN PENDETEKSIAN PENGUJIAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) TERHADAP *CRACK* PADA *BOLLARD* DENGAN BAHAN *CASTING*

Steven Johanes Elia
NRP 04111640000085

Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – MN 184802

# ANALISIS KEMAMPUAN PENDETKSIAN PENGUJIAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) TERHADAP *CRACK* PADA *BOLLARD* DENGAN BAHAN *CASTING*

**Steven Johanes Elia**
**NRP 04111640000085**

**Dosen Pembimbing**
**Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
**SURABAYA**
**2020**

FINAL PROJECT – MN 184802

# ANALYSIS OF EDDY CURRENT TESTING (ECT) DETECTION ON CRACKS IN BOLLARD WITH CASTING MATERIALS

Steven Johanes Elia
NRP 04111640000085

Supervisor
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

# LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS KEMAMPUAN PENDETEKSIAN PENGUJIAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) TERHADAP *CRACK* PADA *BOLLARD* DENGAN BAHAN *CASTING*

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**STEVEN JOHANES ELIA**
NRP 04111640000085

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 15 Desember 2020

# LEMBAR REVISI

# ANALISIS KEMAMPUAN PENDETEKSIAN PENGUJIAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) TERHADAP *CRACK* PADA *BOLLARD* DENGAN BAHAN *CASTING*

**TUGAS AKHIR**
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 1 Desember 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**STEVEN JOHANES ELIA**
NRP 04111640000085

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. ……..……..……..
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. ……..……..……..
3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. ……..……..……..

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. ……..……..……..

SURABAYA, 15 DESEMBER 2020

# HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini;
3. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku kepala departemen Teknik Perkapalan ITS atas dukungan dan motivasinya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium.
5. Pak Yudi CV Rahayu Sentosa yang telah membantu penulis dalam membuat spesimen.
6. Teman-teman “IRONCLAD” P-56 yang sudah mendukung penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini terkhusus Isra dan Suseno yang sudah sama-sama berjuang dalam pembuatan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 15 Desember 2020

Steven Johanes Elia

# ANALISIS KEMAMPUAN PENDETEKSIAN PENGUJIAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) TERHADAP *CRACK* PADA BOLLARD DENGAN BAHAN *CASTING*


| | | |
|---|---|---|
| Nama Mahasiswa | : | Steven Johanes Elia |
| NRP | : | 04111640000085 |
| Departemen / Fakultas | : | Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan |
| Dosen Pembimbing | : | 1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. |


# ABSTRAK


*Bollard* merupakan perangkat yang ada di kapal atau di pelabuhan yang digunakan untuk menambat kapal di dermaga atau perangkat untuk mengikatkan 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 diatas perlu dilakukan analisis kemampuan pedeteksian 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: *Eddy Current Testing, Bollard, Crack.*

# ANALYSIS OF EDDY CURRENT TESTING (ECT) DETECTION ON CRACKS IN BOLLARD WITH CASTING MATERIALS


| | |
|---|---|
| Author | : Steven Johanes Elia |
| Student Number | : 04111640000085 |
| Department / Faculty | : Naval Architecture / Marine Technology |
| Supervisor | : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. |


# ABSTRACT


*Bollard is a device on ship or on port that used to moor a ship at port or to tie a rope to ship. Bollards are usually made of cast iron and embedded in the foundation or in the edge of port so bollards be able to hold tensile loads acting on the moorings at the port. The occurrence of tensile loads acting on the bollard can cause problems such as deformation, crack, damage and ect. Because of that reason, it is necessary to analyze the detection ability in the form of cracks on bollard using Eddy Current Testing (ECT) method. With this method, it is expected to measure the crack detection ability on bollards.*

*In this study, conducted research on the material made from cast iron which is divided into three specimens. Each specimen is given a different crack depth and length. Specimen 1 contained three cracks with dimensions of 8 mm long and 0.5 mm, 1 mm, 2 mm deep. The second specimen contained three cracks with dimension of 10 mm long and 0.5 mm, 1 mm, 2 mm deep. For the third specimen, given three cracks with dimension 15 mm long and 0.5 mm, 1 mm, 2 mm deep.*

*The result from this study is there are differences in the signal obtained at variation in the depth of the cracks. The deeper the crack is formed, the greater the indication of the crack signal. But, this does not happen for variations in crack length. The signal height obtained from different crack lengths ant the same depth is constant. So in this case, the crack length has no effect on the signal height. The highest crack signal was found in the crack with a depth of 2 mm and the lowest crack signal height was found at a crack depth of 0.5 mm. The level of sensitivity on this eddy current method is 100% and the level of accuracy on this eddy current tool is 77.70%.*



*Key Word : Cast Iron, Eddy Current Testing, Bollard*

# DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI ..... ix
HALAMAN PERUNTUKAN ..... xi
KATA PENGANTAR ..... xiii
ABSTRAK ..... xv
ABSTRACT ..... xvii
DAFTAR ISI ..... xix
DAFTAR GAMBAR ..... xxi
DAFTAR TABEL ..... xxiii
DAFTAR SIMBOL ..... xxv
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1
1.1. Latar Belakang Masalah ..... 1
1.2. Perumusan Masalah ..... 1
1.3. Tujuan ..... 1
1.4. Batasan Masalah ..... 2
1.5. Manfaat ..... 2
1.6. Hipotesis ..... 2
BAB 2 STUDI LITERATUR ..... 3
2.1. Non-destructive Testing (NDT) ..... 3
2.2. *Elektromagnetism* ..... 4
2.3. Electrical Discharge Machining ..... 4
2.3.1. Cara Kerja *Electrical Discharge Machining* ..... 5
2.3.2. Cairan Dielektrik dan Elektroda ..... 6
2.4. *Eddy Current Testing* ..... 6
2.4.1. Prinsip Pengujian Eddy Current Testing ..... 7
2.4.2. Kelebihan Metode *Eddy Current Testing* ..... 8
2.4.3. Kekurangan Metode *Eddy Current Testing* ..... 8
2.4.4. Faktor-Faktor Penting dalam Pengujian *Eddy Current Testing* ..... 9
2.5. Besi Cor ..... 10
2.6. *Bollard* Kapal ..... 11
2.7. Hubungan Antara Kedalaman Penembusan dengan Frekuensi Probe ..... 12
2.8. Tinjauan Pustaka ..... 14
BAB 3 METODOLOGI ..... 17
3.1. Bagan Alir ..... 17
3.2. Identifikasi Masalah ..... 18
3.3. Studi Literatur ..... 18
3.4. Pengadaan Material ..... 19
3.4.1. Pengujian Struktur Mikro Pada Material ..... 20
3.5. Pembuatan Blok Kalibrasi ..... 21
3.6. Pembuatan Spesimen Uji ..... 21
3.6.1. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 1 ..... 22
3.6.2. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 2 ..... 23
3.6.3. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 3 ..... 23
3.6.4. Rekapitulasi Retak Buatan ..... 24

3.6.5. Mengukur Kedalaman Retak .....24
3.7. Peralatan *Eddy Current Testing* .....27
3.8. Pengujian *Eddy Current* .....28
BAB 4 Hasil dan pembahasan ..... 31
4.1. Pendahuluan .....31
4.2. Pengujian pada *Test Piece* 1 .....32
4.3. Pengujian pada *Test Piece* 2 .....34
4.4. Pengujian pada *Test Piece* 3 .....36
4.5. Hasil dan Analisis Perbandingan Ketinggian Sinyal pada *Test Piece* Berdasarkan Variasi Kedalaman Retak .....38
4.6. Hasil dan Analisis Perbandingan Ketinggian Sinyal pada *Test Piece* Berdasarkan Variasi Panjang Retak .....39
4.6.1. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 0.5 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm .....40
4.6.2. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 1 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm .....42
4.6.3. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 2 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm .....43
4.7. Perubahan Ketinggian Sinyal Retak .....45
4.8. Perhitungan Nilai Sensitivitas Pengujian *Eddy Current Testing* .....46
4.9. Hasil Tinggi Sinyal *Crack* pada Blok Kalibrasi .....47
4.10. Perhitungan Nilai Ketelitian pada Pengujian *Eddy Current Testing* .....49
4.11. Pengaruh Konduktivitas dan Permeabilitas Terhadap Pengujian *Eddy Current Testing* .....51
BAB 5 Kesimpulan ..... 55
5.1. Kesimpulan .....55
5.2. Saran .....55
DAFTAR PUSTAKA ..... 56
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 2. 1. Ilustrasi Wire EDM ..... 5
Gambar 2.2. Interaksi Medan Magnet dan Arus *Eddy* ..... 7
Gambar 2. 3. Bit Bollard ..... 11
Gambar 2. 4. Tee Bollard ..... 12
Gambar 2. 5. Curve Bollard ..... 12
Gambar 2. 6. Standar kedalaman penembusan berbanding frekuensi pada berbagai tipe material. [Sumber: Cox, 1997] ..... 13
Gambar 3. 1. Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan) ..... 18
Gambar 3. 2. Spesimen Berbentuk Silinder ..... 19
Gambar 3. 3. Spesimen yang Sudah Dipotong ..... 20
Gambar 3. 4 Referensi Pembuatan Blok Kalibrasi (ASME Section V) ..... 21
Gambar 3. 5 Pembuatan Retak dengan Mesin EDM ..... 22
Gambar 3. 6. Dimensi Test Piece 1 ..... 22
Gambar 3. 7. Dimensi *Test Piece* 2 ..... 23
Gambar 3. 8. Dimensi Test Piece 3 ..... 23
Gambar 3. 9. Pengukuran Retak dengan Kertas Mika ..... 24
Gambar 3. 10. Pengukuran Retak dengan Spidol ..... 25
Gambar 3. 11. Pengukuran pada *Test Piece* 1 ..... 25
Gambar 3. 12. Pengukuran Retak pada *Test Piece* 2 ..... 26
Gambar 3. 13. Pengukuran Retak pada *Test Piece* 3 ..... 26
Gambar 3. 14. Nortec 600D *Eddy Current* ..... 27
Gambar 3. 15. Probe Frekuensi 500 kHz ..... 28
Gambar 4. 1. Konfigurasi alat *Eddy Current* ..... 31
Gambar 4. 2. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm ..... 32
Gambar 4. 3. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 1 mm ..... 32
Gambar 4. 4. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 2 mm ..... 33
Gambar 4. 5. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm ..... 34
Gambar 4. 6. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 1 mm ..... 34
Gambar 4. 7. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 2 mm ..... 35

Gambar 4. 8. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm ..... 36
Gambar 4. 9. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 1 mm ..... 36
Gambar 4. 10. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 2 mm ..... 37
Gambar 4. 11. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm ..... 40
Gambar 4. 12. Hasil Pengujian dengan panjang 10 mm ..... 40
Gambar 4. 13. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm ..... 41
Gambar 4. 14. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm ..... 42
Gambar 4. 15. Hasi Pengujian dengan panjang 10 mm ..... 42
Gambar 4. 16. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm ..... 43
Gambar 4. 17. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm ..... 43
Gambar 4. 18. Hasil Pengujian dengan panjang 10 mm ..... 44
Gambar 4. 19. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm ..... 44
Gambar 4. 20. Impedance-plane diagram ..... 46
Gambar 4. 21. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 0.25 mm ..... 47
Gambar 4. 22. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 0.5 mm ..... 48
Gambar 4. 23. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 1 mm ..... 48
Gambar 4. 24. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 2 mm. ..... 49

# DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Rekapitulasi Dimensi Retak pada Spesimen Uji ..... 24
Tabel 4. 1. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 133
Tabel 4. 2. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 2 ..... 35
Tabel 4. 3. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 3 ..... 37
Tabel 4. 4. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal ..... 38
Tabel 4. 5. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 0.5 mm ..... 41
Tabel 4. 6. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 1 mm ..... 43
Tabel 4. 7. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 2 mm ..... 45
Tabel 4. 8. Hasil Retak yang Terdeteksi ..... 47
Tabel 4. 9. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal pada Blok Kalibrasi ..... 49

# DAFTAR SIMBOL

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang Masalah

*Bollard* merupakan perangkat yang ada di kapal atau di pelabuhan yang digunakan untuk menambat kapal di dermaga atau perangkat untuk mengikatkan 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. *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 diatas perlu dilakukan analisis pengujian pedeteksian 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*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam proposal tugas akhir ini adalah bagaimana tingkat sensitivitas dari metode *eddy current testing* (ECT) terhadap retak yang terdapat pada *bollard* ?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui tingkat sensitivitas dan kemampuan pendeteksian retak yang terjadi pada bollard dengan menggunakan metode eddy current testing (ECT).

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga dapat sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material *bollard* berbahan *cast iron*.
2. Pembentukan retak pada *bollard* menggunakan *electrical discharge machining* (EDM).
3. Pembuatan retak pada setiap spesimen uji sebanyak tiga buah dengan variasi kedalaman 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm.
4. Metode pengujian menggunakan *eddy current testing* dengan *single frequency*.
5. Frekuensi *probe* pada *eddy current testing* yang digunakan adalah 500 kHz

## 1.5. Manfaat

Dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu dari hasil uji dan analisis, diharapkan dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui *kemampuan* pendeteksian retak pada bollard menggunakan metode eddy current testing (ECT) dengan single frequency.

## 1.6. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah retak yang terjadi karena beban tarik yang bekerja pada bollard mampu dideteksi menggunakan eddy current testing dengan single frequency.

# BAB 2
# STUDI LITERATUR

## 2.1. Non-destructive Testing (NDT)

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 peng erjaan 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.

Ada setidaknya enam metode yang sering digunakan dalam dunia industry berdasarkan ASME V, antara lain :

1. Visual And Optical Testing (VT)
2. Penetrant Testing (PT)
3. Magnetic Particle Testing (MT)
4. Radiography Testing (RT)
5. Ultrasonic Testing (UT)
6. Eddy Current Testing (ECT)

Dalam dunia industri, NDT berperan penting, seperti:

- Pemeriksaan material sebelum diproses
- Evaluasi material selama proses pengerjaan
- Pemerikasaan final product
- Evaluasi produk atau struktur yang sudah bekerja.
- Mencegah kecelakan/kegagalan (akibat material)

Secara garis besar, NDT adalah teknologi yang sangat penting dalam dunia industri. NDT dapat memberikan informasi yang sangat berguna mengenai kondisi dari objek yang diperiksa, tentunya dilakukan sesuai dengan standar, diperiksa, serta dilakukan oleh tenaga ahli.

