

TUGAS AKHIR - MN 184802

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)

Brian Sandi Ardi Nugraha NRP 04111640000055

Dosen Pembimbing Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

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



TUGAS AKHIR - MN 184802

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)

Brian Sandi Ardi Nugraha NRP 04111640000055

Dosen Pembimbing Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

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



FINAL PROJECT - MN 184802

ANALYSIS THE COMPARATIVE OF SENSITIVITY OF DETECTION ON CRACK OF 316L STAINLESS STEEL MATERIAL AND 5083 ALUMINIUM MATERIAL WITH FREQUENCY VARIATIONS IN A WELD JOINT USING EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD

Brian Sandi Ardi Nugraha NRP 04111640000055

Supervisor

Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

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



LEMBAR REVISI

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)

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir Tanggal 7 Agustus 2020

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

Oleh:

BRIAN SANDI ARDI NUGRAHA NRP 04111640000055

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:
1. Totok Yulianto,S.T.,M..T.
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi,M.Eng.,Ph.D.
3. Dony Setyawan,S.T.,M.Eng.
4. Muhammad Nurul Misbah,S.T.,M.Eng.
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:
1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, berkat, dan Hidayah-Nya sehingga 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 Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini.
- Bapak Muhammad Nurul Misbach, 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.
- 4. Seluruh dosen di Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu-ilmu yang telah diberikan selama kuliah.
- 5. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Yanto, Mas Joko, Pak Fayril, dan pak aminudin yang selalu siap membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
- 6. Keluarga di rumah terutama untuk orang tua saya: Gunawan dan Sri Karsiyati yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat, dan kasih sayang yang tidak pernah bisa terbalaskan.
- 7. Syarfa Monita Wahjudhi, S.T., atas segala bantuan dan semangat yang diberikan.
- 8. I Gusti Agung, Rakanavy, dan seluruh keluarga besar "IRONCLAD P-56" 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, 7 Agustus 2020

Brian Sandi Ardi Nugraha

ANALISIS PERBANDINGAN SENSITIVITAS PENDETEKSIAN TERHADAP CRACK PADA MATERIAL STAINLESS STEEL 316L DAN MATERIAL ALUMINIUM 5083 DENGAN VARIASI FREKUENSI PADA SAMBUNGAN LAS DENGAN METODE EDDY CURRENT TESTING (ECT)

Nama Mahasiswa	: Brian Sandi Ardi Nugraha
NRP	: 04111640000055
Departemen/fakultas	: Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	: 1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng

ABSTRAK

Dalam bidang industri perkapalan, stainless steel 316L digunakan dalam konstruksi tangki ruang muat bahan kimia sedangkan aluminium 5083 digunakan dalam konstruksi tangki pada kapal aluminium. Adanya cacat las pada pengelasan merupakan hal yang dapat berakibat fatal karena akan mengakibatkan kebocoran pada tanki tersebut akibat korosi. Maka dari itu, diperlukan *Non Destructive Testing* (NDT) untuk mendeteksi adanya cacat di area bawah permukaan material.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan sensitivitas dengan variasi frekuensi terhadap pendeteksian material las *stainless steel* 316L dan Aluminium 5083 dengan ukuran 150 x 80 x 10 mm menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT). Frekuensi *probe* yang digunakan pada penelitian ini adalah 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz. Sambungan las pada *stainless steel* 316L menggunakan jenis *butt* joint dan akan diberi retak buatan di bagian *weld metal*nya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan variasi frekuensi pada *probe* akan berpengaruh terhadap dua hal yaitu ketinggian sinyal dan kemampuan kedalaman penembusan. Semakin besar frekuensi yang digunakan semakin tinggi juga sinyal indikasi retak yang muncul. Hal tersebut dibuktikan adanya peningkatan tinggi sinyal indikasi suatu retak jika frekuensinya semakin tinggi juga demikian berlaku sebaliknya. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan perbandingan sensitivitas dengan variasi frekuensi terhadap material stainless steel 316L dengan aluminium 5083 sehingga sensivitas pendeteksian dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan nilai permeabilitas dari suatu material. Hal ini dapat dibuktikan dengan semakin tinggi serta kedalaman penembusan semakin dalam dengan frekuensi yang sama.

Kata Kunci: Aluminium, Eddy Current Frequency, Eddy Current Testing, Non Destructive Testing, Stainless Steel 316L

ANALYSIS THE COMPARATIVE OF SENSITIVITY OF DETECTION ON CRACK WITH FREQUENCY VARIATIONS IN A WELD JOINT OF 316L STAINLESS STEAL AND 5083 ALUMINIUM MATERIAL USING EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHOD

Author	: Brian Sandi Ardi Nugraha
Student Number	: 04111640000055
Department/Faculty	: Naval Architecture/Marine Technology
Supervisor	: 1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the shipping industry, 316L stainless steel is used in chemical cargo tank construction while aluminum 5083 is used in tank construction in aluminium ship. The existence of welding defects in welding is something that can be fatal because it will cause leakage in the tank due to corrosion. Therefore, Non-Destructive Testing (NDT) is needed to detect any defects in the subsurface area of the material.

This study aims to determine the comparison of sensitivity with frequency variations to the detection of 316L stainless steel welding material and Aluminum 5083 with a size of 150 x 80 x 10 mm using the Eddy Current Testing (ECT) method. The frequency of the probes used in this study was 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, and 650 kHz. Welding joints on 316L stainless steel use a type of butt joint and will be given an artificial crack in the weld metal section.

The results of this study indicate that variations in frequency on the probe will affect two things: signal height and depth of penetration capability. The greater the frequency used, the higher the signal for the crack indication that appears. This is evidenced by an increase in signal height indication of a crack if the frequency is higher and vice versa. Besides, this study also shows a comparison of sensitivity with frequency variations of 316L stainless steel material with 5083 aluminum so that frequency sensitivity is affected by the conductivity value and permeability value of a material. This can be proven by the smaller the conductivity value and the permeability value will make the indication signal higher and the depth of penetration

Keywords: Aluminium, *Eddy Current Frequency*, *Eddy Current Testing*, *Non Destructive Testing*, *Stainless Steel 316L*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI	iii
HALAMAN PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Hipotesis	2
1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir	3
BAB 2 STUDI LITERATUR	5
2.1. Pengjian <i>Eddy Current</i>	5
2.1.1. Prinsip Pengujian	6
2.1.2. Aplikasi Penggunaan Eddy Current Testing	7
2.1.3. Variabel-variabel Eddy Current Testing	8
2.1.4. Kelebihan dan Kekurangan Eddy Current Testing	13
2.2. Gas Metal Arc Welding (GMAW)	15
2.3. Stainless Steel 316L	16
2.4. Aluminium	17
2.5. Cacat Las pada Pengelasan	19

	2.6. E	lectrical Discharge Machining (EDM)	21
	2.7. A	nalisis Faktor-faktor Pengujian	22
BAB	3 METO	ODOLOGI	27
	3.1. D	Piagram Alir	27
	3.2. P	ersiapan Material dan Alat	29
	3.3. P	roses Pengelasan	30
	3.4. P	embuatan Retak Buatan	32
	3.5. P	engujian Eddy Current	39
BAB	4 HASI	L DAN PEMBAHASAN	41
	4.1. P	endahuluan	41
	4.2. H	Iasil Pengujian pada Test Piece #1	44
	4.3. H	Iasil Pengujian pada Test Piece #2	47
	4.4. H	Iasil Pengujian pada Test Piece #3	50
	4.5. H	Iasil Pengujian pada Test Piece #4	53
	4.6. H	Iasil Pengujian pada Test Piece #5	55
	4.7. P	erbandingan Ketinggian Sinyal Retak Berdasarkan Variasi Frekuensi Probe	58
	4.7.1.	Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #1	59
	4.7.2.	Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #2	63
	4.7.3.	Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #3	67
	4.7.4.	Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #4	72
	4.7.5.	Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #5	76
	4.8. P	erbandingan Sensivitas Pendeteksian Material Aluminium 5083	81
	4.8.1.	Hasil Pengujian Frekuensi 15KHz	81
	4.8.2.	Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz	87
	4.8.3.	Hasil Pengujian Frekuensi 500KHz	93
	4.8.4.	Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz 1	.00
	4.9. A	nalisis Faktor Penguji terhadap Sensivitas Pendeteksian 1	.06
	4.10. P	embahasan1	11
	4.10.1	1. Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Ketinggian Sinyal Indikasi Retak 1	.11

4.10.2. Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Kemampuan Kedalaman Penembusa Sinyal (<i>Depth of Penetration</i>)	an 114
4.10.3. Perbandingan Sensivitas Pendeteksian terhadap Material Stainless Steel 3 dengan Aluminium 5083	16L 116
BAB 5 KESIMPULAN	121
5.1. Kesimpulan	121
5.2. Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	123
BIODATA PENULIS	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Interaksi Medan Magnet dan Arus Eddy	5
Gambar 2. 2 Principal Eddy Current Testing	7
Gambar 2. 3 Pengaruh Frekuensi, Konduktivitas, dan Permeabilitas terhadap Kedalaman Penembusan	12
Gambar 2. 4 Kedalaman Penembusan Standard Beberapa Material pada Frekuensi yang Berbeda	13
Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengelasan Jenis GMAW	15
Gambar 2. 6 Pelat Aluminium	18
Gambar 2. 7 Porositi	20
Gambar 2. 8 Incomplete Fusion	20
Gambar 2. 9 Slag inclusion	21
Gambar 2. 10 <i>Crater crack</i>	21
Gambar 2. 11 Ilustrasi <i>Electric Discharging Machining</i> (EDM)	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	28
Gambar 3. 2 Dimensi Sepesimen Uji	29
Gambar 3. 3 <i>Crack</i> Buatan pada <i>Test Piece</i>	29
Gambar 3. 4 Ilustrasi Desain Bevel	30
Gambar 3. 5 Proses Gerinda pada Material	31
Gambar 3. 6 Proses Pengelasan GMAW oleh Welder	31
Gambar 3. 7 Hasil Pengelasan Butt Joint	32
Gambar 3. 8 Material Hasil Pengelasan Butt Joint Setelah Dibersihkan	32
Gambar 3. 9 CNC EDM (Electric Discharge Machining)	33
Gambar 3. 10 Proses Pengerjaan Pembuatan Retak Buatan	33
Gambar 3. 11 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 1	34
Gambar 3. 12 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 2	35
Gambar 3. 13 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 3	36
Gambar 3. 14 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 4	37
Gambar 3. 15 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 5	38
Gambar 3. 16 Material Uji yang sudah Diberi Retak Buatan	39
	xvii

Gambar 4. 1 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 15 Khz41
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 30 Khz
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 500 Khz
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Pada Blok Kalibrasi Menggunakan Frekuensi 650 Khz
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz 44
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Frekuensi 30khz 45
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz 45
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz 46
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz 47
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz 48
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Frekuensi 500kHz 48
Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz 49
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz 50
Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz 51
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz 51
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz 52
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz 53
Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz 54
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz 54
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz 55
Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz 56
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz 56
Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Frekuensi 500kHz 57
Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Frekuensi 650 kHz 57
Gambar 4. 25 Perbandingan Ketinggian Sinyal Terhadap Kode Retak 1A 59
Gambar 4. 26 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 1B 60
Gambar 4. 27 Perbandingan ketinggian sinyal terhadap kode retak 1C
Gambar 4. 28 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 1D 61
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi tiap Kode Retak pada Test Piece 1 62

Gambar 4. 30 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2A63
Gambar 4. 31 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2B64
Gambar 4. 32 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2C65
Gambar 4. 33 Perbandingan Ketinggian Sinyal Terhadap Kode Retak 2D65
Gambar 4. 34 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 2E
Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 267
Gambar 4. 36 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3A68
Gambar 4. 37 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3B68
Gambar 4. 38 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3C69
Gambar 4. 39 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3D70
Gambar 4. 40 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3E
Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 371
Gambar 4. 42 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4A72
Gambar 4. 43 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4B73
Gambar 4. 44 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3E
Gambar 4. 45 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4D74
Gambar 4. 46 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4E
Gambar 4. 47 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 476
Gambar 4. 48 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5A77
Gambar 4. 49 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5B77
Gambar 4. 50 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5C
Gambar 4. 51 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5D
Gambar 4. 52 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5E
Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 580
Gambar 4. 54 Hasil Pengujian Eddy Current Pada Test Piece 1 menggunakan Probe 15kHz 81
Gambar 4. 55 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 2 menggunakan Probe 15 Khz82
Gambar 4. 56 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 15 kHz83
Gambar 4. 57 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 4 menggunakan Probe 15 kHz85
Gambar 4. 58 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 15 kHz86

Gambar 4. 59 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 1 menggunakan Probe 30kHz 87
Gambar 4. 60 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 2 menggunakan Probe 30kHz 88
Gambar 4. 61 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 30kHz 90
Gambar 4. 62 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 4 menggunakan Probe 30kHz 91
Gambar 4. 63 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 30kHz 92
Gambar 4. 64 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 1 menggunakan <i>Probe</i> 500kHz
Gambar 4. 65 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 2 menggunakan <i>Probe</i> 500kHz
Gambar 4. 66 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 3 menggunakan <i>Probe</i> 500kHz
Gambar 4. 67 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 3 menggunakan <i>Probe</i> 500kHz
Gambar 4. 68 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 5 menggunakan <i>Probe</i> 500kHz
Gambar 4. 69 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 1 menggunakan <i>Probe</i> 650kHz
Gambar 4. 70 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 2 menggunakan <i>Probe</i> 650kHz
Gambar 4. 71 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 3 menggunakan <i>Probe</i> 650kHz
Gambar 4. 72 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 4 menggunakan <i>Probe</i> 650kHz
Gambar 4. 73 Hasil Pengujian <i>Eddy Current</i> pada <i>Test Piece</i> 5 menggunakan <i>Probe</i> 650kHz
Gambar 4. 74 Tabel Perbandingan antara Blok Kalibrasi dengan Perhitungan Aktual 107
Gambar 4. 75 Input Data Pengaruh Kedalaman Crack Terhadap Sensivitas Pendeteksian 108
Gambar 4. 76 Input Data Pengaruh Lebar Crack Terhadapa Sensivitas pendeteksian 108
Gambar 4. 77 Penentuan Nilai Toleransi Kesalahan 109
Gambar 4. 78 Perhitungan Penunjang Nilai Fhitung pada Pengaruh Kedalamanan <i>crack</i> &Lebar <i>Crack</i>
Gambar 4. 79 Hasil Analisis Pengaruh Kedalaman Crack terhadap Sensivitas Pendeteksian
Gambar 4. 80 Hasil Analisis Pengaruh Lebar <i>Crack</i> terhadap Sensivitas Pendeteksian 110 xx

Gambar 4. 81 Penentuan Nilai F Tabel untuk Analisa Pengaruh Sensivitas Pende	teksian110
Gambar 4. 82 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test H	Piece 1113
Gambar 4. 83 Blok Kalibrasi	114
Gambar 4. 84 Perbandingan Test Piece 1	117
Gambar 4. 85 Perbandingan Test Piece 2	118
Gambar 4. 86 Perbandingan Test Piece 3	118
Gambar 4. 87 Perbandingan Test Piece 4	119
Gambar 4. 88 Perbandingan Test Piece 5	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konduktifitas Relatif Berbagai Macam Jenis Metal Menurut IACS	8
Tabel 2. 2 Penandaan Material Beserta Kode	.17
Tabel 2. 3 Hasil Perhitungan Standard Depth of Penetration	. 19
Tabel 2. 4 Hasil Perhitungan Effective Depth of Penetration	. 19
Tabel 2. 5 Kalkulasi Perhitungan Two Way ANOVA	25
Tabel 3. 1 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 1	.34
Tabel 3. 2 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 2	.35
Tabel 3. 3 Dimensi retak buatan pada test piece 3	36
Tabel 3. 4 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 4	37
Tabel 3. 5 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 5	. 38

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara umum bidang industri menggunakan sebuah objek berupa material dalam pembangunan kapal. Suatu material akan memungkinkan terjadi nya kerusakan apabila dilakukan proses pengelasan kurang baik. Pada umumnya, kerusakan akan mudah terdeteksi secara visual jika kerusakan tersebut berada pada permukaan material. Jika kerusakan retak material tersebut berada di bawah permukaan material, maka akan susah terdeteksi secara visual. Hal ini mengakibatkan terjadinya kegagalan material. Pendeteksian dengan metode *Non Destructive Test* (NDT) diperlukan untuk mendeteksi terjadinya kerusakan yang tidak bisa terlihat secara visual.

