



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENDETEKSIAN PANJANG DAN KEDALAMAN
RETAK PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM
5083 DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE
*EDDY CURRENT TESTING (ECT)***

**I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha
NRP 0411154000075**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENDETEKSIAN PANJANG DAN KEDALAMAN
RETAK PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM
5083 DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE
*EDDY CURRENT TESTING (ECT)***

**I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha
NRP 0411154000075**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 141581

**ANALYSIS DETECTABILITY OF LENGTH AND CRACK
DEPTH IN A WELD JOINT OF 5083 ALUMINIUM
MATERIAL AT THE MACHINERY FOUNDATION WITH
EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD**

**I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha
NRP 0411154000075**

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

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENDETEKSIAN PANJANG DAN KEDALAMAN RETAK PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM 5083 DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

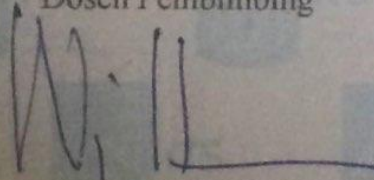
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

I GUSTI AGUNG ADITYA ARY NUGRAHA
NRP 04111540000075

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Departemen Teknik Perkapalan



SURABAYA, 4 NOVEMBER 2019

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENDETEKSIAN PANJANG DAN KEDALAMAN RETAK PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM 5083 DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 4 November 2019

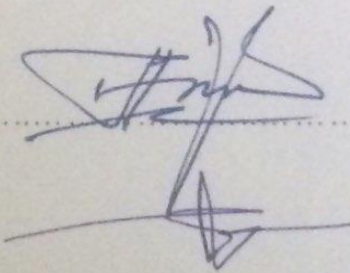
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

I GUSTI AGUNG ADITYA ARY NUGRAHA
NRP 04111540000075

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.

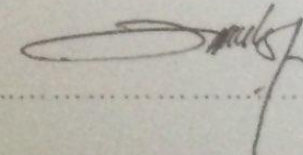


.....

2. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.

.....

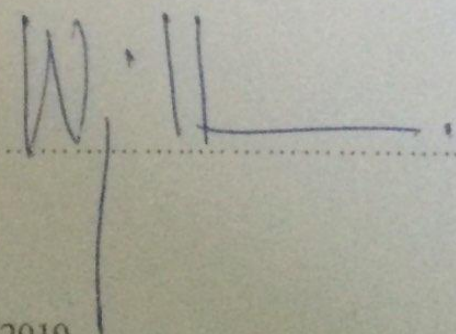
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



.....

SURABAYA, 4 NOVEMBER 2019

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. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium.
3. Seluruh dosen di Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu-ilmu yang telah diberikan selama kuliah.
4. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Yanto, Mas Joko, Pak Fayril yang selalu siap membantu kapan pun pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Aminudin, selaku *Welder* yang memberikan bantuan proses pengelasan untuk Tugas Akhir ini.
6. Keluarga di rumah terutama untuk orang tua saya: Ir. I Gusti Made Wijata dan Ir. I Gusti Ayu Suryani yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat, dan kasih sayang yang tidak pernah bisa terbalaskan.
7. Raka Navy, Tridanto, dan seluruh keluarga besar “SAMUDRAKSA P-55” atas dukungan, bantuan, dan tawa yang selalu dihadirkan selama bangku kuliah.

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, November 2019

I Gusti Agung Aditya Ary N

ANALISIS PENDETEKSIAN PANJANG DAN KEDALAMAN RETAK PADA SAMBUNGAN LAS MATERIAL ALUMINIUM 5083 DI PONDASI MESIN KAPAL DENGAN METODE *EDDY CURRENT TESTING* (ECT)

Nama Mahasiswa : I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha
NRP : 0411154000075
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Material seringkali mengalami kerusakan atau retak yang diakibatkan oleh proses pengelasan, salah satunya pada sambungan las di pondasi mesin kapal. Pada daerah tersebut dibutuhkan kualitas konstruksi yang baik. Namun, seringkali retak tidak disadari, baik oleh pihak galangan maupun *owner*. Retak tersebut dapat diperiksa dengan metode *Eddy Current Testing*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sensitivitas dari *Eddy Current Testing* (ECT) dengan menggunakan variasi dimensi retak pada sambungan las material aluminium 5083. Penelitian ini menggunakan lima buah *test piece* material aluminium 5083 dengan masing-masing material berukuran 150 mm x 160 mm x 10 mm. Tiap material tersebut disambungkan dengan cara dilas. Retak buatan dibuat dengan menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan variasi panjang dan kedalaman retak dengan 5 retak tiap *test piece*. Variasi panjang retak yang digunakan yaitu: 5.0 mm, 6.0 mm, 7.0 mm, dan 10.0 mm. Untuk variasi kedalaman retak yang digunakan yaitu: 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm. Dengan menggunakan pengaturan parameter pengujian sebagai berikut. *H Gain / V Gain* : 56.8 / 60.0; *Frequency* : 30 kHz; *Dsp Mode* : Sweep; *Sweep Time* : 1.5 s; *H Pos / V Pos* : 50% / 30%, didapatkan hasil tinggi dan panjang rata-rata indikasi sinyal retak pada penelitian ini adalah sebagai berikut. Untuk kedalaman retak 0.5 mm tinggi indikasi sinyal retaknya 3.7 mm; kedalaman 1.0 mm adalah 4.0 mm; kedalaman 1.5 mm adalah 8.0 mm; dan kedalaman 2.0 mm adalah 11.2 mm. Untuk panjang retak 5.0 mm panjang indikasi sinyal retaknya 5.5 mm; panjang 6.0 mm adalah 7.0 mm; panjang 7.0 mm adalah 7.9 mm; dan panjang 10.0 mm adalah 10.9 mm. *Eddy Current Testing* memiliki presentase tingkat ketelitian sebesar 75.7 %.

Kata kunci: Aluminium 5083, *Eddy Current Testing*, Retak

ANALYSIS DETECTABILITY OF LENGTH AND CRACK DEPTH IN A WELD JOINT OF 5083 ALUMINIUM MATERIAL AT THE MACHINERY FOUNDATION WITH EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD

Author : I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha
Student Number : 04111540000075
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Materials often experience damage or cracks caused by the welding process, for example is a crack in the welded joint at the ship engine foundation. In this area, good construction quality is needed. However, the presence of cracks is often not realized by the shipyard or owner. The crack can be detected using the Eddy Current Testing method. The purposes of this study is to analyze the sensitivity of Eddy Current Testing (ECT) uses variations in crack dimensions in 5083 aluminum material welded joints. This study uses five pieces of welded 5083 aluminum sample with dimension of 150 mm x 160 mm x 10 mm. Each material is welded joint. Artificial cracks are made using Electrical Discharge Machining (EDM) with variations in length and depth with 5 cracks per sample. The variations in crack length are: 5 mm, 6 mm, 7 mm, and 10 mm. Variations in crack depth are: 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, and 2 mm. By using the test parameter settings as follows. H Gain / V Gain : 56.8 dB / 60.0 dB; Frequency : 30 kHz; Dsp Mode : Sweep; Sweep Time : 1.5 s; H Pos / V Pos : 50% / 30%, the results of average crack indication height shows that: for a crack depth of 0.5 mm is 3.7 mm; a depth of 1.0 mm is 4.0 mm; a depth of 1.5 mm is 8.0 mm; and a depth of 2.0 mm is 11.2 mm. For a crack length of 5.0 mm is 5.5 mm; a length of 6.0 mm is 7.0 mm; a length of 7.0 mm is 7.9 mm; and a length of 10.0 mm is 10.9 mm. Eddy Current Testing has an accuracy rate of 75.7 %.

Keywords: Aluminium 5083, Eddy Current Testing, Crack

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI.....	ii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	1
I.3. Tujuan.....	1
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	2
I.6. Hipotesis.....	2
Bab II STUDI LITERATUR	4
II.1. Dasar Teori.....	4
II.1.1. Pengujian <i>Eddy Current</i>	4
II.1.2. Prinsip Pengujian <i>Eddy Current</i>	5
II.1.3. Aplikasi Pengujian <i>Eddy Current</i>	5
II.1.4. Kelebihan dan Kekurangan Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	6
II.1.5. Faktor-Faktor Penting Dalam Pengujian <i>Eddy Current</i>	7
II.1.6. Kumpulan Pemeriksaan <i>Eddy Current</i>	9
II.1.7. Kedalaman Penembusan.....	12
II.1.8. Kedalaman Penembusan Standar.....	13
II.1.9. Aluminium.....	14
II.1.10. GMAW	15
II.1.11. <i>Electrical Discharge Machine</i> (EDM).....	17
II.2. Tinjauan Pustaka	18
II.2.1. Kemampuan <i>Scanning</i> Indikasi Retak Berdasarkan Variasi Panjang Dan Kedalaman Retak.....	18
Bab III METODOLOGI	22
III.1. Persiapan Penelitian	22
III.2. Persiapan Material Dan Alat	23
III.3. Pengujian <i>Eddy Current</i>	35
Bab IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
IV.1. Hasil Pengujian Pada <i>Test Piece</i> 1	41
IV.2. Hasil Pengujian Pada <i>Test Piece</i> 2	42
IV.3. Hasil Pengujian Pada <i>Test Piece</i> 3	43
IV.4. Hasil Pengujian Pada <i>Test Piece</i> 4	44
IV.5. Hasil Pengujian Pada <i>Test Piece</i> 5	45
IV.6. Perbandingan Hasil Sinyal Retak.....	47

IV.6.1.	Sinyal Retak Berdasarkan Kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm.....	47
IV.6.2.	Sinyal Retak Berdasarkan Panjang 5 mm, 6 mm, 7 mm, 10 mm	50
IV.7.	Pembahasan.....	54
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
V.1.	Kesimpulan.....	61
V.2.	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....		64
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Alat <i>Eddy Current Testing</i>	4
Gambar II.2 Diagram Bidang Impedansi Kurva Untuk Konduktivitas Listrik dan <i>Lift-off</i>	8
Gambar II.3 <i>Probe Coils</i>	9
Gambar II.4 <i>Probe Coils</i>	10
Gambar II.5 <i>Encircling Coils</i>	10
Gambar II.6 <i>Bobbin Coils</i>	11
Gambar II.7 Konfigurasi Pengujian Kumputan Untuk Pengujian Arus Eddy Dari Tabung Berdiameter Kecil.....	12
Gambar II.8 Variasi Massa Jenis Pada Arus Eddy.....	12
Gambar II.9 Standard Kedalaman Penembusan Berbanding Frekuensi Pada Berbagai Tipe Material.....	13
Gambar II.10 Pelat Aluminium	15
Gambar II.11 Proses Pengelasan GMAW	16
Gambar II.12 Proses <i>Electrical Discharge Machine</i>	18
Gambar II.13 Grafik Tinggi Rata-Rata Indikasi Retak Dari Garis <i>Lift-off</i>	19
Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	22
Gambar III.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)	23
Gambar III.3 Dimensi <i>Test Piece</i> Aluminium.....	24
Gambar III.4 <i>Test Piece</i> Aluminium Sebelum Pengelasan	24
Gambar III.5 Blok Kalibrasi	25
Gambar III.6 <i>Probe</i> Pengujian yang Akan Digunakan.....	26
Gambar III.7 <i>Eddy Current Testing Machine</i> yang Akan Digunakan.....	26
Gambar III.8 Sudut Bevel yang Direncanakan.....	27
Gambar III.9 Proses Pembuatan Bevel.....	27
Gambar III.10 Proses Pembuatan <i>Stopper</i>	28
Gambar III.11 Persiapan Pengelasan.....	28
Gambar III.12 Proses Pengelasan.....	29
Gambar III.13 Proses Penghalusan dan Pengurangan <i>Capping</i>	30
Gambar III.14 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi I	31
Gambar III.15 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi II.....	32
Gambar III.16 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi III.....	32
Gambar III.17 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi IV	33
Gambar III.18 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi V	33
Gambar III.19 Tampilan Mesin EDM	34
Gambar III.20 Tampilan Layar Monitor EDM.....	34
Gambar III.21 Proses Pembuatan <i>Crack</i> Dengan Mesin EDM.....	35
Gambar III.22 Hasil <i>Crack</i> Dengan Menggunakan Mesin EDM.....	35
Gambar IV.1 Hasil <i>Scanning</i> pada Blok Kalibrasi.....	40
Gambar IV.2 Hasil <i>Screenshot</i> Sinyal Retak pada <i>Test Piece</i> 1	41
Gambar IV.3 Hasil <i>Screenshot</i> Sinyal Retak pada <i>Test Piece</i> 2	42
Gambar IV.4 Hasil <i>Screenshot</i> Sinyal Retak pada <i>Test Piece</i> 3	43
Gambar IV.5 Hasil <i>Screenshot</i> Sinyal Retak pada <i>Test Piece</i> 4	44
Gambar IV.6 Hasil <i>Screenshot</i> Sinyal Retak pada <i>Test Piece</i> 5	45

Gambar IV.7 Keterangan Indikasi Retak Buatan pada Kelima <i>Test Piece</i>	46
Gambar IV.8 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 0.5 mm	47
Gambar IV.9 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 1.0 mm	48
Gambar IV.10 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 1.5 mm	48
Gambar IV.11 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 2.0 mm	49
Gambar IV.12 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 5 mm.....	50
Gambar IV.13 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 6 mm.....	51
Gambar IV.14 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 7 mm.....	52
Gambar IV.15 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 10 mm.....	53
Gambar IV.16 Grafik Rata-Rata Tinggi Indikasi Sinyal Retak.....	56
Gambar IV.17 Grafik Rata-Rata Panjang Indikasi Sinyal Retak	57

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Data Tinggi Rata-Rata Tinggi Indikasi Retak Dari Garis <i>Lift-off</i>	19
Tabel III-1 Referensi Dimensi <i>Crack</i>	30
Tabel III-2 Referensi Dimensi <i>Crack</i> (Lanjutan).....	31
Tabel III-3 Variasi I <i>Crack</i> Yang Akan Digunakan.....	31
Tabel III-4 Variasi II <i>Crack</i> yang Akan Digunakan	32
Tabel III-5 Variasi III <i>Crack</i> yang Akan Digunakan.....	32
Tabel III-6 Variasi IV <i>Crack</i> yang Akan Digunakan.....	33
Tabel III-7 Variasi V <i>Crack</i> yang Akan Digunakan.....	33
Tabel IV-1 Hasil <i>Scanning</i> pada Blok Kalibrasi.....	40
Tabel IV-2 Hasil <i>Scanning</i> pada <i>Test Piece</i> 1	41
Tabel IV-3 Hasil <i>Scanning</i> pada <i>Test Piece</i> 2	42
Tabel IV-4 Hasil <i>Scanning</i> pada <i>Test Piece</i> 3	43
Tabel IV-5 Hasil <i>Scanning</i> pada <i>Test Piece</i> 4	44
Tabel IV-6 Hasil <i>Scanning</i> pada <i>Test Piece</i> 5	45
Tabel IV-7 Rekapitulasi Hasil Pengujian	46
Tabel IV-8 Tinggi Indikasi Sinyal Retak Dengan Kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm ,	50
Tabel IV-9 Panjang Indikasi Sinyal Retak Dengan Panjang 5 mm, 6 mm,7mm ,.....	54
Tabel IV-10 Jumlah Retak yang Terdeteksi	55
Tabel IV-11 Data Rata-Rata Tinggi Sinyal Indikasi Retak	56
Tabel IV-12 Data Rata-Rata Panjang Sinyal Indikasi Retak	57

DAFTAR SIMBOL

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Suatu material seringkali mengalami kerusakan akibat proses pengelasan. Kerusakan tersebut pada umumnya dapat terjadi di permukaan dan di bawah permukaan. Jika kerusakan terjadi di atas permukaan akan mudah dideteksi secara kasat mata atau visual. Namun beda halnya jika kerusakan tersebut terjadi di bawah permukaan material. Kerusakan akan sulit dideteksi dan akan menyebabkan kegagalan pada material tersebut. Maka dari itu diperlukan metode *Non Destructive Test* guna mendeteksi terjadinya kerusakan pada material. Sehingga segala dampak yang ditimbulkan dapat diminimumkan.

Pondasi mesin kapal berfungsi sebagai pengikat agar mesin induk tetap tegak pada posisinya dan agar mesin tetap menjadi satu kesatuan dengan kapal. Pondasi mesin tersebut memerlukan proses pengelasan dan tidak menutup kemungkinan akan mengalami retak pada daerah sambungan las. Namun seringkali tidak disadari oleh pihak galangan maupun *owner*. Retak tersebut dapat diperiksa dengan metode *Eddy Current Testing*.

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka dilakukan analisis pendeteksian panjang dan kedalaman retak pada sambungan las material aluminium 5083 di pondasi mesin kapal dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang masalah di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana tingkat sensitivitas dari metode *Eddy Current Testing* (ECT) terhadap sambungan las pada material aluminium 5083 dengan variasi panjang dan kedalaman retak.

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui sensitivitas pendeteksian dengan variasi panjang dan kedalaman retak pada bagian yang dilas pada material aluminium 5083 dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

I.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah :

- Material yang digunakan adalah aluminium 5083 dengan ukuran 150 mm x 160 mm x 10 mm sebanyak 5 *test piece*
- Diberikan pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) di tengah *test piece* uji
- Pembentukan retak pada setiap *test piece* uji sebanyak 5 retak buatan dengan menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan variasi kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm dan panjang 5 mm, 6 mm, 7 mm dan 10 mm
- Metode pengujian menggunakan *Eddy Current Testing*
- Frekuensi *probe* yang digunakan yaitu 30 kHz

I.5. Manfaat

Hasil dari Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagai referensi dalam mengetahui pengaruh pengelasan terhadap kemampuan pendeteksian panjang dan kedalaman retak pada material aluminium 5083 dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

I.6. Hipotesis

Hipotesis dari Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan retak yang panjang dan kedalamannya lebih besar maka akan lebih mudah terdeteksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Dasar teori menjelaskan tentang pengertian dan acuan yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Dasar teori yang akan digunakan pada tugas akhir ini meliputi prinsip pengujian *eddy current*, aplikasi pengujian *eddy current*, kelebihan dan kekurangan pengujian *eddy current*, faktor-faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengujian *eddy current*, dan jenis-jenis kumparan (*probe*) pada *eddy current*.