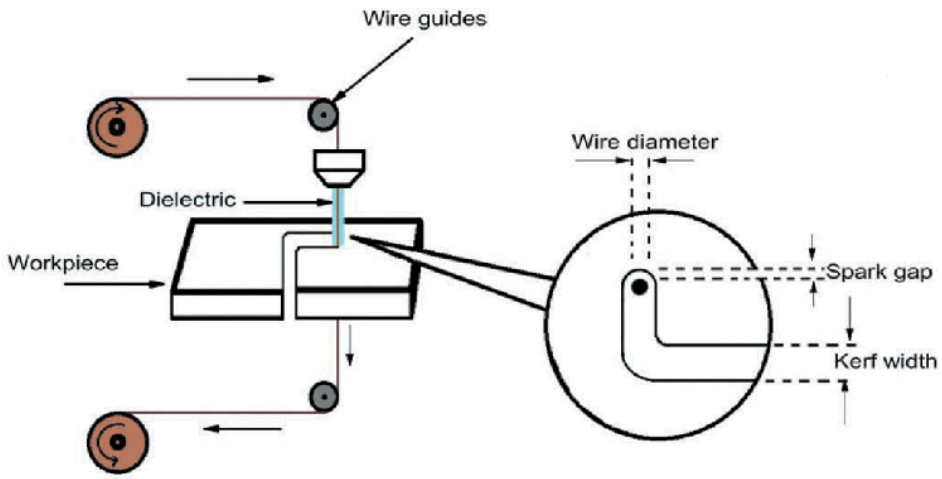
## 2.2. *Elektromagnetism*

Hubungan antara magnet dan listrik ditemukan pada tahun 1824 oleh Oersted, yang menemukan bahwa arus di dalam kabel dapat menggerakkan jarum kompas magnetik di luar kabel. Beberapa tahun kemudian efek sebaliknya ditemukan: medan magnet dalam gerakan dapat memaksa elektron untuk bergerak, menghasilkan arus. Penemuan penting ini dilakukan pada tahun 1831 secara independen oleh Faraday dan Henry. Oleh karena itu, elektromagnetisme terdiri dari efek magnetik dari arus listrik. Elektron-elektron yang bergerak berhubungan dengan medan magnet; medan magnet yang bergerak dapat menghasilkan arus. Efek elektromagnetik ini memiliki banyak aplikasi yang merupakan dasar dari pengujian eddy current. (Hagemaier, 2002)

## 2.3. Electrical Discharge Machining

*Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah metode non-konvensional yang saat ini banyak digunakan di industri-industri medis, pesawat, otomotif dan pembuatan cetakan. Proses ini bekerja dengan cara material dipisahkan dari benda kerja dengan menggunakan energi termal dari loncatan bunga api, akibat perbedaan tegangan antara elektroda dengan permukaan benda kerja yang bersifat konduktor. Sama seperti pemotongan dengan laser, EDM tidak membutuhkan kekuatan mekanik dalam proses pemotongannya. Penggunaan EDM sangat populer di dunia industri karena dapat memotong material yang keras seperti titanium. Pada saat ini, terdapat tiga macam mesin EDM yaitu: *Wire* EDM, *sinker* EDM, dan hole *drilling* EDM.

Proses pembuatan crack dalam penelitian ini menggunakan *wire* EDM yang ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2. 1. *Wire* EDM adalah salah satu proses EDM yang menggunakan sebuah kawat sebagai elektrodanya yang bergerak secara kontinu. Pelepasan material terjadi sebagai hasil erosi percikan listrik oleh kawat elektroda yang bergerak dari gulungan kawat baru memotong benda kerja (Abdel, 2005). Mesin ini biasa digunakan untuk membentuk komponen mesin yang memiliki bentuk komplek dan membutuhkan kepresisian tinggi. Prinsip utama *wire* EDM adalah dengan memanfaatkan percikan bunga api yang ditimbulkan oleh listrik diantara benda kerja dan elektroda.




Gambar 2. 1. Ilustrasi Wire EDM
Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-Wire-EDM

Salah satu parameter pemesinan yang menentukan kualitas hasil produk pada *wire* EDM adalah arus listrik (c*urrent*). Penggunaan arus listrik yang semakin besar pada tegangan listrik akan menyebabkan percikan bunga api (*sparking*) semakin besar pula, hal ini menyebabkan pergerakan aliran elektron untuk menumbuk bagian permukaan benda kerja semakin cepat, sehingga terjadi peningkatan temperatur yang mengakibatkan pengerosian permukaan benda kerja, hal ini akan merubah hasil pemotongan yang berdampak kepada kepresisian ukuran pemotongan *wire* EDM.

### 2.3.1. Cara Kerja *Electrical Discharge Machining*

Proses EDM menggunakan aliran bermuatan listrik untuk memotong atau mengerosi material dari material induknya, dengan tiap lompatan listrik (*spark*) menghasilkan temperatur antara 10.000 hingga 20.000º C. Akibatnya, benda kerja akan mendapat panas di bawah lapisan pembekuan hasil pemotongan EDM. Dapat dikatakan bahwa proses EDM mengubah permukaan dan sub-permukaan benda kerja. Untuk menghasilkan aliran listrik yang dapat memotong atau mengerosi benda kerja diperlukan hubungan antara dua material yang sama-sama dapat dialiri listrik. Pertama adalah elektroda yang terhubung dengan polaritas negatif; kemudian benda kerja yang dihubungkan dengan polaritas positif. Adanya perbedaan polaritas

ini menyebabkan terjadinya aliran muatan listrik yang terlihat sebagai spark. Maka, material yang akan diproses EDM harus material yang bersifat konduktif listrik

### 2.3.2. Cairan Dielektrik dan Elektroda

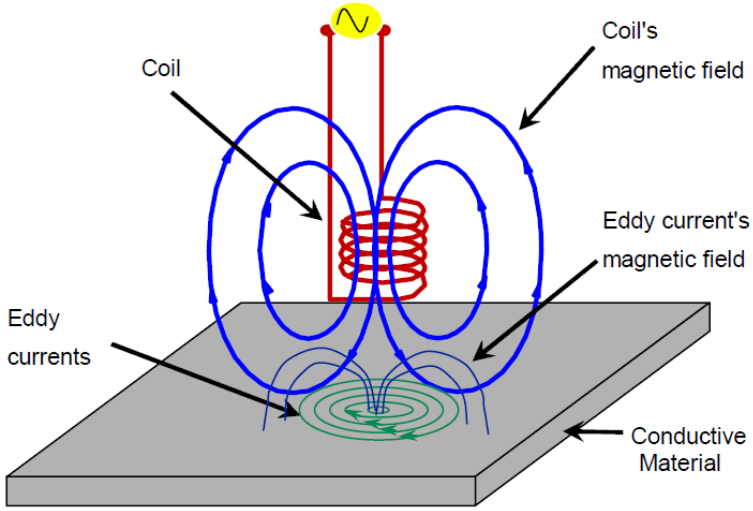
Salah satu variabel yang berperan dalam proses EDM adalah cairan dielektrik. Ada tiga fungsi cairan dielektri, yaitu sebagai insulator antara alat dan benda kerja, pendingin, dan sebagai media pembilas untuk menghilangkan serpihan yang terbentuk dari proses ini. Bahan dasar untuk cairan dielektrik ini biasanya adalah hidrokarbon, namun cairan jenis lain seperti trietilen glikol dan tetraetilen glikol juga dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan kerja. Elektroda yang digunakan pada mesin EDM terbuat dari grafit dan tembaga, namun material lainnya dapat digunakan juga.

## 2.4. *Eddy Current Testing*

*Eddy Current Testing* adalah metode yang menggunakan prinsip "*electromagnetism"* sebagai dasar untuk melakukan pemeriksaan. Proses kerjanya dengan menginduksikan arus listrik (*magnetic field*) dari *probe* ke suatu material dan mengamati reaksi yang dihasilkan antara medan magnet yang terlibat. (Hellier, 2003)

*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. 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.

*Eddy Current Testing* (ECT) digunakan untuk mendeteksi dan mendapatkan ukuran suatu *crack*, korosi, dan diskontinuitas material lainnya yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Selain itu, ECT juga dapat digunakan untuk mendeteksi crack, mengukur ketebalan material, mengukur ketebalan *coating* dan, mengukur konduktivitas suatu material. Metode ini biasanya diaplikasikan untuk memeriksa daerah yang relatif kecil dan dikarenakan ukuran dan pola terjadinya kerusakan yang harus dideteksi. Disain dari *probe* dan parameter pengujian harus dibuat sesuai mungkin dengan material yang akan diperiksa dan target deteksi. [Ichinose, 2007].




Gambar 2.2. Interaksi Medan Magnet dan Arus *Eddy*
Sumber : https://www.etsworlds.id/

### 2.4.1. Prinsip Pengujian Eddy Current Testing

Secara singkat, pengujian dengan metode eddy current melibatkan medan magnet yang bervariasi yang dihasilkan oleh kumparan (coil) untuk menginduksi material yang akan diuji. (Cox, 1997)

1. Dalam menghasilkan sinyal *eddy current* pada proses inspeksi, digunakan sebuah alat untuk mendeteksi yaitu sebuah *probe*. Di dalam *probe* ada material penghantar listrik yang dibentuk menjadi coil (kumparan atau gulungan).
2. Kemudian dialirkan arus bolak balik (AC) pada probe tersebut dengan frekuensi tertentu yang dapat diubah sesuai keinginan.
3. Saat arus AC melewati kumparan maka terbentuk medan magnet di dalam dan sekitar kumparan (probe).
4. Ketika material konduktif diletakkan dibawah medan magnet coil, maka terjadi induksi arus listrik dan terbentuk eddy current pada material tersebut.
5. Eddy current yang mengalir pada material akan menghasilkan medan magnet sendiri pada material tersebut, dimana arahnya berlawanan atau berbeda dengan kumparan atau probe.
6. Ketika terdapat diskontinuitas pada material tersebut, maka eddy current akan terganggu dan hasil pembacaan dapat dilihat secara visual melalui monitor atau instrument lainnya.

Jika pengujian *eddy current* mendeteksi cacat pada suatu spesimen, maka sinyal pada alat *eddy current* akan menunjukan terjadinya perubahan impedansi pada pola dan bentuknya.

### 2.4.2. Kelebihan Metode *Eddy Current Testing*

Kelebihan metode pengujian *eddy current testing*, diantaranya: (Mix, 2005)

- Sensitif terhadap retak yang kecil dan retak lainnya
- Dapat mendeteksi retak permukaan dan retak di dekat permukaan
- Inspeksi dapat memberi hasil dengan cepat, begitu *probe* mengenai material uji maka akan langsung terlihat pada monitor atau instrumen yang tersedia
- Peralatannya sangat mudah dibawa, ringan, dan tidak membutuhkan listrik (*battery powered*)
- Metodenya dapat digunakan untuk banyak hal, lebih dari mendeteksi keretakan
- Resiko pengujian ini sangat kecil
- Hanya membutuhkan persiapan pada material yang singkat dan tidak diperlukan pembersihan material setelah pengujian
- *Test probe* tidak harus bersentuhan dengan bagian material

### 2.4.3. Kekurangan Metode *Eddy Current Testing*

Metode *Eddy Current Testing* ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya: (Mix, 2005)

- Hanya dapat diaplikasikan pada material yang bersifat konduktif
- Permukaan material harus mudah diakses dengan *probe*
- *Skill* dan latihan dibutuhkan lebih mendalam dibandingkan teknik atau metode lainnya
- Ujung permukaan dan kekersan permukaan material dapat mempengaruhi hasil
- Kedalaman dan penembusan alat terbatas. Akibatnya pengujian terbatas pada kerusakan di permukaan saja
- Retak berupa delaminasi yang sejajar dengan arah lilitan atau gulungan *probe* dan arah pembacaan dari *probe* dapat tidak terdeteksi

### 2.4.4. Faktor-Faktor Penting 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 :

- Konduktivitas (*Conductivity*)

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”. Untuk mencari konduktivitas dari suatu material dapat menggunakan rumus berikut :

$$Conductivity(\%IACS) = \frac{172.41}{Resistivity} \quad \text{.....(1)}$$

- Permeabilitas (*Permeability*)

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

- Frekuensi (*Frequency*)

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 (Cox, 1997).

Saat frekuensi semakin tinggi, maka sensitivitas terhadap pendeteksian juga meningkat, tapi kemampuan penembusan *eddy current* terhadap material akan menurun. Jika frekuensi semakin rendah, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian menurun, tapi kemampuan penembusan *eddy current* akan meningkat (Hageimer, 2002).

- *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 mencari diskontinuitas yang terjadi pada material uji.

- *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 sepenuhnya menembus material. Hal ini mengakibatkan terjadinya skin effect (Cox, 1997).

- *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 (Sadek, 2006). Hal ini berarti bahwa sinyal pengujian yang menjadi perhatian harus menunjukkan respons paling jelas dibandingkan sinyal lain yang tidak diinginkan.

## 2.5. Besi Cor

Pengecoran atau penuangan (*casting*) merupakan salah satu teknik pembuatan benda logam dimana bahan baku (logam mentah) dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuang ke dalam cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari benda cor yang di buat.

Tipe pengecoran logam berdasarkan teknik pengecorannya, yaitu:

a. *Traditional casting*
   - *Sand mold casting*
   - *Shell mold casting*
   - *Vacuum-mold casting*

b. *Non-traditional casting/contemporary casting*
   - *Die casting*
   - *permanent casting*
   - *Centrifugal casting*
   - *Investment casting*

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 1150ºC - 1300 ºC dan dapat dituang kedalam bentuk-bentuk yang sulit. Besi cor juga mempunyai kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi yang cukup baik. (Surdia & Saito, 1999)

## 2.6. *Bollard* Kapal

*Marine bollard cast iron* atau biasa disebut penambat kapal adalah benda yang biasa berada di kapal ataupun di pelabuhan. Fungsi dari penambat kapal ini adalah untuk penahan tali kapal pada saat kapal tersebut berlabuh. Penambat kapal biasanya terbuat dari material besi cor (*cast iron*), tetapi ada juga yang terbuat dari baja. Letak penambat kapal berada di geladak utama (*main deck*) kapal.

Masing-masing *bollard* pada kapal memiliki bentuk, nama dan kapasitas beban yang bervariasi antara 10-200 ton. Model *bollard* yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

- *Bitt Bollard*

Gambar 2. 3. Bit Bollard
Sumber : https://www.bollarddermaga.com/bollard-kapal-dan-pelabuhan/

*Bit bollard* juga disebut dengan *straight bollard* karena bentuknya yang statis dengan pembatas diatasnya berbentuk bulat. *Bitt bollard* dapat dilihat pada Gambar 2. 3.

- *Tee Bollard*

Gambar 2. 4. Tee Bollard
Sumber : https://www.bollarddermaga.com/bollard-kapal-dan-pelabuhan/

*Tee bollard* memiliki bentuk yang hampir sama menyerupai huruf T. *Tee bollard* dapat dilihat pada Gambar 2. 4.

- *Curve Bollard*

Gambar 2. 5 Curve Bollard
Sumber : https://www.bollarddermaga.com/bollard-kapal-dan-pelabuhan/

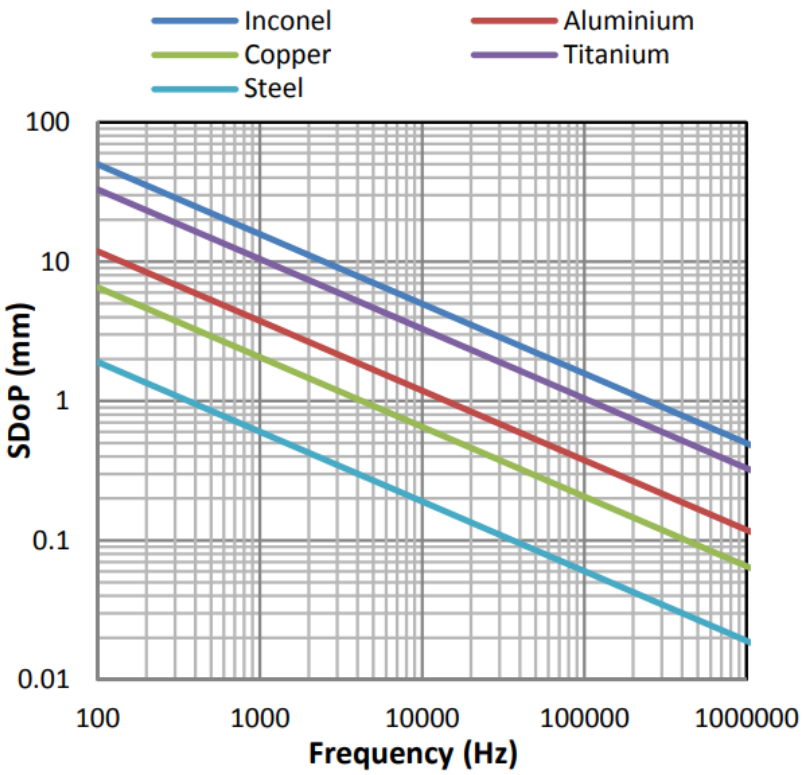
## 2.7. Hubungan Antara Kedalaman Penembusan dengan Frekuensi Probe

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 pengujian *eddy current*. [Cox, 1997].