Material yang digunakan dalam konstruksi tangki kapal seperti *stainless steel* 316L, aluminium, atau material yang tahan terhadap korosi. Pengaplikasian material *stainless steel 316L* digunakan pada konstruksi tangki ruang muat bahan kimia sedangkan aluminium 5083 digunakan pada konstruksi tangki kapal aluminium. Material *stainless steel 316L* dan aluminium 5083 termasuk material *nonferomagnetic* dimana pemeriksaan kerusakan berupa *defect* menggunakan cairan penetran. Tetapi penggunaan cairan penetran tidak dapat mengukur kedalaman kerusakan *defect* sehingga perlu digunakan metode *eddy current testing* (ECT).

Prinsip metode ini yaitu probe menginduksikan arus listrik ke material dan mengamati reaksi yang dihasilkan antara medan magnet yang terlibat. Jika dibandingkan dengan NDT jenis lainnya, *Eddy Current Testing* lebih efektif untuk mendeteksi kerusakan pada permukaan maupun di bawah permukaan material dan waktu pengujian relatif lebih cepat (Rais, 2015). Pengujian ini perlu dilakukan untuk menentukan frekuensi pada *probe* yang akan digunakan karena akan mempengaruhi hasil keakuratan atau nilai keakuratan.

1.2. Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penggunaan variasi pada frekuensi terhadap tingkat sensitivitas dari metode *Eddy Current Testing* (ECT) terhadap material *stainless steel* 316 pada sambungan las?

1.3. Tujuan

Untuk mengetahui perbandingan sensitivitas dengan variasi frekuensi terhadap pendeteksian dalam menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT) pada bagian *weld metal* pada material *stainless steel 316* dengan aluminium 5083.

1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Material yang digunakan adalah stainless steel dengan ukuran 150 mm x 40 mm x 10 mm sebanyak 10 *test piece*.
- Pembentukan retak pada setiap *test piece* uji sebanyak 4-5 retak buatan dengan menggunakan *Electrical Discharging Machining (EDM)* dengan variasi kedalaman 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, dan 2 mm, variasi panjang 8 mm, dan variasi lebar *crack* 0.15 mm, 0.2 mm, 0.25 mm dan 0.35 mm.
- Menggunakan hasil analisis Aluminium 5083 yang diambil dari referensi.
- Diberikan pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) di tengah test piece uji.
- Metode pengujian menggunakan eddy current testing (ECT).
- Frekuensi probe yang digunakan yaitu 650 KHz, 500 KHz, 15 KHz dan 30 KHz.

1.5. Manfaat

Hasil dari Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagai referensi dalam mengetahui perbandingan sensitivitas dengan variasi frekuensi terhadap pendeteksian material stainless stell 316 dengan aluminium 5083 menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari Tugas Akhir ini adalah frekuensi yang lebih kecil akan menghasilkan tingkat sensitivitas lebih tinggi karena kedalaman penembusan lebih dalam daripada menggunakan Frekuensi yang lebih besar dan berlaku sebaliknya. Sehingga analisis perbandingan akan menunjukkan bahwa untuk material stainless steel 316 akan memiliki kedalaman penembusan lebih dalam dibanding material aluminium 5083 pada frekuensi yang sama.

1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Untuk memperoleh hasil laporan Tugas Akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan laporan sebagai berikut:

- KATA PENGANTAR
- ABSTRAK
- DATAR ISI
- DAFTAR GAMBAR
- DAFTAR TABEL
- BAB I PENDAHLUAN

Berisikan konsep penyusunan Tugas Akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

• BAB II DASAR TEORI

Berisikan tentang teori-teori mendukung yang digunakan dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini. Teori-teori tersebut dapat diambil melalui studi yang telah dilakukan sebelumnya seperti Jurnal, Tugas Akhir dan dari buku-buku/literatur yang sesuai dengan topik penelitian.

• BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang langkah-langkah dalam proses pengerjaan Tugas Akhir secara rinci dan jelas dimulai dari pencarian data hingga didapatkan kesimpulan.

• BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisikan analisis dan pembahasan dari pengaruh variasi penggunaan frekuensi terhadap tingkat sensitivitas dari metode Eddy Current Testing (ECT) terhadap material las aluminium 5083.

• BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang hasil analisis dari pengerjaan Tugas Akhir ini dan evaluasi dalam pengerjaan serta muncul saran-saran untuk pengembangan Tugas Akhir lebih lanjut yang berkaitan dengan materi Tugas Akhir ini.

- DAFTAR PUSTAKA
- LAMPIRAN

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. Pengjian Eddy Current

Pengujian *eddy current* merupakan salah satu teknik NDT yang sangat umum dipakai dalam industri logam atau bidang fabrikasi. Pengujian ini akan menggunakan gelombang elektromagnetik atau gelombang suara sebagai media untuk menginspeksi suatu material agar mendapatkan sifat dari material uji tersebut. Secara prinsip teknik *eddy current* ini didasarkan pada interaksi antara sumber medan magnet dan material uji tersebut. Interaksi tersebut akan menginduksi arus *eddy* pada material uji, bisa dilihat pada gambar 2.1. Pengujian ini dapat dapat mendeteksi adanya *crack* dengan ukuran yang sangat kecil hanya dalam melihat perubahan gelombang yang ada pada monitor *eddy current*. Fungsi pengujian *eddy current* dapat diaplikasikan ke berbagai material konduktif lainnya, baik *feromagnetic* dan *nonferomagnetic* (Martin, Gil, & Sanchez, 2011).



Gambar 2. 1 Ilustrasi Interaksi Medan Magnet dan Arus Eddy

Sumber: http://www.lionprecision.com/eddy-current-sensors/

Pengujian *eddy current* memungkinkan dapat digunakan unuk menghitung atau mengidentifikasi kondisi dan karakteristik material seperti konduktivitas listrik, permebilitas magnetik, *hardness*, kondisi perlakuan panas, dan ukuran fisik. Disamping itu juga pengujian ini dapat digunakan dalam mendeteksi adanya *crack* karena *eddy current* didasarkan pada prinsip elektromagnetik. Metode pengujian ini tidak perlu adanya kontak secara langsung dengan bagian yang diuji.

2.1.1. Prinsip Pengujian

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

- 1. Dalam tujuannya untuk menghasilkan *eddy current* pada proses inspeksi, digunakan sebuah *probe*. Di dalam *probe* terdapat material penghantar listrik *yang dibentuk menjadi coil* (kumparan atau gulungan).
- 2. Kemudian dialirkan arus bolak balik (AC) pada *probe* tersebut dengan frekuensi tertentu.
- 3. Saat arus AC melewati kumparan maka terbentuk *magnetic field* 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 terdeteksi terdapat cacat pada logam maka terjadi pola perubahan impedansi pada kumparan probe. Pola perubahan impedansi dapat dilhat melalui besaran amplitude dan sudut phasa. Dimana amplitude dapat menunjukkan besaran cacat sedangkan sudut phasa menunjukkan kedalaman cacat (Razak,1990).


Gambar 2. 2 Principal Eddy Current Testing

2.1.2. Aplikasi Penggunaan Eddy Current Testing

Aplikasi pengujian *eddy current* di bidang industri produksi sudah terlalu banyak dan telah tersebar luas. Meskipun respon pengujian *eddy current* hanya pada material yang dapat mempengaruhi geometri material, konduktivitas listrik, dan permeabilitas magnet di wilayah yang mengandung medan magnet, pengujian ini sangat serbaguna dan memiliki beberapa fungsi sebagai berikut: (Mester, McIntire, & McMaster, 2001)

- 1. Dapat mengukur ketebalan dari *metallic foils*, lembaran, pelat, dinding pipa silinder, dan satu sisi bagian-bagian mesin saja tanpa terjadinya kontak;
- Dapat mengukur ketebalan cat pada material dasar dimana cat dan material dasar terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan pada elektrikal atau magnetiknya;
- 3. Dapat mengidentifikasi atau memisahkan material dengan komposisi atau strukturnya dimana material tersebut mempengaruhi karakteristik elektrikal atau magnetik pada material uji tersebut
- 4. Dapat mendeteksi adanya diskontinuitas pada material (yang tedapat di permukaan melintang arus *eddy*) seperti *crack, seams, laps, plug cuts, drillerd,* dan lubang-lubang pada pelat atau pelat lembaran;
- 5. Dapat mengidentifikasi dan mengontrol kondisi perlakuan panas dan penilaian terhadap kerusakan panas pada struktur metalik;

- 6. Dapat menentukan besarnya pengerasan pada baja dan material baja campuran lainnya;
- 7. Dapat menentukan letak objek metal yang tak terlihat seperti pipa bawah tanah, ranjau, atau kandungan metal yang terkandung pada bahan makanan;
- 8. Dapat menentukan letak pergerakan pada bagian mesin yang tak terlihat, menghitung jumlah barang yang berada diatas konveyor, atau bahan metal pada saat penerbangan; dan
- 9. Dapat menghitugn dimensi secara tepat atau presisi dari bahan metal yang simetris, tertanam, dan dipoles seperti *bearings*.

2.1.3. Variabel-variabel Eddy Current Testing

Berikut beberapa variabel-variabel yang terdapat pada pengujian *eddy current*, antara lain:

a) Konduktivitas

Konduktivitas atau daya hantar adalah kemampuan sebuah material dalam menghantarkan alus listrik. Akan tetapi definisi ini dirasa kurang praktis dalam penerapan pengujian arus *eddy*, maka pada pengujian arus *eddy* dipakai sistem IACS (*International Annealed Copper Standard*). Dalam sistem IACS, konduktivitas dari tembaga murni dipilih sebagai standar dan konduktivitas material lainnya dinyatakan sebagai presentase dari standar ini. Tabel2.1 menunjukkan daftar angka konduktifitas relatif dari berbagai jenis metal menurut IACS. Bisa dilihat pada tabel diatas. *Cooper* dan *silver* merupakan konduktor yang baik, *nickel* dan *steel* merupakan konduktor yang tidak bagus, dan kayu dan kaca merupakan jenis non-konduktor. Perbedaan konduktivitas material yang dimiliki oleh medan magnet *coil* tersebut. Pada tabel dibawah, aluminium murni memiliki nilai konduktivitas sebesar 61% dan *stainless steel 316L* memiliki nilai konduktivitas (Sadek, 2006).

Tabel 2. 1 Konduktifitas Relatif Berbagai Macam Jenis Metal Menurut IACS

Relative conductivity of various metals and alloys			
Metal or Alloy	Conductivity, %IACS		
Silver	105		
Cooper, annealed	100		
Gold	70		
Aluminum	61		
Aluminum (99.99%)	64.94		
Aluminum alloys :			
6061-T6	42		
7075-T6	32		
2024-T4	30		
Magnesium	37		
70-30 Brass	28		
Phosphor bronzes	11		
Monel	3.6		
Zirconium	3.4		
Zircaloy-2	2.4		
Titanium	3.1		
Ti-6AI-4V Alloy	1		
304, 316L stainless steel	2.5		
inconel 600	1.7		
Hastelloy X	1.5		
Waspaloy	1.4		

b) Frekuensi

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 didalam 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).

Saat frekuensi pengujian meningkat, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian juga meningkat, tapi kemampuan penetrasi *eddy current* terhadap material akan menurun. Jika frekuensi menurun, maka tingkat sensitivitas terhadap pendeteksian menurun, tapi kemampuan penetrasi *eddy*

current akan meningkat. Frekuensi optimal yang terbaik ditentukan oleh eksperimen (Hageimer, 2002).

c) Lift-off

Lift-off merupakan perubahan yang terjadi pada arus *eddy* saat *probe* dijauhkan dari permukaan material yang diuji. Selain itu, pengujian ini untuk mencari *diskontinuitas* yang terjadi pada material uji. Sinyal dari *lift-off* harus dapat dibedakan dengan sinyal yang dihasilkan dari *diskontinuitas* secara jelas. Untuk pengujian dengan tujuan mencari ketebalan lapisan cat pada material uji, maka harus dibuat *standard lift-off* menggunakan material blok kalibrasi sehingga dapat diketahui perbedaan antara material yang diuji dengan material blok kalibrasi (Cox, 1997).

d) 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).

e) Depth of Penetraton

Kedalaman penembusan saat pengujian *eddy current* sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang digunakan, konduktivitas, dan permeabilitas magnetik dari material tersebut. Semakin tinggi frekuensi yang digunakan serta konduktivitas dan permeabilitas yang tinggi dari suatu material dapat mengurangi kedalaman penembusan. Hal ini disebabkan karena *skin effect* terhadap arus AC. Frekuensi yang tinggi cenderung menjaga arus eddy untuk tetap menyebar di daerah permukaan material, dengan menurunkan frekuensi akan memungkinkan arus eddy dapat menembus lebih dalam. Apabila digunakan frekuensi yang lebih tinggi, medan magnet berbalik lebih cepat yang mengakibatkan lebih tinggi arus yang diinduksikan ke dalam material. Arus eddy yang kuat mengakibatkan medan magnet sekunder yang melawan penembusan medan magnet kumparan menjadi lebih kuat sehingga kedalaman penembusan akan semakin kecil dibanding dengan menggunakan frekuensi yang relatif rendah. Frekuensi yang relatif tinggi, penembusan arus eddy terbatas yang lebih dalalm tidak dapat diperiksa, namun sensivitas arus eddy terhadap diskontinuitas permukaan menjadi bertambah besar (Mix, 2005).