II.1.1. Pengujian *Eddy Current*

Eddy Current Inspection merupakan pengujian yang berdasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik dan digunakan untuk mengidentifikasi atau membedakan bermacam-macam kondisi secara fisik, struktur, dan *metalurgical* pada logam *ferromagnetic* dan *nonferromagnetic*. *Eddy Current Inspection* bisa digunakan untuk: (Nunes, 1989)

- Memastikan atau mengidentifikasi kondisi dan sifat-sifat seperti konduktivitas elektrik, permeabilitas magnetik, *heat treatment*, kekerasan, dan dimensi
- Mendeteksi *seams, laps, cracks, voids, dan inclusions*
- Membedakan macam-macam logam dan mendeteksi perbedaan masing-masing komposisi, struktur mikro, dan lain-lainnya
- Memastikan ketebalan *nonconductive coating* pada logam *conductive*, atau ketebalan *nonmagnetic metal coating* pada logam magnetik



Gambar II.1 Alat *Eddy Current Testing*

Sumber: www.olympus-ims.com

Karena *eddy current* menggunakan teknik elektromagnetik induksi, metode inspeksi tidak perlu menggunakan kontak listrik secara langsung dengan bagian yang akan diinspeksi. Metode *eddy current* mudah beradaptasi dengan inspeksi yang menggunakan kecepatan tinggi dan, karena *eddy current* ini *nondestructive*, dapat digunakan untuk menginspeksi seluruh output produksi yang diinginkan. Metode ini berdasarkan pada pengukuran secara tidak langsung, dan korelasi antara instrumen pembaca dan karakteristik struktur dan serviceability pada bagian yang diinspeksi harus dilakukan secara hati-hati dan diulang berkali-kali. (Nunes, 1989)

II.1.2. Prinsip Pengujian Eddy Current

Pengujian arus eddy didasarkan pada prinsip elektromagnetik. “Induksi elektromagnetik” adalah prinsip dasar bagi pembangkitan arus listrik yaitu suatu prinsip yang mengakibatkan sebuah motor listrik berputar, dan kini menjadi prinsip dasar penggunaan suatu metoda pengujian tanpa merusak. Kata “elektromagnetik” bermakna penggunaan listrik dan magnet. “Induksi” adalah kata dasar dari “menginduksikan” yang artinya “untuk membawa” atau “mengakibatkan”. Pada kenyataannya, dalam kondisi tertentu, aliran listrik dapat mengakibatkan magnetisme, dan pada kondisi tertentu, magnetisme dapat mengakibatkan timbulnya aliran listrik. Secara singkat, pengujian arus eddy melibatkan penggunaan medan magnet yang berubah arah yang dihasilkan oleh kumparan pengujian guna menginduksikan arus kecil melingkar yang dinamakan arus eddy ke dalam material penghantar listrik. Sifat-sifat tertentu di dalam material mempengaruhi arus eddy yang diinduksikan. Arus eddy sendiri menimbulkan medan magnet yang berinteraksi dengan medan magnet kumparan sedemikian rupa hingga impedansi kumparan berubah. Sembarang perubahan pada arus eddy dicerminkan oleh perubahan impedansi kumparan pengujian. Karena impedansi kumparan pengujian dapat dimonitor oleh instrumen, faktor apapun yang timbul pada material yang diuji yang mempengaruhi arus eddy dapat dideteksi. (Nunes, 1989)

II.1.3. Aplikasi Pengujian Eddy Current

Pengaplikasian arus eddy secara umum dapat dibagi lagi menjadi aplikasi yang melibatkan pengukuran perbedaan sifat fisik, seperti cacat dan ketebalan, aplikasi yang melibatkan pengukuran parameter yang lebih mengarah pada konduktivitas, seperti kekerasan, atau aplikasi yang melibatkan perubahan permeabilitas pada bagian feromagnetik. Ini bukan subdivisi yang jelas karena parameter fisik juga mempengaruhi impedansi kumparan dan

konduktivitas material. Perlakuan panas juga mempengaruhi konduktivitas di bagian nonferromagnetik dan permeabilitas di bagian ferromagnetik. Aplikasi yang melibatkan parameter fisik pertama dan permeabilitas terakhir adalah: (Mix, 2005)

1. Mendeteksi dan menentukan tingkat keparahan berbagai retakan permukaan (tegangan, pengerasan, dll), jahitan las, *laps*, lubang, keropeng, porositas, rongga, inklusi, dan perak
2. Mengukur kecacatan pada material yang berkomposisi grafit, aluminium dan titanium
3. Mendeteksi dan mengukur aliran pada suatu lubang
4. Mengukur ketebalan cat dan plat dan mengukur lapisan *non conductive coating* pada material konduktif
5. Mengukur ketebalan lembaran konduktif non magnetik dan mengukur perbedaan dimensi pada bagian yang kerjakan
6. Menentukan integritas dari kabel kawat dan dapat mendeteksi bagian kabel yang rusak
7. Mendeteksi logam yang diinginkan atau yang tidak diinginkan dalam bahan non magnetik

II.1.4. Kelebihan dan Kekurangan Pengujian *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

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 penetrasi 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

II.1.5. Faktor-Faktor Penting Dalam Pengujian Eddy Current

Ada beberapa fakto-faktor penting yang harus diperhatikan selama menjalani pengujian *eddy current* yang meliputi sebagai berikut:

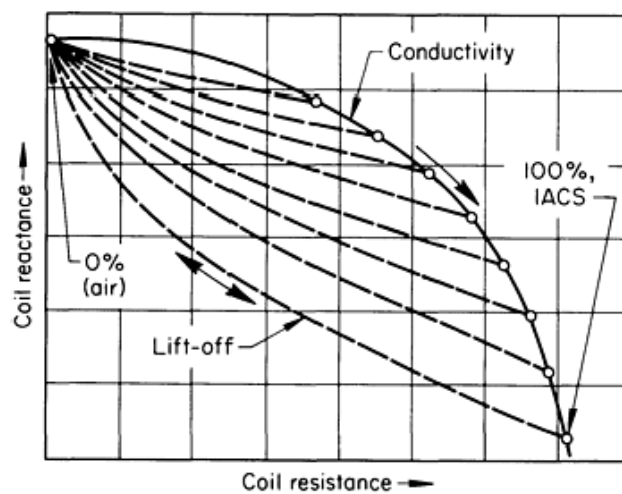
- Konduktivitas Listrik

Semua material memiliki karakteristik untuk tahan terhadap aliran listrik. Material dengan resistivitas yang tertinggi diklasifikasikan sebagai isolator, sedangkan yang memiliki resistivitas menengah diklasifikasikan sebagai semikonduktor, dan material yang memiliki resistivitas yang rendah diklasifikasikan sebagai konduktor. Material yang memiliki sifat konduktor, memiliki ketertarikan terbesar dalam inspeksi arus eddy. Dalam inspeksi arus eddy saat ini, pengukuran yang sering dilakukan didasarkan pada *International Annealed Cooper Standard*. Dalam sistem ini, tembaga yang tidak terikat memiliki nilai mencapai 100%, dan konduktivitas lainnya serta paduan lainnya dinyatakan sebagai presentase dari standar ini. Dengan demikian, konduktivitas aluminium yang murni dinilai 61% IACS, atau 61% dari tembaga murni. Banyak faktor yang mempengaruhi konduktivitas logam, terutama suhu, komposisi, *heat treatment* dan hasil struktur mikro, ukuran butir, kekerasan, dan tegangan sisa. Sebaliknya, arus eddy dapat digunakan untuk memantau komposisi dan berbagai karakteristik metalurgi, asalkan pengaruhnya terhadap konduktivitas cukup. (Nunes, 1989)

- Frekuensi

Ketika kumparan inspeksi *probe* terpasang pada instrumen inspeksi yang sesuai, itu memberikan beberapa indikasi saat melakukan pengetesan. Indikasi awal akan dimulai saat kumparan dipindahkan lebih dekat ke konduktor. Karena bidang kumparan terkuat dekat dengan kumparan, perubahan yang ditunjukkan pada instrumen akan terus meningkat pada laju yang lebih cepat sampai kumparan secara langsung menyentuh konduktor. Perubahan dalam indikasi dengan perubahan jarak antara kumparan dengan konduktor atau bagian yang diperiksa disebut *lift-off*. Efek *lift-off* begitu jelas hingga

variasi kecil dalam jarak dapat menutupi banyak indikasi yang dihasilkan. Efek *lift-off* juga memberikan kesulitan dalam melakukan inspeksi yang memerlukan pemindaian bagian yang memiliki bentuk kompleks. Perubahan impedansi kumparan dengan *lift-off* dapat diturunkan dari diagram bidang impedansi. Ketika kumparan berada jauh dari konduktor, impedansi berada pada titik di ujung atas kurva di paling kiri. Ketika kumparan mendekati konduktor, impedansi bergerak ke arah yang ditunjukkan oleh garis putus-putus sampai kumparan mengalami kontak dengan konduktor. Ketika kontak terjadi, impedansi berada pada titik yang sesuai dengan impedansi sebagian sesuai dengan yang diperiksa, yang dalam hal ini mewakili konduktivitasnya. (Nunes, 1989)



Gambar II.2 Diagram Bidang Impedansi Kurva Untuk Konduktivitas Listrik dan *Lift-off*

Sumber: (Nunes, 1989)

- *Lift-Off*

Saat sebuah kumparan permukaan dialiri arus dan ditahan di udara di atas sebuah penghantar, impedansi kumparan memiliki nilai tertentu. Saat kumparan digerakkan mendekati penghantar, nilai awal akan berubah ketika medan magnet kumparan mulai mengenai penghantar. Karena medan magnet kumparan paling kuat di dekat kumparan, nilai impedansi akan terus berubah hingga kumparan menempel di atas penghantar. Sebaliknya, saat kumparan berada di atas penghantar, adanya variasi jarak yang kecil antara kumparan dan penghantar akan mengubah impedansi kumparan. Pengaruh *lift-off* sangat nyata karena variasi jarak yang kecil dapat menutupi banyak indikasi. (Nunes, 1989)

II.1.6. Kumparan Pemeriksaan *Eddy Current*

Kumparan pemeriksaan pada *Eddy Current* dapat dikategorikan menjadi tiga jenis kumparan, yaitu : *Probe Coils*, *Bobbin Coils*, dan *Encircling Coils*

- *Probe Coils*

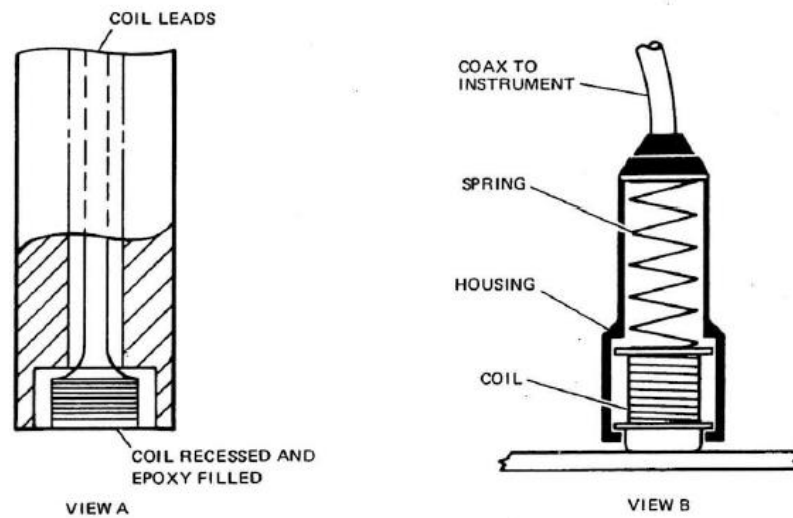
Probe coils menyediakan metode pemeriksaan yang mudah pada permukaan suatu material yang akan diuji. Gambar II.3 dibawah menunjukkan contoh satu set *probe coils* yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan.



Gambar II.3 Probe Coils

Sumber: (Sadek, 2006)

Probe coils dapat dibentuk agar sesuai dengan geometris tertentu untuk memecahkan masalah inspeksi yang kompleks. Sebagai contoh, *probe coils* yang dibuat dalam bentuk pensil digunakan untuk memeriksa area berulir dari kancing dan mur pemasangan atau area bergerigi dari roda turbin dan rakitan bilah turbin. Saat menggunakan resolusi yang tinggi, pemeriksaan pada permukaan suatu material harus dilakukan secara hati-hati untuk memastikan cakupan pemeriksaan sudah lengkap. (Sadek, 2006)

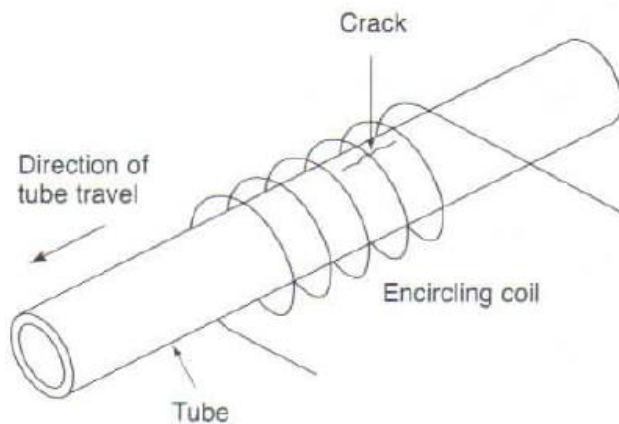


Gambar II.4 Probe Coils

Sumber: (Cox, 1997)

- *Encircling Coils*

Encircling coils, *outside diameter coils*, dan *feed through coils* adalah istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan kumparan yang mengelilingi benda uji.



Gambar II.5 Encircling Coils

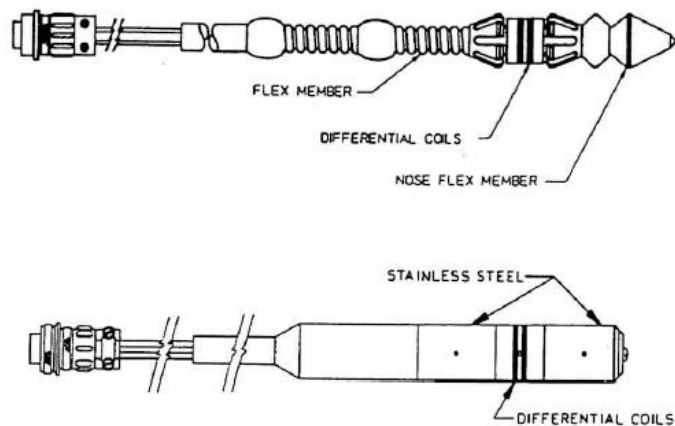
Sumber: (Sadek, 2006)

Encircling coils terutama digunakan untuk memeriksa produk berbentuk tabung dan batang. Volume material yang diperiksa lebih besar menggunakan *Encircling coils* dari *Probe coils*. Oleh karena itu, sensitivitas dari *probe coils* relatif lebih rendah. Saat menggunakan *encircling coils*, sangat penting untuk memastikan bahwa material yang akan diuji berada di tengah-tengah kumparan. Jika material uji tidak berada di tengah-tengah kumparan, maka respon dari diskontinuitas akan sulit untuk diperoleh. Untuk memastikan pemusatan yang tepat, harus menjalankan standar kalibrasi beberapa kali,

setiap kali mengindeks diskontinuitas buatan ke lokasi melingkar baru dalam kumparan. Dalam semua skema deteksi diskontinuitas, penting untuk memilih frekuensi yang sesuai, menyesuaikan parameter tampilan system dan memastikan bahwa tabung sudah dipusatkan pada kumparan setiap saat untuk mencapai sensitivitas uji yang optimal. (Sadek, 2006)

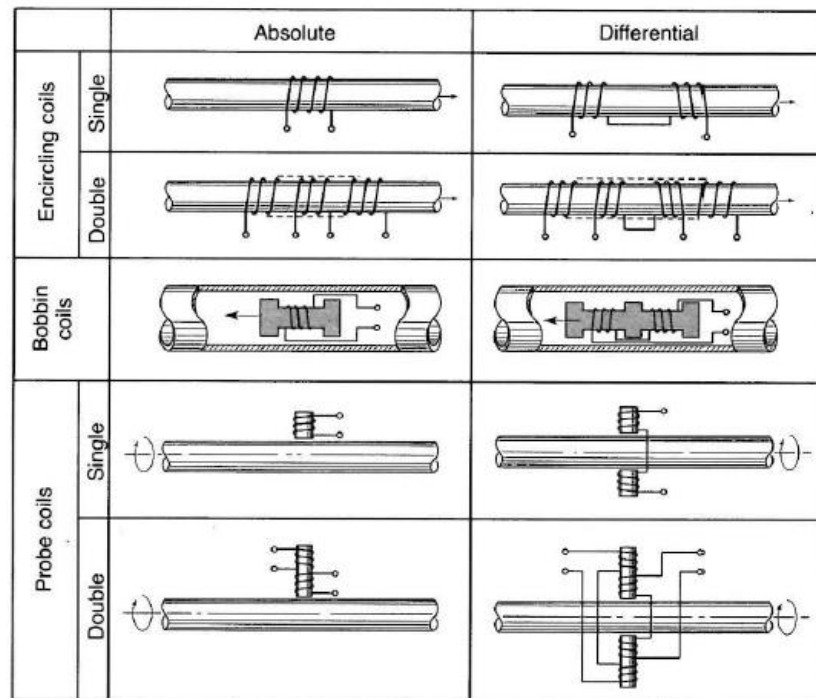
- *Bobbin Coils*

Bobbin coil, *inside diameter coil* dan *inside probe* adalah sebutan yang sering digunakan untuk melakukan inspeksi dari diameter dalam atau lubang benda uji. *Bobbin coil* dimasukkan dan ditarik dari tabung dengan diameter dalam yang panjang dan semifleksibel atau hanya ditiup dengan udara dan diambil dengan kabel tarik yang terpasang.