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 standard didefinisikan sebagai kedalaman dimana kerapatan eddy current kurang lebih 37% dari kerapatan di permukaan. Gambar 2. 6 menunjukkan kedalaman penembusan standard dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda.




Gambar 2. 6. Standar kedalaman penembusan berbanding frekuensi pada berbagai tipe material. [Sumber: Cox, 1997]

Gambar 2. 6 juga menunjukkan pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap kedalaman penembusan. Sebagai contoh, kedalaman penembusan tembaga lebih kecil daripada kedalaman penembusan aluminium pada sembarang frekuensi. Hal ini dikarenakan tembaga adalah penghantar listrik yang lebih baik dibandingkan aluminium.

Rumus kedalaman penembusan menggunakan hambatan, frekuensi, dan permeabilitas dapat dilihat di bawah ini.

$$\delta = K\sqrt{\frac{\rho}{f\mu_{rel}}} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana, :

$\delta$ = Kedalaman penembusan standar

K = 50 (untuk milimeter) atau 1.98 (untuk inci)

$\rho$ = Resistivitas

$f$ = Frekuensi (Hz)

$\mu_{rel}$ = 1 ( untuk *nonferromagnetic material*)

## 2.8. Tinjauan Pustaka

Pada pengujian yang sudah dilakukan oleh Brian Sandi (2020) tentang pengaruh variasi frekuensi terhadap tingkat sensitivitas dari pengujian metode *Eddy Current Testing* (ECT) pada bagian *weld metal* pada material *stainless steel* 316L dengan aluminium 5083, didapatkan hasil rekapitulasi ketinggian sinyal retak dengan menggunakan frekuensi 500 kHz yang dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Tinggi Rata-rata Indikasi Retak

| Kedalaman Retak (mm) | Tinggi Indikasi Sinyal *Stainless Steel* 316L (mm) | Tinggi Indikasi Sinyal Aluminium 5083 (mm) |
|---|---|---|
| 0.5 | 9 | 4.5 |
| 1 | 18.5 | 11 |
| 2 | 22.2 | 13.9 |

Dari Tabel 2. 1, dapat dilihat bahwa ketika mendeteksi dengan kedalaman retak sebesar 0.5 mm, maka tinggi sinyal indikasi mendapatkan ketinggian yang paling kecil. Semakin dalam retak yang dideteksi, maka semakin besar juga tinggi indikasi sinyal retak yang didapatkan. Dari Tabel 2.1 ini juga dapat dilihat perbedaan material yang digunakan. Material *stainless steel* 316L mempunyai konduktivitas sebesar 2.32%IACS dan material aluminium 5083 mempunyai konduktivitas sebesar 28.79%IACS sehingga dapat disimpulkan semakin rendah nilai konduktivitas dari suatu material, semakin tinggi indikasi sinyal retak yang terbentuk. Kesimpulan yang didapatkan melalui pengujian yang dilakukan oleh Brian Sandi (2020), sensitivitas pendeteksian eddy current testing pada *stainless steel* 316L lebih sensitif dan memiliki penembusan kedalaman yang lebih dalam dibanding aluminium 5083 akibat nilai konduktivitas serta nilai permeabilitas yang lebih rendah.

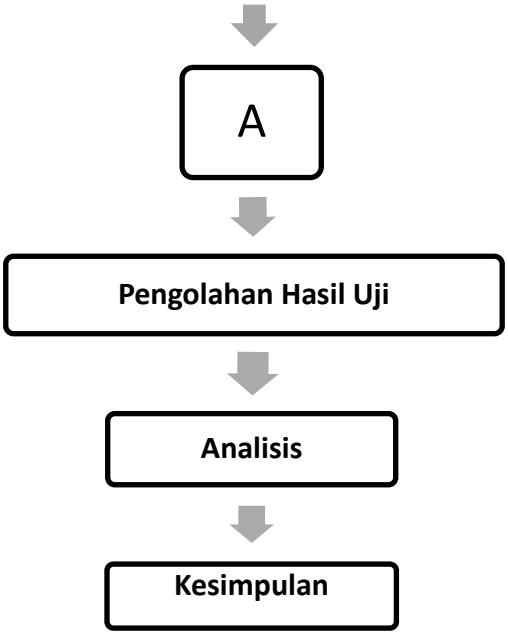
Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB 3
# METODOLOGI

## 3.1. 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. Berikut ini merupakan bagan dari pengerjaan penelitian ini.

Gambar 3. 1. Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir




Gambar 3. 2. Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

### 3.2. Identifikasi Masalah

Pada awal pengerjaan, dilakukan indentifikasi permasalahan mengenai pendeteksian retak pada *bollard* dengan bahan *casting* menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT) yaitu dengan menetapkan tujuan penelitian, melakukan perumusan masalah, dan pembatasan masalah pada penelitian tugas akhir ini.

### 3.3. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur untuk mendukung pengerjaan tugas akhir ini. Didapatkan studi literatur yang berupa pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini, yaitu:

1. *Non-destructive Test*

   Pada pengujian pendeteksian di tugas akhir ini digunakan metode yang menerapkan *Non-destructive Test* (NDT).

2. *Electromagnetism*

   Dilakukan pemahaman tentang prinsip electromagnetism yang digunakan pada alat *eddy current testing*.

3. *Eddy Current Testing* (ECT)

   Dilakukan pemahaman tentang metode *eddy current testing* yang digunakan pada pengujian pendeteksian ini meliputi; pengenalan dan penjelasan umum tentang alat dari metode tersebut.

4. Prinsip Kerja *Eddy Current Testing* (ECT)

   Dilakukan pemahaman tentang bagaimana prinsip kerja dari metode *Eddy Current Testing* serta mengetahui prosedur pengujiannya.

5. Kekurangan dan Kelebihan *Eddy Current Testing* (ECT)

   Dilakukan pemahaman tentang kekurangan dan kelebihan dari metode *Eddy Current Testing*.

6. *Casting Material*

   Dilakukan pemahaman tentang apa itu *casting material*.

## 3.4. Pengadaan Material

Pada tahap ini dilakukan pengadaan material yang akan digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini. Material yang dipersiapkan adalah spesimen berbahan *cast iron* yang berbentuk silinder. Pada saat pembelian, material tersebut masih berbentuk silinder yang harus dipotong seperti pada Gambar 3. 3 sesuai dengan ukuran yang sudah direncanakan.

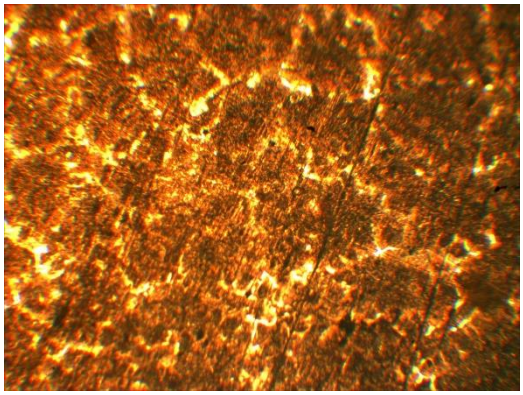
Gambar 3. 3. Spesimen Berbentuk Silinder

Spesimen dipotong menjadi tiga bagian menggunakan mesin gerinda seperti pada. Gambar 3. 4. Permukaan spesimen juga dilakukan perataan dan penghalusan dengan gerinda amplas Grit 600.

Gambar 3. 4. Spesimen yang Sudah Dipotong

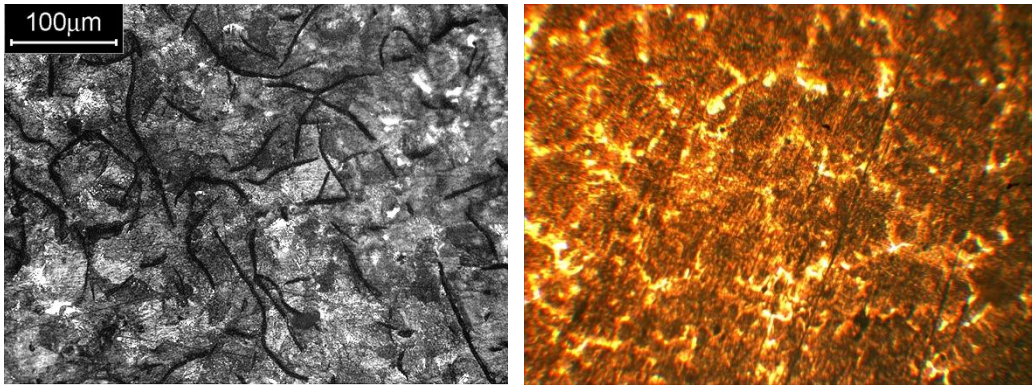
### 3.4.1. Pengujian Struktur Mikro pada Material

Untuk memastikan material terbuat dari cast iron, dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop. Hasil dari pengujian mikro dapat dilihat pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Struktur Mikro pada Material

Setelah itu dilakukan perbandingan antara struktur mikro pada material dan struktur mikro pada *cast iron*, perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. 6.



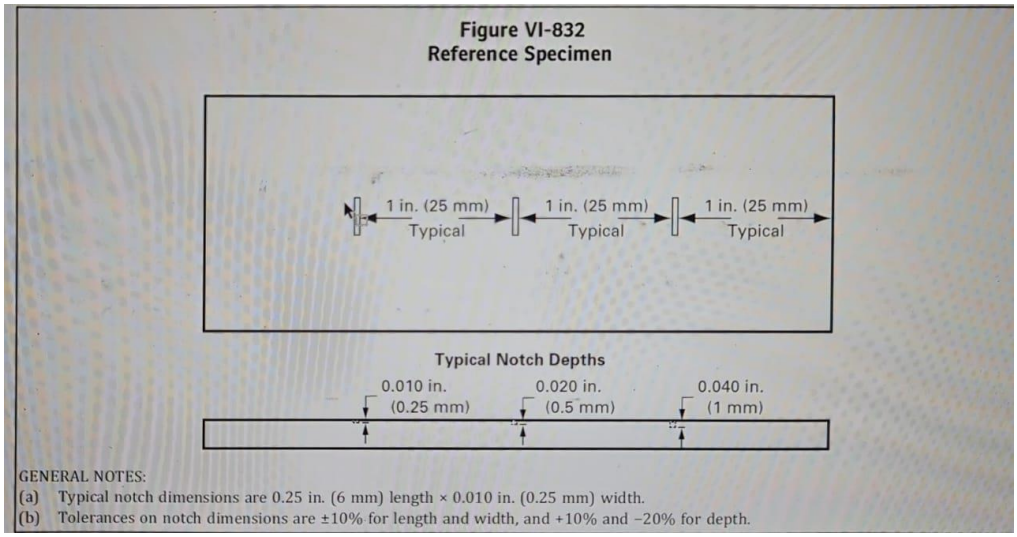

Gambar 3. 6 Perbandingan antara Struktur Mikro *Cast Iron* dengan Material

Sumber : Augusto Gustavo (2017)

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa material yang diuji adalah besi cor karena memiliki kesamaan struktur mikro.

## 3.5. Pembuatan Blok Kalibrasi

Blok kalibrasi yang dibuat menggunakan bahan yang sama seperti material yang diuji yaitu *cast iron.* blok kalibrasi ini mempunyai ukuran dimensi panjang 125 mm dan lebar 50 mm serta memiliki 4 retakan yang mempunyai ukuran kedalaman masing masing retak adalah 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm.




Gambar 3. 7 Referensi Pembuatan Blok Kalibrasi (ASME Section V)

## 3.6. Pembuatan Spesimen Uji

Pada pembuatan spesimen uji, spesimen dipotong menjadi beberapa blok lalu diberikan retak pada bagian yang sudah direncanakan menggunakan mesin EDM seperti pada Gambar 3. 8.

Gambar 3. 8 Pembuatan Retak dengan Mesin EDM

EDM adalah proses manufaktur dimana bentuk yang diinginkan didapat dengan menggunakan *electrical discharge* (sparks). Diberikan setidaknya 9 variasi letak retak buatan pada tiap spesimen yang meliputi variasi panjang dan variasi kedalaman. Setiap spesimen akan diberikan 3 variasi kedalaman retak dan variasi panjang retak.

### 3.6.1. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 1

Pada test piece 1, retak yang dibuat memiliki panjang 8 mm dan variasi kedalaman retak yaitu 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm yang dapat dilihat pada Gambar 3. 9.

Gambar 3. 9. Dimensi Test Piece 1

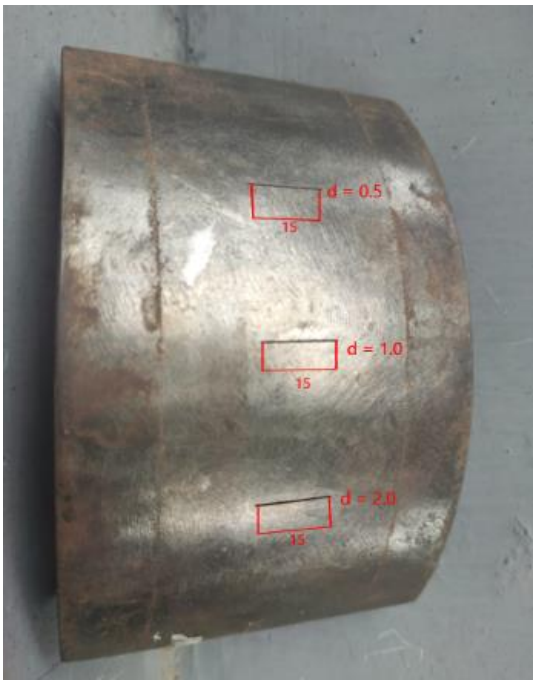
### 3.6.2. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 2

Pada test piece 2, kedalaman dari *test piece* tersebut masih menggunakan variasi yang sama yaitu kedalaman 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm dengan menggunakan panjang retak sebesar 10 mm yang dapat dilihat pada Gambar 3. 10.

Gambar 3. 10. Dimensi *Test Piece* 2

### 3.6.3. Dimensi Panjang, kedalaman serta letak retak pada *test piece* 3

Pada test piece 3, dimensi retak yang digunakan mempunyai panjang retak sebesar 15 mm dan variasi kedalaman retak sebesar 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm.




Gambar 3. 11. Dimensi Test Piece 3

### 3.6.4. Rekapitulasi Retak Buatan

Retak buatan yang dibuat pada penelitian ini berjumlah 9 retak dengan variasi panjang retak dan kedalaman retak. Referensi dimensi retak yang akan diuji dapat dilihat pada

Tabel 3. 1. Rekapitulasi Dimensi Retak pada Spesimen Uji

| No. | Kode Retak | *Length* (mm) | *Depth* (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 8 | 0.5 |
| 2 | 2 | 8 | 1.0 |
| 3 | 3 | 8 | 2.0 |
| 4 | 4 | 10 | 0.5 |
| 5 | 5 | 10 | 1.0 |
| 6 | 6 | 10 | 2.0 |
| 7 | 7 | 15 | 0.5 |
| 8 | 8 | 15 | 1.0 |
| 9 | 9 | 15 | 2.0 |

### 3.6.5. Mengukur Kedalaman Retak

Untuk mengukur kedalaman retak yang sudah dibuat, penulis menggunakan kertas mika, penggaris dan sebuah spidol dengan cara :

1. Kertas mika dipotong dengan ukuran panjang 30 mm dan lebar 5 mm.
2. Selanjutnya, masukan ujung kertas mika kedalam retak seperti pada Gambar 3. 12.