Selain frekuensi, menurut Mix (2005) kedalaman penembusan juga dipengaruhi oleh konduktivitas dan permeabilitas magnetik dalam kasus material feromagnetik. Kedalaman penembusan terhadap material yang memiliki konduktivitas dan permeabilitas magnetik tinggi akan lebih kecil jika dibandingkan dengan material yang memiliki konduktivitas dan permeabilitas magnetik yang rendah. Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi pengaruh frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas pada pengujian *eddy current*.

Untuk mencari konduktivitas dari suatu material dapat menggunakan rumus berikut :

$$conductivity(\% IACS) = \frac{172.41}{\text{Re sistivity}}$$
....(Pers. 2.1)

Ket : Resistivity Stainless Steel 316L =74.00 лQст

Resistivity Aluminium =2.65 лQст



Gambar 2. 3 Pengaruh Frekuensi, Konduktivitas, dan Permeabilitas terhadap Kedalaman Penembusan

f) Standard Depth of Penetration

Kedalaman penembusan *standard* didefinisikan sebagai kedalaman dimana kerapatan arus eddy kurang lebih 37% kerapatannya di permukaan. Pada Gambar 2.4 memperlihatkan kedalaman penembusan *standard* dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda. Grafik tersebut juga menunjukkan pengaruh konduktivitas dan permeabilitas terhadap kedalaman penembusan. Sebagai contoh, perhatikan bahwa kedalaman penembusan aluminium lebih kecil daripada kedalaman penembusan *stainless steel* pada frekuensi yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan aluminium adalah penghantar listrik yang lebih baik ketimbang aluminium (Hendroprasetyo,2015).



Gambar 2. 4 Kedalaman Penembusan Standard Beberapa Material pada Frekuensi yang Berbeda

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

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f\mu_{rel}}}$$
(Pers. 2.2)

Dimana,

 $\boldsymbol{\delta}$ = Kedalaman penembusan standar

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

ρ = Resistivitas (dalam micro.ohm.centimeter)

f = Frekuensi (Hz) ; $\mu_{rel} = 1$ (untuk nonferromagnetic material)

2.1.4. Kelebihan dan Kekurangan Eddy Current Testing

Disamping uji *eddy current* yang memiliki sifat serbaguna dalam pengaplikasianya, pengujian ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Berikut merupakan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh uji *eddy current*, yaitu :

1. Memiliki tingkat sensitivitas uji yang tinggi;

- 2. Dapat menganalisis geometri yang bersifat kompleks;
- 3. Biaya yang dibutuhkan untuk pengujian relatif rendah dan alat uji *eddy current* yang bersifat mudah dibawa/portabel; (Calvano, 2010)
- 4. Seperti metode NDT lainnya, *eddy current* memungkinkan pengukuran sifat/karakteristik material, dimensi material, dan mendeteksi adanya diskontinuitas;
- 5. Waktu yang dibutuhkan dan semakin modernnya analisis sinyalnya, memungkinkan dapat menganalisa pada saat itu juga. Karena itu, pengujian ini dapat digunakan di pabrik manufaktur untuk menguji material batangan, lembaran, pelat, komponen simetris yang bergerak dengan cepat; dan
- Metode ini sangat sesuai pengujiannya terhadap automotive, komponen mesin, suku cadang mesin, dan produk konsumen yang telah lama dikenal (Moore, 2004).

Selain kelebihan, uji *eddy current* memiliki kekurangan dalam penggunaannya, antara lain:

- 1. Uji *eddy current* hanya dapat diaplikasikan pada material yang memiliki konduktivitas listrik, misal logam dan paduan dan komposit yang dilapisi dengan lapisan bersifat konduktif;
- 2. Tingkat uji *eddy current* sangat besar ketika mendeteksi cacat yang ada dipermukaan atau dibawah permukaan, sehingga sangat sulit bahkan bisa tidak mungkin untuk mendeteksi cacat yang terletak di titik tengah material uji akibat adanya *skin effect;*
- 3. Uji *eddy current* cenderung tidak sensitif pada diskontinuitas yang terletak sejajar dengan arus *eddy* yang diinduksi. Namun, lebih cenderung merespon adanya diskontinutas yang terletak tegak lurus dengan aliran arus *eddy* pada material uji tersebut; (Moore, 2004)
- 4. Uji *eddy current* hanya dapat diaplikasikan pada material yang memiliki cacat di bagian permukaan atau di bawah permukaan;
- 5. Dibutuhkan pengalaman yang tinggi untuk mengidentifikasi atau mengananalisa hasil dari pengujian tersebut; (Calvano, 2010) dan
- 6. Kondisi permukaan material uji harus dalam kondisi bagus; (International Atomic Energy Agency, 2011).

2.2. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) atau sering disebut sebagai *Metal Inert Gas* (MIG) merupakan salah satu proses pengelasan busur logam yang terletak antara *continuous filler metal* dan *weld metal* yang terdapat gas pelindung yanng tersedia secara eksternal tanpa adanya aplikasi tekanan. Konsep pada pengelasan ini telah diperkenalkan pada tahun 1920-an, namun tidak sampai tahun 1948 GMAW ini sudah bisa digunakan secara komersial melalui pertimbangan yang didasarkan pada kepadatan arus yang yang tinggi, diameter kecil, dan penggunaan *inert gas* sebagai pelindung busur. Pengelasan ini diaplikasikan pada material logam seperti baja karbon, *high strength low alloy stell, stainless stell,* tembaga, aluminium, titanium, dan *nickel alloys* (American Welding Society, 1991).



Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengelasan Jenis GMAW

Sumber : www.zoombd24.com

Pengelasan GMAW ini memiliki kelebihan dalam penggunaannya sebagai berikut (American Welding Society, 1991):

- 1. Satu-satunya proses pemakaian *electrode* yang dapat digunakan untuk melakukan pengelasan pada material *metals* dan *alloy* pada umumnya;
- 2. Dapat diselesaikan dengan semua posisi;
- 3. Tingkat deposisi jauh lebih tinggi jiak dibandingkan dengan proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW);
- 4. Karena electrode bersifat kontinu sehingga tidak memerlukan berhenti;dan

5. Kecepatan saat pengelasan lebih tinggi karena *electrode* bersifat kontinu.

Proses pengelasan GMAW juga memiliki keterbatasan dalam penggunaannya sebagai berikut (American Welding Society, 1991) :

- 1. Perlengkapan GMAW sangar kompleks, biaya relatif lebih mahal, dan kurang *portable* jika dibandingkan dengan SMAW;
- 2. GMAW lebih susah dioperasikan karena *welding gun* lebih besar jika dibandingkan SMAW;
- 3. Busur las harus terlindungi dari udara karena dapat menyebabkan gas pelindungnya terurai; dan
- 4. Level radiasi panas sangat tinggi.

2.3. Stainless Steel 316L

Stainless steel tipe 316 secara khusus efektif pada lingkungan yang mengandung tingkat keasaman cukup tinggi, melindungi dari korosi yang disebabkan oleh sulfur, belerang, klorida, asam cuka, asam formiat, dan asam tartarat, juga terhadap asam sulfat dan klorida alkali.Tipe 316 adalah *chromium-nickel stainless steel* yang mengandung 2-3 persen *molybdenum*. Kandungan *Molybdenum* meningkatkan ketahanan terhadap korosi serta ketahanan terhadap suhu tinggi.

Stainless steel tipe 316L adalah versi rendah karbon dari tipe 316. Karbon rendah yang terkandung didalam tipe 316L meminimalkan pengendapan karbit yang merusak sebagai hasil dari proses pengelasan sehingga tipe 316L digunakan ketika dibutuhkan pengelasan yang memerlukan ketahanan korosi maksimal. Meskipun mirip dengan tipe 304, tipe 316 dan 316L memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dan lebih kuat serta ketahanan pada suhu yang lebih tinggi. Keduanya juga tidak perlu dikeraskan dengan pemanasan sehingga dapat secara langsung dibentuk.

Physical Properties:

- *Density*: 0.799g/cm³
- *Electrical resistivity*: 74 microhm-cm (20C)
- *Specific Heat*: 0.50 kJ/kg-K (0-100°C)

- Thermal Conductivity: 16.2 W/m-k (100°C)
- *Modulus of Elasticity* (MPa): 193 x 10³ in tension
- *Melting Range*: 2500-2550°F (1371-1399°C

2.4. Aluminium

Aluminium memiliki simbol kimia Al dengan nomor atom 13. Aluminium dapat terbagi menjadi 2 yaitu aluminium murni atau *pure aluminium* dan aluminium campuran. Aluminium murni memiliki sifat *nonmagnetic, ductile,* lunak, dan memiliki bentuk yang baik. Namun memiliki kekurangan yaitu kekuatan mekanik yang cenderung lemah. Untuk mengatasi kekuatan mekanik yang lemah tersebut dapat dilakukan dengan *cold working* atau dengan penambahan elemen paduan seperti *manganase,silicon, copper, magnesium,* atau *zinc.* Pada suhu temperatur rendah, aluminium lebih kuat dibandingkan dengan suhu ruang yang membuat aluminum lebih berguna (Cardarelli, 2000).

Aluminium alloys dibagi menjadi 2 kategori yaitu wrought aluminium alloys dan cast aluminium alloys. Perbedaan antara 2 kategori tersebut yaitu proses perpaduannya. Pada wrought aluminium alloys didapatkan melalui proses rolling, tempa, dan ekstrusi sedangkan pada cast aluminium alloys didapatkan melalui proses tuangan. Terdapat perbedaan kode material juga pada 2 kategori tersebut, pada wrought aluminium alloys memilik kode 1XXX, 2XXX, 3XXX, dan sebagainya. Sedangkan pada cast aluminium alloys memiliki kode 1XX.0, 2XX.0, 3XX.0, dan sebagainya. Berikut tabel yang menunjukkan penandaan material beserta keterangan pada wrought aluminium alloys dan cast aluminium alloys seperti pada Tabel 2.2.

Wrought aluminium		Cast aluminum	
alloys series		alloys series	
Series	Designation	Series	Designation
1XXX	<i>Pure aluminium</i> (99.00wt% <i>or greater</i>)	1XX.X	Purealuminium(99.00wt% or greater)
2XXX	Al-Cu dan Al-Cu-Mg alloys	2XX.X	Al-Cu alloys
3XXX	Al-Mn alloys	3XX.X	Al-Si-Cu-Mg alloys

Tabel 2. 2 Penandaan Material Beserta Kode

4XXX	Al-Si alloys	4XX.X	Al-Si alloys
5XXX	Al-Mg alloys	5XX.X	Al-Mg alloys
6XXX	Al-Mg-Si alloys	6XX.X	Al-Mg-Si alloys
7XXX	Al-Zn-Mg dan Al-Zn-Mg-Cu alloys	7XX.X	Al-Zn alloys
8XXX	Elemen alloys lainnya	8XX.X	Al-Sn alloys
9XXX	Unused Series	9XX.X	Elemen <i>alloy</i> lainnya

Bentuk kedua kode tersebut memiliki arti sendiri ditiap digitnya. Digit pertama (Xxxx) menunjukan jenis paduan aluminium berkaitan dengan kemurnian aluminium atau jenis unsur paduan utama. Digit kedua (xXxx) menunjukan modifikasi dari paduan orisinil. Digit 0 untuk paduan orosinil dan digit 1 sampai 9 untuk modifikasi. Digit ketiga dan keempat (xxXX) merupakan identitas campuran khusus paduan utama. Contoh: Pada paduan 5183, angka 5 menunjukan jenis paduannya adalah magnesium, angka 1 merupakan modifikasi pertama dari 5083, dan angka 83 merupakan identifikasi pada seri 5xxx (Davis, 2001).

Aluminium seri 5083 memiliki kandungan sebanyak 94.7% (Al), 0.7% (Mn), 4.4% (Mg), dan 0.15% (Cr). Pada aluminium seri 5XXX, memiliki elemen paduan yang dominan yaitu magnesium sehingga aluminium seri 5XXX tersebut memiliki sifat baik dalam kemampuan pengelasan, menambah kekuatan material, dan lebih tahan korosi (Davis, 2001).



Gambar 2. 6 Pelat Aluminium Sumber: tritonalloysync.com

Aluminium memiliki *standard depth of penetration (SDP)* dan *effective depth of penetration (EDP)*. Rumus kedalaman penembusan standar/SDP yang diambil dari ASNT *Handbook for electromagnetic testing* terdapat pada persamaan II.2. Berikut akan disajikan hasil perhitungan kedalaman penembusan standar / SDP tiap frekuensi yang digunakan dalam pengujian (Navy, 2019) pada Tabel 2.3.

Standart Depth of Penetration (mm)				
15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz	
0.996	0.704	0.172	0.151	

Tabel 2. 3 Hasil Perhitungan Standard Depth of Penetration

Selain itu, aluminium juga memiiki perhitungan *effective depth of penetration (EDP)* yaitu batasan efektif suatu sinyal mampu menembus kedalaman 3 kali SDP. Berikut akan disajikan hasil perhitungan EDP tiap frekuensi pada Tabel 2.4 :

Tabel 2. 4 Hasil Perhitungan Effective Depth of Penetration

Efective Depth of Penetration (mm)					
15 kHz 30 kHz 500 kHz 650 kHz					
2.987 2.112 0.517 0.454					

2.5. Cacat Las pada Pengelasan

Cacat las adalah hasil pengelasan yang tidak memenuhi syarat keberterimaan yang sudah dituliskan oleh standar (ASME IX, AWS, API, ASTM). Penyebab cacat las dapat dikarenakan adanya prosedur pengelasan yang salah, persiapan yang kurang dan juga dapat disebabkan oleh peralatan serta consumable yang tidak sesuai standart. Aluminium dan *stainless steel 316L* merupakan salah satu jenis logam yang memiliki sifat rentan terhadap pengelasan sehingga sering terjadinya cacat las. Berikut jenis-jenis cacat las yang sering terjadi saat pengelasan (Williams, 2016):

2.5.1 Porositi

Porositi adalah lubang diakibatkan oleh gelembung gas yang ditemukan di dalam *weld bead* yang telah membeku. Penyebab utama dari porositi adalah kontaminasi atmosfir, oksidasi yang tinggi pada permukaan benda kerja, kurangnya paduan doksidasi pada elektroda. Kontaminasi atmosfir dapat diakibatkan oleh kurangnya aliran gas pelindung, aliran gas pelindung yang berlebihan, adanya kerusakan pada peralatan gas plindung, dan adanya angin pada tempat kerja. Gambar 2.7 menunjukkan ilustrasi dari cacat las porositi.