Gambar II.6 Bobbin Coils
Sumber: (Cox, 1997)

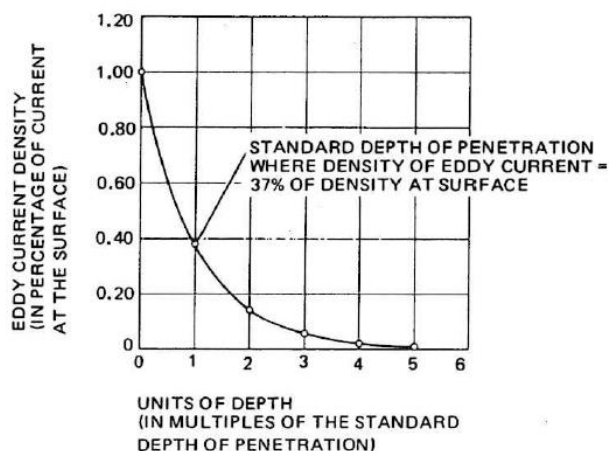
Probe coils, *Encircling coils*, dan *Bobbin coils* dibagi menjadi beberapa klasifikasi. Klasifikasi tersebut ditentukan dengan cara bagaimana kumparan dan elektrik terhubung. Klasifikasi tersebut dibagi menjadi tiga, yaitu : *absolute*, *differential*, dan *hybrid*. (Sadek, 2006)



Gambar II.7 Konfigurasi Pengujian Kumparan Untuk Pengujian Arus Eddy Dari Tabung Berdiameter Kecil
 Sumber: (Cox, 1997)

II.1.7. Kedalaman Penembusan

Penyebaran arus eddy sepanjang benda yang diperiksa tidak selalu seragam. Mereka lebih rapat pada permukaan di bawah kumparan dan semakin berkurang kerapatannya dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan material. Pada jarak tertentu di bawah permukaan material tebal, bahkan tidak ada arus yang mengalir. Gambar II.8 di bawah menunjukkan penyebaran arus eddy di dalam sebuah material.



Gambar II.8 Variasi Massa Jenis Pada Arus Eddy
 Sumber: (Hagemaier, 2002)

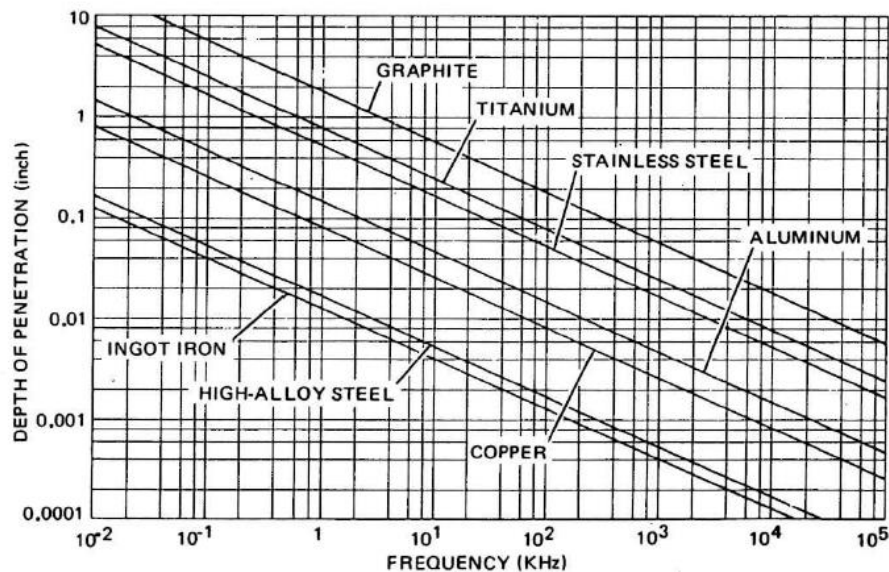
Adalah masuk akal jika berharap bahwa kedalaman penembusan akan bervariasi untuk material-material yang berbeda. Kedalaman penembusan dipengaruhi oleh konduktivitas dan permeabilitas material.

- Makin besar konduktivitas, semakin kecil penembusannya
- Makin tinggi permeabilitas, semakin kecil penembusannya

Keefektifan permeabilitas tidak berlaku untuk material-material nonferromagnetik. Saat menguji material nonferromagnetik, faktor permeabilitas tidak akan berpengaruh pada kedalaman penembusan jika benda uji dimagnetisasi hingga jenuh memakai kumparan DC yang terpisah. (Sadek, 2006)

II.1.8. Kedalaman Penembusan Standar

Kedalaman penembusan standar didefinisikan sebagai kedalaman dimana kerapatan arus eddy kurang lebih 37% kerapatannya di permukaan. Gambar II.9 dibawah memperlihatkan kedalaman penembusan standard dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda.



Gambar II.9 Standard Kedalaman Penembusan Berbanding Frekuensi Pada Berbagai Tipe Material

Sumber: (Hagemaier, 2002)

Grafik tersebut juga menunjukkan pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap kedalaman penembusan. Sebagai contoh, perhatikan bahwa kedalaman penembusan tembaga lebih kecil daripada kedalaman penembusan aluminium pada sembarang frekuensi. Hal tersebut dikarenakan tembaga adalah penghantar listrik yang lebih baik ketimbang aluminium.

Rumus kedalaman penembusan menggunakan hambatan, frekuensi, dan permeabilitas dinyatakan di bawah ini. (Hagamaier, 2002)

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_{rel}}} \quad (\text{II.1})$$

Dimana:

- δ = Kedalaman penembusan standar
- K = 50 (untuk millimeter) atau 1.98 (untuk inci)
- ρ = Resistivitas (micro-ohm-centimeter)
- f = Frekuensi (hertz)
- μ_{rel} = 1 (untuk material *nonferromagnetic*)

$$SDP = 2 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{II.2})$$

$$3 \times SDP = l/e_3 = 5\% = EDP \quad (\text{II.3})$$

Kedalaman penembusan “standar” dan “efektif” (SDP dan EDP) menunjukkan bagaimana arus eddy didistribusikan di dalam material dan seberapa kuat pengaruhnya pada daerah yang menjadi perhatian. Kedalaman penembusan standar juga dapat dihitung memakai rumus sebagai berikut. (Hagamaier, 2002)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (\text{II.4})$$

Dimana:

- δ = Kedalaman penembusan standar
- π = 3.14
- f = Frekuensi (hertz)
- μ = *Magnetic permeability* (H/m)
- σ = *Electric conductivity* (siemens per meter)

Arus eddy tidak terdistribusi secara merata pada material uji. Arus-arus eddy yang terbentuk cenderung rapat pada permukaan material uji yang paling dekat dengan kumparan (probe) dan menjadi semakin berkurang kerapatannya seiring dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan dari material uji tersebut. Pada beberapa jarak di bawah permukaan pada suatu material yang tebal, tidak terdapat arus eddy yang mengalir. Kedalaman penembusan sangat dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas dari material yang diuji. (Sadek, 2006)

II.1.9. Aluminium

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini

dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Karena hal ini maka penggunaan aluminium dan paduannya di dalam banyak bidang telah berkembang. Paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara, yaitu berdasarkan pembuatan, dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa, berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi, dapat dan tidak dapat diperlaku-panaskan dan cara yang ketiga yaitu berdasarkan unsur-unsur paduan. Berdasarkan klasifikasi ketiga ini aluminium dibagi dalam tujuh jenis yaitu jenis Al murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn. (Widharto, 2007)

Paduan Al-Mg seri 5000 merupakan jenis paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya. Paduan Al-Mg banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair. (Widharto, 2007)



Gambar II.10 Pelat Aluminium
Sumber: www.swagatsteel.co.in

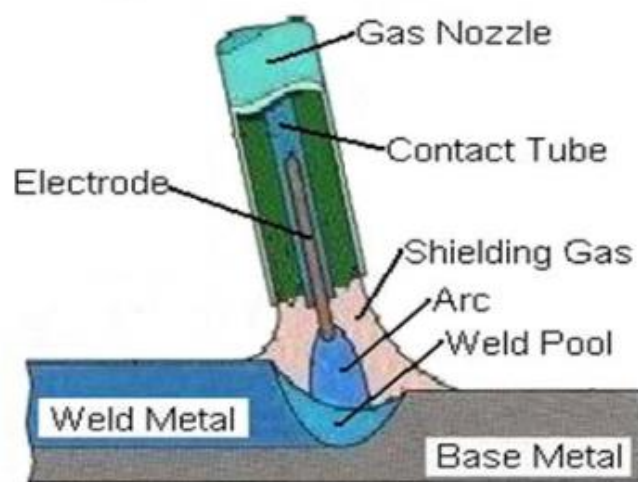
II.1.10. GMAW

Pengelasan adalah proses menggabungkan dua logam atau non-logam yang serupa dan tidak serupa dengan aplikasi panas dan tekanan, tetapi dalam beberapa kasus tanpa

penerapan tekanan proses telah dilakukan. Kawat pengisi digunakan untuk bergabung dengan logam dalam proses GMAW dengan bantuan *spool gun*. Pengelasan digunakan untuk membuat sambungan permanen. Ini digunakan untuk pembuatan suku cadang kendaraan bermotor, gerbong kereta api, rangka pesawat terbang, suku cadang mesin, tangki, pekerjaan struktural, *boiler*, perabot bangunan kapal dll. *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah proses pengelasan busur yang menghasilkan perpaduan logam oleh memanaskannya dengan busur antara elektroda logam pengisi yang terus menerus diumpankan dan pekerjaan. Busur dan kolam las dilindungi dari kontaminasi atmosfer dengan melewati gas yang sesuai melalui nosel untuk membentuk pelindung di sekitar area pengelasan. (Monika & Chauhan, 2017)

Beberapa parameter yang harus diperhatikan saat melakukan pengelasan, yaitu:
(Monika & Chauhan, 2017)

- Ukuran elektroda
- Alur pengelasan
- Tegangan las
- Kecepatan perjalanan busur las
- Posisi elektroda
- Laju aliran gas
- Jenis gas pelindung



Gambar II.11 Proses Pengelasan GMAW

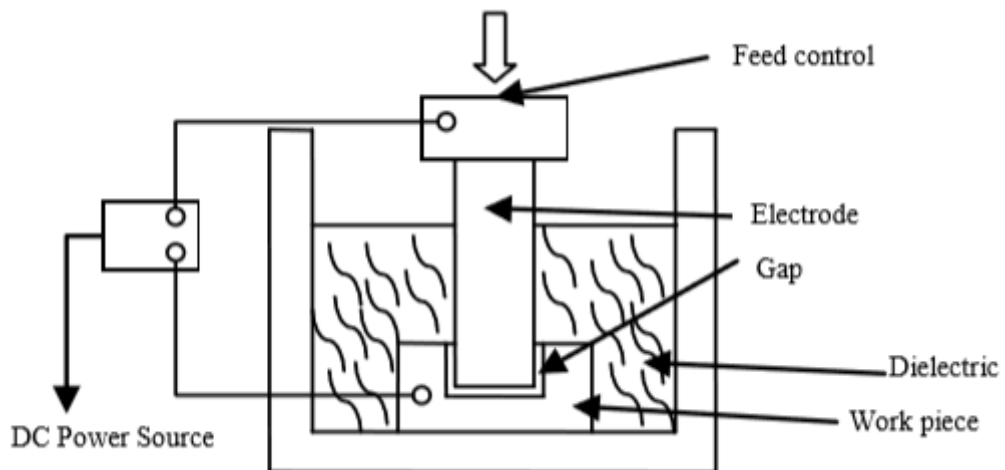
Sumber: (Monika & Chauhan, 2017)

Pengelasan dengan proses GMAW memiliki beberapa kelebihan, yaitu: (Cary, 2005)

- Faktor operasional tinggi
- Pemanfaatan yang tinggi dari logam pengisi (*filler metal*)
- Pembersihan slag yang minimal
- Pengurangan timbulnya asap dan uap saat pengoperasian

II.1.11. *Electrical Discharge Machine* (EDM)

Electrical Discharge Machine atau yang sering disingkat EDM adalah salah satu alat yang sering banyak digunakan untuk menghilangkan suatu area pada material. Ini adalah proses permesinan elektro-termal yang dimana energi listrik digunakan untuk menghasilkan percikan listrik dan proses penghilangan pada material terjadi akibat adanya percikan energi termal. *Electrical Discharge Machine* terdiri dari dua komponen utama, yaitu *machine tool* dan *power supply*. *Machine tool* memegang elektroda yang sudah dibentuk dan lalu maju ke benda kerja untuk membuat rongga sesuai dengan yang ingin dibentuk. Percikan listrik dihasilkan dari *power supply*. Ini menghasilkan serangkaian frekuensi tinggi pelepasan listrik antara elektroda dengan benda kerja yang menghilangkan logam dari benda kerja dengan erosi termal atau penguapan. Gambar II.12 menunjukkan pengaturan listrik dari proses permesinan listrik. *Machine tool* dianggap sebagai katoda dan sedangkan benda kerja dianggap sebagai anoda dan perbedaan potensial diterapkan antara *machine tool* dan benda kerja yang akhirnya mengarah pada percikan yang muncul. Karakteristik EDM yang sangat penting adalah bahwa baik *machine tool* dan benda kerja harus konduktif secara elektrik dan sepenuhnya direndam dalam media elektrik yang diberikan terus menerus oleh pompa seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.12. (Equbal & Sood, 2014)



Gambar II.12 Proses *Electrical Discharge Machine*

Sumber: (Equbal & Sood, 2014)

II.2. Tinjauan Pustaka

II.2.1. Kemampuan *Scanning* Indikasi Retak Berdasarkan Variasi Panjang Dan Kedalaman Retak

Pada pengujian yang dilakukan oleh (Mufti, 2016), terdapat beberapa kondisi yg dilakukan saat pengujian:

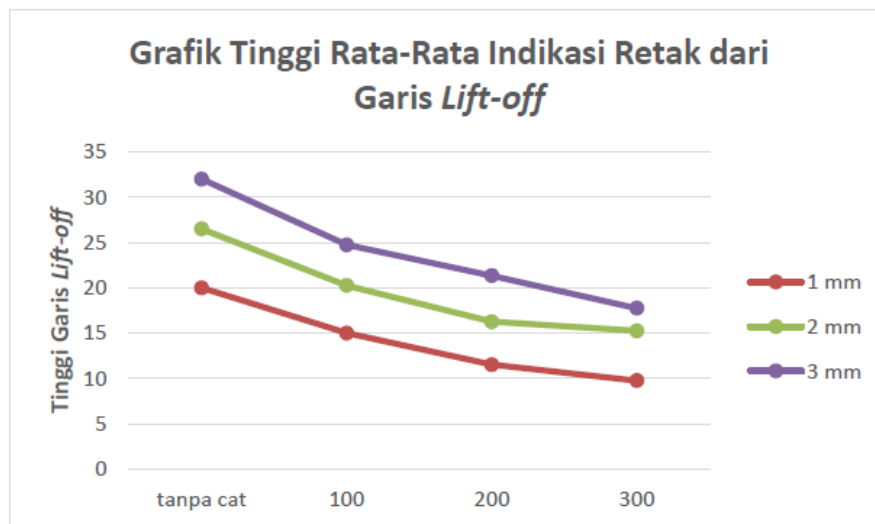
1. Panjang retak buatan adalah 10 mm dan 15 mm
2. Kedalaman retak buatan adalah 1 mm, 2 mm, 3 mm, dengan lebar 0.5 mm
3. Total retak buatan tiap spesimen adalah 12 buah
4. Permukaan *weld metal* tidak diratakan
5. Spesimen dilapisi cat dengan ketebalan 100 mikron, 200 mikron, 300 mikron, dan satu spesimen tanpa dilapisi cat
6. Menggunakan frekuensi 500 kHz
7. Menggunakan *right angle surface probe*
8. Pengujian dilakukan dengan menggeser *probe* di permukaan *weld metal* dan daerah *toe*

Telah didapatkan hasil rekapitulasi perbandingan antara tinggi indikasi *liff-off* masing-masing kedalaman retak terhadap empat spesimen yang disajikan dalam bentuk Tabel II-1.

Tabel II-1 Data Tinggi Rata-Rata Tinggi Indikasi Retak Dari Garis *Lift-off*

Kedalaman Retak	Tinggi rata-rata indikasi retak dari garis <i>lift-off</i> (mm)			
	Spesimen D Tanpa Cat	Spesimen A 100 mikron	Spesimen B 200 mikron	Spesimen C 300 mikron
1 mm	20.00	15.00	11.50	9.75
2 mm	26.50	20.25	16.25	15.25
3 mm	32.00	24.75	21.33	17.75

Dari keseluruhan data yang ditampilkan pada Tabel II-1 diatas dapat dilihat bahwa ketika *probe* melewati retak pada keempat spesimen uji engan kedalaman 1 mm akan menghasilkan tinggi indikasi retak dari garis *lift-off* yang terkecil. Kemudian tinggi indikasi retak akan membesar pada retak dengan kedalaman 2 mm dan tinggi indikasi retak dari garis *lift-off* yang terbesar dihasilkan pada retak dengan kedalamn 3 mm. Berikut adalah grafik yang dibuat melalui data pada Tabel II-1.



Gambar II.13 Grafik Tinggi Rata-Rata Indikasi Retak Dari Garis *Lift-off*

Gambar II.13 menampilkan grafik tinggi indikasi retak dari garis *lift-off* berdasarkan variasi ketebalan cat. Semakin besar nilai tinggi indikasi retak garis *lift-off* menunjukkan bahwa spesimen tersebut mengalami faktor kehilangan material (*wall lost*) yang lebih besar. Namun dari semua indikasi yang didapat pada pengujian dengan *Eddy Current Testing*, ukuran panjang indikasi retak tidak dapat ditentukan secara pasti, maka harus dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan metode NDT lainnya untuk hasil yang lebih akurat.