Gambar 3. 12. Pengukuran Retak dengan Kertas Mika

3. Setelah itu, berikan garis diatas kertas mika menggunakan spidol sehingga bagian yang masuk kedalam retak tidak terkena tinta spidol.

Gambar 3. 13. Pengukuran Retak dengan Spidol

4. Setelah itu ukur panjang kertas mika yang berada dibawah garis dan tidak terkena tinta.
5. Kedalaman retak dapat diketahui dari hasil pengukuran menggunakan jangka sorong.

- Hasil Pengukuran Retak *Test Piece* 1

Gambar 3. 14 Pengukuran pada *Test Piece* 1

- Hasil Pengukuran Retak pada *Test Piece* 2

Gambar 3. 15. Pengukuran Retak pada *Test Piece* 2

- Hasil Pengukuran Retak pada Test Piece 3

Gambar 3. 16. Pengukuran Retak pada *Test Piece* 3

- Hasil Pengukuran Retak pada Blok Kalibrasi

Gambar 3. 17. Pengukuran Retak pada Blok Kalibrasi

Dari hasil pengukuran yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa kedalaman retak yang dibentuk adalah sama dengan kedalaman retak yang sudah direncanakan. Hal ini didapatkan dari hasil pengukuran yang menunjukan angka yang sama.

### 3.7. Peralatan *Eddy Current Testing*

Sebelum melakukan pengujian eddy current, dilakukan persiapan peralatan terlebih dahulu. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Eddy Current Machine*

   Spesifikasi :

   Manufacturer / brand : Olympus

   Type : Nortec 600D

   Serial Number : 60003161142

Gambar 3. 18. Nortec 600D *Eddy Current*

2. Probe

   Spesifikasi :

   Manufacturer / brand : Ether NDE

   Probe Type : Right angle probe

   Probe Coil : Normal single absolute

   Probe Frequency : 500 kHz

   Probe Serial Number : 01303/02

Gambar 3. 19. Probe Frekuensi 500 kHz

### 3.8. Pengujian *Eddy Current*

Pengujian *eddy current testing* dilakukan setelah spesimen diberikan retak. Terdapat tiga variasi panjang dan kedalaman retak pada setiap spesimen yang dibuat. Dengan pengujian *eddy current testing* akan diketahui tingkat sensitivitas dan kemampuan pendeteksian retak pada *bollard* yang berbahan *casting*. Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian sudah dilakukan, maka pengujian *eddy current testing* sudah dapat dilakukan. Berikut adalah tahapan pengujian *eddy current testing* :

1. Spesimen dan blok kalibrasi disiapkan pada tempat kerja. Tempat kerja yang digunakan lebih baik tidak menggunakan bahan yang dapat menghantarkan listrik karena jika menggunakan bahan yang dapat menghantarkan listrik, akan mempengaruhi arus sinyal *eddy*.
2. Tahap selanjutnya adalah melakukan kalibrasi alat menggunakan blok kalibrasi yang sudah dibuat. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam tahap ini yaitu pengaturan frekuensi, *angle*, *h-gain*, dan *v-gain* pada alat untuk membuat sinyal yang bagus. Pengaturan dilakukan sampai perbedaan fase antara sinyal *lift-off* dan indikasi retak sebesar 90 derajat.
3. Kalibrasi dilakukan pada setiap akan dilakukan pengujian sesuai dengan kondisi spesimen uji. Sebagai contoh apabila akan melakukan pengujian pada retak dengan kedalaman 1

mm, maka kondisi blok kalibrasi juga harus dilakukan pada retak yang memiliki kedalaman 1 mm.

4. Tahap selanjutnya adalah dilakukan pengujian pada spesimen uji. Harus diperhatikan posisi probe dengan spesimen uji harus tegak lurus sehingga dapat mendapatkan sinyal yang bagus. Pengujian dilakukan hanya pada daerah yang terdapat retakan.
5. Sebelum melakukan scanning, harus dilakukan *nulling*. *Nulling* adalah proses penyamaan impedansi antara probe dengan alat *eddy current* dengan posisi *probe* menempel pada spesimen uji.
6. Selanjutnya, *probe* dijalankan pada daerah permukaan yang terdapat retakan. Jika sinyal pada tampilan layar *eddy current* berubah, itu menandakan adanya indikasi retak. Setelah terdapat perubahan pada sinyal, tekan *freeze* untuk menahan layar dan segera tekan *save* untuk menyimpan hasil indikasi tersebut.
7. Untuk mengukur panjang, dilakukan dengan cara yang berbeda. Probe diletakan pada ujung retak lalu probe digerakan secara horizontal melewati panjang retak tersebut.
8. Saat tinggi sinyal retak berubah, berikan tanda titik pada spesimen. Hal ini menunjukan ujung dari retakan tersebut.
9. Lalu probe dijalankan secara horizontal melewati panjang retak tersebut.
10. Setelah melewati retak, tinggi sinyal pada alat *eddy* akan kembali ketitik awal. Saat sudah sampai di titik awal, berikan tanda titik lagi pada material. Hal ini menunjukan ujung dari retakan tersebut
11. Setelah selesai, ukur panjang tanda tersebut dan akan didapatkan panjang retak dan kedalamannya dapat dilihat pada layar *eddy*.
12. Setelah semua retakan sudah diuji, maka pengujian *eddy current* sudah selesai.
13. Selanjutnya dilakukan analisis data yang didapatkan dari hasil *eddy current.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

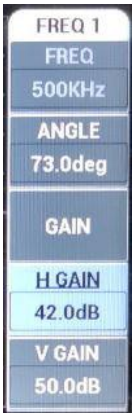
# BAB 4
# HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan 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 pada bab sebelumnya.

## 4.1. Pendahuluan

Tahap pertama pada pengujian ini adalah mengatur konfigurasi pada alat *eddy current* seperti frekuensi, *angle*, dan *gain*. Konfigurasi ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal yang bagus. Konfigurasi ini menjadi acuan pada setiap pengujian *test piece* dan tidak boleh dilakukan penggantian. Hal ini dikarenakan agar sinyal yang didapatkan pada setiap *test piece* tidak berubah-ubah. Berikut adalah konfigurasi alat *eddy current* yang akan digunakan :

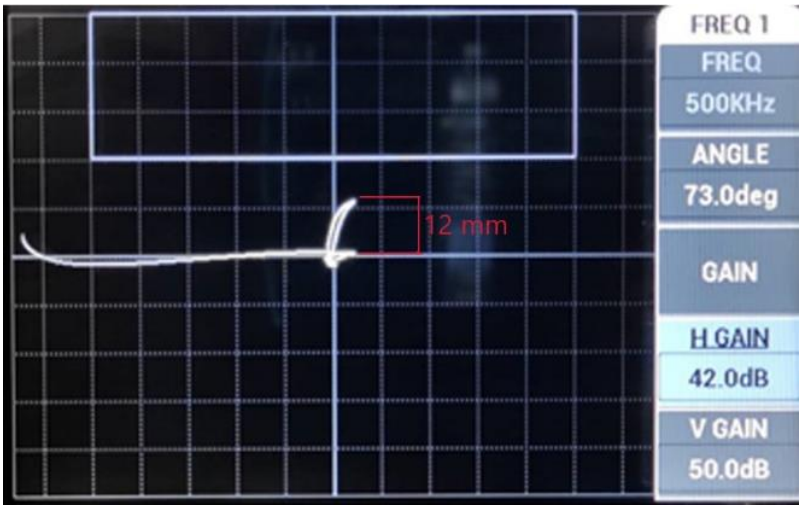
- H Gain : 42.0 dB
- V Gain : 50.0 dB
- Angle : 73.0 deg
- Frequency : 500 kHz
- Probe Type : Single Frequency
- Probe Connector : LEMO-16
- Display : IMP (*Impedance*)




Gambar 4. 1. Konfigurasi alat *Eddy Current*

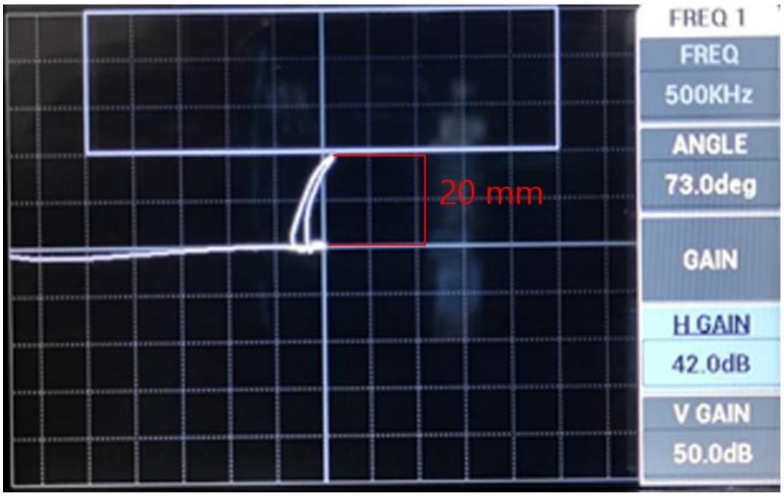
## 4.2. Pengujian pada *Test Piece* 1

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece* 1. *Test piece* 1 ini memiliki panjang retak sebesar 8 mm dan kedalaman retak sebesar 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm, yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.4. Dapat dilihat juga bahwa hasil pengujian terdapat perubahan ketinggian sinyal akibat adanya perbedaan kedalaman retak.



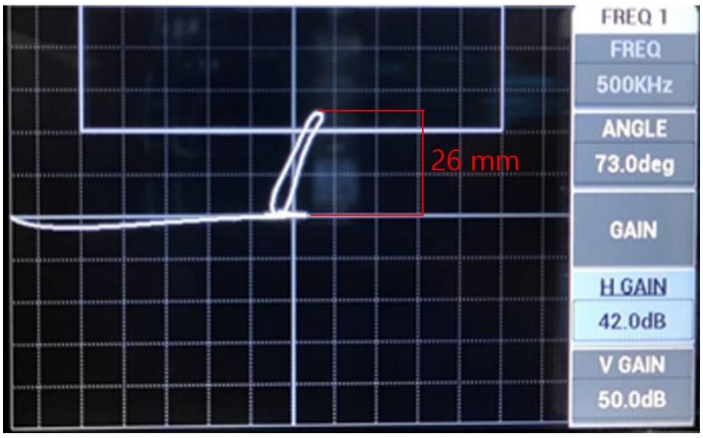

Gambar 4. 2. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm

Pada Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa ketinggian sinyal akibat retak sepanjang 8 mm dan sedalam 0.5 mm adalah sebesar 12 mm.




Gambar 4. 3. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 1 mm

Dari Gambar 4.3, perubahan ketinggian sinyal terjadi dari 12 mm menjadi 20 mm. Kedalaman dari retak yang diuji pada Gambar 4.3 adalah sebesar 1 mm, berbeda 0.5 mm dari kedalaman retak pertama.




Gambar 4. 4. Hasil Pengujian dengan Panjang 8 mm dan Kedalaman Retak 2 mm

Dan retak terakhir dengan kedalaman 2 mm dan panjang 8 mm dapat dilihat pada Gambar 4.4. Ketinggian sinyal yang didapatkan adalah sebesar 26 mm, lebih tinggi dari kedua retak yang sudah diuji.

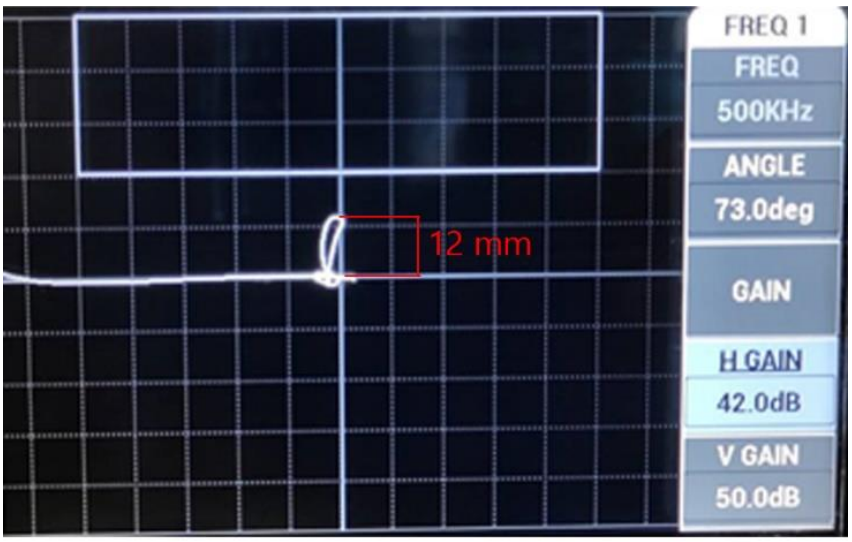
Berdasarkan hasil pengujian pada *test piece* 1, yang dihasilkan pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.4, gambar-gambar tersebut menghasilkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal *crack* pada retak yang terjadi akibat perbedaan kedalaman retak. Sinyal retak yang ketinggiannya paling tinggi didapatkan pada kedalaman 2 mm dan sinyal yang memiliki ketinggian retak paling rendah didapatkan pada kedalaman 0.5 mm. Hal ini diakibatkan oleh adanya perubahan pada hambatan yang ada pada setiap retak. Semakin dalam retak, semakin besar juga hambatannya. Hambatan ini mempengaruhi nilai impedansi yang ada pada rangkaian. Ketika hambatan besar, maka lintasan arus eddy akan semakin panjang sehingga hambatan pada rangkaian juga semakin besar. Dengan adanya hubungan antara hambatan dengan impedansi yaitu semakin besar hambatan, semakin besar juga impedansi yang terjadi sehingga ketinggian sinyal pada ECT juga semakin besar. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 1

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 0.5 | 12 |
| 2 | 8 | 1.0 | 20 |
| 3 | 8 | 2.0 | 26 |

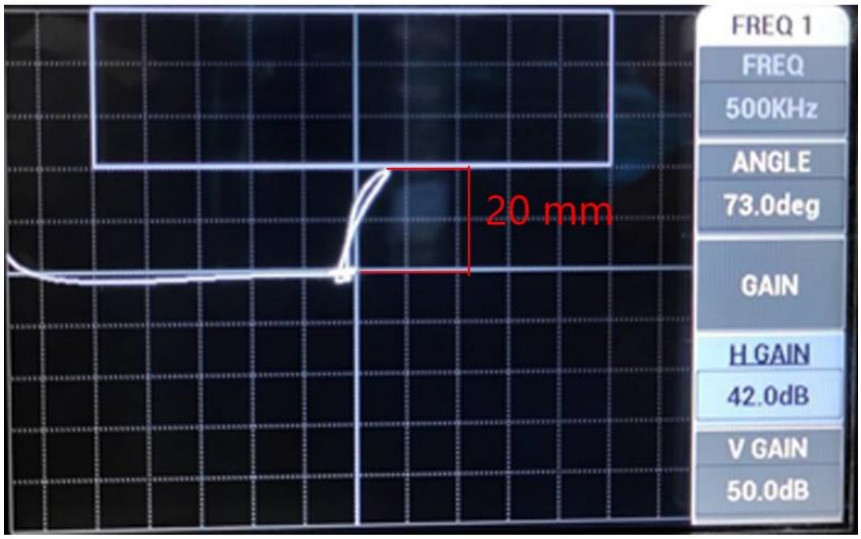
## 4.3. Pengujian pada *Test Piece* 2

Selanjutnya dilakukan pengujian pada *test piece* 2 dan mendapatkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.7. *Test piece* 2 ini memiliki panjang retak yang lebih panjang dari pada *test piece* 1, yaitu sebesar 10 mm dan kedalaman variasi retak tetap sama sebesar 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm. Dari data yang didapatkan, perubahan ketinggian sinyal terjadi pada setiap kedalaman retak yang berbeda.