Gambar 2. 7 Porositi

2.5.2 Incomplete Fusion (Lack of Fusion)

Cacat *Incomplete Fusion* adalah sebuah hasil pengelasan yang tidak dikehendaki karena ketidaksempurnaan proses penyambungan antara logam las dan logam induk. Cacat ini biasanya terjadi pada bagian samping lasan. Penyebab dari cacat tersebut adalah posisi sudut kawat las salah, ampere terlalu rendah, *travel speed* terlalu tinggi, dan permukaan kampuh terdapat kotoran. Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi dari cacat las *incomplete fusion*.



Gambar 2. 8 Incomplete Fusion

2.5.3 Slag Inclusion

Slag inclusion adalah salah satu jenis cacat pada las. Slag inclusion merupakan oksida dan benda non logam lainnya yang terjebak pada logam las. Slag inclusion bisa disebabkan oleh kontaminasi dari udara luar atau slag yang kurang bersih ketika mengelas dengan banyak lapisan (*multi pass*).



Gambar 2.9 Slag inclusion

2.5.4 Crater Crack

Retak kawah terjadi ketika kawah tidak terisi sebelum busur putus. Hal ini menyebabkan tepi luar kawah menjadi dingin lebih cepat daripada kawah, yang menciptakan tekanan yang cukup untuk membentuk celah. Bisa terjadi retakan radial longitudinal, transversal, dan / atau multipel.



Gambar 2. 10 Crater crack

2.6. Electrical Discharge Machining (EDM)

Electrical Discharge Machining (EDM) adalah salah satu proses permesinan non traditional yang paling umum dan paling sering digunakan. EDM merupakan proses elektrotermal yang didasarkan pada efek erosi percikan listrik pada elektroda dan benda kerja. Proses ini merupakan proses dimana pelepasan logam terjadi dengan serangkaian pelepasan listrik secara berulang antara alat pemotong yang bertindak sebagai elektroda dan benda kerja konduktif, dengan adanya cairan dielektrik. Teknologi EDM semakin banyak digunakan dalam industri pembuatan perkakas, cetakan dan cetakan untuk permesinan baja perkakas yang dipanaskan, dan bahan-bahan canggih yang membutuhkan presisi tinggi dan bentuk kompleks seperti *super alloys*, keramik, dan komposit matriks logam (Mirsha, Bhatia, & Rana, 2014).

Cairan dielektrik merupakan variabel yang sangat penting dalam proses EDM. Ada tiga fungsi utama; sebagai insulator antara alat dan benda kerja, bekerja sebagai pendingin, dan sebagai media pembilas untuk membersihkan serpihan. Cairan dielektrik biasanya berbahan dasar hidrokarbon, namun cairan jenis lain seperti *triethylene gycol* dan *tetraethylene glicol* juga digunakan untuk meningkatkan kecepatan kerja. Elektroda yang digunakan terbuat dari grafit dan tembaga, namun material lainnya dapat digunakan. EDM memiliki akurasi sampai 0.005-0.02 mm dalam hal membuat lubang dan 0.001-0.1 mm saat membuat cekungan (Grote & Antonsson, 2006).



Gambar 2. 11 Ilustrasi Electric Discharging Machining (EDM)

2.7. Analisis Faktor-faktor Pengujian

Anova adalah sebuah analisi statistik yang menguji perbedaan rerata antar grup. Grup disini bisa berarti kelompok atau jenis perlakuan. Anova ditemukan dan diperkenalkan oleh seorang ahli statistik bernama Ronald Fisher. Anova singkatan dari *Analysis of variance* yang merupakan prosedur uji statistik yang mirip dengan t test. Namun kelebihan dari Anova adalah dapat menguji perbedaan lebih dari dua kelompok (Gasperz, 1991).

Analisis ANOVA sering digunakan pada penelitian eksperimen dimana terdapat beberapa perlakuan. Peneliti ingin menguji, apakah ada perbedaan bermakna antar perlakuan tersebut. Mengingat uji Anova ini banyak digunakan dalam penelitian eksperimen, maka uji anova dapat dibagi berdasarkan desainnya (Gaspersz, 1991).

- 1. Anova satu arah, digunakan untuk menguji perbedaan diantara dua atau lebih kelompok dimana hanya terdapat satu faktor yang dipertimbangkan.
- 2. Anova dua arah, merupakan pengembangan dari anova satu arah dimana ada lebih dari satu faktor dan interaksinya yang dipertimbangkan.
- 3. Anova *reapeted measures*, digunakan ketika dalam desain eksperimen mengijinkan subjek penelitian diikutsertakan pada perlakuan yang berbeda.
- Multivariat Anova, berbeda dengan uji Anova yang hanya mengukur satu respon, Manova mengukur lebih dari satu respon dalam satu kali eksperimen.

Anova dua arah atau *two way* Anova digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata k sampel bila peneliti melakukan kategorisasi terhadap sampel kedalam beberapa blok, sehingga bila variabilitas atau sumber keragaman pada uji Anova satu arah berasal dari perlakuan dan galat, maka pada Anova dua arah sumber keragaman tidak hanya berasal dari perlakuan dan galat, tapi juga berasal dari blok. Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan Anova dua jalur (*two way* Anova) (Gaspersz, 1991):

- a. Identifikasi nilai: t (jumlah perlakuan), r (jumlah blog),
- b. hitung jumlah pengamatan total (n), yaitu: n = r x t,
- c. Hitung jumlah kuadrat total atau SST dengan persamaan

$$SS_T = \sum (X_{ij})^2 - \frac{(\sum T_j)^2}{n}$$
(2.3)

Dimana :

 $\sum (X_{ij})^2$: Jumlah kuadrat seluruh nilai pengamatan masing-masing variasi.

- T_j : Penjumlahan seluruh nilai pengamatan.
- N : Total banyaknya pengamatan.
- d. Hitung jumlah kuadrat perlakuan dengan persamaan :

$$SS_P = \sum \frac{\sum (P_1)^2}{r} - \frac{(\sum T_j)^2}{n}$$
(2.4)

Dimana :

 $\sum (P_i)^2$: Jumlah kuadrat nilai pengamatan seluruh perlakuan.

r : Banyaknya perlakuan.

e. Hitung jumlah kuadrat antar blok dengan persamaan :

$$SS_B = \sum \frac{\sum (B_1)^2}{t} - \frac{(\sum T_j)^2}{n}$$
(2.5)

Dimana :

 $\sum (B_i)^2$: Jumlah kuadrat nilai pengamatan seluruh blok

. t : Banyaknya blok.

f. Mencari harga F hitung dengan menggunakan persamaan :

 $F hitung (antar blok) = \frac{MS_B}{MS_B}$ (2.6)

 MS_E

 $F hitung (antar perlakuan) = \frac{MS_P}{\dots}...(2.7)$

 MS_E

Dimana :

MS_B : Kuadrat tengah blok.

MS_P : Kuadrat tengah perlakuan. MS_E

: Kuadrat tengah eror

Hasil dari seluruh perhitungan dapat disajikan pada tabel seperti yang tertera pada Tabel 2.5 berikut :

Sumber Variasi	df	SS	MS	F-HITUNG
Antar Blok	t-1	SSB	$MS_B = \frac{SS_B}{r-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Antar Perlakuan	r-1	SSp	$MS_p = \frac{SS_p}{t-1}$	$\frac{MS_p}{MS_p}$
Dalam Perlakuan	(- 1) (- 1) (+ 1)	$SS_E =$	MSE	
(error)	(n-1)-(r-1)-(t-1)	$SS_T - SS_B - SS_P$	(n-1)-(r -1)-(t-1)	
Total	n-1	SST		

Tabel 2. 5 Kalkulasi Perhitungan Two Way ANOVA

Sumber : Gaspersz, 1991

- g. Setelah mendapatkan nilai F hitung, langkah selanjutnya adalah menentukan harga F tabel dengan mempertimbangkan :
 - (1) Tingkat signifikansi (α), menggunakan 0,05 dengan artian rentang kesalahan sebesar 5%.
 - (2) df 1 atau N1, yaitu df dari nilai MS terbesar, yang nantinya akan menjadi *degree of freedom* (df) pembilang, dan menentukan letak kolom pada tabel F.
 - (3) df 2 atau N2, yaitu df dari nilai MS terkecil, yang nantinya akan menjadi

degree of freedom (df) penyebut, dan menentukan letak baris pada tabel F.

- h. Bandingkan harga F Hitung dengan F tabel.
 - Bila F Hitung < F tabel, maka Ho diterima, yang berarti rata-rata kedua perlakuan tidak berbeda secara signifikan,
 - (2) Bila F Hitung > F tabel, maka Ho ditolak dan H1 diterima, yang berarti rata- rata kedua perlakuan berbeda secara signifikan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Secara umum metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut :

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dari pengerjaan tugas akhir, yaitu menetapkan tujuan penelitian, melakukan perumusan, dan pembatasan masalah pada tugas akhir.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan *Eddy Current Testing* (ECT), meliputi pengertian dari *Eddy Current Testing* (ECT) beserta prinsipnya, hal-hal yang berpengaruh pada kemampuan penembusan kedalaman, kelebihan, kekurangannya, dan lain-lain.

3. Persiapan Material dan Alat

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah material *stainless steel* 316L. Alat yang diperlukan yaitu *probe* dengan empat variasi frekuensi (15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz) dan *eddy current monitor*.

4. Proses Pengelasan

Material yang telah disiapkan kemudian dilas dengan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) pada bagian tengah permukaan material.

5. Pembuatan Retak

Retakan pada material dibuat dengan menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan variasi kedalaman yaitu 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, dan 2.0 mm serta variasi lebar *crack* 0.15 mm, 0.20 mm, 0.25 mm, dan 0.35 mm.

6. Pengujian Eddy Current

Proses pengujian *eddy current* dilakukan dengan menggunakan empat variasi frekuensi *probe* yaitu 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz.

7. Pengolahan Hasil Uji dan Analisis Data

Data hasil uji *Eddy Current* berupa nilai sensitivitas. Data tersebut kemudian dianalisis dengan cara membandingkan sensitivitas pada tiap-tiap variasi ukuran retak pada *test piece* dan membandingkan sensitivitas pendeteksian *crack* antara *stainless steel* 316L dengan aluminium 5083 (dari referensi).

8. Kesimpulan

Tahapan akhir yaitu menyimpulkan dari hasil dan analisis.

Penjelasan diatas telah disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Persiapan Material dan Alat

Pada tahap persiapan material dilakukan proses pengadaan material-material yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir. Spesimen yang harus dipersiapkan pada penelitian ini berjumlah 10 buah pelat *stainless steel* 316L berukuran panjang 150 mm x lebar 40 mm x tebal 10 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Dimensi Sepesimen Uji

Crack dengan menggunakan *electric discharge machining*, dimana *crack* tersebut yang nantinya akan dilakukan pengujian *eddy current* dan kemudian dianalisis. Salah satu gambaran mengenai *crack* buatan pada *test piece* dapat dilihat pada Gambar3.3.



Gambar 3. 3 Crack Buatan pada Test Piece

Adapun peralatan-peralatan lain yang digunakan dalam pembuatan *test piece* sebagai berikut :

- Universal Milling Machine;
- Mesin las DC MIG
- Hand Grinder;
- Palu chipping;
- ✤ Sikat baja;

- ✤ Ragum;
- ✤ Sarung tangan las;
- Jangka sorong;
- Penggaris; dan
- Spidol.

Selain peralatan-peralatan diatas, peralatan pengujian *eddy* current juga merupakan hal utama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Berikut beberapa peralatan yang digunakan untuk menunjang pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut :

- 1. Blok Kalibrasi; dan
- 2. Peralatan dan perlengkapan uji eddy current.

3.3. Proses Pengelasan

 Pada Gambar 3.4 menunjukkan ilustrasi desain bevel yang akan dibuat. Pembuatan bevel dilakukan menggunakan proses *milling* dengan sudut kemiringan 30° seperti pada ilustrasi tersebut. Pada gambar 3.5 menunjukkan material pada saat diproses *grinding*.



Gambar 3. 4 Ilustrasi Desain Bevel



Gambar 3. 5 Proses Gerinda pada Material

Tahapan selanjutnya yaitu pengelasan *butt joint* menggunakan jenis las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dapat dilihat pada gambar 3.6 yang dilakukan oleh *welder*. Kawat las yang digunakan yaitu kawat las ER 806, karena kawat las tersebut sangat cocok dengan pengelasan pada *stainless steel* 316L.



Gambar 3. 6 Proses Pengelasan GMAW oleh Welder

3. Hasil pengelasan pada material masih perlu dilakukan proses *grinding* pada *capping* yang masih kotor, kasar, dan tingginya tidak rata sehingga perlu dibersihkan terlebih dahulu. Hasil *butt joint* saat sebelum dibersihkan dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Hasil Pengelasan Butt Joint

4. Proses grinding dilakukan ketika kondisi base metal dan weld metal kotor dan kasar. Pada base metal perlu dilakukan proses flap disc untuk menghaluskan permukaanpermukaan yang kotor dan kasar. Pada bagian weld metal perlu dilakukan flexibel/flap disc untuk menghaluskan sekaligus meratakan ketinggian dari capping tersebut sebesar 1.5 mm yang diukur menggunakan welding gauge. Pada gambar 3.8 menunjukkan material hasil pengelasan butt joint setelah dibersihkan.



Gambar 3. 8 Material Hasil Pengelasan Butt Joint_Setelah Dibersihkan

3.4. Pembuatan Retak Buatan

Setelah material uji dibuat dan dibersihkan menggunakan *flap disc* pada bagian *base metal* dan *weld metal*, proses selanjutnya yaitu pembuatan retak buatan pada bagian *weld metal* dengan menggunakan *Electric Discharge Machine* (EDM) seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 CNC EDM (Electric Discharge Machining)

Secara prinsip, mesin EDM memiliki *electrode* yang berguna untuk membentuk retak buatan yang sudah diatur melalui perintah kerja komputer. *Electrode* tersebut terbuat dari material tembaga dengan ukuran sesuai dengan dimensi retak yang akan dibuat.



Gambar 3. 10 Proses Pengerjaan Pembuatan Retak Buatan

Posisi dan dimensi retak dapat diatur seperti model pada Gambar 3.11 hingga Gambar 3.14 dengan detail dimensi yang tercantum pada Tabel 3.1 hingga Tabel 3.5.