Kesimpulan yang didapat melalui pengujian yang dilakukan oleh (Mufti, 2016), metode *Eddy Current Testing* memiliki tingkat sensitivitas yang baik dalam mendeteksi

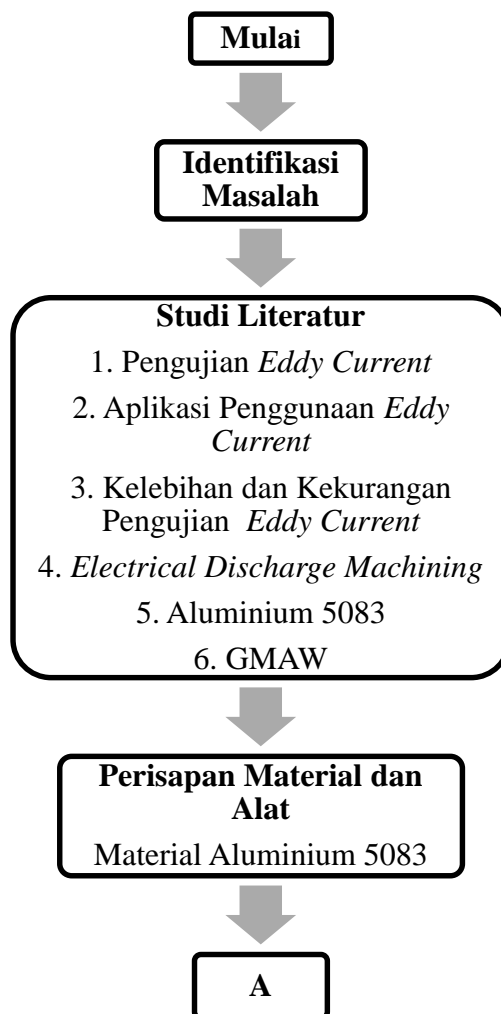
panjang dan kedalaman retak sambungan las di permukaan material. Semakin dalam suatu retak pada material maka tinggi indikasi retak dari garis *lift-off* akan semakin besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

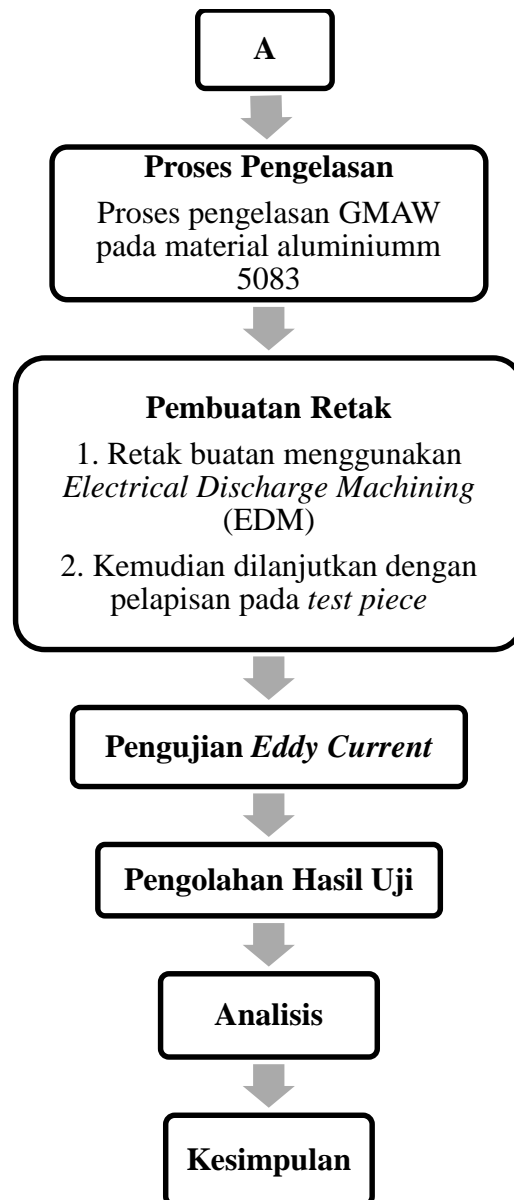
BAB III METODOLOGI

III.1. Persiapan Penelitian

Pada proses pengerjaan Tugas Akhir ini, perlu dilakukan beberapa persiapan-persiapan seperti: studi literatur, referensi dalam pengadaan material, referensi bengkel, dan lain-lain. Semua persiapan tersebut memiliki peranan penting dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Keseluruhan dalam pengerjaan Tugas Akhir dapat dijabarkan dalam bagan berikut ini.



Gambar III.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

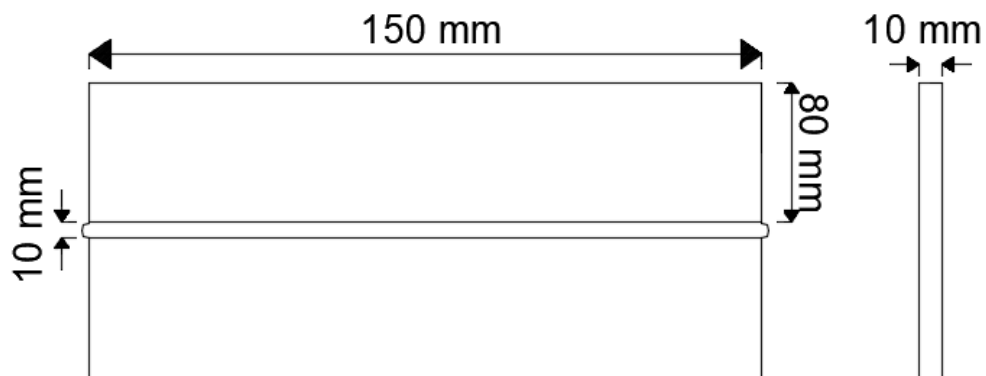


Gambar III.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

III.2. Persiapan Material Dan Alat

Pada tahap persiapan material, dilakukan proses pengadaan material yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini, sehingga bisa tercapai tujuan awal dari penelitian ini. Spesimen yang harus dipersiapkan pada Tugas Akhir ini berjumlah 10 buah pelat aluminium 5083 berukuran 150 mm x 160 mm x 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.3 dan Gambar III.4. Kemudian proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan GMAW dan menggunakan elektroda ER 5183. Setelah dilakukan pengelasan, material aluminium dihaluskan dengan menggunakan batu gerinda jenis *cutting wheel*. Lalu pada setiap *test piece* akan diberikan

retak buatan dengan dimensi yang bervariasi. Ukuran panjang retaknya yaitu 5 mm, 6 mm, 7 mm, dan 10 mm, lalu ukuran kedalamannya 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm sedangkan untuk lebar retaknya yaitu 0.25 mm. Kemudian setelah tiap *test piece* diberikan retak buatan, dilanjutkan dengan penghalusan menggunakan batu gerinda *flexible disc* dan *flat disc* agar permukaan *test piece* lebih mengkilap. Setelah itu akan dilakukan pelapisan pada tiap *test piece*.



Gambar III.3 Dimensi *Test Piece* Aluminium



Gambar III.4 *Test Piece* Aluminium Sebelum Pengelasan

Peralatan-peralatan lain yang digunakan untuk pembuatan *test piece* antara lain:

- Mesin Frais / Milling
- Mesin Las Franius
- Palu *Chipping*

- Sikat baja
- Sarung tangan las
- Mesin gerinda merk Makita
- Spidol / Kapur
- Penggaris
- Jangka sorong

Peralatan pengujian merupakan hal yang utama untuk disiapkan sebaik mungkin pada penelitian ini. Adapun peralatan yang digunakan untuk pengujian *Eddy Current* sebagai berikut:

1. Blok Kalibrasi



Gambar III.5 Blok Kalibrasi

2. *Eddy Current Testing Equipment*

- *Probe*
 - *Probe Manufacture/Brand:* Ether NDE
 - *Probe Type:* Right Angle Probe
 - *Probe Coil:* Normal Single/Absolute
 - *Probe Serial No.:* 500174/06
 - *Probe Frequency:* 30 kHz



Gambar III.6 Probe Pengujian yang Akan Digunakan

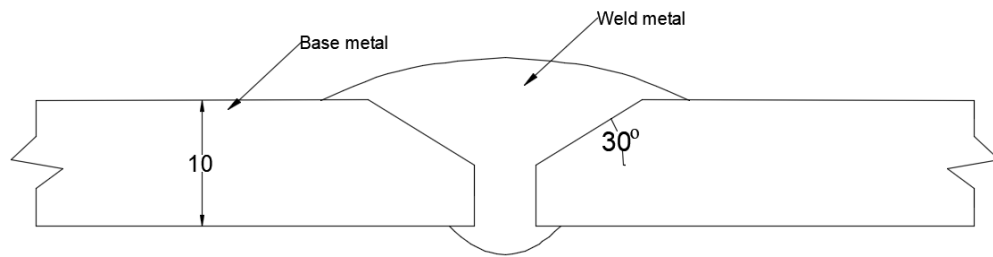
- *Eddy Current Testing Machine*
 - *Manufacture/Brand: OLYMPUS*
 - *Type: Nortec 600*
 - *Serial Number: 60003161142*



Gambar III.7 Eddy Current Testing Machine yang Akan Digunakan

3. Proses Pengelasan

- Pembuatan bevel dengan sudut 30° pada material dibuat pada bagian sambungan yang akan dilas menggunakan mesin frais atau mesin milling manual .



Gambar III.8 Sudut Bevel yang Direncanakan



Gambar III.9 Proses Pembuatan Bevel

- Pembuatan *stopper* yang berfungsi sebagai penahan atau dudukan terhadap material akan tidak terjadinya *bending* atau deformasi pada material. Ukuran dan jumlah *stopper* disesuaikan dengan ukuran dan jumlah material.



Gambar III.10 Proses Pembuatan *Stopper*

- Sebelum dilakukan pengelasan, material dipersiapkan dengan mengelas *stopper* sebagai dudukannya.



Gambar III.11 Persiapan Pengelasan

- Material kemudian dilas pada alur bevel yang telah dibuat menggunakan metode GMAW



Gambar III.12 Proses Pengelasan

Akan tetapi, hasil dari pengelasan masih belum dilanjutkan ke tahap berikutnya dikarenakan masih terdapat bagian-bagian yang kotor dan kasar akibat dari pengelasan, lalu *capping* pada pengelasan masih terlalu besar sehingga harus mengecilkan ukuran *capping* pada hasil pengelasan, sehingga dibutuhkan tahapan selanjutnya untuk menghilangkan hal-hal tersebut. Gerinda dengan mata gerinda *flap disc* digunakan untuk menghilangkan bagian-bagian yang kasar dan kotor dan juga untuk mengurangi *capping* pada pengelasan.



Gambar III.13 Proses Penghalusan dan Pengurangan *Capping*

4. Pembuatan Retak Buatan

Test piece yang sudah selesai dilas dan telah dibersihkan serta telah dihaluskan maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan retak pada *weld metal* dengan alat yang disebut dengan *Electrical Discharge Machine* (EDM). Posisi dan dimensi retak bisa diatur sedemikian rupa seperti yang sudah direncanakan pada Gambar III.14, Gambar III.15, Gambar III.16, Gambar III.17, dan Gambar III.18 Dimensi retak yang dimaksud yaitu panjang, lebar, dan kedalaman retak. Tiap *test piece* akan diberikan lima variasi panjang dan kedalaman yang diukur dari permukaan las-lasan. Berikut merupakan dimensi retak yang akan digunakan:

Tabel III-1 Referensi Dimensi *Crack*

Kode Retak	<i>Length</i> (mm)	<i>Depth</i> (mm)	<i>Width</i> (mm)
1	5	0.5	0.25
2	5	1	0.25
3	6	1.5	0.25
4	6	2	0.25

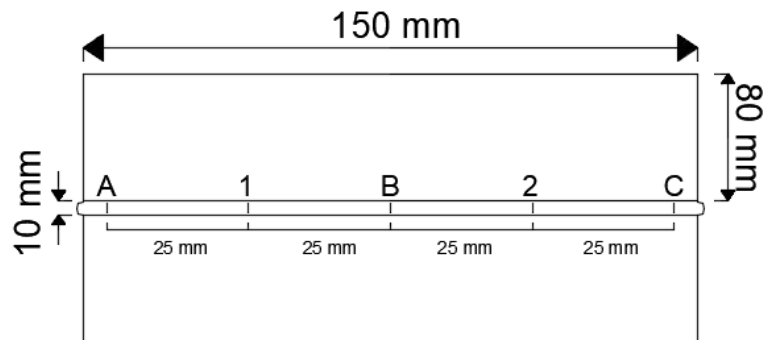
Tabel III-2 Referensi Dimensi Crack (Lanjutan)

Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
A	7	0.5	0.25
B	7	1	0.25
C	10	1.5	0.25
D	10	2	0.25

Berikut merupakan variasi retak yang akan digunakan selama pengujian:

Tabel III-3 Variasi I Crack Yang Akan Digunakan

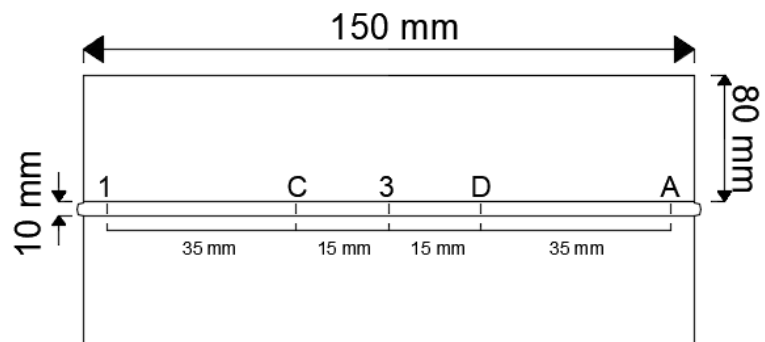
No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	A	7	0.5	0.25
2	1	5	0.5	0.25
3	B	7	1	0.25
4	2	5	1	0.25
5	C	10	1.5	0.25



Gambar III.14 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi I

Tabel III-4 Variasi II Crack yang Akan Digunakan

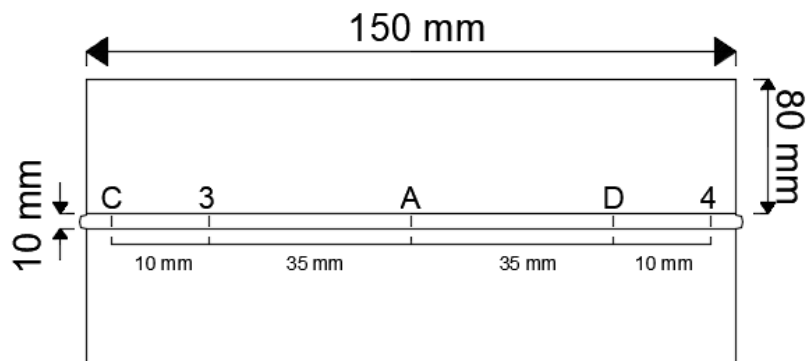
No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	1	5	0.5	0.25
2	C	10	1.5	0.25
3	3	6	1.5	0.25
4	D	10	2	0.25
5	A	7	0.5	0.25



Gambar III.15 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi II

Tabel III-5 Variasi III Crack yang Akan Digunakan

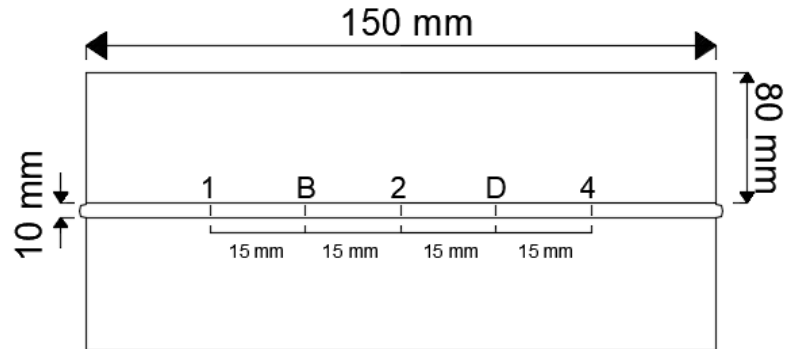
No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	C	10	1.5	0.25
2	3	6	1.5	0.25
3	A	7	0.5	0.25
4	D	10	2	0.25
5	4	6	2	0.25



Gambar III.16 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi III

Tabel III-6 Variasi IV Crack yang Akan Digunakan

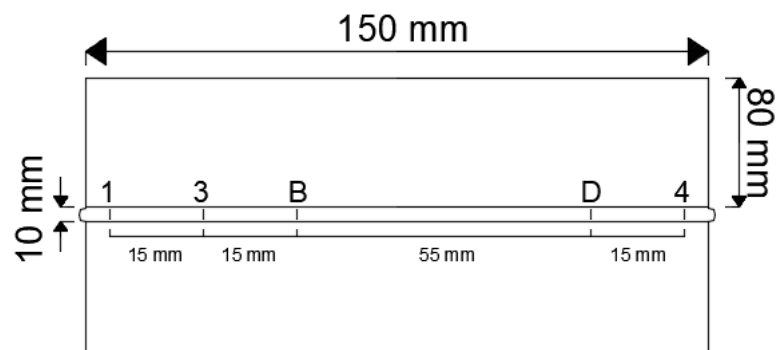
No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	1	5	0.5	0.25
2	B	7	1	0.25
3	2	5	1	0.25
4	D	10	2	0.25
5	4	6	2	0.25



Gambar III.17 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi IV

Tabel III-7 Variasi V Crack yang Akan Digunakan

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	1	5	0.5	0.25
2	3	6	1.5	0.25
3	B	7	1	0.25
4	D	10	2	0.25
5	A	7	0.5	0.25



Gambar III.18 Letak dan Dimensi Retak Buatan Variasi V



Gambar III.19 Tampilan Mesin EDM



Gambar III.20 Tampilan Layar Monitor EDM

Perbedaan atau variasi jarak retak dari permukaan tidak dapat diketahui melalui pengamatan visual.