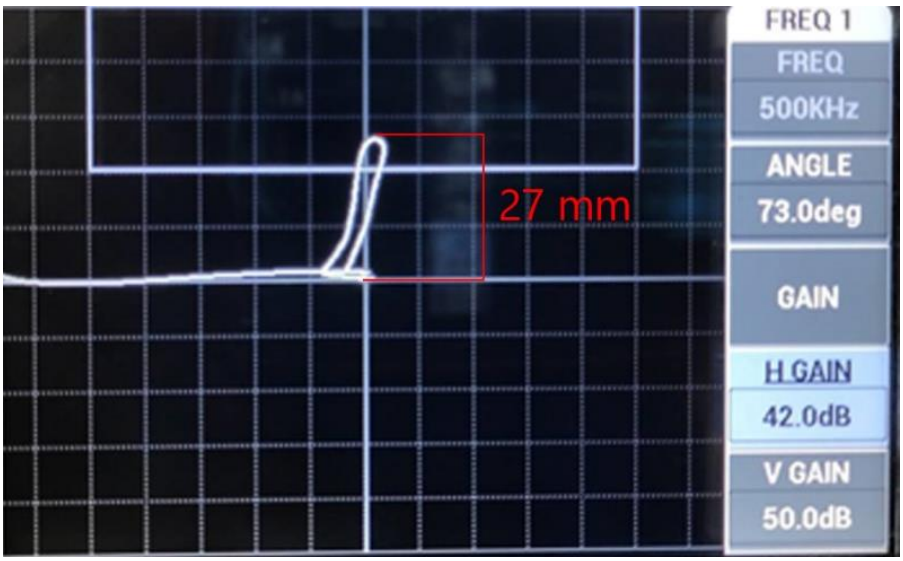

Gambar 4. 5. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm

Pada Gambar 4.5, ketinggian sinyal retak yang terlihat pada layar adalah sebesar 12 mm. ketinggian sinyal ini sama dengan pengujian pada *test piece* 1 dengan kedalaman yang sama.




Gambar 4. 6. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 1 mm

*Test piece* 2 dengan kedalaman retak 1 mm mendapatkan ketinggian sinyal yang dapat dilihat pada layar di Gambar 4.6 sebesar 20 mm. Ketinggian yang didapatkan ini sama dengan ketinggian sinyal yang didapatkan pada *test piece* 1 dengan kedalaman 1 mm.




Gambar 4. 7. Hasil Pengujian dengan Panjang 10 mm dan Kedalaman Retak 2 mm

Retak terakhir pada *test piece* 2 ini mendapatkan tinggi sinyal sebesar 27 mm. tinggi indikasi sinyal dapat dilihat pada layar ECT pada Gambar 4.7.

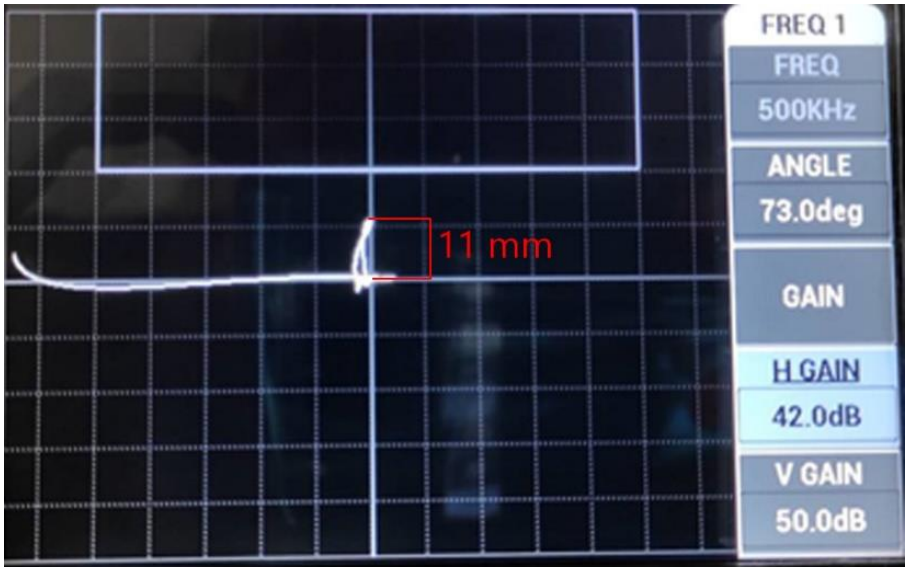
Pengujian pada *test piece* 2 ini menghasilkan tinggi indikasi sinyal retak yang berbeda-beda. Ketinggian sinyal paling rendah adalah sebesar 12 mm yang didapatkan dari kedalaman retak sebesar 0.5 mm dan ketinggian sinyal paling tinggi adalah sebesar 27 mm yang didapatkan pada retak dengan kedalaman 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 4.2.

Tabel 4. 2. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 2

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 0.5 | 12 |
| 2 | 10 | 1.0 | 20 |
| 3 | 10 | 2.0 | 27 |

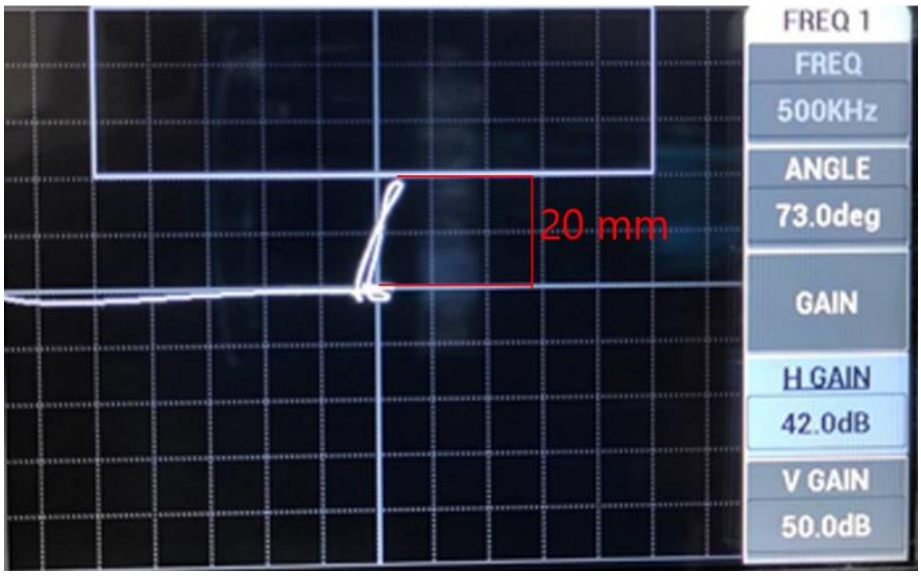
## 4.4. Pengujian pada *Test Piece* 3

Seperti pada sub bab sebelumnya, dilakukan pengujian pada test piece 3 yang memiliki tiga retak dengan dimensi panjang sebesar 15 mm dan variasi kedalaman retak sebesar 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10.



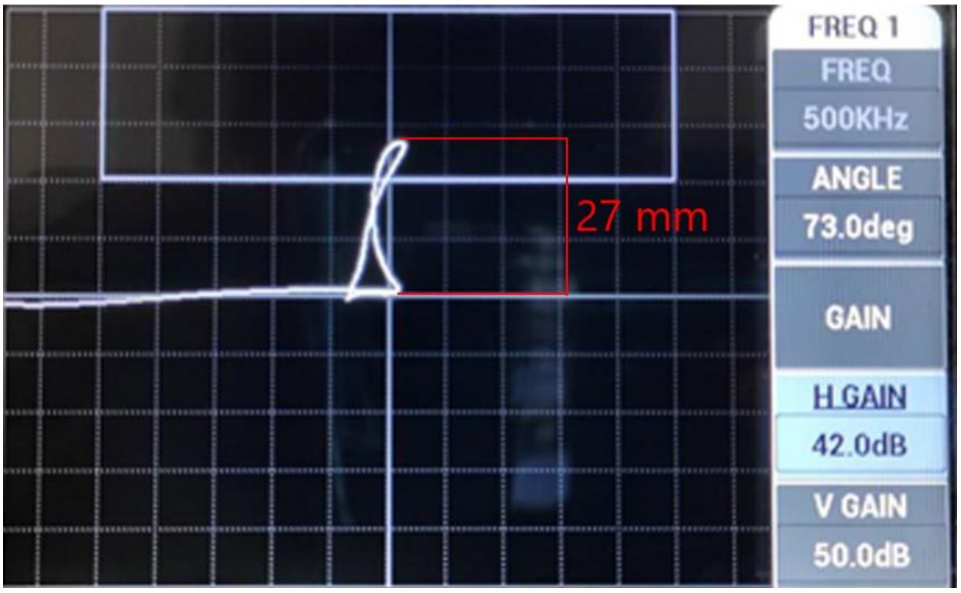

Gambar 4. 8. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 0.5 mm

Pada Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa ketinggian sinyal akibat retak sepanjang 15 mm dan sedalam 0.5 mm adalah sebesar 11 mm.




Gambar 4. 9. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 1 mm

Pada Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa ketinggian sinyal akibat retak sepanjang 15 mm dan sedalam 1 mm adalah sebesar 20 mm.




Gambar 4. 10. Hasil Pengujian dengan Panjang 15 mm dan Kedalaman Retak 2 mm

Pada Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa ketinggian sinyal akibat retak sepanjang 15 mm dan sedalam 2 mm adalah sebesar 27 mm.

Berdasarkan hasil pengujian pada *test piece* 3, yang ditunjukan pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10, 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 4.3

Tabel 4. 3. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal *Crack* pada *Test Piece* 3

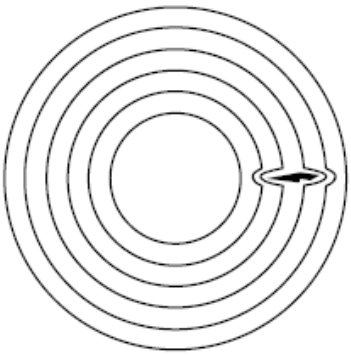
| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 0.5 | 11 |
| 2 | 10 | 1.0 | 20 |
| 3 | 10 | 2.0 | 27 |

## 4.5. Hasil dan Analisis Perbandingan Ketinggian Sinyal pada *Test Piece* Berdasarkan Variasi Kedalaman Retak

Tabel 4. 4. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 0.5 | 12 |
| 2 | 8 | 1.0 | 20 |
| 3 | 8 | 2.0 | 26 |
| 4 | 10 | 0.5 | 12 |
| 5 | 10 | 1.0 | 20 |
| 6 | 10 | 2.0 | 27 |
| 7 | 15 | 0.5 | 11 |
| 8 | 15 | 1.0 | 20 |
| 9 | 15 | 2.0 | 27 |

Berdasarkan Tabel 4.4, 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. Hal ini terjadi karena ketika retak lebih dalam, maka hambatan yang terjadi juga semakin besar.



Gambar 4. 11 Ilustrasi Retak yang Dideteksi alat ECT

Pada Gambar 4.11, dapat dilihat ilustrasi dari retak yang terdeteksi. Ketika retak semakin besar maka lintasan aliran arus eddy akan semakin panjang juga. Ketika aliran arus semakin panjang, maka hambatannya juga akan semakin besar yang akan mengakibatkan impedansi yang semakin besar.

Pada Tabel 4.4 juga dapat dilihat perbedaan ketinggian sinyal retaknya. Perbedaan ketinggian retak pada kedalaman 0.5 mm dengan kedalaman 1 mm adalah sebesar 8 mm dan perbedaan ketinggian pada retak 1 mm dan retak 2 mm adalah sebesar 7 mm. Seharusnya perbedaan ketinggian setiap kedalaman retak 0.5 mm adalah sebesar 8 mm tetapi pada pengujian ini, perbedaan ketinggian sinyal pada kedalaman 1 mm dan 2 mm adalah sebesar 7 mm yang mana seharusnya perbedaan ketinggiannya adalah 16 mm.

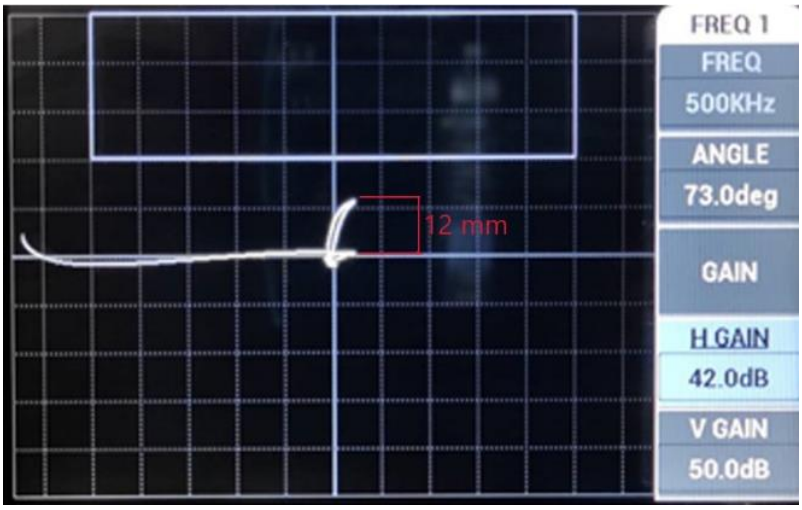
Hal ini terjadi karena adanya kedalaman penembusan standar yang sudah dijelaskan pada bab 2. Perhitungan kedalaman penembusan standar menggunakan K yang konstan (50 jika satuan mm), resistivitas (dalam micro.ohm.centimeter), frekuensi (Hz) dan $\mu_{rel}$ adalah 1. Resistivitas besi cor adalah sebesar 80 micro.ohm.meter dan menggunakan frekuensi 500 kHz. Hasil yang didapatkan dari kedalaman penembusan standar adalah sebesar 0.6324 mm. Sinyal *eddy current* memiliki EDP (*Effective Depth of Penetration*) yaitu batasan efektif suatu sinyal mampu menembus kedalaman hingga 3 kali SDP. Jika EDP = 3 X SDP, maka EDP dari penelitian ini adalah sebesar 1.8972 mm. Sinyal *eddy current* hanya bisa menembus sampai ke kedalaman 1.8972 mm sehingga keakuratan sinyal *eddy current* saat mendeteksi retak dengan kedalaman 2 mm menurun dan hanya menghasilkan penambahan ketinggian sinyal sebesar 7 mm.

Dari Tabel 4.4, 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.

