



TUGAS AKHIR – MN141581

ANALISIS PENGARUH LEBAR *CRACK* PADA MATERIAL BAJA KARBON A36 DENGAN VARIASI KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL MENGGUNAKAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

NONA THERESIA

NRP. 4111 100 085

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

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2017



FINAL PROJECT – MN141581

ANALISYS THE CRACK WIDTH OF A36 CARBON STEEL MATERIAL WITH NONCONDUCTIVE COATING THICKNESS VARIATION AT THE WELD JOINTS OF MACHINERY FONDATION USING EDDY CURRENT TESTING (ECT) METHODS

NONA THERESIA
NRP. 4111 100 085

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

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH LEBAR *CRACK* PADA MATERIAL BAJA KARBON A36 DENGAN VARIASI KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL MENGGUNAKAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

NONA THERESIA

NRP 4111100085

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



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

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 23 JANUARI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGARUH LEBAR *CRACK* PADA MATERIAL BAJA KARBON A36 DENGAN VARIASI KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL MENGGUNAKAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 11 Januari 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal Program S1
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NONA THERESIA

NRP. 4111 100 085

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



2. Sri Rejeki Wahyu Pribadi S.T., M.T.

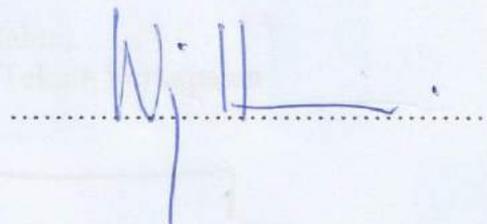


3. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



SURABAYA, 23 Januari 2017

*Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya dan dosen pembimbing
Tugas Akhir saya.*

KATA PENGANTAR

Salam sejahtera,

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas hidayah, petunjuk, dan rahmat-Nya yang tiada terbatas untuk kita semua. Dengan tekad yang kuat dan ridha yang diberikan Tuhan akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Selain itu pula, banyak pihak yang telah membantu penulis hingga tercapainya keberhasilan atas terselesaikannya Tugas Akhir ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing sekaligus motivator dan salah satu panutan yang telah memberikan bimbingan, ilmu, arahan dan kepercayaan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Perkapalan-FTK-ITS.
3. Bapak Prof.Dr.I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc. selaku Dosen Wali sekaligus orang tua di kampus yang dengan sabar selalu membimbing, mengawasi, dan menasihati untuk kebaikan penulis.
4. Para dosen yang telah banyak membantu selama proses pengerjaan Tugas Akhir baik secara akademis ataupun non-akademis; Bpk. Asjhar Imron, Ir., M.Sc., MSE., PED., Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, ST., MT., Bpk. Dedi B. Purwanto, S.T., M.T, Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T., dan Bpk Solikhan A. ST., MT.
5. Bapak Abraham dan Ibu Verra sebagai orang tua yang selalu mendukung dan tidak pernah mengeluh untuk mendampingi sampai saat ini. Selalu ada di setiap keluh dan kesah. Selalu memberikan cinta kasih yang membuat banyak orang terinspirasi.
6. Adik-adik ku tersayang ; Philip Christofer, Samuel William, Marschall Gabriel, dan Donna Victoria, yang selalu menjadi penghibur dan menjadi penyemangat.
7. Hadi Hernawan sebagai panutan dan orang yang banyak mengajarkan kebaikan berfikir positif, serta memberikan semangatnya yang sangat berarti kepada saya.