Gambar 3. 11 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 1

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	1 A	8	1	0.15
2	1 B	8	1	0.20
3	1 C	8	1	0.25
4	1 D	8	1	0.35

Tabel 3. 1 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 1



Gambar 3. 12 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 2

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	2 A	8	0.5	0.15
2	2 B	8	0.5	0.20
3	2 C	8	0.5	0.25
4	2 D	8	0.5	0.35
5	2 E	8	0.5	0.25

Tabel 3. 2 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 2



Gambar 3. 13 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 3

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	3 Δ	8	1	0.15
1	511	0	1	0.15
2	3 B	8	1	0.25
3	3 C	8	1	0.35
4	3 D	8	1	0.25
5	3 E	8	1	0.20

Tabel 3. 3 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 3



Gambar 3. 14 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 4

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	4 A	8	1.5	0.35
2	4 B	8	1.5	0.25
3	4 C	8	1.5	0.15
4	4 D	8	1.5	0.20
5	4 E	8	1.5	0.25

Tabel 3. 4 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 4



Gambar 3. 15 Posisi Retak Buatan pada Test Piece 5

No.	Kode Retak	Length (mm)	Depth (mm)	Width (mm)
1	5 A	0		0.05
1	5 A	8	2	0.25
2	5 B	8	2	0.15
3	5 C	8	2	0.20
4	5 D	8	2	0.25
5	5 E	8	2	0.35

Tabel 3. 5 Dimensi Retak Buatan pada Test Piece 5

Setelah proses pembuatan retak buatan dikerjakan sesuai permintaan, material siap di uji menggunakan metode *Eddy Current*. Hasil material yang sudah dilakukan pembuatan retak buatan bisa dilihat pada gambar 3.16



Gambar 3. 16 Material Uji yang sudah Diberi Retak Buatan

3.5. Pengujian *Eddy Current*

Pengujian *eddy current* dilakukan setelah material uji selesai diberi retak buatan. Pada penelitian ini material uji diberi variasi pada kedalaman, lebar, dan panjang retak dan frekuensi. Pada proses pengujian *eddy current* diketahui pengaruh pendeteksian terhadap retak pada sambungan las *stainless steel* 316L. Pengujian ini mulai dilakukan setelah tahapan-tahapan sebelum pengujian dan semua peralatan pengujian telah disiapkan. Berikut adalah uraian tahapan *Eddy Current Testing*:

- 1. Material uji dan blok kalibrasi disiapkan di meja kerja. Meja kerja yang digunakan sebaiknya terbuat dari bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik maupun magnet (non-konduktif) karena dapat memengaruhi arus *eddy* pada pengujian.
- 2. Kalibrasi alat dilakukan menggunakan blok kalibrasi yang telah ada. Hal yang harus diperhatikan untuk tahapan ini adalah pengaturan frekuensi, *gain*, dan sudut fase pada alat.
- 3. Kalibrasi dilakukan setiap akan memulai pengujian sesuai dengan kondisi spesimen uji. Apabila akan menguji spesimen dengan menggunakan *probe* yang berbeda maka pengaturan frekuensi dan *gain* pada alat *eddy current* juga harus disesuaikan dengan frekuensi pada *probe* tersebut.
- 4. Pengujian dilakukan terhadap spesimen uji pada daerah weld metal.

- 5. *Balancing/nulling* harus dilakukan sebelum tahapan *scanning* yaitu proses penyamaan impedansi antara *probe* dan impedansi internal dari alat *Eddy Current Testing* dengan posisi *probe* menempel pada spesimen uji.
- 6. Setelah semua indikasi diskontinuitas ditemukan serta didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* telah selesai.
- 7. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil *Eddy Current Testing*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan analisis dan pembahasan dari hasil *scanning* retak pada *test piece* dengan metode *eddy current testing*. Seluruh rangkaian pengujian dilakukan dengan mengacu pada metodologi penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.1. Pendahuluan

Tahapan awal yaitu dilakukan pengujian pada blok kalibrasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui arah dan bentuk sinyal ketika terindikasi adanya retak pada *test piece* sehingga bentuk dan arah sinyal saat pengujian pada *test piece* bisa menyerupai bentuk dan arah sinyal yang dihasilkan pada pengujian blok kalibrasi. Sinyal yang dapat dipercaya berkualitas bagus didapat dengan mengatur konfigurasi seperti frekuensi, *gain* dan *angle*. Konfigurasi tersebut tidak boleh diganti atau nilai dibuat tetap selama pengujian berlangsung. Berikut konfigurasi alat *eddy current* tiap frekuensi yang akan digunakan beserta hasil pengujiannya:

• *Probe freq* 15 kHz



Gambar 4. 1 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 15 Khz

- *Probe freq* 30 kHz
 - Gain (H/V) : 64.5dB/67.5dB Probe Type : Single Absolute



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 30 Khz

• Probe freq. 500 kHz

-	Gain (H/V)	: 47.2dB/57.2dB	-	Probe Type	: Single Absolute
-	Angle	: 318.1 deg	-	Probe Connector	: BNC
-	Frequency	: 500 kHz	-	Display	: EMP



Gambar 4. 3 Hasil Pengujian pada Blok Kalibrasi menggunakan Frekuensi 500 Khz


Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Pada Blok Kalibrasi Menggunakan Frekuensi 650 Khz

Setelah didapatkan data konfigurasi untuk blok kalibrasi tiap *probe*, pengujian terhadap *test piece* bisa dilakukan. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil jumlah retak yang terdeteksi pada tiap *test piece* seperti pada tabel 4.1..

Test Piece	Jumlah Retak
1	4
2	5
3	5
4	5
5	5

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Jumlah Retak pada Tiap Test Piece

4.2. Hasil Pengujian pada *Test Piece* #1

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece #*1 yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.8. Pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.8 ditunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal akibat perbedaan dimensi retak pada permukaan *weld metal*.

• Probe Freq. 15 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.5:



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz

• Probe Freq. 30 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.6:



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Frekuensi 30khz

• Probe Freq. 500 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.7:



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz

• Probe Freq. 650 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.8:



Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz

Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.5 – Gambar 4.8, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 1

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tin	ggi Sinya frekue	l masing-m ensi (mm)	asing
					15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 KHZ
e 1	1A	8	0.15	1	5.5	8.0	20.0	22.0
:t Piec	1B	8	0.20	1	6.0	8.0	16.0	20.0
Tes	1C	8	0.25	1	6.0	8.0	18.0	19.5

	1D	8	0.35	1	5.0	8.5	20.0	21.0
--	----	---	------	---	-----	-----	------	------

4.3. Hasil Pengujian pada Test Piece #2

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece #2* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.12 . Pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.12 ditunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal akibat perbedaan dimensi retak pada permukaan *weld metal*.

a. Probe Freq. 15 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.9:



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz

b. Probe Freq. 30 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.10:



Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz

c. Probe Freq. 500 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.11:



Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Frekuensi 500kHz

d. Probe Freq. 650 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.12:



Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz

e. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.9 – Gambar 4.12, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 2

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)				
				(mm)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz	
Test	2A	8	0.15	0.5	3.0	3.0	18.0	21.0	

2B	8	0.20	0.5	2.5	4.0	18.0	20.0
2C	8	0.25	0.5	3.0	4.5	21.0	20.0
2D	8	0.35	0.5	1.5	9.0	19.0	21.0
2E	8	0.25	0.5	4.0	5.0	18.0	20.0

4.4. Hasil Pengujian pada Test Piece #3

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece #3* yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.16. Hasil pengujian terlihat adanya perubahan ketinggian sinyal akibat perbedaan dimensi retak pada permukaan *weld metal*.

a. Probe Freq. 15 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.13:





Gambar 4. 13 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz

b. Probe Freq. 30 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.14:



Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz

c. Probe Freq. 500 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.15:



Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz

d. Probe Freq. 650 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.16:



Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz

e. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.13 – Gambar 4.16, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.4.

T-1-1 4 4 H	$\mathbf{C} = \mathbf{C} = $
Iabel 4 4 Hasil Pendukuran Kefir	nggian Ninval nada Test Piece S

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Lebar (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)			
				(mm)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
iece 3	3A	8	0.15	1	2.0	7.0	12.0	14.0
Test P	3B	8	0.25	1	2.5	9.0	13.0	15.0

3C	8	0.35	1	5.0	10.0	14.0	16.5
3D	8	0.25	1	4.0	7.0	13.0	14.0
3E	8	0.25	1	3.5	5.5	13.0	14.5

4.5. Hasil Pengujian pada Test Piece #4

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece #4* yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 sampai Gambar 4.20. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal akibat perbedaan dimensi retak pada permukaan *weld metal*.

a. Probe Freq. 15 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.17:



Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz

b. Probe Freq. 30 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.18:





Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz

c. Probe Freq. 500 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.19:



Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Frekuensi 550kHz

d. Probe Freq. 650 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.20:



Freq. 650KHz retak 4E

Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz

e. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.17 – Gambar 4.20, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.5.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Panjang Lebar (mm) (mm)	Kedalaman Retak	Tin	ggi Sinya frekue	l masing-m ensi (mm)	asing
				(mm)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
	4A	8	0.35	1.5	7.0	10.0	16.0	19.0
	4B	8	0.25	1.5	5.0	9.0	15.0	17.0
iece 4	4C	8	0.15	1.5	3.5	6.0	12.0	15.0
Test P	4D	8	0.20	1.5	4.0	7.0	14.0	16.5
	4E	8	0.25	1.5	5.5	8.5	15.0	18.5

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 4

4.6. Hasil Pengujian pada *Test Piece* #5

Pada sub bab ini akan disajikan hasil pengujian pada *test piece #5* yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 sampai Gambar 4.24 . Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal akibat perbedaan dimensi retak pada permukaan *weld metal*.

a. Probe Freq. 15 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.21:





Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Frekuensi 15kHz

b. Probe Freq. 30 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.22:



Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz

c. Probe Freq. 500 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.23:



Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Frekuensi 500kHz

d. Probe Freq. 650 kHz

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.24:



Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Frekuensi 650 kHz

e. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.21 – Gambar 4.24, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.6.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak	Tin	ggi Sinya frekue	l masing-m ensi (mm)	asing
				(mm)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
	5A	8	0.25	2	8.0	14.0	22.0	24.0
	5B	8	0.15	2	7.0	10.0	20.0	21.0
iece 5	5C	8	0.20	2	8.0	13.0	21.0	23.5
Test P	5D	8	0.25	2	7.0	12.0	23.0	23.5
	5E	8	0.35	2	9.0	14.0	25.0	23.0

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 5

4.7. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak Berdasarkan Variasi Frekuensi Probe

Hasil pengujian sebelumnya disajikan berdasarkan perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan untuk mendeteksi adanya retak di permukaan *weld metal* benda uji untuk masing-masing *test piece*. Pada sub-bab di bawah ini hasil pengujian akan disajikan berdasarkan variasi frekuensi *probe* pada kelima *test piece* terhadap retak dengan dimensi yang berbeda-beda ditiap *test piece*nya.

4.7.1. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #1

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian pada *test piece* #1 pada tiap kode retaknya (1A, 1B, 1C, dan 1D) yang memiliki kedalaman retak yang sama yaitu 1 mm berdasarkan variasi/perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan dan akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik.

a. Kode Retak 1A

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 1A yang memiliki ukuran kedalaman retak 1 mm, lebar retak 0.15 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 25 Perbandingan Ketinggian Sinyal Terhadap Kode Retak 1A

Pada Gambar 4.25 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 1A pada *test piece* 1. Hasil terlihat bahwa adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 1A yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

b. Kode Retak 1B

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 1B yang memiliki ukuran kedalaman retak 1 mm, lebar retak 0.20 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 26 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 1B

Pada Gambar 4.26 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 1B pada *test piece* 1. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 1B yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

c. Kode Retak 1C

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 1C yang memiliki ukuran kedalaman retak 1 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.





Gambar 4. 27 Perbandingan ketinggian sinyal terhadap kode retak 1C

Pada Gambar 4.27 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 1C pada *test piece* 1. Hasil pengujian ini terlihat adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 1C yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

d. Kode Retak 1D

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 1D yang memiliki ukuran kedalaman retak 1 mm, lebar retak 0.35 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 28 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 1D

Pada Gambar 4.28 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 1D pada *test piece* 1. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada

kode retak 1D yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Panjang Lebar (mm) (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tin	ggi Sinya frekue	l masing-m ensi (mm)	asing
				(11111)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz	
	1A	8	0.15	1	5.5	8.0	20.0	22.0	
iece 1	1B	8	0.20	1	6.0	8.0	16.0	20.0	
Test P	1C	8	0.25	1	6.0	8.0	18.0	19.5	
-	1D	8	0.35	1	5.0	8.5	20.0	21.0	

Tabel 4. 7 Tinggi Indikasi Sinyal Tiap Kode Retak pada Test Piece 1

Pada Tabel 4.7 menunjukan rekapitulasi besar tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 1. Pada tabel diatas menunjukkan bahwa tinggi indikasi sinyal ditiap kode retak membesar seiring bertambah besarnya frekuensi *probe* yang digunakan. Sub-bab ini disajikan pula rekapitulasi tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 1 dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi tiap Kode Retak pada Test Piece 1

4.7.2. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #2

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian pada *test piece* #2 pada tiap kode retaknya (2A, 2B, 2C, 2D, dan 2E) yang memiliki kedalaman retak yang sama yaitu 0.5 mm berdasarkan variasi/perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan dan akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik.

a. Kode Retak 2A

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 2A yang memiliki ukuran kedalaman retak 0.5 mm, lebar retak 0.15 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 30 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2A

Pada Gambar 4.30 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 2A pada *test piece 2*. Hasil pengujian ini terlihat adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 2A yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

b. Kode Retak 2B

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 2B yang memiliki ukuran kedalaman retak 0.5 mm, lebar retak 0.20 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 31 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2B

Pada Gambar 4.31 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 2B pada *test piece 2*. Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 2B yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

c. Kode Retak 2C

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 2C yang memiliki ukuran kedalaman retak 0.5 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 32 Perbandingan Ketinggian Sinyal pada Kode Retak 2C

Pada Gambar 4.32 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 2C pada *test piece 2*. Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 2C yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

d. Kode Retak 2D

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 2D yang memiliki ukuran kedalaman retak 0.5 mm, lebar retak 0.35 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 33 Perbandingan Ketinggian Sinyal Terhadap Kode Retak 2D

Pada Gambar 4.33 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 2D pada *test piece 2*. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 2D yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

e. Kode Retak 2E

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 2D yang memiliki ukuran kedalaman retak 0.5 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 34 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 2E

Pada Gambar 4.34 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 2E pada test piece 2. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 2E yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada probe seperti yang disajikan pada gambar diatas.