## 4.6. Hasil dan Analisis Perbandingan Ketinggian Sinyal pada *Test Piece* Berdasarkan Variasi Panjang Retak

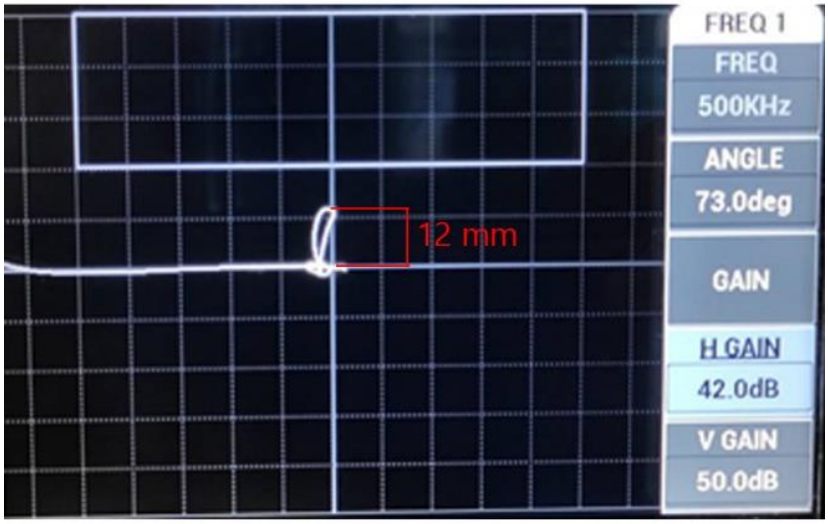
Pada Sub bab ini akan disajikan hasil dan analisis perbandingan ketinggian sinyal pada test piece 1, test piece 2, dan test piece 3 berdasarkan variasi panjang retak dengan panjang sebesar 8 mm, 10 mm dan 15 mm.

### 4.6.1. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 0.5 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm



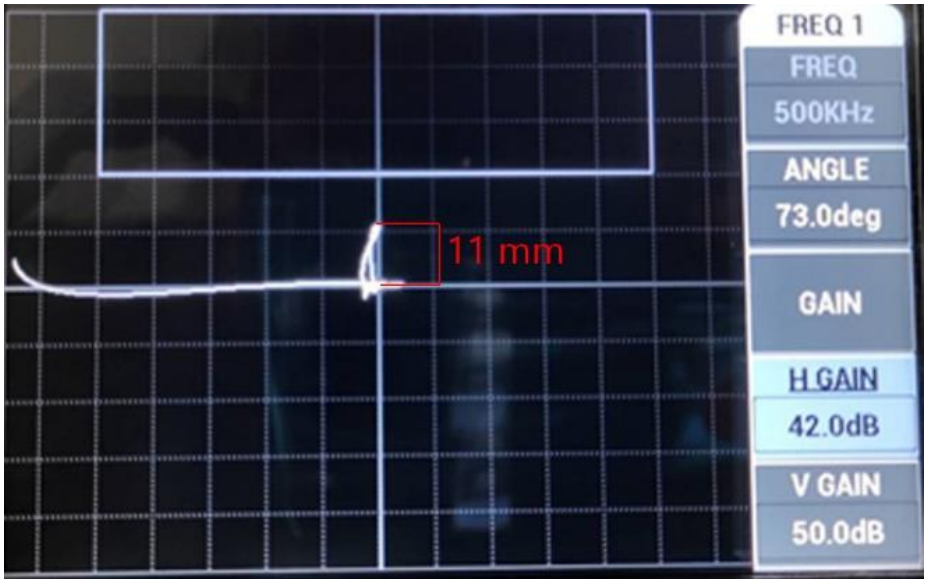

Gambar 4. 12. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat hasil pengujian retak dengan panjang retak 8 mm dengan kedalaman 0.5 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 12 mm.




Gambar 4. 13. Hasil Pengujian dengan panjang 10 mm

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat hasil pengujian retak dengan panjang retak 10 mm dengan kedalaman 0.5 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 12 mm.




Gambar 4. 14. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm

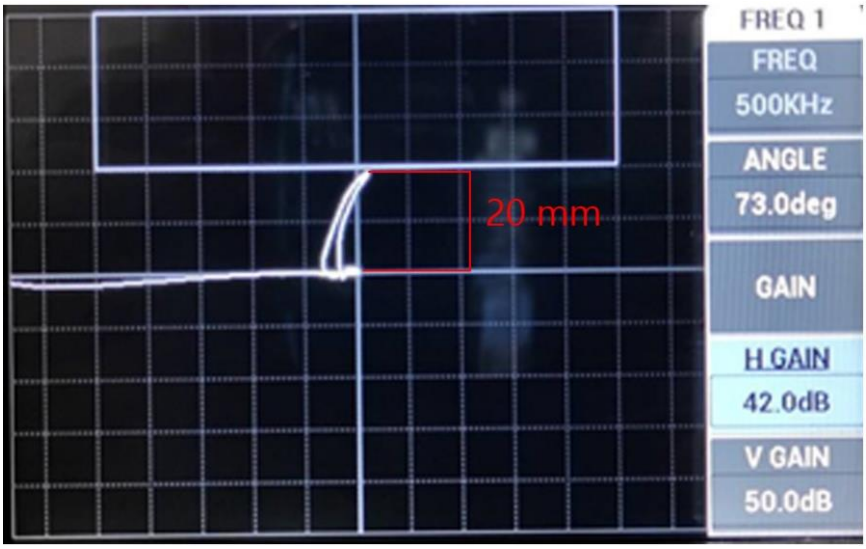
Pada Gambar 4.13 dapat dilihat hasil pengujian retak dengan panjang retak 15 mm dengan kedalaman 0.5 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 11 mm

**T**abel 4. 5. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 0.5 mm

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 0.5 | 12 |
| 2 | 10 | 0.5 | 12 |
| 3 | 15 | 0.5 | 11 |

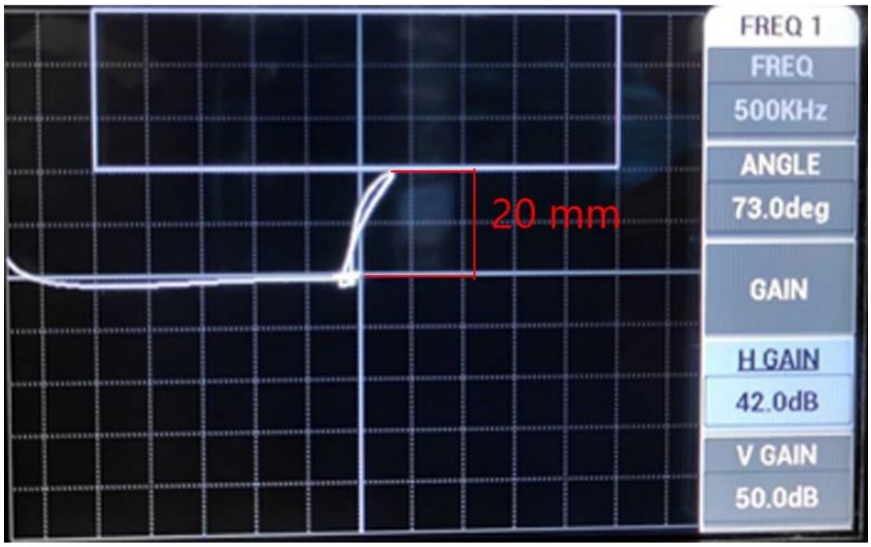
Berdasarkan Tabel 4.5, didapatkan data bahwa hasil pengukuran ketinggian sinyal crack pada panjang retak yang berbeda menghasilkan ketinggian yang sama atau hampir mendekati. Dari Tabel 4.5, dapat disimpulkan juga bahwa dimensi panjang pada retak tidak terlalu berpengaruh banyak terhadap ketinggian sinyal indikasi retak, sehingga pada retak 0.5 mm dengan panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm memiliki ketinggian sinyal yang sama.

### 4.6.2. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 1 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm



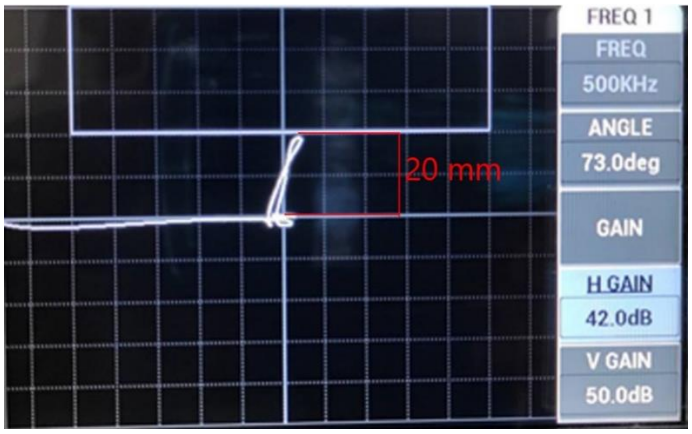

Gambar 4. 15. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm

Pada Gambar 4.14 dapat dilihat hasil pengujian retak dengan panjang retak 8 mm dengan kedalaman 1 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 19 mm




Gambar 4. 16. Hasi Pengujian dengan panjang 10 mm

Pada Gambar 4.15, dapat dilihat hasi pengujian retak dengan panjang retak 10 mm dengan kedalaman 1 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 19 mm.




Gambar 4. 17. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm

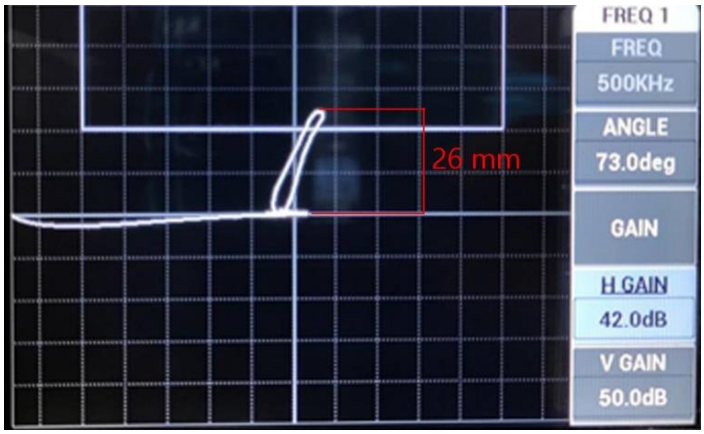
Pada Gambar 4.16, dapat dilihat hasi pengujian retak dengan panjang retak 15 mm dengan kedalaman 1 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 19 mm.

Tabel 4. 6. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 1 mm

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 1.0 | 20 |
| 2 | 10 | 1.0 | 20 |
| 3 | 15 | 1.0 | 20 |

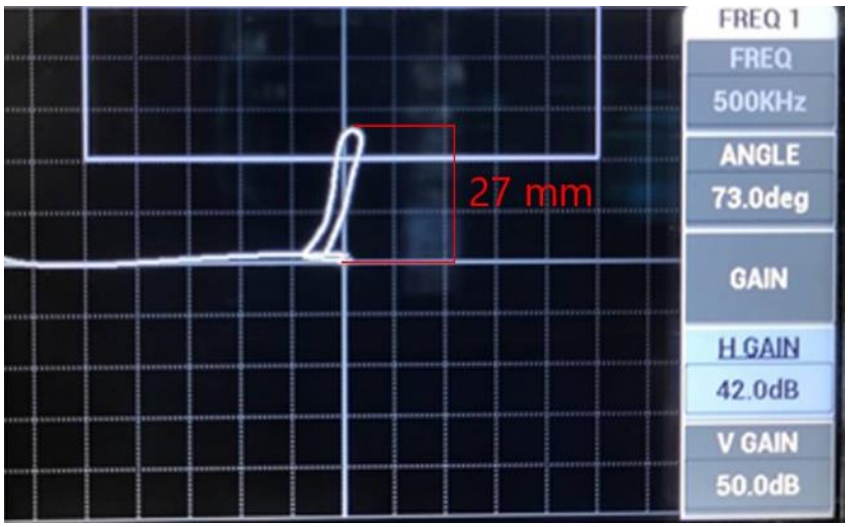
Dari Tabel 4.6, dapat dilihat dan disimpulkan bahwa ketinggian sinyal yang terbentuk adalah sama yaitu sebesar 20 mm pada setiap panjang retak yang berbeda. Hal ini dapat diartikan bahwa panjang retak tidak mempengaruhi tinggi sinyal yang dihasilkan.

### 4.6.3. Hasil Pengujian pada Retak dengan Kedalaman Retak 2 mm dan Panjang 8 mm, 10 mm dan 15 mm



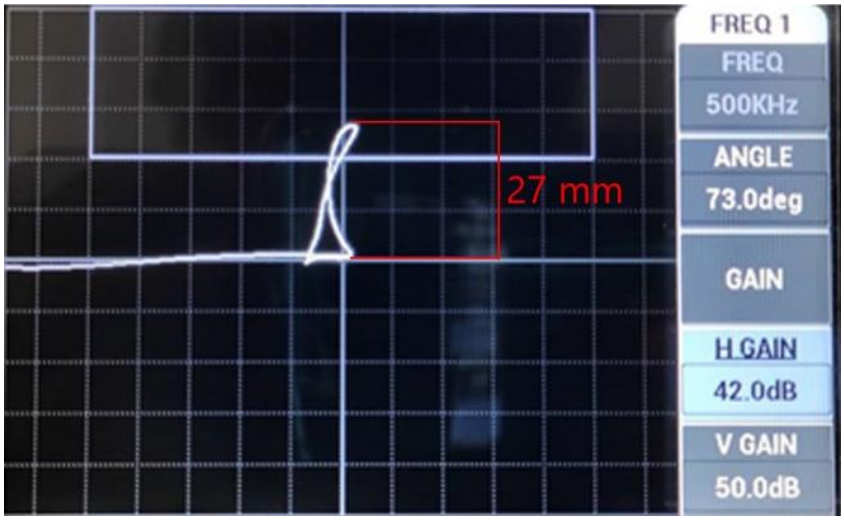

Gambar 4. 18. Hasil Pengujian dengan panjang 8 mm

Pada Gambar 4.17, dapat dilihat hasi pengujian retak dengan panjang retak 8 mm dengan kedalaman 2 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 26 mm.




Gambar 4. 19. Hasil Pengujian dengan panjang 10 mm

Pada Gambar 4.18, dapat dilihat hasi pengujian retak dengan panjang retak 10 mm dengan kedalaman 2 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 27 mm.




Gambar 4. 20. Hasil Pengujian dengan panjang 15 mm

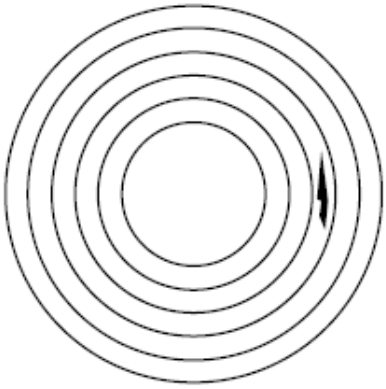
Pada Gambar 4.19, dapat dilihat hasi pengujian retak dengan panjang retak 15 mm dengan kedalaman 2 mm. Ketinggian sinyal retak yang didapatkan adalah sebesar 27 mm.

Tabel 4. 7. Rekapitulasi Ketinggian Sinyal dengan Kedalaman 2 mm

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 8 | 2.0 | 26 |
| 2 | 10 | 2.0 | 27 |
| 3 | 15 | 2.0 | 27 |

Kesimpulan yang didapatkan pada Tabel 4.7 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.

Panjang retak tidak terdeteksi karena dimensi panjang pada retak sejajar dengan aliran arus *eddy* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. 21. Karena panjang retak sejajar dengan aliran arus *eddy*, maka aliran arus eddy tidak berubah. Sehingga impedansi pada pengujian dimensi panjang tidak berubah yang menyebabkan ketinggian sinyal pada alat ECT tidak berubah juga.