8. Teman-teman yang membantu, Nabiel Mufti. ST, Rino Athoillah. ST, M.Fyan Dinggi. ST.
9. Mereka yang membantu, Clara Yunita, Fahrizal Eka, Arya Javendra, Pradesta, Lia M, Ardan R, Hakara W, Fakhrol H, I Putu Suryana, Andi Alif, Vinesia A, Nandika B, Wahyu H, Yoseph A, Rizky Nanda, Rani P, dan Zul Haris O.
10. Keluarga angkatan tercinta “P-51 CENTERLINE”
11. M. Luqman Hakim ST dan Bagus Gelis P.P ST yang telah membantu saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
12. Keluarga baru yang menjadi teman dan saudara Rainy R, Christoforus C, Agil D, Helmi Lukman, Ibnu Devagya, Kenny, David A, Robertus B, Dwi Andrey, dan Michael J.
13. Teman yang bersama-sama mengerjakan Tugas Akhir; Dana Wahyuadi.
14. Pak Yanto, Pak Pardi, Pak Deny, Mas Joko, Mas Agil, Pak Didi, Mas Irgi, terima kasih atas kebaikannya membantu pengerjaan di Lab selama tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, Amin.

Surabaya, 04 Januari 2017

Penulis

“ANALISIS PENGARUH LEBAR *CRACK* PADA MATERIAL BAJA KARBON A36 DENGAN VARIASI KETEBALAN *NONCONDUCTIVE COATING* PADA SAMBUNGAN LAS DI PONDASI MESIN KAPAL MENGGUNAKAN METODE *EDDY CURRENT TESTING (ECT)*”

Nama : Nona Theresia

NRP : 4111 100 085

Jurusan : Teknik Perkapalan

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

Abstrak

Pada pengelasan di bagian pondasi mesin kapal, sering terjadi *crack* akibat pengelasan. *Crack* yang terjadi di permukaan tidak terlihat karena adanya lapisan cat. Oleh karena itu, diperlukan metode *Nondestructive Testing* guna mendeteksi dan mengukur terjadinya *crack* pada material, sehingga segala dampak yang ditimbulkan dapat diminimumkan. Salah satu metode yang disarankan adalah *Eddy Current Testing*. Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis pengaruh lebar *crack* dan ketebalan lapisan cat terhadap sensitivitas metode ECT. Penelitian ini menggunakan empat buah spesimen. Ukuran dari keempat spesimen adalah sama yaitu, 120 x 300 x 6 mm. keempat spesimen memiliki jumlah *crack* yang sama, yaitu enam buah, dengan tiga *crack* orientasi melintang dan tiga *crack* orientasi memanjang. Masing-masing lebar *crack* adalah 0.25mm, 0.50mm, dan 0.75mm. Kemudian diberikan lapisan cat yang berbeda pada tiap spesimen. Satu spesimen tidak dilapisi cat, satu spesimen dilapisi cat 100 μm , satu spesimen dilapisi cat 200 μm , dan satu spesimen yang lain dilapisi cat 300 μm . Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa lebar *crack* mempengaruhi sensitivitas indikasi mesin ECT. Semakin lebar *crack*, maka lebar sinyal *lift-off* yang ditunjukkan pada layar akan semakin kecil. Ketebalan lapisan cat pada spesimen juga memperkecil tinggi indikasi *lift-off* pada layar indikasi. Selain itu, posisi *crack* yang ternyata mempengaruhi hasil pendeteksian pada layar indikasi. *Crack* dengan orientasi memanjang memiliki *noise* yang lebih besar dibanding *crack* orientasi melintang pada permukaan lasan.

kata kunci : *crack, non conductive coating, Eddy Current Testing, baja karbon A36.*

**ANALYSIS THE CRACK WIDTH OF A36 CARBON STEEL MATERIAL
WITH NONCONDUCTIVE COATING THICKNESS VARIATION AT THE
WELD JOINTS OF MACHINERY FONDATION USING EDDY CURRENT
TESTING (ECT) METHODS**