Gambar III.21 Proses Pembuatan *Crack* Dengan Mesin EDM



Gambar III.22 Hasil *Crack* Dengan Menggunakan Mesin EDM

III.3. Pengujian *Eddy Current*

Pengujian *Eddy Current* dilakukan setelah *test piece* aluminium selesai diberikan retak buatan. Terdapat 5 *test piece* dengan variasi dimensi *crack*. Dengan melakukan pengujian *Eddy Current* akan diketahui seberapa besar sensitivitas dari alat *Eddy Current Testing* dengan menggunakan variasi dimensi *crack*. Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian,

serta semua peralatan pengujian telah disiapkan, pengujian *Eddy Current* dapat dilakukan. Berikut adalah tahapan pengujian *Eddy Current Testing*:

1. Material yang akan diuji dan blok kalibrasi disiapkan di meja kerja. Meja kerja yang akan digunakan nanti sebaiknya terbuat dari bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik maupun magnet (non-konduktif) karena dapat memengaruhi arus eddy saat pengujian.
2. Melakukan kalibrasi alat menggunakan blok kalibrasi yang telah dibuat dan yang sudah dipersiapkan. Hal yang harus diperhatikan pada tahap ini adalah pengaturan frekuensi, *gain*, dan sudut fase.
3. Kalibrasi dilakukan setiap akan memulai pengujian sesuai dengan kondisi *test piece* uji. Apabila akan melakukan pengujian pada *test piece* dengan menggunakan lapisan *non conductive*, maka kondisi blok kalibrasi juga harus diberikan lapisan *non conductive*. Lapisan *non conductive* bisa berupa plastik dan kertas.
4. Kemudian dilakukan pengujian terhadap *test piece* uji. Pengujian hanya dilakukan pada daerah *weld metal* saja.
5. Sebelum melakukan *scanning*, harus dilakukan *balancing/nulling*, yaitu proses menyamakan impedansi antara *probe* dan impedansi internal dari alat *Eddy Current Testing* dengan posisi *probe* menempel pada *test piece* uji.
6. Selanjutnya, bersamaan dengan dijalankannya *probe* pada permukaan *test piece* uji, dilihat juga sinyal yang dihasilkan pada monitor. Jika terdapat indikasi maka tingkat sensitivitas alat *Eddy Current Testing* masih ada pada dimensi retak yang dideteksi tersebut.
7. Setelah semua indikasi diskontinuitas ditemukan serta didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* telah selesai.
8. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil *Eddy Current Testing*.

Pengaturan konfigurasi utama pada *Eddy Current Testing* saat pengujian adalah sebagai berikut:

- *H Gain / V Gain* : 56.8 dB / 60.0 dB
- *Frequency* : 30 kHz
- *Dsp Mode* : Sweep
- *Sweep Time* : 1.5 s
- *H Pos / V Pos* : 50% / 30%

Konfigurasi ini merupakan nilai tetap yang tidak boleh diganti selama pengujian dilakukan. Semua spesimen diuji menggunakan pengaturan konfigurasi yang sama. Apabila dilakukan perubahan pada salah satu komponen pengaturan saat pengujian, maka dapat memengaruhi hasil uji yang hasilnya dapat berbeda dengan pengujian sebelumnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, akan disajikan analisis data dan pembahasan dari pengujian ECT (*Eddy Current Testing*) untuk mendeteksi retak buatan (*crack*) yang telah dilakukan sebelumnya. Seluruh rangkaian pengujian dilakukan dengan mengacu pada metodologi penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Kondisi yang terjadi pada saat pengujian adalah sebagai berikut:

1. Variasi panjang retak buatan pada setiap *test piece* uji yaitu:

- 5 mm
- 6 mm
- 7 mm
- 10 mm

2. Kedalaman retak buatan dari permukaan pada tiap *test piece* uji yaitu:

- 0.5 mm
- 1 mm
- 1.5 mm
- 2 mm

3. Terdapat 5 (lima) buah retak buatan pada tiap *test piece* uji.

4. Frekuensi *probe* yang akan digunakan adalah 30 kHz

5. *Probe* yang digunakan adalah *right angle surface probe*.

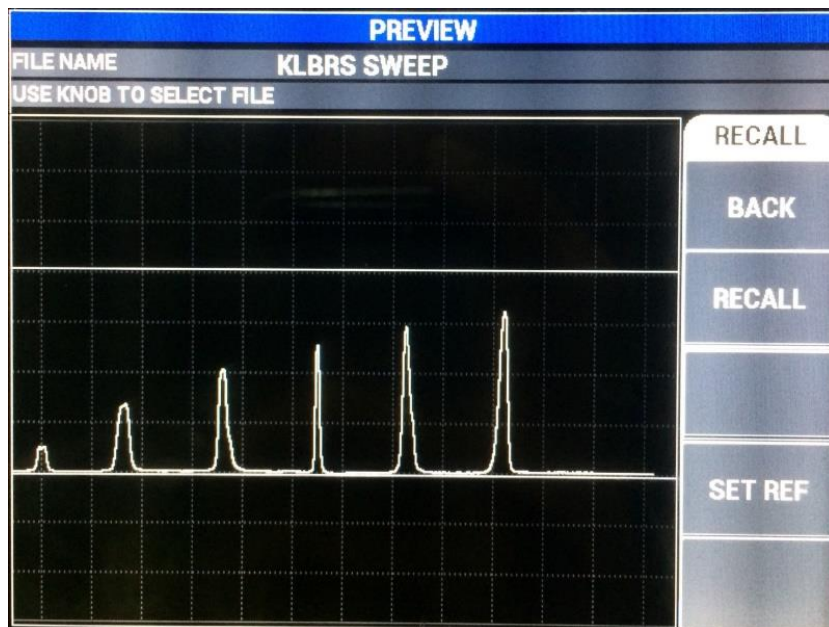
6. Permukaan *weld metal* dihaluskan

7. Dilapisi plester setebal 15 mikron (0.15 mm)

Sebelum melakukan pengujian pada *test piece*, kalibrasi dilakukan pada blok kalibrasi terlebih dahulu.

Gambar IV.1 dan Tabel IV–1 dibawah menunjukkan hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi retak pada blok kalibrasi. Terdapat 6 kedalaman retak pada blok kalibrasi yaitu:

- 0.5 mm
- 1.0 mm
- 1.5 mm
- 2.0 mm
- 2.5 mm
- 3.0 mm



Gambar IV.1 Hasil *Scanning* pada Blok Kalibrasi

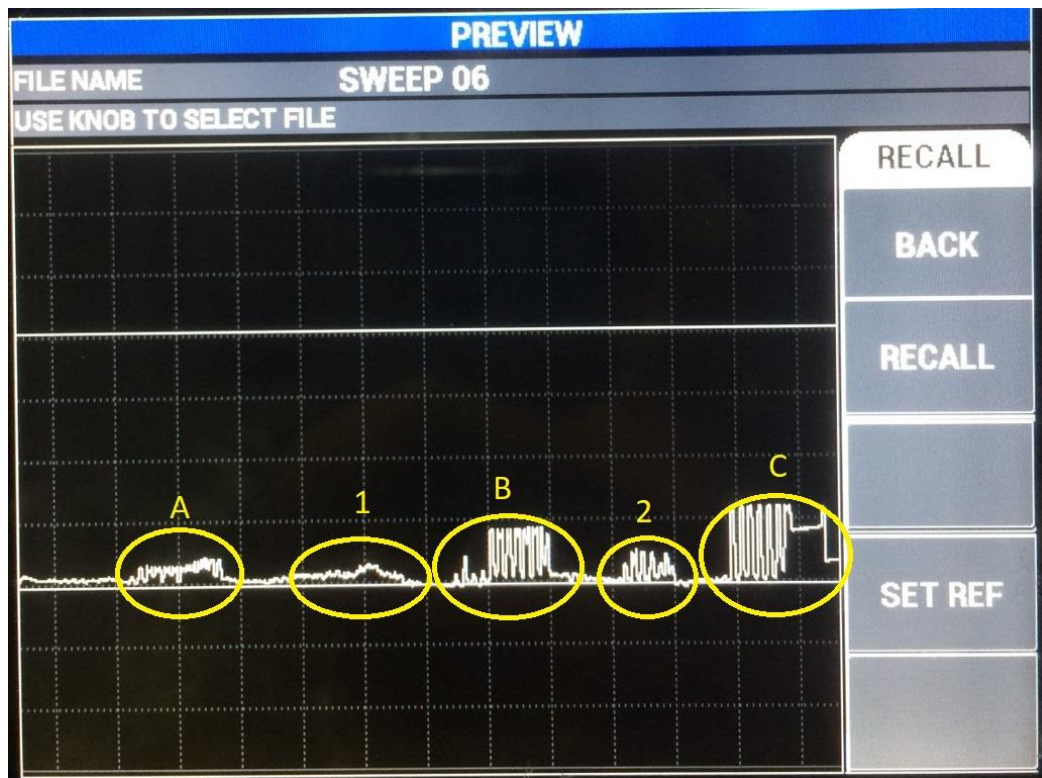
Tabel IV–1 Hasil *Scanning* pada Blok Kalibrasi

Kedalaman retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
0.5	4
1.0	10
1.5	15
2.0	18
2.5	21
3.0	23

- Catatan: Tinggi sinyal diukur memakai penggaris pada layar

IV.1. Hasil Pengujian Pada *Test Piece 1*

Pada sub-bab ini akan ditampilkan hasil pengujian meliputi dokumentasi dan pengukuran ketinggian sinyal. Data ketinggian sinyal yang disajikan berdasarkan perubahan kedalaman retak dari permukaan *weld* metal sehingga akan terlihat pengaruh variasi kedalaman retak pada tiap *test piece* terhadap perubahan ketinggian sinyal. Gambar IV.2 menunjukkan *screenshot* perubahan sinyal retak yang disebabkan perbedaan kedalaman retak. Sinyal retak pada indikasi 0.5 mm paling kecil dan membesar pada sinyal retak 1 mm dan 1.5 mm.



Gambar IV.2 Hasil *Screenshot* Sinyal Retak pada *Test Piece 1*

Tabel IV-2 Hasil *Scanning* pada *Test Piece 1*

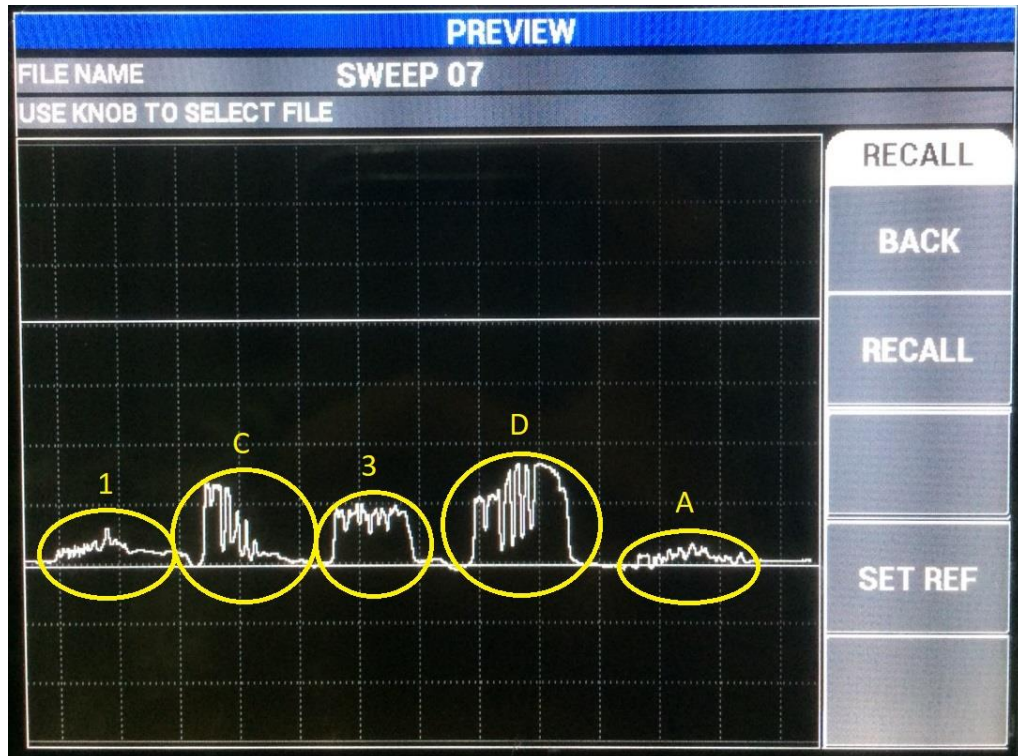
Kode Retak	Panjang Retak (mm)		Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
	Aktual	Terukur	Terukur	
A	8	7	0.5	3
1	4	5	0.5	2
B	8	7	1	6
2	6	5	1	4
C	11	10	1.5	8

Gambar IV.2 diatas menunjukkan hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi retak pada *test piece 1*. Hasil yang didapat, terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi adanya

retak yang semakin mengecil seiring dengan berkurangnya kedalaman retak dari permukaan pada *test piece* tersebut.

IV.2. Hasil Pengujian Pada *Test Piece 2*

Gambar IV.3 menunjukkan *screenshot* hasil perubahan sinyal retak yang disebabkan perbedaan kedalaman retak pada *test piece 2*. Terlihat pada Gambar IV.3 bahwa sinyal retak pada indikasi 0.5 mm paling kecil dan paling besar pada indikasi 2 mm.



Gambar IV.3 Hasil *Screenshot* Sinyal Retak pada *Test Piece 2*

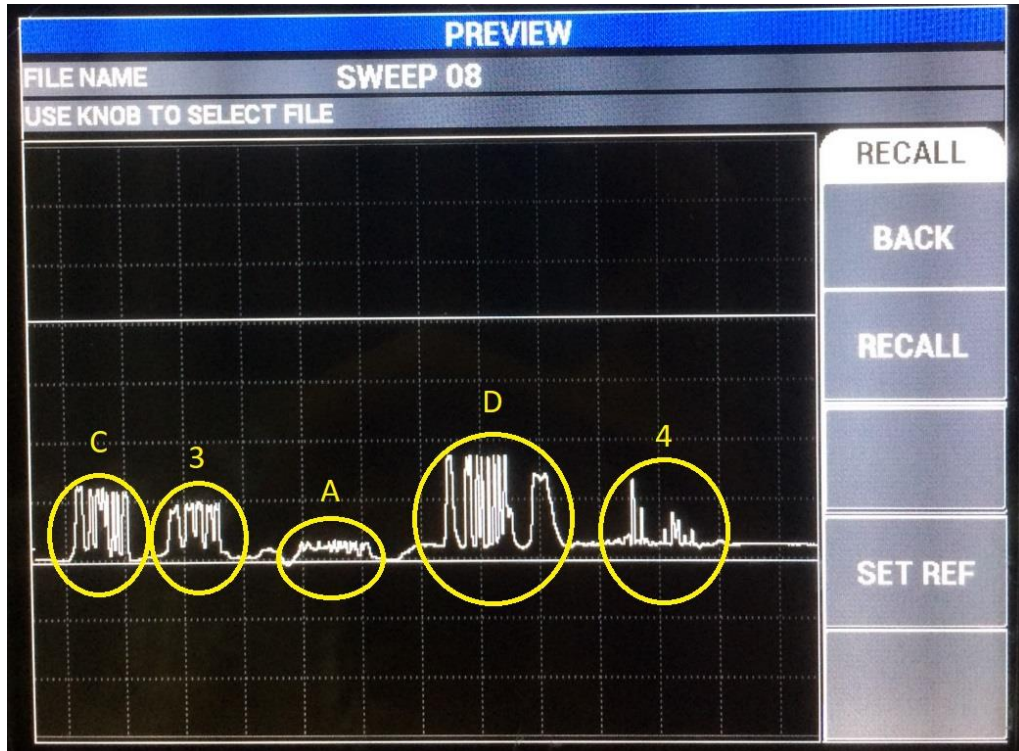
Tabel IV–3 Hasil *Scanning* pada *Test Piece 2*

Kode Retak	Panjang Retak (mm)		Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
	Aktual	Terukur	Terukur	
1	5	5	0.5	5
C	11	10	1.5	10
3	7	6	1.5	7
D	11	10	2	12
A	8	7	0.5	3

Hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi adanya retak pada *test piece 2* ditunjukkan pada Gambar IV.3. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak pada kedalaman 0.5 mm, 1.5 mm, dan 2 mm.

IV.3. Hasil Pengujian Pada *Test Piece 3*

Hasil pengujian untuk *test piece 3* ditunjukkan pada Gambar IV.4. Gambar IV.4 menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.



Gambar IV.4 Hasil Screenshot Sinyal Retak pada *Test Piece 3*

Seperti yang terlihat pada Gambar IV.4 respon sinyal yang didapat sama seperti *test piece* sebelumnya yaitu terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak yang semakin mengecil seiring dengan berkurangnya kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.