Tabel 4. 8 Tinggi Indikasi Sinyal Tiap Kode Retak pada Test Piece 2

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)			
				(mm)	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
Test Piece 2	2A	8	0.15	0.5	3.0	3.0	18.0	21.0
	2B	8	0.20	0.5	2.5	4.0	18.0	20.0
	2C	8	0.25	0.5	3.0	4.5	21.0	20.0
	2D	8	0.35	0.5	1.5	9.0	19.0	21.0
	2E	8	0.25	0.5	4.0	5.0	18.0	20.0

Pada Tabel 4.8 menunjukan rekapitulasi besar tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada test piece 2. Bisa dilihat pada tabel diatas, tinggi indikasi sinyal ditiap kode retak membesar seiring bertambah besarnya frekuensi *probe* yang digunakan. Pada sub-bab ini disajikan pula rekapitulasi tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 2 dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.35.





4.7.3. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #3

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian pada *test piece* #3 ditiap kode retaknya (3A, 3B, 3C, 3D, dan 3E) yang memiliki kedalaman retak yang sama yaitu 1 mm berdasarkan variasi/perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan dan akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik.

a. Kode Retak 3A

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 3A yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.0 mm, lebar retak 0.15 mm, dan panjang retak 8 mm.





Gambar 4. 36 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3A

Pada Gambar 4.36 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 3A pada *test piece* 3. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 3A yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

b. Kode Retak 3B

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 3B yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.0 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 37 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3B

Pada Gambar 4.37 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 3B pada *test piece* 3. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 3B yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

c. Kode Retak 3C

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 3C yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.0 mm, lebar retak 0.35 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 38 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3C

Pada Gambar 4.38 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 3C pada *test piece* 3. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 3C yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

d. Kode Retak 3D

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 3D yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.0 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.





Gambar 4. 39 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3D

Pada Gambar 4.39 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 3D pada *test piece* 3. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 3D yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

e. Kode Retak 3E

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 3E yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.0 mm, lebar retak 0.20 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 40 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3E

Pada Gambar 4.40 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 3E pada *test piece* 3. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 3E yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)			
					15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
Test Piece 3	3A	8	0.15	1	2.0	7.0	12.0	14.0
	3B	8	0.25	1	2.5	9.0	13.0	15.0
	3C	8	0.35	1	5.0	10.0	14.0	16.5
	3D	8	0.25	1	4.0	7.0	13.0	14.0
	3E	8	0.25	1	3.5	5.5	13.0	14.5

Tabel 4. 9 Tinggi Indikasi Sinyal Tiap Kode Retak pada Test Piece 3

Pada Tabel 4.9 menunjukan rekapitulasi besar tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 2. Bisa dilihat pada tabel diatas, tinggi indikasi sinyal ditiap kode retak membesar seiring bertambah besarnya frekuensi *probe* yang digunakan. Pada sub-bab ini disajikan pula rekapitulasi tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 3 dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.41



Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 3

4.7.4. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #4

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian pada *test piece* #4 ditiap kode retaknya (4A, 4B, 4C, 4D, dan 4E) yang memiliki kedalaman retak sama yaitu 1.5 mm berdasarkan variasi/perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan dan akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik.

a. Kode Retak 4A

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 4A yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.5 mm, lebar retak 0.35 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 42 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4A Pada Gambar 4.42 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 4A pada *test piece* 4. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 4A yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

b. Kode Retak 4B

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 4B yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.5 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 43 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4B

Pada Gambar 4.43 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 4B pada *test piece* 4. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 4B yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

c. Kode Retak 4C

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 4C yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.5 mm, lebar retak 0.15 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 44 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 3E

Pada Gambar 4.44 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 4C pada *test piece* 4. Hasil pengujian ini menunjukkan adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 4C yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

d. Kode Retak 4D

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 4D yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.5 mm, lebar retak 0.20 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 45 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4D

Pada Gambar 4.45 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 4D pada *test piece* 4. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 4D yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

e. Kode Retak 4E

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 4E yang memiliki ukuran kedalaman retak 1.5 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 46 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 4E

Pada Gambar 4.46 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 4E pada *test piece* 4. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 4E yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)15 kHz30 kHz500 kHz650 kHz			
Test Piece 4	4A	8	0.35	1.5	7.0	10.0	16.0	19.0
	4B	8	0.25	1.5	5.0	9.0	15.0	17.0
	4C	8	0.15	1.5	3.5	6.0	12.0	15.0
	4D	8	0.20	1.5	4.0	7.0	14.0	16.5
	4E	8	0.25	1.5	5.5	8.5	15.0	18.5

Pada Tabel 4.10 menunjukan rekapitulasi besar tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 4. Bisa dilihat pada tabel diatas, tinggi indikasi sinyal ditiap kode retak

membesar seiring bertambah besarnya frekuensi *probe* yang digunakan. Pada sub-bab ini disajikan pula rekapitulasi tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 4 dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.47.



Gambar 4. 47 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 4

4.7.5. Perbandingan Ketinggian Sinyal Retak pada Test Piece #5

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian pada *test piece* #5 ditiap kode retaknya (5A, 5B, 5C, 5D, dan 5E) yang memiliki kedalaman retak sama yaitu 2.0 mm berdasarkan variasi/perubahan frekuensi pada *probe* yang digunakan dan akan disajikan dalam bentuk gambar, tabel, dan grafik.

a. Kode Retak 5A

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 5A yang memiliki ukuran kedalaman retak 2.0 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.





Gambar 4. 48 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5A

Pada Gambar 4.48 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 5A pada *test piece* 5. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 5A yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

b. Kode Retak 5B

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 5B yang memiliki ukuran kedalaman retak 2.0 mm, lebar retak 0.15 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 49 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5B

Pada Gambar 4.49 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 5B pada *test piece* 5. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 5B yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

c. Kode Retak 5C

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 5C yang memiliki ukuran kedalaman retak 2.0 mm, lebar retak 0.20 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 50 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5C

Pada Gambar 4.50 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 5C pada *test piece* 5. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 5C yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

d. Kode Retak 5D

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 5D yang memiliki ukuran kedalaman retak 2.0 mm, lebar retak 0.25 mm, dan panjang retak 8 mm.




Gambar 4. 51 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5D

Pada Gambar 4.51 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 5D pada *test piece* 5. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 5D yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

e. Kode Retak 5E

Berikut akan disajikan hasil pengujian pada kode retak 5E yang memiliki ukuran kedalaman retak 2.0 mm, lebar retak 0.35 mm, dan panjang retak 8 mm.



Gambar 4. 52 Perbandingan Ketinggian Sinyal terhadap Kode Retak 5E

Pada Gambar 4.52 menunjukkan hasil pengujian yang didapat melalui pengujian terhadap kode retak 5E pada *test piece* 5. Adanya perubahan ketinggian sinyal pada kode retak 5E yang disebabkan oleh pengaruh penggunaan variasi frekuensi pada *probe* seperti yang disajikan pada gambar diatas.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tin	nggi Sinya frekuo	l masing-m ensi (mm)	asing
					15 KHZ	30 KHZ	500 KHZ	050 KHZ
	5A	8	0.25	2	8.0	14.0	22.0	24.0
е 5	5B	8	0.15	2	7.0	10.0	20.0	21.0
t Piec	5C	8	0.20	2	8.0	13.0	21.0	23.5
Tes	5D	8	0.25	2	7.0	12.0	23.0	23.5
	5E	8	0.35	2	9.0	14.0	25.0	23.0

Tabel 4. 11 Tinggi Indikasi Sinyal Tiap Kode Retak pada Test Piece 5

Pada Tabel 4.11 menunjukan rekapitulasi besar tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 5. Bisa dilihat pada tabel diatas, tinggi indikasi sinyal ditiap kode retak membesar seiring bertambah besarnya frekuensi *probe* yang digunakan. Pada sub-bab ini disajikan pula rekapitulasi tinggi indikasi sinyal tiap kode retak pada *test piece* 5 dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.53.



Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Tinggi Indikasi Tiap Kode Retak pada Test Piece 5

4.8. Perbandingan Sensivitas Pendeteksian Material Aluminium 5083

4.8.1. Hasil Pengujian Frekuensi 15KHz

4.8.1.1 Frekuensi 15 kHz pada Test Piece 1

a. Hasil Pengujian Test Piece 1 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.54:



Gambar 4. 54 Hasil Pengujian *Eddy Current* Pada Test Piece 1 menggunakan *Probe* 15kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.54 telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.12.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi masing	Sinyal frekuens	masing- i (mm)
					15 kHz		

	1A	8	0.15	1	2.5
iece 1	1B	8	0.20	1	3.5
Test P	1C	8	0.25	1	3.5
	1D	8	0.35	1	4.0

4.8.1.2 Frekuensi 15 Khz pada Test Piece 2

a. Hasil Pengujian Test Piece 2 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.55:



Gambar 4. 55 Hasil Pengujian *Eddy Current* pada *Test Piece* 2 menggunakan *Probe* 15 Khz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.55, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 2

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	2A	8	0.15	0.5	1.0
e 2	2B	8	0.20	0.5	0.5
t Piec	2C	8	0.25	0.5	1.0
Tes	2D	8	0.35	0.5	1.5
	2E	8	0.25	0.5	0.5

4.8.1.3 Frekuensi 15 kHz pada Test Piece 3

a. Hasil Pengujian Test Piece pada Material Aluminium 5083





Gambar 4. 56 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 15 kHz

c. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.56, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.14.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	3A	8	0.15	1	2
e 3	3B	8	0.25	1	3
t Piec	3C	8	0.35	1	4
Tes	3D	8	0.25	1	3
	3E	8	0.20	1	2.5

Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 3

4.8.1.4 Frekuensi 15 kHz pada Test Piece 4

a. Hasil Pengujian Test Piece 4 Pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.57:





Gambar 4. 57 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 4 menggunakan Probe 15 kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.57 telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.15.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	4A	8	0.35	1.5	6.5
e 4	4B	8	0.25	1.5	5.5
t Piec	4C	8	0.15	1.5	4
Tes	4D	8	0.20	1.5	4.5
	4E	8	0.25	1.5	6.5

Tabel 4. 15 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 4

4.8.1.5 Perbandingan Frekuensi 15 kHz pada Test Piece #5

a. Hasil Pengujian Test Piece 5 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 15 kHz seperti pada Gambar 4.58:



Gambar 4. 58 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 15 kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.58, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.16.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	5A	8	0.25	2	6.0
iece 5	5B	8	0.15	2	6.0
Test P	5C	8	0.20	2	7.0
	5D	8	0.25	2	6.0

Tabel 4. 16 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 5

	5E	8	0.35	2	8.5
I					

4.8.2. Hasil Pengujian Frekuensi 30kHz

4.8.2.1 Frekuensi 30 kHz pada Test Piece 1

a. Hasil Pengujian Test Piece 1 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.59:



Gambar 4. 59 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 1 menggunakan Probe 30kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.59, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.17.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 30 kHz
Test Piece	1A	8	0.15	1	3.0

Tabel 4. 17	Hasil Pengukuran	Ketinggian	Sinval	pada Test	Piece 1
14001			~	P 1000	1 1000 1

1B	8	0.20	1	5.0
1C	8	0.25	1	4.0
1D	8	0.35	1	4.5

4.8.2.2 Frekuensi 30 kHz pada Test Piece 2

a. Hasil Pengujian Test Piece 2 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.60:



Gambar 4. 60 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 2 menggunakan Probe 30kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.60, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 2

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm) 15 kHz
	2A	8	0.15	0.5	1.5
e 2	2B	8	0.20	0.5	3.0
st Piec	2C	8	0.25	0.5	1.5
Tes	2D	8	0.35	0.5	2.0
	2E	8	0.25	0.5	2.0

4.8.2.3 Frekuensi 30 kHz pada Test Piece 3

a. Hasil Pengujian Test Piece pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.61:



Gambar 4. 61 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 30kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.61, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.19.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	3A	8	0.15	1	2.5
iece 3	3B	8	0.25	1	4.5
Test P	3C	8	0.35	1	4.5
	3D	8	0.25	1	4.0

Tabel 4. 19 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 3

3E	8	0.20	1	3.0

4.8.2.4 Frekuensi 30 kHz pada Test Piece 4

a. Hasil Pengujian Test Piece 4 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.62:



Gambar 4. 62 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 4 menggunakan Probe 30kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.62, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 4

Kode	Panjang	Lebar	Kedalaman	Tinggi Sinyal masing-
Retak	(mm)	(mm)	Retak (mm)	masing frekuensi (mm)

					15 kHz
	4A	8	0.35	1.5	8.0
e 4	4B	8	0.25	1.5	7.0
t Piec	4C	8	0.15	1.5	6.0
Tes	4D	8	0.20	1.5	6.5
	4E	8	0.25	1.5	7.0

4.8.2.5 Perbandingan Frekuensi 15 kHz pada Test Piece #5

a. Hasil Pengujian Test Piece 5 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 30 kHz seperti pada Gambar 4.63:



Gambar 4. 63 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 30kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.63, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.21.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	5A	8	0.25	2	7.5
e S	5B	8	0.15	2	7.5
t Piec	5C	8	0.20	2	8.5
Tes	5D	8	0.25	2	7.0
	5E	8	0.35	2	9.0

Tabel 4. 21 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 5

4.8.3. Hasil Pengujian Frekuensi 500KHz

4.8.3.1 Frekuensi 500kHz pada Test Piece 1

a. Hasil Pengujian Test Piece 1 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar :



Gambar 4. 64 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 1 menggunakan Probe 500kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.64, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 1

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm) 15 kHz
	1A	8	0.15	1	12.0
iece 1	1B	8	0.20	1	10.5
Test P	1C	8	0.25	1	11.0
	1D	8	0.35	1	10.5

4.8.3.2 Frekuensi 15 kHz pada Test Piece 2

a. Hasil Pengujian Test Piece 2 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500kHz seperti pada Gambar 4.65:



Gambar 4. 65 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 2 menggunakan Probe 500kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.65, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.23.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm) 15 kHz
Piece	2A	8	0.15	0.5	6.0
Test 7	2B	8	0.20	0.5	5.5

Tabel 4. 23 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 2

2C	8	0.25	0.5	3.5
2D	8	0.35	0.5	4.5
2E	8	0.25	0.5	3.0

4.8.3.3 Frekuensi 500 kHz pada Test Piece 3

a. Hasil Pengujian Test Piece pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.66:



Gambar 4. 66 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 500kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.66, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 3

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	3A	8	0.15	1	10.0
e 3	3B	8	0.25	1	10.0
t Piec	3C	8	0.35	1	10.0
Tes	3D	8	0.25	1	10.5
	3E	8	0.20	1	8.0

4.8.3.4 Frekuensi 500kHz pada Test Piece 4

a. Hasil Pengujian Test Piece 4 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 500 kHz seperti pada Gambar 4.67 :