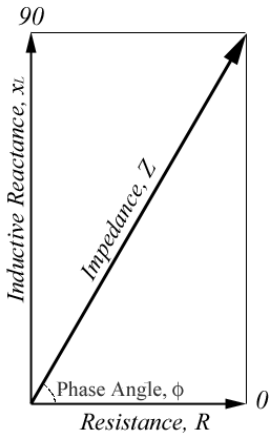
Gambar 4. 21 Ilustrasi Dimensi Panjang Retak pada alat ECT

## 4.7. 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 4.20, ketika R semakin besar, maka mengakibatkan Z juga akan semakin besar. Perubahan pada Z inilah yang dapat dideteksi oleh alat *eddy current*. Untuk mencari nilai impedansi dapat menggunakan rumus :

$$Z^2 = R^2 \text{ x } XL^2 \text{ .....(2)}$$




Gambar 4. 22 Impedance-plane diagram
Sumber : www.nde-ed.org

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.

## 4.8. Perhitungan Nilai Sensitivitas Pengujian *Eddy Current Testing*

Sensitivitas pengujian *Eddy Current Testing* dapat dihitung dari perbandingan antara jumlah dilakukannya pengujian *Eddy Current Testing* dengan jumlah retak yang terbaca pada alat *Eddy Current Testing.*

$$\text{Nilai Sensitivitas } \textit{Eddy Current} = \frac{\text{Jumlah Retak yang Terbaca}}{\text{Jumlah Pengujian}} \text{ x } 100\%$$

Tabel 4. 8. Hasil Retak yang Terdeteksi

| *Test Piece* | Jumlah Retak | Jumlah Terdeteksi |
|---|---|---|
| 1 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 |
| Total | 9 | 9 |

Berdasarkan Tabel 4.8, jumlah retak yang direncanakan sebesar 9 buah retak dan jumlah retak yang terdeteksi adalah 9 buah retak, sehingga :

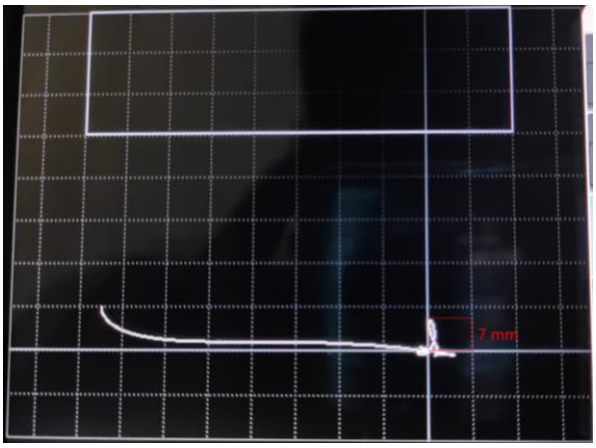
$$\text{Nilai Sensitivitas } \textit{Eddy Current} = \frac{9}{9} = 1 \times 100\ \%$$

$$= 100\ \%$$

Jadi, nilai Sensitivitas Eddy Current yang didapatkan mencapai 100%.

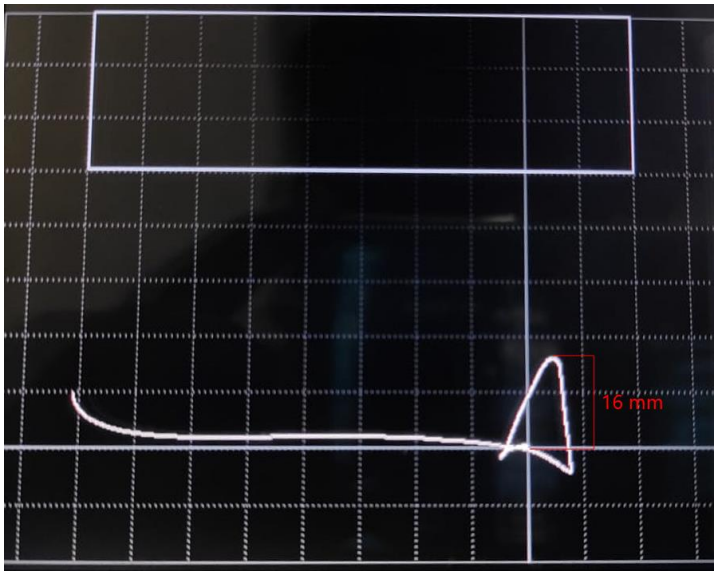
## 4.9. Hasil Tinggi Sinyal *Crack* pada Blok Kalibrasi

Tahapan selanjutnya adalah melakukan 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 juga berfungsi untuk menghitung ketelitian dari alat *eddy current* ini. Tinggi sinyal pada blok kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4.20 sampai dengan Gambar 4.23.



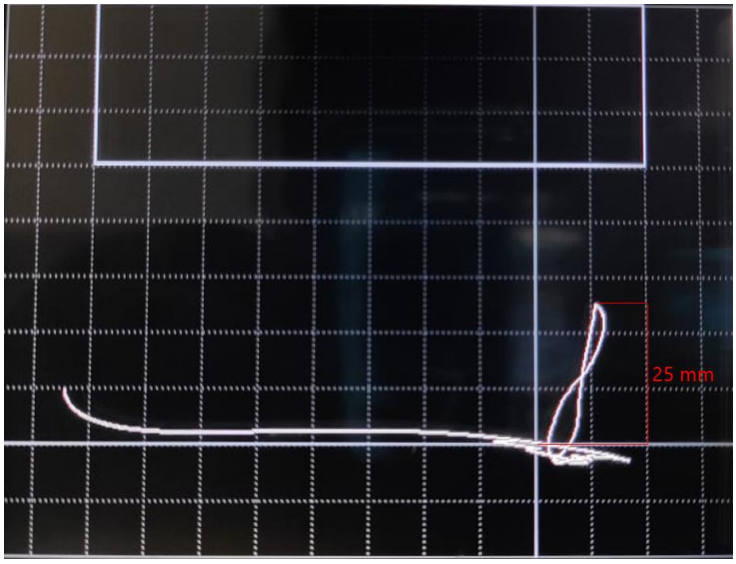

Gambar 4. 23. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 0.25 mm

Pada Gambar 4.20 kita dapat melihat ketinggian sinyal dari blok kalibrasi pada kedalaman 0.25 mm. tinggi sinyal yang didapatkan adalah sebesar 7 mm.



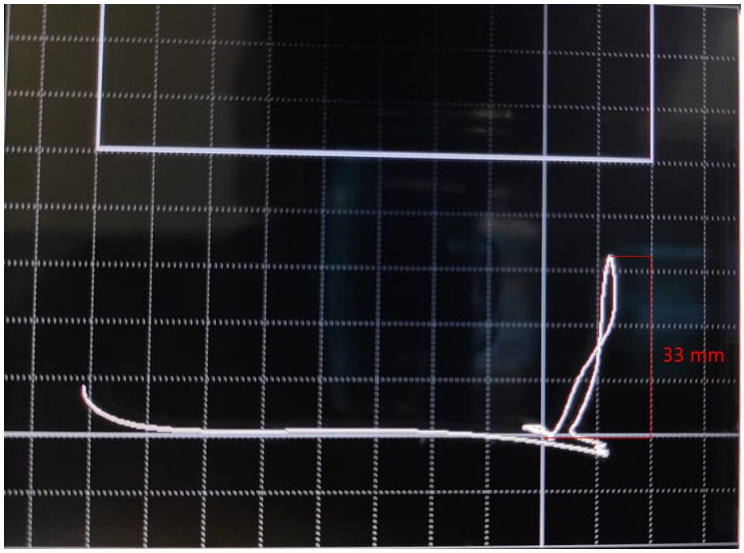

Gambar 4. 24. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 0.5 mm

Ketinggian yang didapatkan pada kedalaman 0.5 mm pada blok kalibrasi adalah sebesar 16 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.21.




Gambar 4. 25. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 1 mm

Pada blok kalibrasi dengan kedalaman retak 1 mm, ketinggian yang didapatkan adalah 25 mm.




Gambar 4. 26. Blok Kalibrasi pada Kedalaman 2 mm.

Ketinggian sinyal yang dapat dilihat pada Gambar 4.23 adalah sebesar 33 mm. ketinggian ini didapatkan dari kedalaman retak sedalam 2 mm. Rekapitulasi ketinggian sinyal dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Ketinggian Sinyal pada Blok Kalibrasi

| No | Panjang (mm) | Kedalaman (mm) | Tinggi Indikasi (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 0.25 | 7 |
| 2 | 10 | 0.5 | 16 |
| 3 | 10 | 1.0 | 25 |
| 4 | 10 | 2.0 | 33 |

Perbedaan tinggi sinyal antara blok kalibrasi dengan *test piece* terjadi karena pada saat pengujian pada blok kalibrasi tidak menggunakan ketebalan lapisan *non-conductive* yang sama dengan ketebalan lapisan pada *test piece.*

## 4.10. Perhitungan Nilai Ketelitian pada Pengujian *Eddy Current Testing*

Nilai ketelitian dari pengujian *eddy current testing* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

Presentasi Ketelitian = 100% - Presentase *error*

$$\text{Presentase } error = \frac{\text{Tinggi sinyal blok kalibrasi – rata-rata tinggi sinyal pengujian}}{\text{Tinggi sinyal blok kalibrasi}} \text{ X } 100\%$$

- Presentase ketelitian pada pendeteksian kedalaman retak :
  - 0.5 mm

    Presentase error $= \frac{16 - 11.6}{16}$ X 100%

    $= 27.5\%$

    Presentase ketelitian = 100% - 27.5%

    = 72.5%
  - 1 mm

    Presentase error $= \frac{25 - 20}{25}$ X 100%

    = 20%

    Presentase ketelitian = 100% - 20%

    = 80%
  - 2 mm

    Presentase error $= \frac{33 - 26.6}{33}$ X 100%

    = 19.39%

    Presentase ketelitian = 100% - 19.39%

$$= 80.61\%$$

- Rata-rata presentase ketelitian = $\frac{\text{Jumlah presentasi ketelitian}}{\text{Banyak presentase ketelitian}}$ X 100%

$$= \frac{233.11}{3} \text{ X } 100\%$$

$$= 77.70\%$$

Jadi nilai ketelitian pada pengujian *eddy current testing* ini adalah sebesar 77.70%

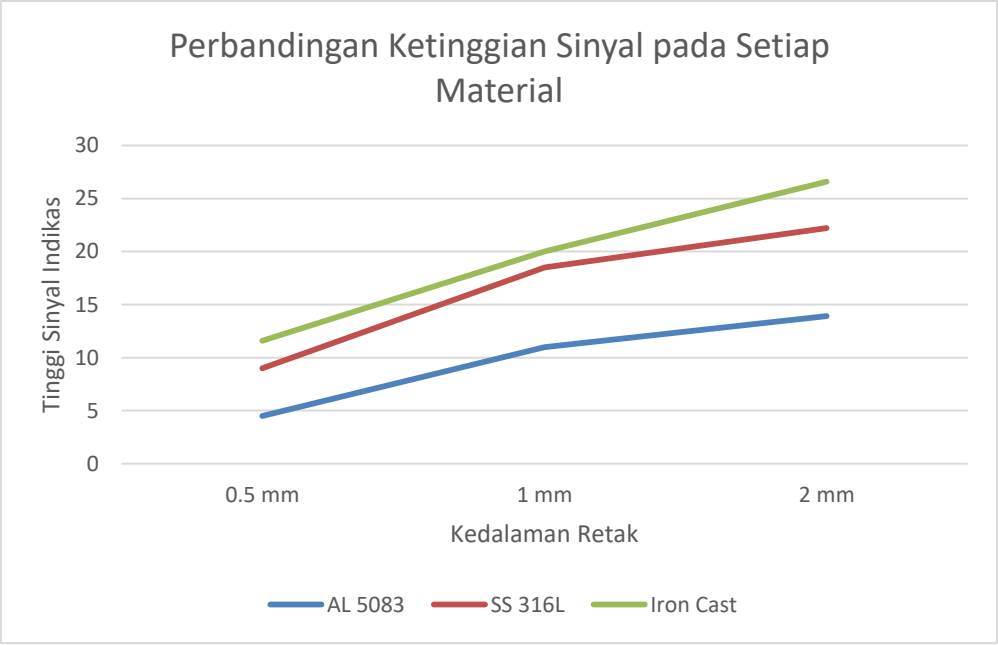
### 4.11. Pengaruh Konduktivitas dan Permeabilitas Terhadap Pengujian *Eddy Current Testing*

Untuk mengetahui pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap pengujian *eddy current* ini, dilakukan perbandingan antara penelitian yang sudah dilakukan oleh Sandi (2020) yang menggunakan material *stainless steel* 316L dan aluminium 5083. *Stainless steel* dan aluminium yang digunakan berbentuk pelat datar, sedangkan bentuk dari besi cor yang digunakan pada penelitian ini berbentuk pelat yang melengkung. Tetapi bentuk ini tidak menjadi masalah karena pada pengujian ECT ini dilakukan pengujian dengan probe yang tegak lurus dengan material uji sehingga hasilnya akan sama. Frekuensi yang digunakan pada pengujian yang dilakukan oleh Sandi (2020) dengan pengujian ini adalah sama yaitu sebesar 500 kHz dan kedalaman retak yang digunakan juga sama yaitu sebesar 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm sehingga memungkinkan untuk dilakukan perbandingan antara konduktivitas dan permeabilitas dari material uji menggunakan metode *eddy current*. 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 yang didapatkan dari perhitungan pada persamaan 1.

Dilakukan perbandingan ketinggian sinyal antara ketiga material dengan frekuensi yang sama yaitu 500 kHz yang dapat dilihat pada Tabel 4. 10.

Tabel 4. 10 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 |




Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Setiap Material

Pada Gambar 4.27 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 sesuai dengan penjelasan pada Gambar 4. 22.

Pada pengujian *eddy current* ini, 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.

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 dengan menggunakan persamaan 2.

Tabel 4. 11 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 |

Dari Tabel 4.11 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 kecil dari pada material yang lainnya. Semakin rendah konduktivitas dan permeabilitas akan membuat *standard depth of penetration* akan semakin dalam dan sebaliknya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB 5
# KESIMPULAN

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin kecil nilai konduktivitas yang dimiliki oleh suatu material, semakin tinggi indikasi sinyal *eddy current* yang didapatkan dan semakin besar nilai konduktivitas yang dimiliki, semakin rendah indikasi sinyal *eddy current* yang didapatkan.
2. Semakin rendah konduktivitas dan permeabilitas dari suatu material akan membuat *standard depth of penetration* akan semakin dalam dan sebaliknya.
3. 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 sebesar 0.5 mm.
4. Nilai sensitivitas *Eddy Current Testing* adalah sebesar 100%.
5. Nilai ketelitian pada pengujian *Eddy Current* ini adalah sebesar 77.70%.
6. 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.

## 5.2. Saran

Pada penelitian yang dilakukan kali ini hanya sampai dengan pendeteksian retak pada *bollard* saja. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisa kekuatan beban tarik pada *bollard* dengan metode pemodelan dan numerik, sehingga dapat berguna dalam mengestimasi umur dan kelayakan pada *bollard* kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

# DAFTAR PUSTAKA


Abdel, Hassan and Gawad El-Hofy. (2005). *Advanced Machining Processes*. New York : McGraw Hill International.

Augusto, Gustavo. (2017). *Viability Study Of Production Of Enclosed Impellers For Centrifugal Pumps By Investment Casting Process*. Brazil. *Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricaçã.*

AWS. (2020). *Welding Handbook – Fundamental of Welding*. Miami: American Welding Society.

Bollard (2020, November 1), Jenis-jenis Bollard pada Kapal. Diambil kembali dari: https://www.bollarddermaga.com/bollard-kapal-dan-pelabuhan/

Cox, J. (1997). *Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Eddy Current.* South Harrisburg: PH Diversified, Inc.