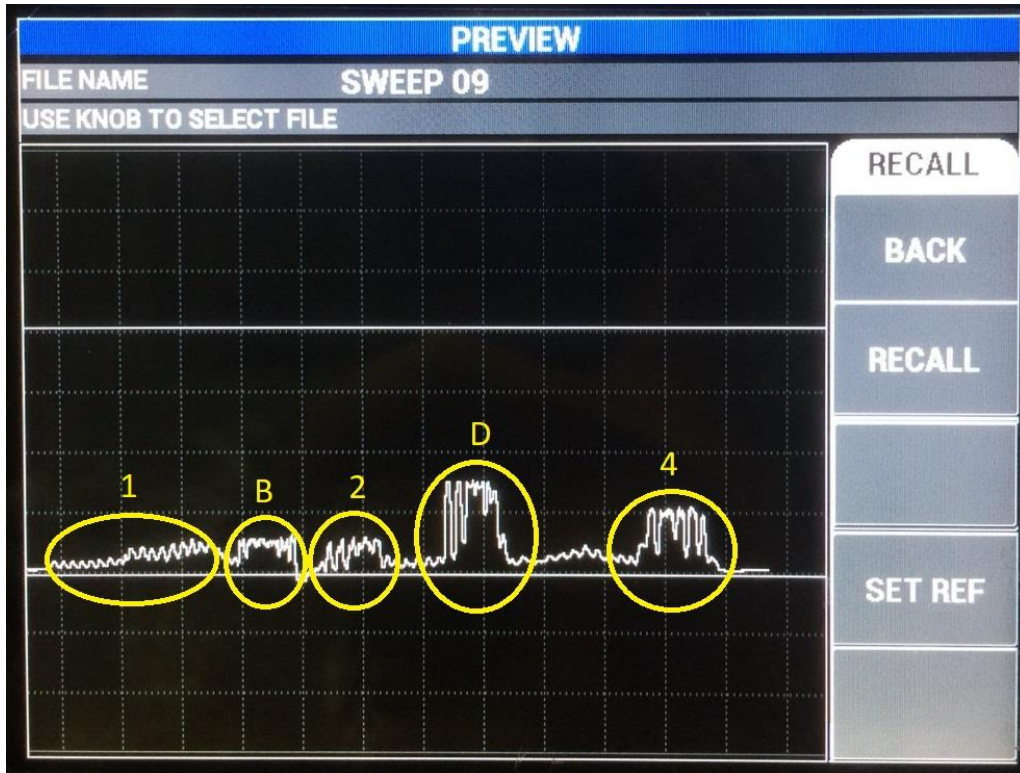
Tabel IV-4 Hasil Scanning pada *Test Piece 3*

Kode Retak	Panjang Retak (mm)		Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
	Aktual	Terukur	Terukur	
C	10.5	10	1.5	9
3	7	6	1.5	7
A	8	7	0.5	2
D	11	10	2	12
4	7	6	2	10

Hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi adanya retak pada *test piece 3* ditunjukkan pada Tabel IV-4. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak pada kedalaman 0.5 mm, 1.5 mm, dan 2 mm.

IV.4. Hasil Pengujian Pada *Test Piece 4*

Hasil pengujian untuk *test piece 4* ditunjukkan pada Gambar IV.5. Gambar IV.5 menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.



Gambar IV.5 Hasil Screenshot Sinyal Retak pada *Test Piece 4*

Respon sinyal yang didapatkan pada Gambar IV.5 sama seperti pada *test piece* sebelumnya, yaitu terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak. Sinyal indikasi retak semakin mengecil seiring dengan berkurangnya kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.

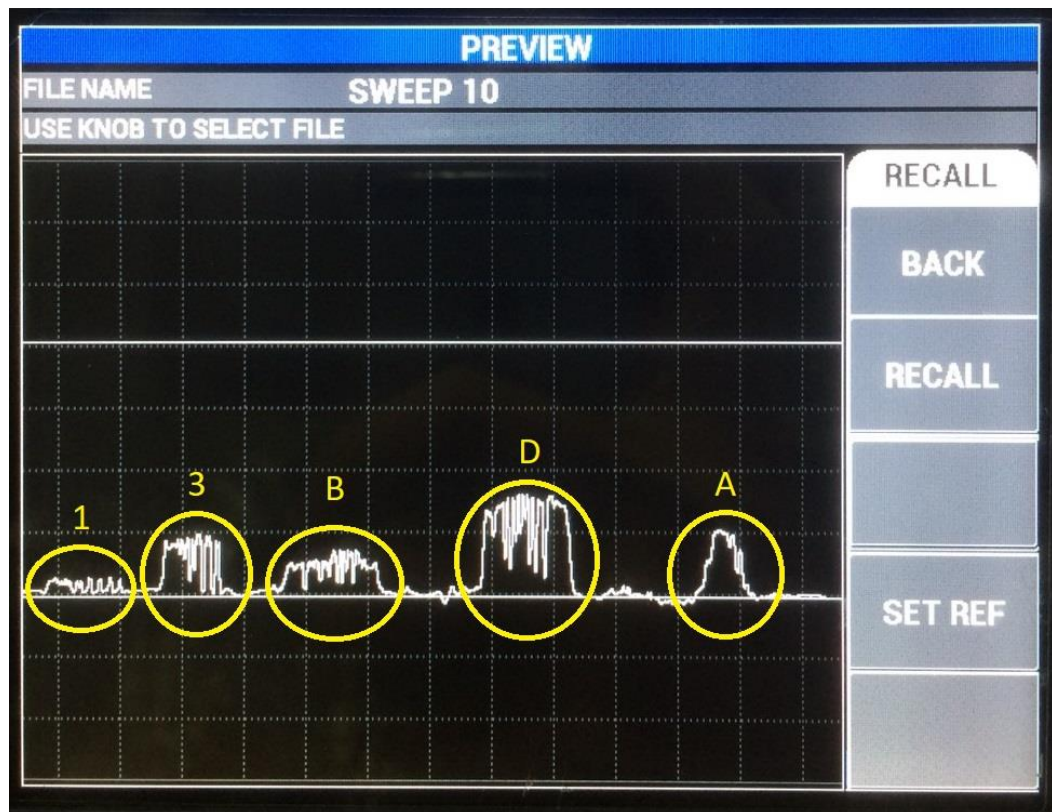
Tabel IV-5 Hasil *Scanning* pada *Test Piece 4*

Kode Retak	Panjang Retak (mm)		Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
	Aktual	Terukur	Terukur	
1	5	5	0.5	4
B	8	7	1	5
2	6	5	1	4
D	11	10	2	11
4	7	6	2	8

Hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi adanya retak pada *test piece 4* ditunjukkan pada Tabel IV-5. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak pada kedalaman 0.5 mm, 1 mm, dan 2 mm.

IV.5. Hasil Pengujian Pada *Test Piece 5*

Hasil pengujian untuk *test piece 5* ditunjukkan pada Gambar IV.6. Gambar IV.6 menunjukkan adanya perubahan ketinggian indikasi sinyal retak yang terjadi akibat perbedaan kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.



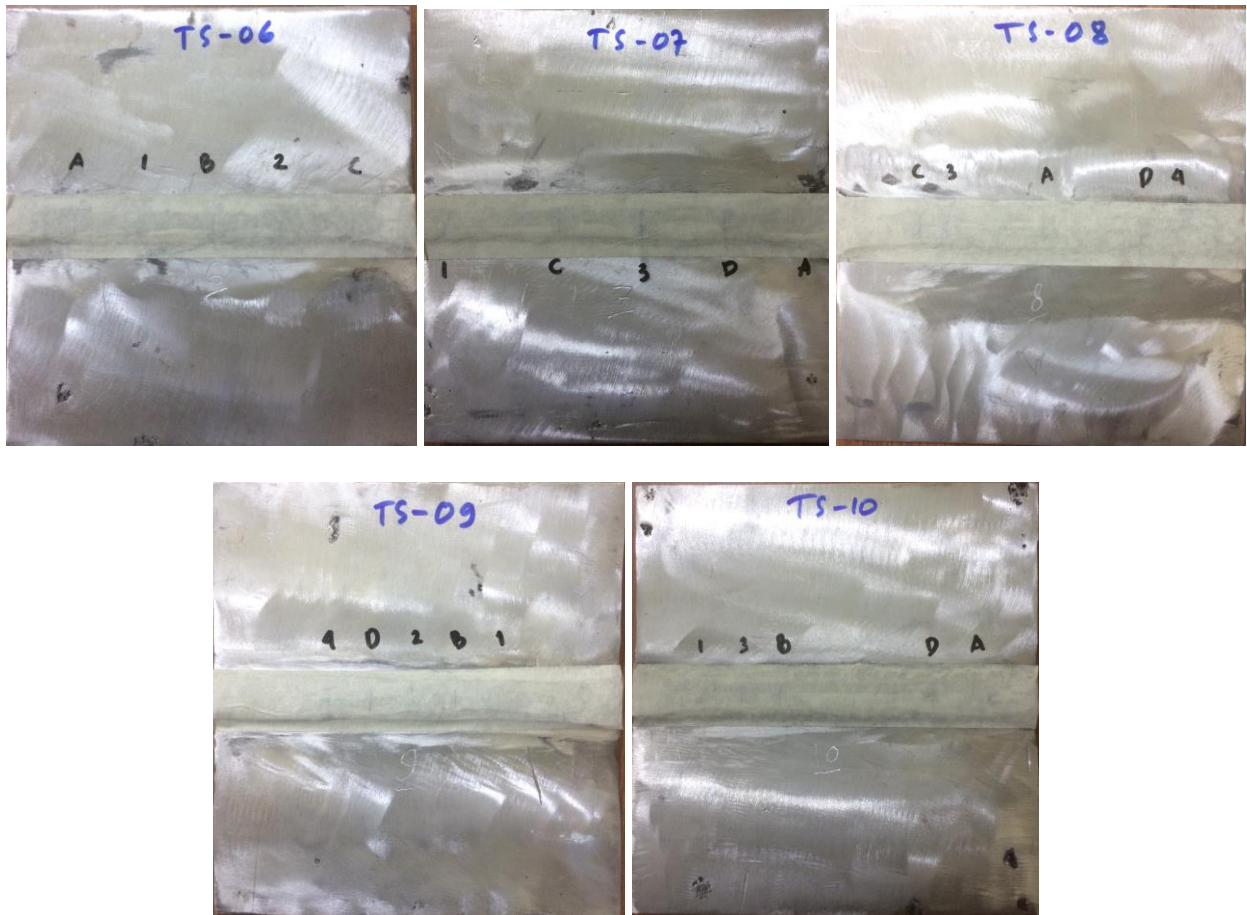
Gambar IV.6 Hasil Screenshot Sinyal Retak pada *Test Piece 5*

Respon sinyal yang didapatkan pada Gambar IV.6 sama seperti pada *test piece* sebelumnya, yaitu terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak. Sinyal indikasi retak semakin mengecil seiring dengan berkurangnya kedalaman retak dari permukaan *weld* metal.

Tabel IV–6 Hasil Scanning pada *Test Piece 5*

Kode Retak	Panjang Retak (mm)		Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal (mm)
	Aktual	Terukur	Terukur	
1	6	5	0.5	2
3	7	7	1.5	7
B	8	7	1	5
D	11	10	2	11
A	8	7	0.5	8

Hasil pengukuran ketinggian sinyal indikasi adanya retak pada *test piece* 5 ditunjukkan pada Tabel IV-6. Terlihat hasil pengukuran yang didapat, terjadi perubahan ketinggian sinyal indikasi retak pada kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm.



Gambar IV.7 Keterangan Indikasi Retak Buatan pada Kelima *Test Piece*

Tabel IV-7 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Test Piece	Jumlah Retak yang Terdeteksi
Spesimen 1	5
Spesimen 2	5
Spesimen 3	5
Spesimen 4	5
Spesimen 5	5

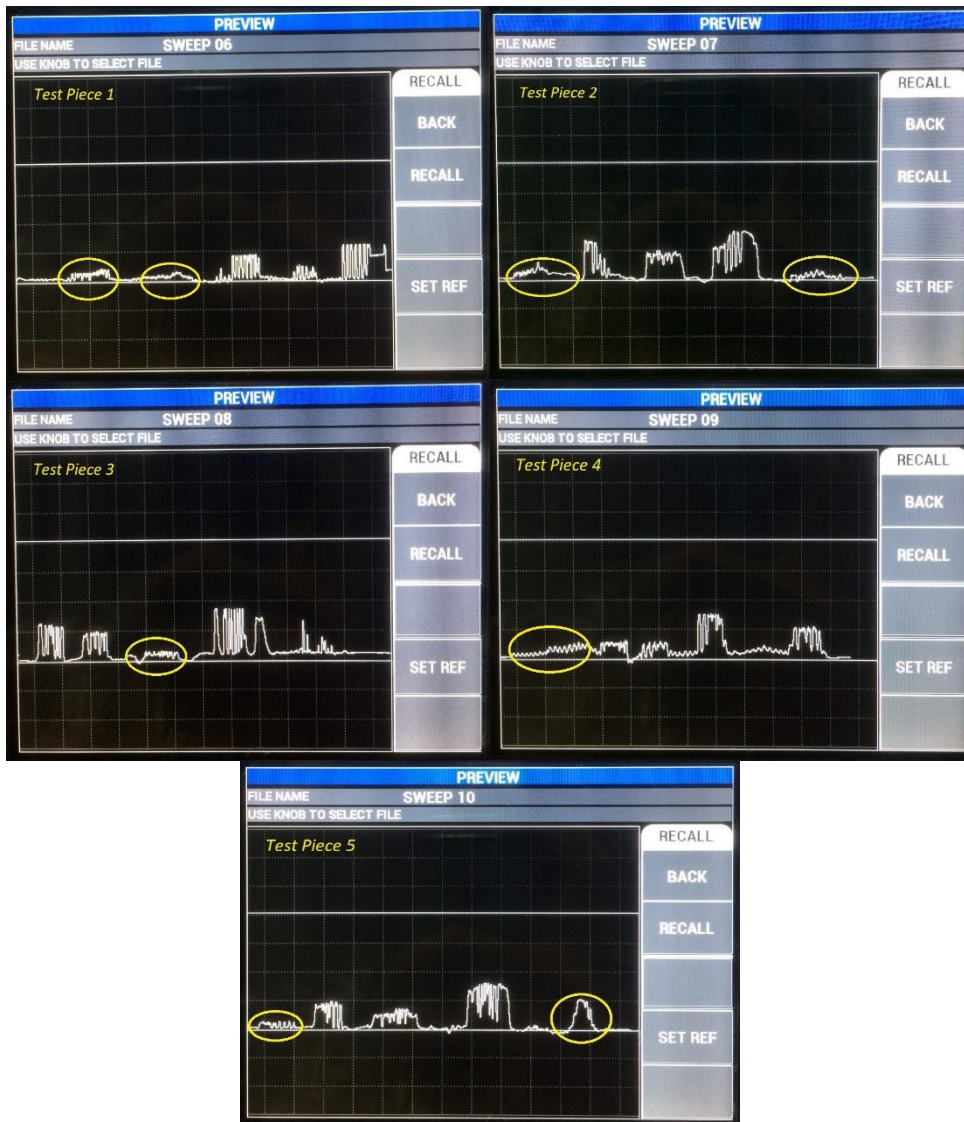
Tabel IV-7 menunjukkan keterangan indikasi retak pada tiap *test piece* dan Tabel IV-7 diatas menunjukkan jumlah retak yang terdeteksi pada masing-masing material. Terdapat 5 buah retak yang terdeteksi pada masing-masing *test piece* uji.

IV.6. Perbandingan Hasil Sinyal Retak

IV.6.1. Sinyal Retak Berdasarkan Kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm

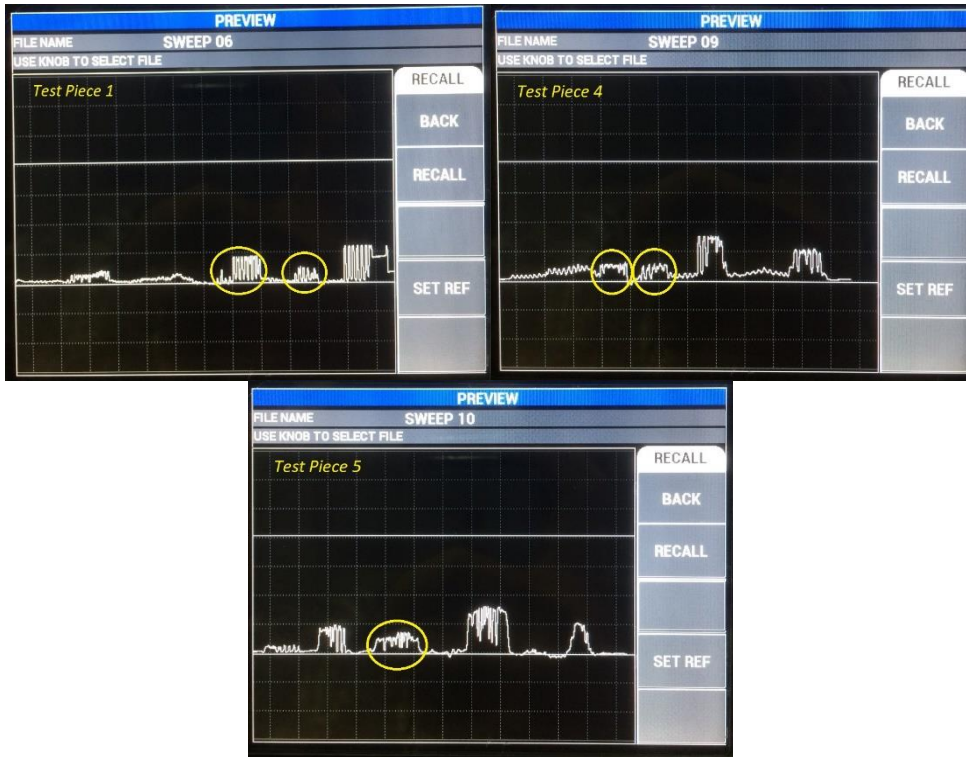
Perbandingan tinggi sinyal retak pada kelima *test piece* dengan variasi kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm ditampilkan pada Gambar IV.8 - Gambar IV.11. Kedalaman 2 mm memiliki sinyal retak yang paling tinggi. Sinyal retak makin mengecil pada kedalaman 1.5 mm, 1 mm, dan 0.5 mm.