Gambar 4. 67 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 500kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.67, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 4

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm)
					15 kHz
	4A	8	0.35	1.5	14.0
e 4	4B	8	0.25	1.5	13.5
t Piec	4C	8	0.15	1.5	14.5
Tes	4D	8	0.20	1.5	11.5
	4E	8	0.25	1.5	13.5

4.8.3.5 Frekuensi 500kHz pada Test Piece 5

a. Hasil Pengujian Test Piece 5 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe 500* kHz seperti pada Gambar :



Gambar 4. 68 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 500kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.68, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 5

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	5A	8	0.25	2	13.5
e 5	5B	8	0.15	2	15.5
t Piec	5C	8	0.20	2	16.0
Test	5D	8	0.25	2	11.5
	5E	8	0.35	2	13.0

4.8.4. Hasil Pengujian Frekuensi 650kHz

4.8.4.1 Frekuensi 15 kHz pada *Test Piece* 1

a. Hasil Pengujian Test Piece 1 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe 6*50 kHz seperti pada Gambar 4.69 :



Gambar 4. 69 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 1 menggunakan Probe 650kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.69, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.27.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	1A	8	0.15	1	16.0
iece 1	1B	8	0.20	1	14.5
Test P	1C	8	0.25	1	13.0
	1D	8	0.35	1	13.0

Tabel 4. 27 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 1

4.8.4.2 Frekuensi 650 kHz pada Test Piece 2

a. Hasil Pengujian Test Piece 2 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.70:



Gambar 4. 70 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 2 menggunakan Probe 650kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.70, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.28.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	2A	8	0.15	0.5	1.0
iece 2	2B	8	0.20	0.5	0.5
Test P	2C	8	0.25	0.5	1.0
	2D	8	0.35	0.5	1.5

Tabel 4. 28 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 2

2E	8	0.25	0.5	0.5

4.8.4.3 Frekuensi 650 kHz pada Test Piece 3

a. Hasil Pengujian Test Piece pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.71 :



Gambar 4. 71 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 3 menggunakan Probe 650kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.71, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal pada Test Piece 3

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm)
--	---------------	-----------------	---------------	-------------------------	---

					15 kHz
	3A	8	0.15	1	14.0
e 3	3B	8	0.25	1	14.5
st Piec	3C	8	0.35	1	13.5
Tes	3D	8	0.25	1	14.0
	3E	8	0.20	1	11.0

4.8.4.4 Frekuensi 650 kHz pada Test Piece 4

a. Hasil Pengujian Test Piece 4 pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.72:



Gambar 4. 72 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 4 menggunakan Probe 650kHz

c. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.72, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.30.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm) 15 kHz
	4A	8	0.35	1.5	17.5
e 4	4B	8	0.25	1.5	16.0
t Piec	4C	8	0.15	1.5	16.0
Tes	4D	8	0.20	1.5	15.0
	4E	8	0.25	1.5	16.5

Tabel 4. 30 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 4

4.8.1.5 Perbandingan Frekuensi 650 kHz pada Test Piece #5

a. Hasil Pengujian Test Piece 5 Pada Material Aluminium 5083

Berikut merupakan hasil dari pengujian *eddy current* menggunakan *probe* 650 kHz seperti pada Gambar 4.73:





Gambar 4. 73 Hasil Pengujian Eddy Current pada Test Piece 5 menggunakan Probe 650kHz

b. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal

Berdasarkan pada Gambar 4.73, telah didapatkan hasil pengukuran ketinggian sinyal tiap kode retak dan tiap frekuensi yang disajikan dalam bentuk tabel pada Tabel 4.31.

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak (mm)	Tinggi Sinyal masing- masing frekuensi (mm)
					15 kHz
	5A	8	0.25	2	13.5
e 5	5B	8	0.15	2	17.5
st Piec	5C	8	0.20	2	18.5
Tes	5D	8	0.25	2	18.5
	5E	8	0.35	2	17.0

Tabel 4. 31 Hasil Pengukuran Ketinggian Sinyal Pada Test Piece 5

4.9. Analisis Faktor Penguji terhadap Sensivitas Pendeteksian

Penelitian ini menggunakan dua faktor (variasi) yang digunakan untuk mengetahui sensivitas pendeteksian terhadap material stainless steel *316L* pada pengelasan *butt joint* yaitu yang pertama yaitu kedalaman *crack* dan lebar *crack*. Untuk mengetahu faktor yang paling

berpengaruh terhadap nilai sensisvitas frekuensi, maka dilakukan perhitungan statistik menggunakan metode *One Way* ANOVA pada *software Microsoft Excel* adalah sebagai berikut :

Fuel	lahan	tinggi si	nyal	kedalaman	kedalaman
Frekuensi	lebar	Kalibrasi	Aktual	kalibrasi	Aktual
15 KHz		3.00	2.50	0.50	0.50
	0.20	12.00	6.00	1.00	1.50
12 KHZ	0.20	12.00	8.00	1.50	1.75
		17.00	4.00	2.00	2.00
		4.00	4.00	0.50	0.50
20 / 11-	0.20	8.00	8.00	1.00	2.50
30 KHz	0.20	8.00	7.50	1.50	2.00
		13.00	13.00	2.00	2.60
		3.00	18.00	0.50	0.50
FOOKUS	0.20	7.00	14.00	1.00	1.40
JUUKHZ	0.20	13.50	16.00	1.50	1.50
		21.00	21.00	2.00	2.00
		4.00	20.00	0.50	0.50
	0.20	17.00	20.00	1.00	1.60
	0.20	7.00	16.50	1.50	3.75
		22.50	23.50	2.00	3.33

a) Membuat tabel untuk menganalisa antara blok kalibrasi serta perhiungan aktual

Gambar 4. 74 Tabel Perbandingan antara Blok Kalibrasi dengan Perhitungan Aktual

b) Memasukkan nilai tinggi sinyal aktual serta kedalaman aktual pada worksheet untuk masing-masing variasi. Dalam memasukan level faktor tinggi sinyal akibat lebar crack serta kedalaman aktual yang mempengaruhi sensivitas pendeteksian mak dimasukkan dalam worksheet pada software sebagai berikut :

Frakuansi	kedalaman	kedalaman
FIERUEIISI	kalibrasi	Aktual
	0.50	0.50
	1.00	1.50
12 KUT	1.50	1.75
	2.00	2.00
	0.50	0.50
20 KH4	1.00	2.50
30 KHz	1.50	2.00
	2.00	2.60
	0.50	0.50
	1.00	1.40
	1.50	1.50
	2.00	2.00
	0.50	0.50
	1.00	1.60
	1.50	3.75
	2.00	3.33

Gambar 4. 75 Input Data Pengaruh Kedalaman Crack Terhadap Sensivitas Pendeteksian

Frokuonsi	Tinggi Sinyal	Tinggi Sinyal
FIERUEIISI	Kalibrasi	Aktual
	3.00	2.50
	12.00	6.00
	12.00	8.00
	17.00	4.00
	4.00	4.00
20 1/ 11-	8.00	8.00
	8.00	7.50
	13.00	13.00
	3.00	18.00
	7.00	14.00
	13.50	16.00
	21.00	21.00
	4.00	20.00
	17.00	20.00
	7.00	16.50
	22.50	23.50

Gambar 4. 76 Input Data Pengaruh Lebar Crack Terhadapa Sensivitas pendeteksian

- c) Melakukan perhitungan terhadap data yang mempengaruhi sensivitas pendeteksian.
- d) Menentukan faktor toleransi kesalahan sebesar 0.05 (5%)



Gambar 4. 77 Penentuan Faktor Toleransi Kesalahan

DESCRIPTION

Groups	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
kedalaman kalibrasi	15	19.5	1.3	0.314285714	4.4	0.202564354	0.86554267	1.73445733
kedalaman Aktual	15	27.43	1.828666667	0.91668381	12.83357333	0.202564354	1.394209337	2.263123996

DESCRIPTION

Groups	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
, Tinggi sinyal kalibrasi	15	149.5	9.966666667	31.73095238	444.2333333	1.517917677	6.71105704	13.22227629
Tinggi sinyal Aktual	15	178.5	11.9	42.32857143	592.6	1.517917677	8.644390373	15.15560963

Gambar 4. 78. Perhitungan Penunjang Nilai Fhitung pada Pengaruh Kedalaman *Crack &* lebar *crack*.

e) Mendapat hasil analisis variasi kedalaman crack serta tinggi sinyal dengan mendapatkan nilai F hitung sebagai berikut:.

ANOVA

Sources	SS	df	MS	F	P value	F crit
Between Groups	2.096163	1	2.096163333			
Within Groups	17.23357	28	0.615484762	3.405711178	0.075571238	4.195971819
Total	19.32974	29	0.666542644			

Gambar 4. 79 Hasil Analisis Pengaruh Kedalaman Crack terhadap Sensivitas Pendeteksian

ANOVA										
Sources	SS	df	MS	F	P value	F crit				
Between Groups	28.03333	1	28.03333333							
Within Groups	1036.833	30	34.56111111	0.811123614	0.374961661	4.170876786				
Total	1064.867	31	34.35053763							

ANOVA

Gambar 4. 80 Hasil Analisis Pengaruh Lebar Crack terhadap Sensivitas Pendeteksian

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0.05

df untuk		df untuk pembilang (N1)													
(N2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5,94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4,74	4,70	4.68	4,66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4,49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2,40	2.37	2.35
17	4,45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.32	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3,49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.92	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.56	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	240	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	241	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2,12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	254	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.75	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2,69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2,41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2,40	231	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2,64	2,49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2,48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.53	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2,19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1,98	1.95	1.93
40	4.08	323	2.84	2.51	2.40	2.34	2.25	2.16	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.90	1.92
41	4.08	323	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	322	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.1/	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	321	2.82	2.59	2.43	2.32	223	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
**	4.06	321	2.82	2.56	243	231	223	2.16	2.10	2.05	2.01	1.96	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	ZAZ	2.31	2.22	Z.15	Z.10	2.05	2.01	1.97	1,94	1.92	1,89

f) Setelah didapat harga F hitung langkah selanjutnya yaitu menentukan harga F tabel.

Gambar 4. 81 Penentuan Nilai F Tabel untuk Analisa Pengaruh Sensivitas Pendeteksian

Dari Gambar 4.81 diketahui bahwa NI=3 dan N2=28, sehingga didapat F tabel sebesar 2.95.

g) Membandingkan harga F hitung dengan F tabel

1. Bila F hitung < F tabel, maka Ho diterima

2. Bila F hitung > F tabel, maka Ho ditolak dan H1 diterima

Dimana :

Ho= Tidak ada pengaruh variasi lebar / kedalaman pada sensivitas pendeteksian

H1=Minimal ada satu perlakuan pada variasi yang mempengaruhi sensivitas pendeteksian

Keputusan dari hasil analisa ini adalah karena nilai F hitung pada kedalaman *crack* lebih besar dibanding F tabel (3.40 > 2.95) ,maka keputusannya adalah menolak Ho dan menerima H1 pada variasi kedalaman *crack*. Hal ini berarti menunjukkan bahwa paling sedikit ada satu variasi kedalaman *crack* yang mempengaruhi sensivitas pendeteksian *probe* pada *eddy current testing*. Hal yang berbeda pada variasi lebar *crack* yang memiliki nilai F hitung pada lebar *crack* lebih kecil dibanding F tabel (0.811 < 2.95) dan menerima H0 dan menolak H1 pada variasi lebar *crack*. Hal ini menunjukkan bahwa satu variasi lebar *crack* tidak mempengaruhi sensivitas pendeteksian *probe* pada *eddy current testing*.

4.10. Pembahasan

4.10.1. Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Ketinggian Sinyal Indikasi Retak

Sub-bab 4.2 sampai dengan 4.6 menunjukkan hasil pengujian *eddy current* dari kelima *test piece* berdasarkan variasi frekuensi *probe* yang digunakan dengan kedalaman retak yang berbeda-beda juga ditiap *test piece*nya. Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.8 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak tiap kode retak pada *test piece* #1. Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.12 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak tiap kode retak pada *test piece* #2. Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.16 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak tiap kode retak pada *test piece* #3. Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.20 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak tiap kode retak pada *test piece* #4. Gambar 4.21 sampai dengan Gambar 4.24 menunjukkan hasil *screenshot* sinyal retak tiap kode retak pada *test piece* #5. Sedangkan Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.6 menunjukkan rekapitulasi tinggi sinyal retak dari kelima *test piece* yang diukur tiap kali sinyal retak muncul dilayar alat *eddy current*. Dengan adanya bukti *screenshot* sinyal retak yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 hingga Gambar 4.24 dan tinggi sinyal retak pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.6, menunjukkan bahwa *eddy current testing* mampu

mendeteksi seluruh retak buatan yang ada di *test piece #1* hingga *test piece #5* sejumlah 24 retak buatan.

Sub-bab 4.7 membahas mengenai perbandingan ketinggian sinyal retak tiap kode retak dengan kedalaman retak yang sama berdasarkan variasi/perubahan frekuensi probe yang digunakan. Gambar 4.25 hingga Gambar 4.28 menampilkan hasil screenshot perbandingan tinggi sinyal retak pada kode retak 1A, 1B, 1C, dan 1D menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda (15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz). Gambar 4.30 hingga Gambar 4.34 menampilkan hasil screenshot perbandingan tinggi sinyal retak pada kode retak 2A, 2B, 2C, 2D, dan 2E menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda. Gambar 4.36 hingga Gambar 4.40 menampilkan hasil screenshot perbandingan tinggi sinyal retak pada kode retak 3A, 3B, 3C, 3D, dan 3E menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda. Gambar 4.42 hingga Gambar 4.46 menampilkan hasil screenshot perbandingan tinggi sinyal retak pada kode retak 4A, 4B, 4C, 4D, dan 4E menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda. Sedangkan Gambar 4.48 hingga Gambar 4.52 menampilkan hasil *screenshot* perbandingan tinggi sinyal retak pada kode retak 5A, 5B, 5C, 5D, dan 5E menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda. Setelah didapatkan hasil tinggi sinyal retak melalui perbandingan ketinggian sinyal tiap kode retak per test piece, maka grafik dapat dilihat pada Gambar 4.29, Gambar 4.35, Gambar 4.41, Gambar 4.47, dan Gambar 4.53.