Hagemaier, D. J. (2002). *Fundamentals of Eddy Current Testing.* United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc.

Hellier, C. (2003). *Handbook of Nondestructive Evaluation.* USA: The McGraw-Hill Companies Inc

*Ichinose, L. (2007). Applications Eddy Current Test to Fatigue Crack Inspection of Steel Bridge. Osaka: Osaka City University.*

Mix, P. E. (2005). *Introduction To Nondestructive Testing.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

*NDE (2019, November 11 ). Education Resource: NDT Course Material.* Diambil kembali dari *NDT Resource Center Website: https://www.nde-ed.org/ EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/signaltonoise.htm*

*NDT (2019, November 11). Alternating Current Field Measurement.* Diambil kembali dari:*http://www.et-ndt.org/eddy-current-technologies/alternating-current-fieldmeasurement*

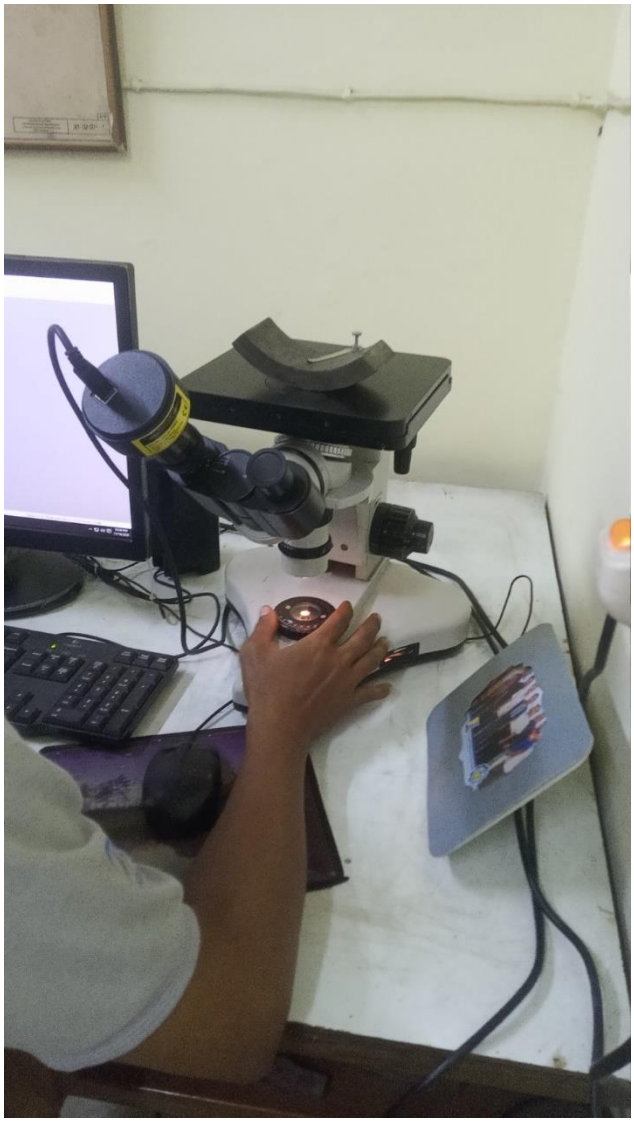
Sadek, H. (2006). *Electromagnetic Testing-Classroom Training Book*. Columbus: ASNT.

Sandi, Brian. (2020). Analisis Perbandingan Kemampuan Pendeteksian *Crack* Pada Material *Stainless Steel* 316l Dan Material Aluminium 5083 Variasi Frekuensi Pada Sambungan Las Dengan Metode *Eddy Current Testing* (ECT). Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surdia, Tata dan Saito Shinroku. (1999). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta : Pradnya Paramita

# LAMPIRAN 1

# PENGERJAAN TEKNIS



1 2 3
OLYMPUS
FULL
NEXT
A
B
C
D
E
A-LIFT
NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
SAVE
NORTEC 600
MAIN
FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV
SETUP

500KHz

mm/inch
OFF
ON
ZERO

mm/inch
OFF
ON
2.0
mm
ZERO

mm/inch
0.5
OFF
ON

mm/inch
1.0
OFF
ON
ZERO

mm/inch
OFF
ON

mm/inch
OFF
ON
ZERO

mm/inch
1.0
OFF
ON

mm/inch
2.0
OFF
ON

mm/inch
2.0
OFF
ON
ZERO

0.5

# LAMPIRAN 2

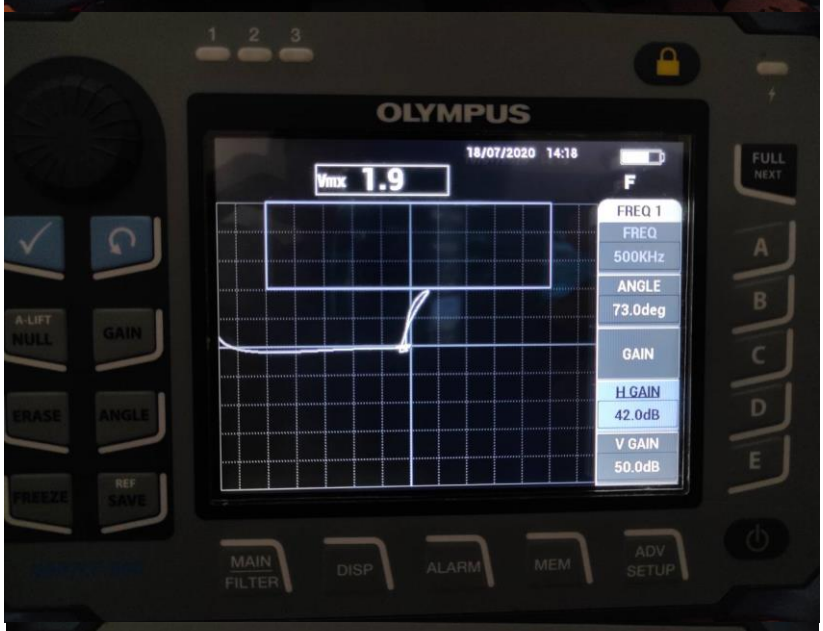
# HASIL PENGUJIAN

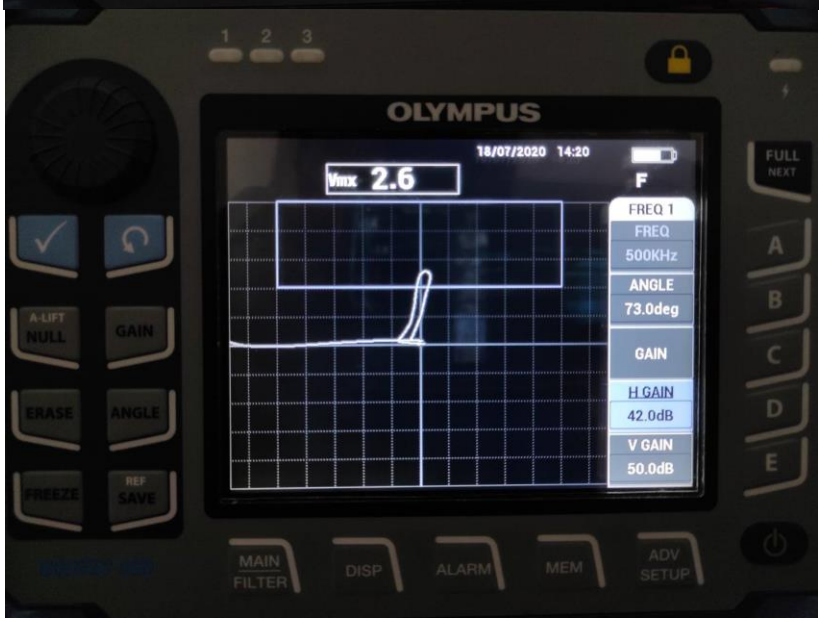
OLYMPUS
18/07/2020 14:06
Vmx 1.1
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

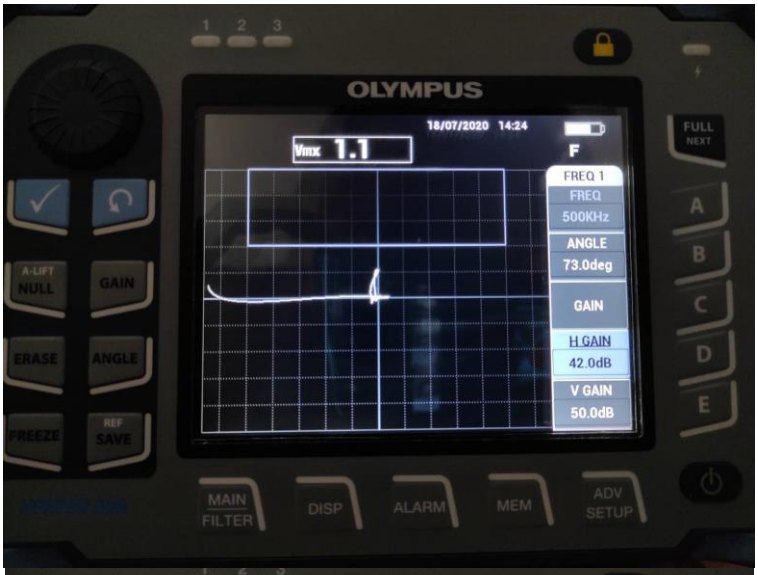
OLYMPUS
18/07/2020 14:09
Vmx 1.9
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

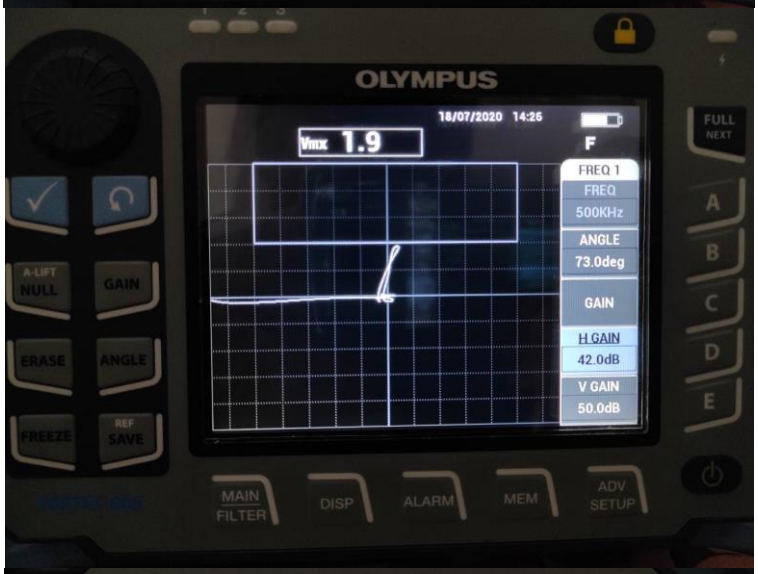
OLYMPUS
18/07/2020 14:12
Vmx 2.4
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

OLYMPUS
18/07/2020 14:16
Vmx 1.1
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

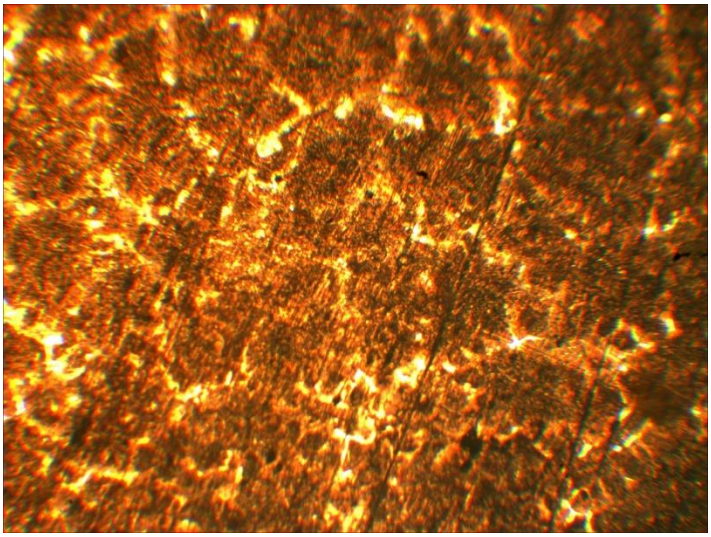

OLYMPUS
18/07/2020 14:18
Vmx 1.9
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

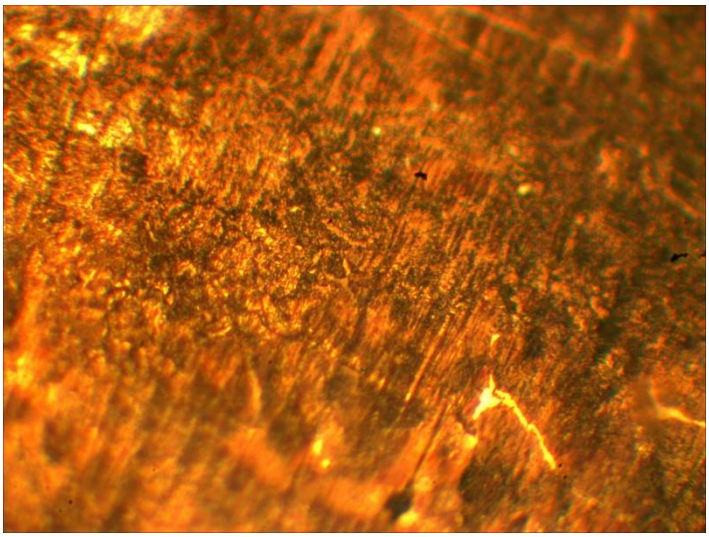

OLYMPUS
18/07/2020 14:20
Vmx 2.6
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E


OLYMPUS
18/07/2020 14:24
Vmx 1.1
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E


OLYMPUS
18/07/2020 14:26
Vmx 1.9
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E

OLYMPUS
18/07/2020 14:27
Vmx 2.6
F
FREQ 1
FREQ
500KHz
ANGLE
73.0deg
GAIN
H GAIN
42.0dB
V GAIN
50.0dB
A-LIFT NULL
GAIN
ERASE
ANGLE
FREEZE
REF SAVE
MAIN FILTER
DISP
ALARM
MEM
ADV SETUP
FULL NEXT
A
B
C
D
E





# BIODATA PENULIS

Steven Johanes Elia adalah nama lengkap penulis yang dilahirkan di Jakarta pada 11 November 1998. Dibesarkan di Jakarta, penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dengan orang tua Fredyanta Elia dan Rosdiana. Penulis memulai pendidikan formal di TK Santa Maria Jakarta dan dilanjutkan bersekolah di SD Strada St. Petrus di Jakarta. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan SMP di SMPK Tunas Bangsa sampai dengan SMA di SMAK Tunas Bangsa Jakarta. Pada tahun 2016 penulis mendapatkan pendidikan di perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang mengambil jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama masa pendidikan perguruan tinggi di Jurusan Teknik Perkapalan, penulis mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan berupa panitia SAMPAN 10 dan SAMPAN 11, panitia di PMK ITS sebagai divisi pemuridan dan juga mengikuti kegiatan LKMM Pra-TD dan LKMM TD. Penulis juga pernah melakukan Kerja Praktik di PT Janata Marina Indah Semarang dan juga PT Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Jakarta Utara. Penulis juga membuat Tugas Akhir yang berjudul " Analisis Kemampuan Pendeteksian Pengujian *Eddy Current Testing* (ECT) Terhadap *Crack* Pada *Bollard* Dengan Bahan *Casting*"

E-mail : Stevenjohanes11@gmail.com