- 0.5 mm



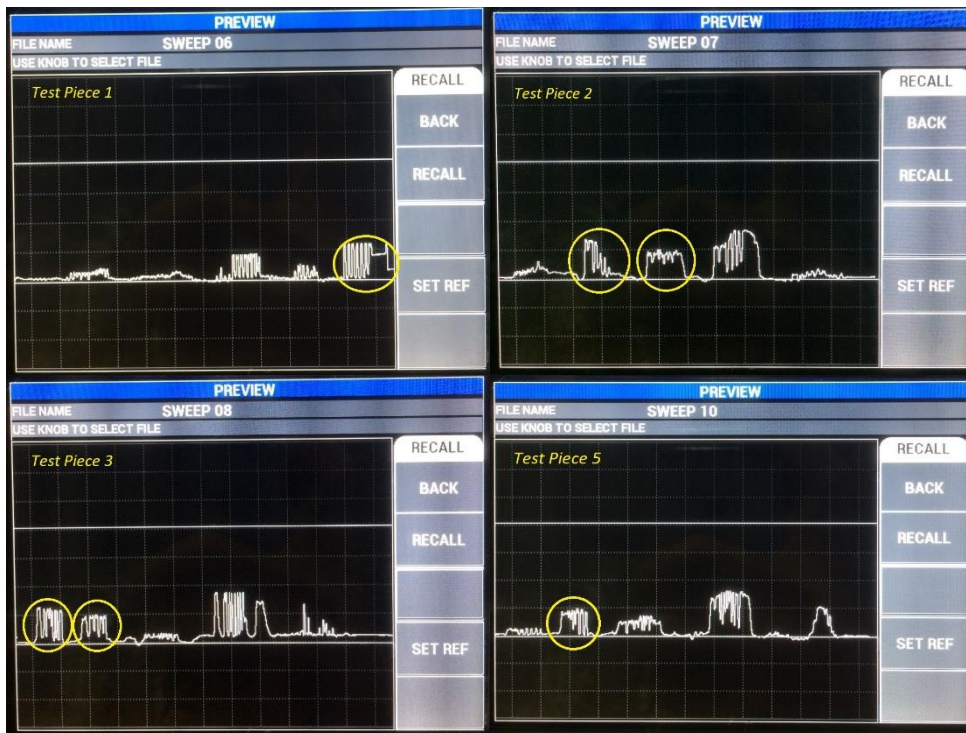
Gambar IV.8 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 0.5 mm

- 1.0 mm



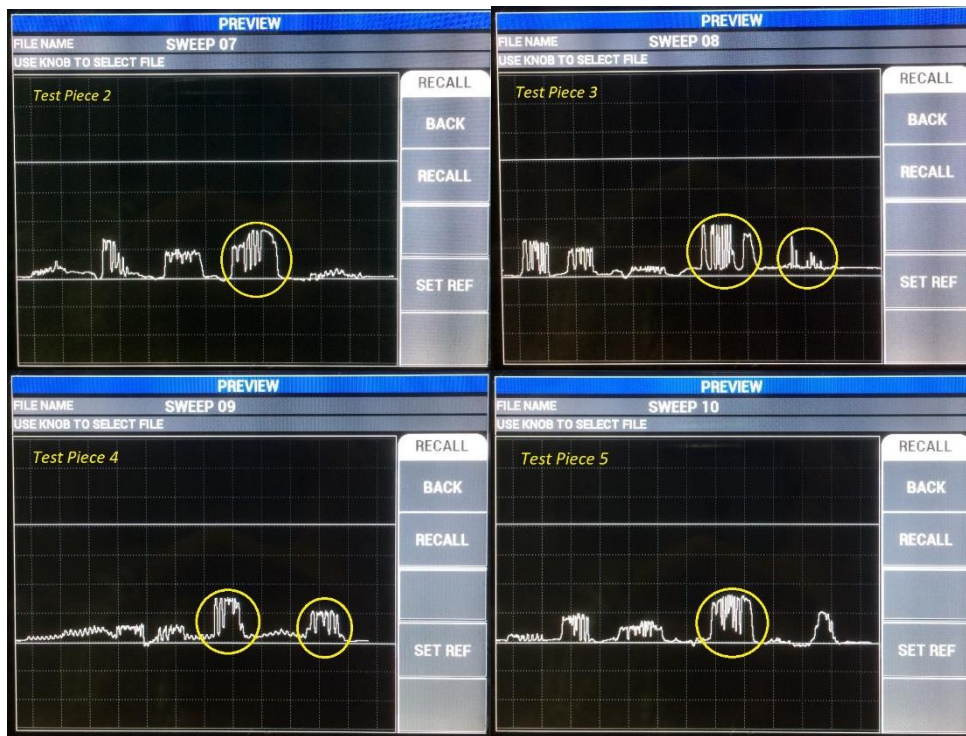
Gambar IV.9 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 1.0 mm

- 1.5 mm



Gambar IV.10 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 1.5 mm

- 2.0 mm



Gambar IV.11 Perbandingan Sinyal Retak Pada Kedalaman 2.0 mm

Berdasarkan hasil perbandingan tinggi sinyal diatas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Tinggi rata – rata sinyal} = \frac{\text{Jumlah tinggi sinyal}}{\text{Jumlah banyaknya sinyal}}$$

- 0.5 mm

$$\text{Tinggi rata – rata sinyal} = \frac{3 + 2 + 5 + 3 + 2 + 4 + 2 + 8}{8} = 3.7 \text{ mm}$$

- 1.0 mm

$$\text{Tinggi rata – rata sinyal} = \frac{6 + 4 + 5 + 4 + 5}{5} = 4.0 \text{ mm}$$

- 1.5 mm

$$\text{Tinggi rata – rata sinyal} = \frac{8 + 10 + 7 + 9 + 7 + 7}{6} = 8.0 \text{ mm}$$

- 2.0 mm

$$\text{Tinggi rata – rata sinyal} = \frac{12 + 12 + 10 + 11 + 8 + 11}{6} = 11.2 \text{ mm}$$

Tabel IV–8 Tinggi Indikasi Sinyal Retak Dengan Kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm , 2 mm

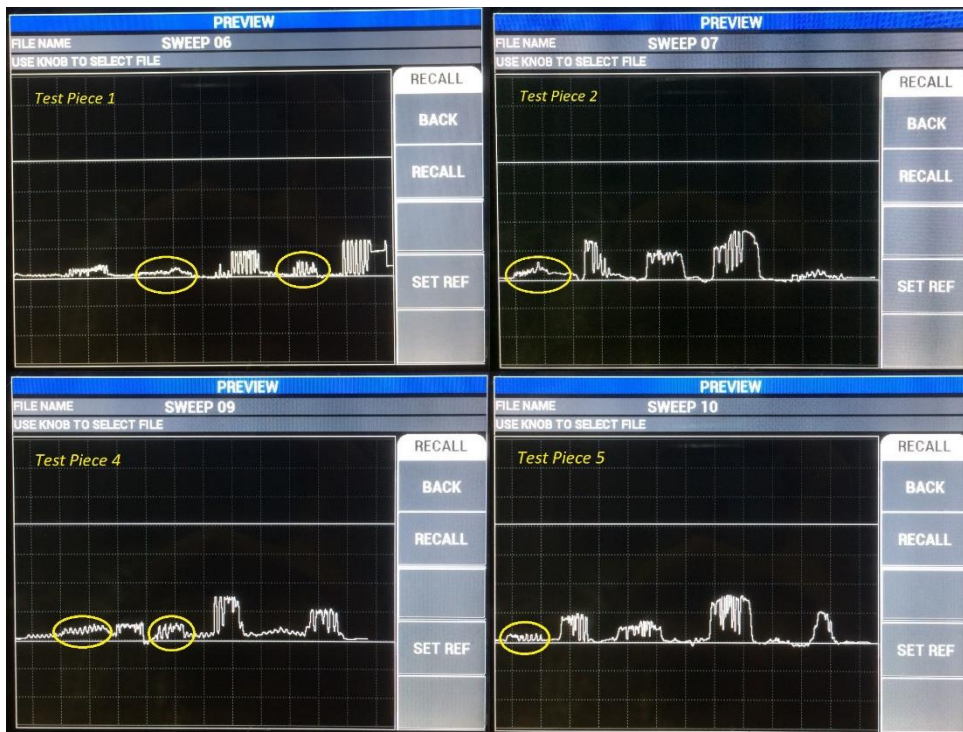
Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Rata-Rata Indikasi Sinyal Retak (mm)
0.5	3.7
1.0	4.0
1.5	8.0
2.0	11.2

Tabel IV–8 diatas merupakan ketinggian rata-rata indikasi sinyal retak pada tiap variasi kedalaman retak, dimana kedalaman 2 mm memiliki ketinggian sinyal yang paling besar dan mengecil mulai dari 1.5 mm, 1 mm, dan 0.5 mm.

IV.6.2. Sinyal Retak Berdasarkan Panjang 5 mm, 6 mm, 7 mm, 10 mm

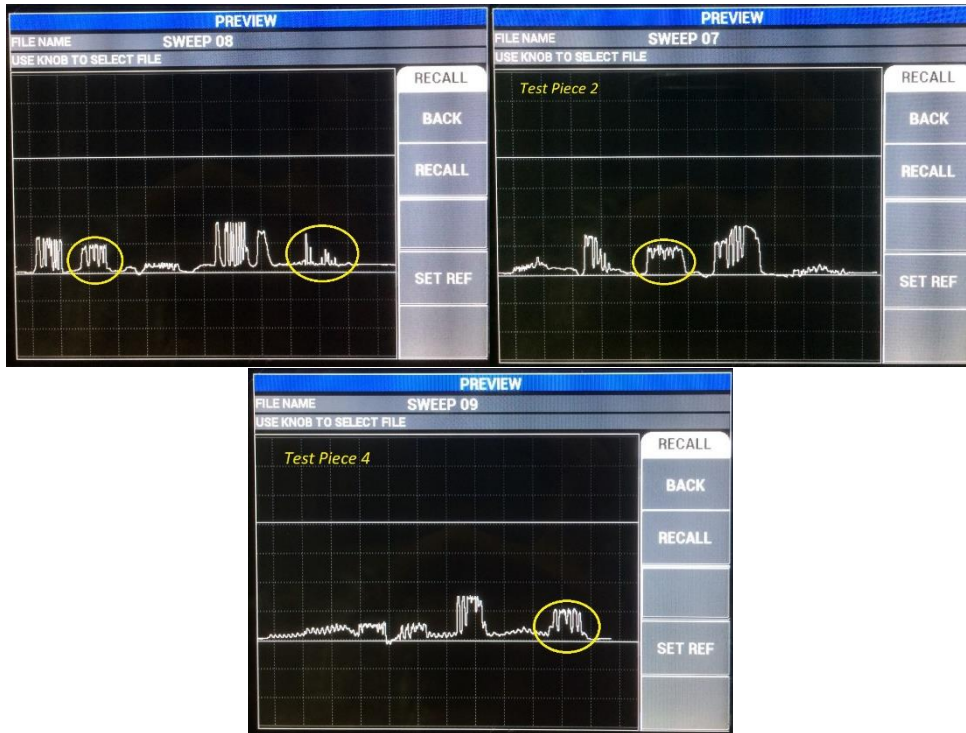
Perbandingan tinggi sinyal retak pada kelima *test piece* dengan variasi panjang 5 mm, 6 mm, 7 mm, 10 mm ditampilkan pada Gambar IV.12 - Gambar IV.15.

- 5 mm



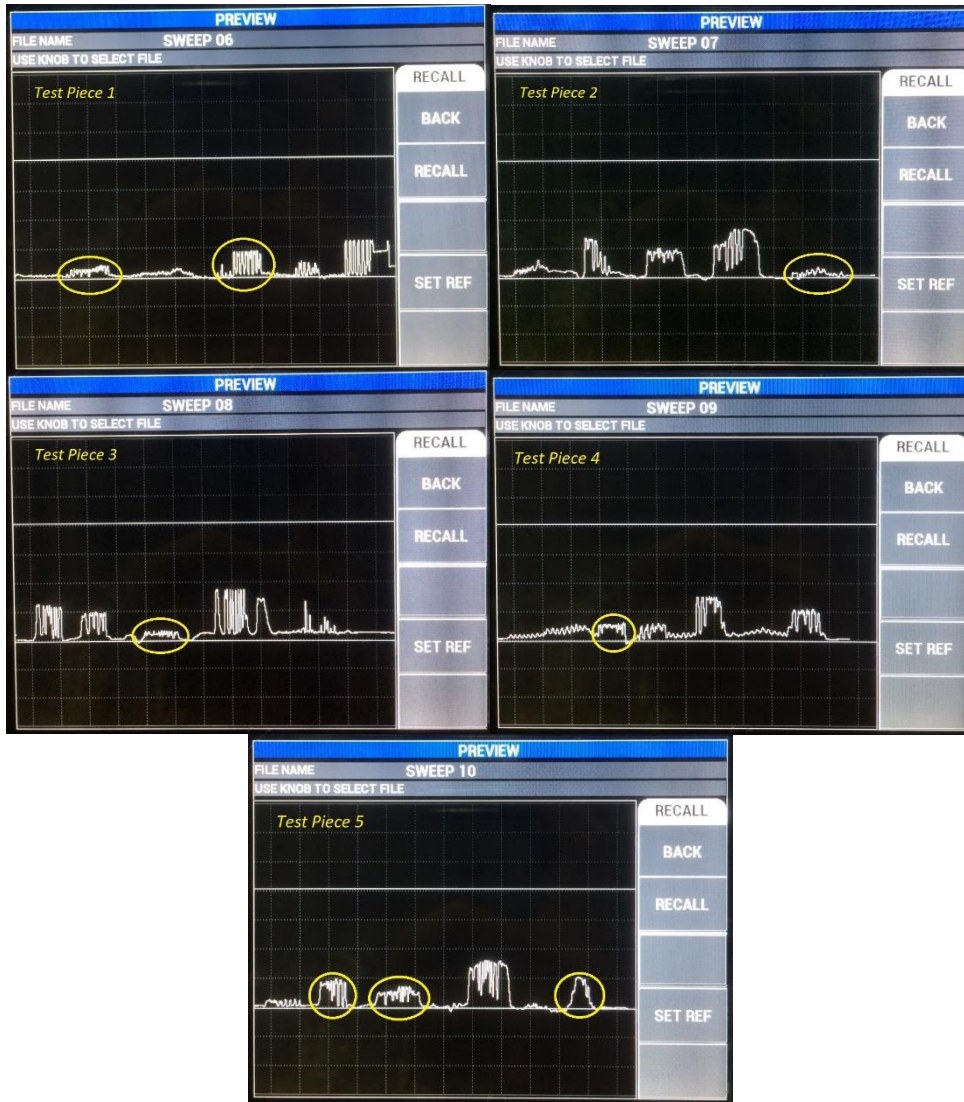
Gambar IV.12 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 5 mm

- 6 mm



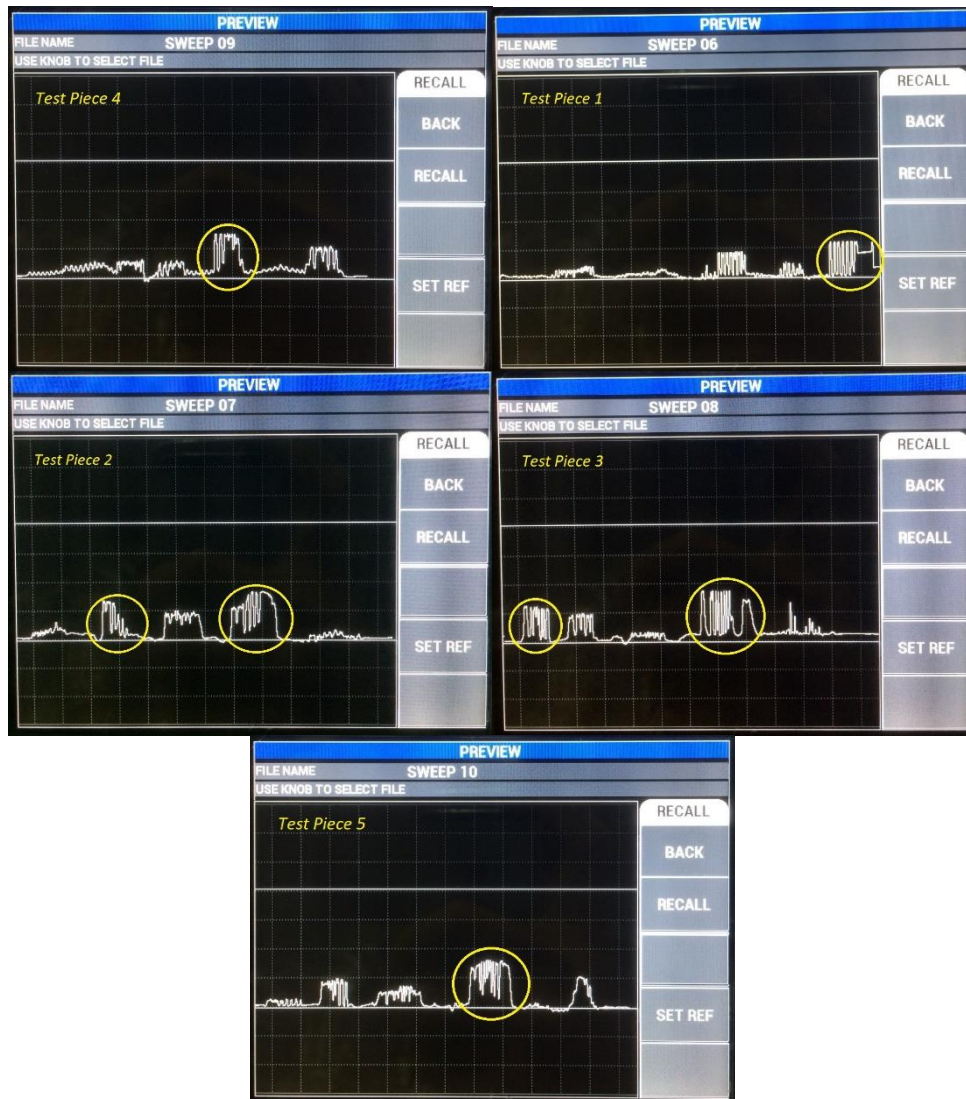
Gambar IV.13 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 6 mm

➤ 7 mm



Gambar IV.14 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 7 mm

➤ 10 mm



Gambar IV.15 Perbandingan Sinyal Retak Pada Panjang 10 mm

Berdasarkan hasil perbandingan panjang sinyal diatas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Panjang rata – rata sinyal} = \frac{\text{Jumlah panjang sinyal}}{\text{Jumlah banyaknya sinyal}}$$

➤ 5 mm

$$\text{Panjang rata – rata sinyal} = \frac{4 + 6 + 5 + 5 + 6 + 6}{6} = 5.5 \text{ mm}$$

➤ 6 mm

$$\text{Panjang rata – rata sinyal} = \frac{7 + 7 + 7 + 7}{4} = 7.0 \text{ mm}$$

➤ 7 mm

$$\text{Panjang rata – rata sinyal} = \frac{8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 7 + 8 + 8}{8} = 7.9 \text{ mm}$$

➤ 10 mm

$$\text{Panjang rata – rata sinyal} = \frac{11 + 11 + 11 + 10.5 + 11 + 11 + 11}{7} = 10.9 \text{ mm}$$

Tabel IV–9 Panjang Indikasi Sinyal Retak Dengan Panjang 5 mm, 6 mm, 7 mm , 10 mm

Panjang Retak (mm)	Panjang Rata-Rata Indikasi Sinyal Retak (mm)
5	5.5
6	7.0
7	7.9
10	10.9

Dari semua perbandingan sinyal panjang retak yang ditunjukkan pada Gambar IV.12 - Gambar IV.15, dimana kedalaman 2 mm memiliki ketinggian sinyal yang paling besar dan mengecil mulai dari 1.5 mm, 1 mm, dan 0.5 mm.