Pada grafik tersebut, memperlihatkan terjadinya kenaikan tinggi sinyal indikasi retak yang muncul di monitor alat *eddy current testing* seiring bertambahnya frekuensi *probe* yang digunakan untuk menguji retak buatan pada tiap *test piece*. Sebagai contoh dapat dilihat grafik perbandingan sinyal indikasi retak pada *test peace* #1 seperti pada Gambar 4.54 dan rekapitulasi tinggi sinyal pada Tabel 4.32

	Kode Retak	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Kedalaman Retak	Tin	ggi Sinya frekuo	l masing-m ensi (mm)	asing
				(mm)	15kHz	30kHz	500 kHz	650 kHz
Piece	1A	8	0.15	1	5.5	8.0	20.0	22.0
Test	1B	8	0.20	1	6.0	8.0	16.0	20.0

Tabel 4. 32 Tinggi Indikasi Sinyal Tiap Kode Retak pada Test Piece 1

1C	8	0.25	1	6.0	8.0	18.0	19.5
1D	8	0.35	1	5.0	8.5	20.0	21.0





Jika melihat Tabel dan Grafik diatas pada kode retak 1A, tinggi sinyal saat frekuensi yang digunakan sebesar 15 kHz yaitu 5.5 mm. Saat frekuensi yang digunakan sebesar 30 kHz, tinggi sinyal indikasi retak yaitu 8 mm. Saat frekuensi yang digunakan sebesar 500 kHz, tinggi indikasi sinyal retak sebesar 20 mm. Sedangkan saat frekuensi yang digunakan sebesar 650 kHz, tinggi indikasi sinyal sebesar 22 mm. Hal tersebut menunjukkan adanya perubahan tinggi sinyal saat frekuensi yang digunakan juga berubah, semakin besar frekuensi pada *probe* semakin tinggi pula sinyal indikasi retak yang muncul pada monitor alat *eddy current testing*.

Frekuensi memiliki pengaruh pada diagram *impedance plane*. Ketika frekuensi pada *probe* yang digunakan berubah, maka bentuk kurva lokus konduktivitas juga akan berubah. Pada frekuensi tinggi, posisi titik angka konduktivitas *stainless steel* 316L akan semakin mendekati titik angka konduktivitas magnetic. Hal tersebut menyebabkan kurva lokus *lift-off* semakin panjang atau bertambah seiring bertambahnya frekuensi yang digunakan untuk melakukan uji *eddy current*. Dapat disimpulkan menurut hasil analisis dan perbandingan diatas, semakin tinggi frekuensi *probe* yang digunakan semakin bertambah pula tinggi sinyal indikasi retak yang muncul di monitor alat *eddy current testing*.

4.10.2. Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Kemampuan Kedalaman Penembusan Sinyal (Depth of Penetration)

Selain mempengaruhi ketinggian sinyal indikasi retak, perubahan frekuensi juga akan berpengaruh terhadap standar kedalaman penembusan standar/*Standard Depth of Penetration* atau disingkat SDP. Salah satu parameter pengujian yang bisa dikendalikan oleh penguji yang dapat mempengaruhi kedalaman penembusan adalah frekuensi pengujian yang dialirkan kedalam kumparan. Akan terjadi perbedaan atau perubahan kemampuan penembusan standar sinyal jika frekuensi yang digunakan berubah. Berikut rumus kedalaman penembusan standar/SDP yang diambil dari ASNT *Handbook for electromagnetic testing*. Berikut akan disajikan hasil perhitungan kedalaman penembusan standar / SDP tiap frekuensi yang digunakan dalam pengujian pada Tabel 4.13



Gambar 4. 83 Blok Kalibrasi

Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan SDP (Standard Depth of Penetration)

Standart Depth of Penetration (mm)									
15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz						
2.202	1.557	0.381	0.334						

Dari kelima *test piece* yang diuji, dimensi kedalaman retak paling besar yaitu 2.0 mm yang terdapat pada *test piece* #5. Jika dilihat pada Tabel 4.33, SDP pada frekuensi diatas hanya
mampu menembus kedalaman standar maksimum sebesar 2.202 mm (15 kHz). Namun sinyal *eddy current* tidak langsung menghilang begitu saja. Sinyal *eddy current* memiliki E\DP (*Efective Depth of Penetration*) yaitu batasan efektif suatu sinyal mampu menembus kedalaman 3 kali SDP, setelah itu sinyal akan berangsur-rangsur hilang. Berikut akan disajikan hasil perhitungan EDP tiap frekuensi pada Tabel 4.34.

Efective Depth of Penetration (mm)						
15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz			
6.606	4.671	1.551	1.002			

Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan EDP (*Efective Depth of Penetration*)

Hasil perhitungan EDP (*Efective Depth of Penetration*) pada Tabel 4.14 akan dibandingkan dengan hasil pengujian pada blok kalibrasi . Blok kalibrasi yang digunakan dalam pembahasan sub-bab ini bisa dilihat pada Gambar 4.55. Berdasarkan pada tabel di atas, EDP pada frekuensi diatas hanya mampu menembus kedalaman maksimum sebesar 6.606 mm dan minimum sebesar 1.002 mm. Berdasarkan hasil uji pada blok kalibrasi, didapatkan tinggi sinyal indikasi retak buatan yang akan disajikan pada Tabel 4.15.

Dimensi Kedalaman Retak Blok Kalibrasi (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)			
	15kHz	30kHz	500 kHz	650 kHz
0.50	3.00	4.00	3.00	4.00
1.00	12.00	8.00	7.00	7.00
1.50	12.00	8.00	13.50	17.00

2.00	17.00	13.00	21.00	22.50
2.50	21.00	16.00	25.00	24.00
3.00	24.00	20.00	27.00	28.00

Berdasarkan Tabel 4.33 dan Tabel 4.34, Nilai SDP (*Standard Depth of Penetration*) frekuensi 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz secara urut sebesar 2.202 mm, 1.557 mm, 0.381 mm, dan 0,334 dan nilai EDP (*Efective Iepth of Penetration*) secara urut sebesar 6.606 mm, 4.671 mm, 1.551 mm, dan 1.002 mm.

Dapat disimpulkan, perhitungan EDP berguna untuk mengetahui kemampuan frekuensi terhadap keefektifan kedalaman penembusan sehingga dapat menghasilkan keakuratan yang tinggi. Namun ketika akan mendeteksi kedalaman retak yang melebihi kemampuan EDPnya, arus *eddy* masih dapat mengindikasi adanya retak hanya saja keakuratannya menurun hingga mencapai batasan arus *eddy* tidak bisa menembus lebih dalam lagi yang ditandai dengan tidak adanya selisih ketinggian sinyal indikasi retak.

4.10.3. Perbandingan Sensivitas Pendeteksian terhadap Material Stainless Steel 316L dengan Aluminium 5083

Setelah dilakukan pengujian didapat *conuctivity* yang dimiliki *stainless steel* 316L serta aluminium 5083 dengan persamaan 2.1 sehingga didapat *conductivity* dari *stainless steel 316L* dan aluminium 5083 yaitu 2.3%IACS dan 64.94%IACS. Pada pengujian *eddy current* dapat dipengaruhi oleh *properties* material seperti ketebalan material, konduktivitas dan permeablitas material, dimana konduktivitas dan permeabilitas material yang tinggi akan membuat arus eddy yang diserap akan terkumpul di permukaan material. Ini yang membuat tinggi indikasi sinyal pada material *stainless steel 316L* lebih tinggi dibanding material aluminium 5083.

Selain itu, terdapat *skin effect* mempengaruhi *standard depth of penetration* yang membuat medan magnet terkumpul di permukaan material sehingga akan membuat sensivitas pendeteksian akan sensitif mendeteksi *crack* pada area permukaan material. S*tandard depth of penetration* dapat dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas serta permeabalitas yang akan membuat *standard* kedalaman semakin rendah atau dalam. Dengan frekuensi yang sama serta konduktivitas dan permeabilitas yang berbeda membuat material *stanlars steel 316L* mendapat *standard* kedalaman yang lebih dalam daripada material

aluminium 316L, karena semakin rendah konduktivitas dan permeabilitas akan membuat standard depth of penetration semakin dalam.

Setelah ditinjau dari teori yang ada , maka dibandingkan dengan grafik pengujian perbandingan antara *stainless steel 316L* dengan aluminium 5083 pada gambar 76-80 berikut:



Gambar 4. 84 Perbandingan Test Piece 1



Gambar 4. 85 Perbandingan Test Piece 2



Gambar 4. 86 Perbandingan Test Piece 3



Gambar 4. 87 Perbandingan Test Piece 4



Gambar 4. 88 Perbandingan Test Piece 5

Dari 5 grafik diatas serta penjelasan secara teori dapat dilihat bahwa sensivitas pendeteksian *probe* pada *stainless steel* 316L memiliki tingkat indikasi sinyal yang lebih

tinggi dibanding aluminium 5083 dikarenakan pada material *stainless steel* memiliki nilai permeabilitas dan konduktivitas yang lebih rendah sehingga mendapat *standard depth of penetration* yang dalam. Hal ini menandakan bahwa sensivitas pendeteksian pada *stainless steel 316L* lebih sensitif dibanding aluminium 5083 dikarenakan dengan frekuensi 15KHz yang memiliki kedalaman penembusan paling dalam dibanding frekuensi yang lain material *stainless steel 316L* memiliki kedalaman penembusan sebesar 2.002 mm sedangkan pada aluminium 5083 memiliki kedalaman penembusan sebesar 0.996 mm.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1. Semakin besar frekuensi pada *probe* yang digunakan untuk pengujian *eddy current* akan semakin meningkatkan sinyal indikasi retak yang muncul di alat *eddy current testing* yang ditunjukkan bertambah tingginya sinyal indikasi seiring bertambah besarnya frekuensi.
- 2. Nilai SDP (*Standard Depth of Penetration*) frekuensi 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz secara urut sebesar 2.202 mm, 1.557 mm, 0.381 mm, dan 0,334. Sedangkan nilai EDP (*Efective Iepth of Penetration*) secara urut sebesar 6.606 mm, 4.671 mm, 1.551 mm, dan 1.002 mm. Semakin besar frekuensi pada *probe* yang digunakan untuk pengujian *eddy current* akan semakin menurunkan kemampuan kedalaman penembusan yang dibuktikan semakin menurunnya nilai SDP (*Standard Depth of Penetration*) dan EDP (*Efective Depth of Penetration*) seiring bertambahnya frekuensi.
- Sensivitas pendeteksian *eddy current testing* pada *stainless steel* 316L lebih sensitif dan memiliki penembusan kedalaman yang lebh dalam dibanding aluminium 316L akibat nilai konduktivitas serta nilai permeabilitas yang lebih rendah.
- 4. Variasi yang digunakan pada penelitian ini ada 2 yang bertujuan untuk melihat sensivitas pendeteksian *probe* terhadap material yaitu kedalaman *crack* dan lebar *crack*. Sensivitas pendeteksian dipengaruhi oleh kedalaman *crack*. Sedangkan lebar *crack* tidak mempengaruhi sensivitas pendeteksian.

5.2. Saran

Penelitian ini hanya sampai pendeteksian *crack*. Penelitian selanjutnya bisa dilanjutkan dengan mengestimasi umur dari material yang telah digunakan secara terus-menerus dengan metode numerik serta data pembanding yang akurat, sehingga dapat berguna dalam membantu mengestimasikan umur material yang digunakan pada tanki bahan bakar kapal tanpa melakukan pengujian serta dapat menghemat *cost* yang digunakan untuk menguji atau mengecek material terdapat retak didalam permukaan material akibat korosi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

•

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. (1991). Welding Handbook. In A. W. Society, Welding Process (p. 110). Miami: American Welding Society.
- ASM International. (1989). Non Destructive Evaluation and Quality Control. USA: ASM International.
- Calvano, F. (2010). *Electromagnetic Non Destructive Evaluation and Inverse Problems*. Napoli: Universita Di Napoli Federico II.
- Cardarelli, F. (2000). *Materials Handbook*. London: Springer-Verlag London Berlin Heidelberg.
- Cox, J. (1997). Classromm Training Book, Nondestructive Testing, Eddy Current. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- Davis, J. R. (2001). Alloying: Understanding the Basics. U.S.: ASM International.
- Grote, K.-H., & Antonsson, E. K. (2006). Springer Handbook of Mechanical Engineering. Chicago: Springer.
- Hageimer, D. J. (2002). *Fundamentals of Eddy Current Testing*. USA: The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Hendroprasetyo, W. (2015). *Training Hand Out Eddy Current Testing*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- International Atomic Energy Agency. (2011). *Training Guidelines for Non Destructive Testing Techniques.* Vienna: Vienna International Centre.
- Navy, Raka. (2019). Analysis The Comparative Of Sensitivity Of Detection On Crack With Frequency Variations In A Weld Joint Of 5083 Aluminium Material At Propeller Shaft Bracket Using Eddy Current Testing (Ect) Method. Surabaya. Institut Sepuluh Nopember.
- Marshal, G. C. (1967). *Nondestructive Testing Eddy Current Basic Principles*. U.S.: Space Aeronatics and Space Administration.
- Martin, J. G., Gil, J. G., & Sanchez, E. V. (2011). Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing. Valladolid: Sensors.

- Mester, M. L., McIntire, P., & McMaster, R. C. (2001). Nondestructive Testing Handbook.
 Dalam M. L. Mester, P. McIntire, & R. C. McMaster, *Electromagnetic Testing* (hal. 16).
 USA: American Society for Nondestructive Testing.
- Mirsha, D. N., Bhatia, A., & Rana, V. (2014). *Study on Electro Discharge Machining (EDM)*. Dehradun: The International Journal of Engineering and Science (IJES).
- Mix, P. E. (2005). Introduction To Nondestructive Testing. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Moore, P. O. (2004). *Non Destructive Testing "Electromagnetic Testing" Vol.5*. Columbus: American Society for Nondestructive Testing.
- Razak, Ahmad Sabri AB. (1990). Eddy Current Level II. Classroom Training Handbook.
- Sadek, H. (2006). Electromagnetic Testing-Classroom Training Book. Columbus: ASNT.
- Williams, K. (2016). Aluminum Weld Discontinuities: Causes & Cures. Pittsburgh: ALCOA.

BIODATA PENULIS



Brian Sandi Ardi Nugraha, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Surabaya pada 19 Januari 1998 silam. Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Tunas Muda, kemudian melanjutkan ke SD Sawunggaling 7 Surabaya, SMPN 10 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur SMBPTN.

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 Koordinator Acara di GERIGI ITS pada tahun 2016 dan Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM FTK ITS 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi LO (*Liaison Officer*) pada SENTA 2016 dan berbagai kepanitiaan *event* di ITS lainnya seperti ILITS dan IBL. Pada Januari 2019, untuk menyelesaikan syarat studinya penulis melaksanakan Kerja Praktik pertama di PT. Daya Radar Utama yang berlokasi di Jakarta Utara dan pada Juli 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik kedua di Kementerian Perhubungan Direktorat Perkapalan dan Kepelautan yang berlokasi di Surabaya.

E-mail: Briansandi.ardi@yahoo.com