IV.7. Pembahasan

Dengan menggunakan rumus *SDP* (*Standard Depth Penetration*) dan *EDP* (*Effective Depth Penetration*) berikut:

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f\mu_{rel}}} = 50 \sqrt{\frac{5.95}{30000}} = 0.704 \text{ mm}$$

$$EDP = 3 \times SDP = 3 \times 0.704 = 2.112 \text{ mm}$$

Eddy Current Testing memiliki kedalaman penembusan standar sebesar 0.704 mm dan kedalaman penembusan efektif sebesar 2.112 mm. Nilai tersebut hanya berlaku untuk *probe* 30 kHz dan pada material aluminium 5083. Dengan perhitungan diatas, maka *Eddy Current Testing* pada pengujian ini dapat mendeteksi semua retak yang terdapat pada semua *test piece*.

Tabel IV–10 Jumlah Retak yang Terdeteksi

Test Piece	Jumlah Retak yang Direcanakan	Jumlah Retak yang Terdeteksi
Spesimen 1	5	5
Spesimen 2	5	5
Spesimen 3	5	5
Spesimen 4	5	5
Spesimen 5	5	5

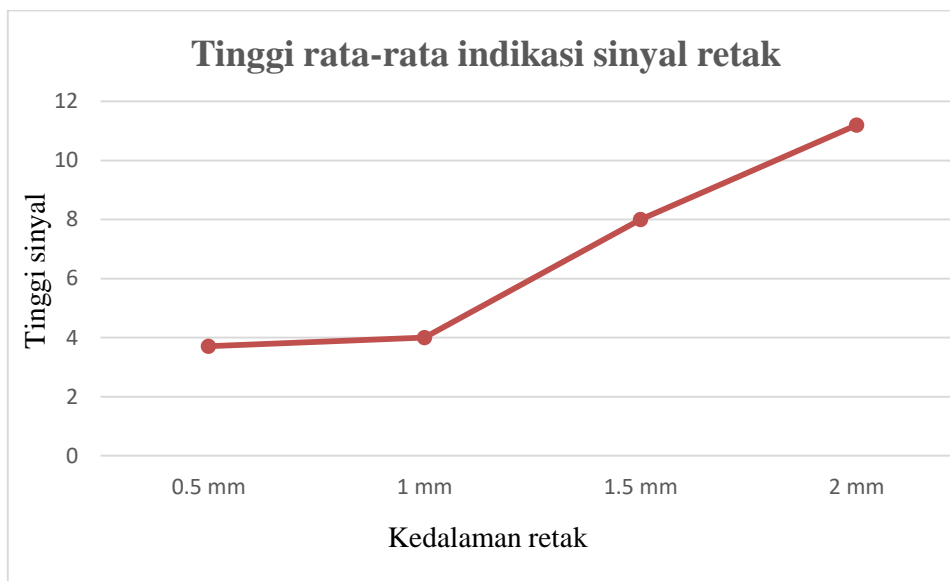
Tabel IV–10 menunjukkan bahwa *Eddy Current Testing* memiliki tingkat sensitivitas yang baik. Dari semua retak yang direncanakan pada tiap-tiap *test piece*, *Eddy Current Testing* dapat mendeteksi semua retak. Jika dipresentasikan, pada pengujian ini *Eddy Current Testing* memiliki tingkat sensitivitas sebesar 100%.

Dari data yang dihasilkan pada proses pendeteksian panjang dan kedalaman retak material pada subbab IV.1 – IV.5, Tabel IV–7 menunjukkan bahwa *Eddy Current Testing* mampu mendeteksi seluruh retak buatan pada masing-masing *test piece* uji sebanyak 5 buah variasi retak. Gambar IV.2 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak yang muncul pada indikasi retak di *test piece* 1. Gambar IV.3 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak pada *test piece* 2. Gambar IV.4 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak pada *test piece* 3. Gambar IV.5 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak pada *test piece* 4. Gambar IV.6 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak pada *test piece* 5. Sedangkan Tabel IV–2 - Tabel IV–6 menampilkan data tinggi indikasi retak pada kelima *test piece* yang diukur tiap kali sinyal retak muncul di layar.

Pada subbab IV.6.1 menunjukkan perbandingan tinggi indikasi sinyal retak pada kedalaman retak 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm. Pada Gambar IV.8 menunjukkan hasil *screenshot* pada masing-masing *test piece* dengan kedalaman retak 0.5 mm. Gambar IV.9 menunjukkan hasil *screenshot* pada kedalaman retak 1 mm. Gambar IV.10 menunjukkan hasil *screenshot* pada kedalaman retak 1.5 mm. Dan Gambar IV.11 menunjukkan hasil *screenshot* pada kedalaman retak 2 mm. Subbab IV.6.2 menunjukkan perbandingan tinggi indikasi sinyal retak pada panjang retak 5 mm, 6 mm, 7 mm, dan 10 mm. Pada Gambar IV.12 menunjukkan hasil *screenshot* pada panjang retak 5 mm. Gambar IV.13 menunjukkan hasil *screenshot* pada panjang retak 6 mm. Gambar IV.14 menunjukkan hasil *screenshot* pada panjang retak 7 mm. Dan pada Gambar IV.16 menunjukkan hasil *screenshot* pada panjang retak 10 mm.

Tabel IV–11 Data Rata-Rata Tinggi Sinyal Indikasi Retak

Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Rata-Rata Indikasi Sinyal Retak (mm)
0.5	3.7
1.0	4.0
1.5	8.0
2.0	11.2

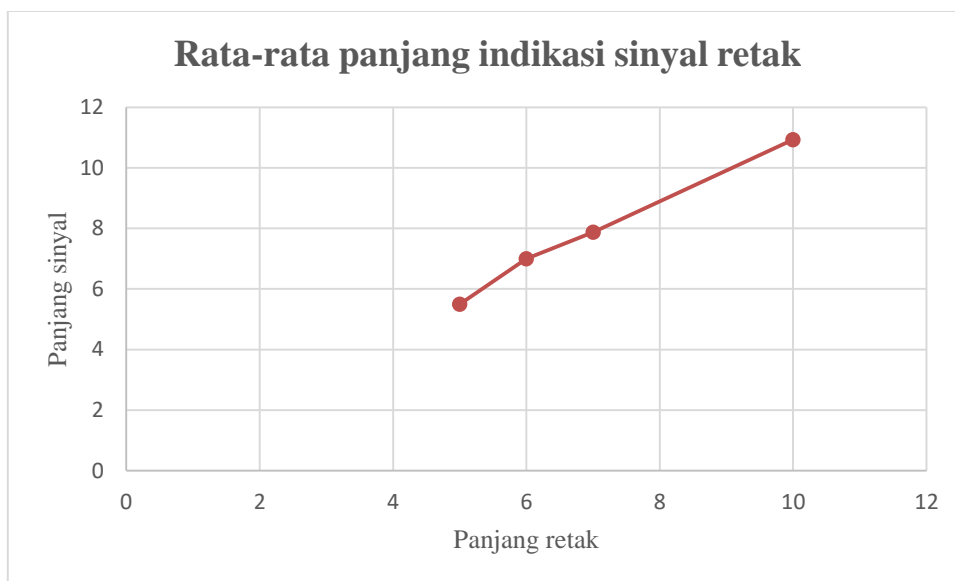


Gambar IV.16 Grafik Rata-Rata Tinggi Indikasi Sinyal Retak

Dari keseluruhan data yang ditampilkan pada Tabel IV–11 diatas dapat dilihat bahwa ketika *probe* melewati retak dengan kedalaman 0.5 mm akan menghasilkan tinggi indikasi retak yang terkecil. Kemudian tinggi indikasi retak akan membesar pada retak dengan kedalaman 1 mm kemudian akan membesar lagi pada kedalaman 1.5 mm dan tinggi indikasi retak yang terbesar dihasilkan pada retak dengan kedalaman 2 mm. Gambar IV.16 menampilkan grafik tinggi indikasi retak berdasarkan variasi kedalaman retak. Semakin besar nilai indikasi sinyal retak menunjukkan bahwa *test piece* tersebut mengalami faktor kehilangan material (*wall lost*) yang lebih besar.

Tabel IV–12 Data Rata-Rata Panjang Sinyal Indikasi Retak

Panjang Retak (mm)	Panjang Indikasi Sinyal Retak (mm)
5	5.5
6	7
7	7.9
10	10.9



Gambar IV.17 Grafik Rata-Rata Panjang Indikasi Sinyal Retak

Dari keseluruhan data yang ditampilkan pada Tabel IV–12 diatas dapat dilihat bahwa ketika *probe* melewati retak dengan panjang 5 mm akan menghasilkan panjang indikasi retak yang terkecil. Kemudian panjang indikasi retak akan membesar pada retak dengan panjang 6 mm kemudian akan membesar lagi pada panjang 7 mm dan panjang indikasi retak yang terbesar dihasilkan pada retak dengan panjang 10 mm. Gambar IV.17 menampilkan grafik panjang indikasi retak berdasarkan variasi panjang retak. Semakin besar nilai indikasi sinyal retak menunjukkan bahwa *test piece* tersebut mengalami faktor kehilangan material (*wall lost*) yang lebih besar.

Dari data-data yang sudah ditampilkan diatas, *Eddy Current Testing* memiliki tingkat ketelitian yang baik. Berikut merupakan presentase tingkat ketelitian untuk masing-masing panjang dan kedalaman retak:

➤ Kedalaman retak

$$\text{Presentase error} = \frac{(\text{Tinggi sinyal blok kalibrasi} - \text{Tinggi sinyal pengujian})}{\text{Tinggi sinyal blok kalibrasi}} \times 100\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - \text{Presentase error}$$

- 0.5 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(4 - 3.7)}{4} \times 100\% = 7.5\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 7.5\% = 92.5\%$$

- 1.0 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(10 - 4)}{10} \times 100\% = 60\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 60\% = 40\%$$

- 1.5 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(15 - 8)}{15} \times 100\% = 46.67\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 46.67\% = 53.33\%$$

- 2.0 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(18 - 11.2)}{18} \times 100\% = 37.78\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 37.78\% = 62.22\%$$

➤ Panjang retak

$$\text{Presentase error} = \frac{(\text{Panjang sinyal pengujian} - \text{Panjang retak})}{\text{Panjang retak}} \times 100\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - \text{Presentase error}$$

- 5.0 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(5.5 - 5)}{5} \times 100\% = 10\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 10\% = 90\%$$

- 6.0 mm

$$\text{Presentase error} = \frac{(7 - 6)}{6} \times 100\% = 16.67\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 16.67\% = 83.33\%$$

- 7.0 mm

$$\text{Presentase } error = \frac{(7.9 - 7)}{7} \times 100\% = 12.86\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 12.86\% = 87.14\%$$

- 10 mm

$$\text{Presentase } error = \frac{(10.9 - 10)}{10} \times 100\% = 12.86\%$$

$$\text{Presentase ketelitian} = 100\% - 12.86\% = 87.14\%$$

➤ Rata-rata presentase ketelitian

Dari data presentase ketelitian yang sudah didapatkan sebelumnya, maka rata-rata presentase ketelitian *Eddy Current Testing* adalah sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata presentase ketelitian} = \frac{\text{Jumlah presentase ketelitian}}{\text{Banyaknya presentase ketelitian}}$$

$$\text{Rata - rata presentase ketelitian} = \frac{595.66}{8} = 74.5\%$$

Jadi, rata-rata presentase ketelitian *Eddy Current Testing* dengan menggunakan variasi panjang dan kedalaman retak adalah 74.5%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari *Eddy Current Testing* yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *Eddy Current Testing* memiliki tingkat sensitivitas yang baik dalam mendeteksi panjang dan kedalaman retak pada sambungan las material aluminium 5083. Dari hasil pengujian, *Eddy Current Testing* memiliki tingkat sensitivitas sebesar 100%. Namun tingkat sensitivitas pendeteksian dari *Eddy Current Testing* akan berkurang seiring dengan mengecilnya ukuran dimensi dari retak yang dideteksi.
2. Dengan menggunakan plester setebal 15 mikron (0.15 mm), *Eddy Current Testing* dapat mendeteksi *crack* dengan hasil rata-rata ketinggian dan panjang sinyal indikasi adanya retak adalah sebagai berikut.
 - Untuk retak dengan kedalaman 0.5 mm rata-rata ketinggian sinyal adalah 3.7 mm; kedalaman 1.0 mm rata-rata ketinggian sinyal adalah 4.0 mm; kedalaman 1.5 mm rata-rata ketinggian sinyal adalah 8.0 mm; dan untuk kedalaman 2.0 mm rata-rata ketinggian sinyal adalah 11.2 mm.
 - Untuk retak dengan panjang 5.0 mm rata-rata panjang sinyal adalah 5.5 mm; panjang 6.0 mm rata-rata panjang sinyal adalah 7.0 mm; panjang 7.0 mm rata-rata panjang sinyal adalah 7.9 mm; dan untuk panjang 10 mm rata-rata panjang sinyal adalah 10.9 mm.

Dengan hasil tersebut, *Eddy Current Testing* memiliki presentase tingkat ketelitian sebesar 74.5 %.

3. Semakin kecil dimensi retak yang dideteksi maka akan mengurangi sensitivitas pendeteksian kedalaman retak pada material tersebut yang ditunjukkan pada sinyal indikasi retak pada monitor *Eddy Current Testing* yang akan semakin mengecil. Semakin dalam suatu retak pada material maka tinggi indikasi retak akan semakin besar.

4. Panjang retak pada suatu material tidak memengaruhi tinggi indikasi sinyal retak. Panjang retak hanya memengaruhi panjang indikasi sinyal retak. Semakin panjang retak pada suatu material maka semakin panjang indikasi sinyal retak pada monitor *Eddy Current Testing*.
5. Permukaan sambungan las yang tidak rata atau bergelombang dapat mengurangi sensitivitas pendeteksian retak.

V.2. Saran

Penelitian ini menggunakan aluminium 5083 sebagai *base metal* dan jenis sambungan las yang digunakan adalah *Butt Joint*. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan menggunakan jenis *base metal* yang berbeda dan menggunakan jenis sambungan las *T (Fillet) Joint*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Cary, H. B. (2005). *Modern Welding Technology 4th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Cox, J. (1997). *Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Eddy Current*. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- Equbal, A., & Sood, A. K. (2014). Electrical Discharge Machining: An Overview on Various Areas of Research. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering (MIE)*, 1.
- Hagemaiier, D. J. (2002). *Fundamentals of Eddy Current Testing*. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Mix, P. E. (2005). *Intoduction to Nondestructive Testing*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Monika, & Chauhan, J. (2017). *A Review Paper On Gas Metal Arc Welding (GMAW) Of Mild Steel 1018 By Using Taguchi Technique*. India: Guru Jambheshwar University of Science and Technology Hisar, India.
- Nunes, R. M. (1989). *ASM Handbook - Nondestructive Evaluation and Quality Control*. United States: ASM International.
- Sadek, H. (2006). *Electromagnetic Testing-Classroom Training Book*. Columbus: ASNT.
- Steels, A. (2013). *Aluminium Alloy Data Sheet 5083*. Atlas Steels.
- Widharto, S. (2007). *Inspeksi Las 6*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS



I Gusti Agung Aditya Ary Nugraha, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Denpasar pada 28 Februari 1997 silam. Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Anugrah, kemudian melanjutkan ke SDN 26 Pemecutan, SMPN 7 Denpasar dan SMAN 1 Denpasar. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur Mandiri.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* ahli Departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL ITS 2017/2018 serta wakil ketua Departemen Umum TPKH ITS 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi LO (*Liaison Officer*) pada SENTA 2016. Pada Desember 2017, untuk menyelesaikan syarat studinya penulis melaksanakan Kerja Praktik pertama di PT. Yasa Wahana Tirta Samudera yang berlokasi di Semarang dan pada Juli 2018 penulis melaksanakan Kerja Praktik kedua di PT. Abadi Cemerlang yang berlokasi di Bintaro.

Email : agung.aditya28@gmail.com

Linkedin : Agung Aditya