Name : Nona Theresia

NRP : 4111 100 085

Department : Teknik Perkapalan

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

Abstract

Crack often occurred on engine bed due to welding process. Crack that initiated on the weld surface cannot be visually found due to covered by coating. NDT such as Eddy Current Testing may be employed to detect and measure the dimension of such crack. This research analyzes the effect of crack width and coating thickness to the sensitivity of Eddy Current Testing detection. Four crack specimens were used during this research i.e: 120x300x6 mm. Artificial crack manufactured using EDM machine were located on simulated weld metal, where each spesimen contain six artificial cracks. Three cracks were oriented transversally, while three other oriented longitudinally to the direction of weld joint. The width of the cracks were 0.25 mm, 0.50 mm, and 0.75 mm. The three samples then coated with nonconductive coating with 100 μm , 200 μm , and 300 μm thicknesses, while one sample was left uncoated. Results of the experiment indicated that the width of the crack significantly affect the sensitivity of Eddy Current detection. The wider the cracks the narrower the lift-off signals indicated by the machine. Thickness of the coating also reduced the height of the *lift-off* signals. Furthermore, crack orientation to the direction of weld joint also effect the detectability of the machine. On weld joint, crack that were oriented longitudinally to the weld slam produce greater noise than that of transversally oriented.

Keyword: crack, non conductive coating, Eddy Current Testing, carbon steel A36.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	<i>iii</i>
LEMBAR REVISI.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
KATA PENGANTAR.....	<i>vi</i>
Abstrak	<i>viii</i>
Abstract	<i>ix</i>
DAFTAR ISI	<i>x</i>
DAFTAR GAMBAR	<i>xii</i>
DAFTAR TABEL.....	<i>xv</i>
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Non-destructive Testing (NDT).....	5
2.2. Baja Karbon	6
2.3. Pengelasan SMAW (Sheilded Metal Arc Welding).....	7
2.4. Electrical Discharge Machining	10
2.5. Pengujian Eddy Current Testing.....	11
2.5.1. Prinsip Pengujian Eddy Current	12
2.5.2. Faktor Penting dalam Pengujian Eddy Current.....	13
2.5.3. Sinyal-sinyal Output Pengujian [Cox, 1997].....	16
2.5.4. Pemilihan Frekuensi [Cox, 1997]	17
2.5.5. Kalibrasi pada Pengujian Eddy Current.....	18
2.5.6. Sistem Analisis Fase [Cox, 1997].....	19
2.5.7. Kedalaman Penembusan Standard [Cox, 1997]	20
2.5.8. Kumparan Pemeriksaan Eddy Current Testing	21
2.5.9. Susunan Kumparan.....	23
2.5.10. Teknik Scanning dalam Pengujian Eddy Current Testing	26
2.5.11. Aplikasi Pengujian Eddy Current Testing	27
2.5.12. Kelebihan dan Kekurangan Eddy Current Testing	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Diagram Alir.....	31
3.2. Pengadaan Bahan Pengujian.....	32
3.2.1. Material.....	32
3.2.3. Wire Master	33
3.3. Pembuatan Spesimen Uji	34
3.3.1. Pemotongan Material	34
3.3.2. Pengelasan Material.....	35
3.3.3. Pembuatan Crack	38
3.4. Pengecatan Spesimen	41
3.5. Pembuatan Blok Kalibrasi.....	44
3.5. Pengujian Spesimen	45
3.5.1. Persiapan Pengujian	45

3.5.2.	Prosedur Pengujian Eddy Current	46
3.6.	Pengolahan Data Hasil Pengujian	47
3.7.	Analisis Data	48
3.8.	Kesimpulan	48
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1.	Konfigurasi Blok Kalibrasi	49
4.2.	Hasil Pengujian Lebar Crack Spesimen I Dengan Ketebalan Coating 100µm ..	50
a.	Crack Memanjang.....	50
b.	Crack Melintang	51
4.3.	Hasil Pengujian Lebar Crack Spesimen II dengan Ketebalan Coating 200µm ..	53
a.	Crack Memanjang.....	53
b.	Crack Melintang	54
4.4.	Hasil Pengujian Lebar Crack Spesimen III dengan Ketebalan Coating 300µm.	55
a.	Crack Memanjang.....	55
b.	Crack Melintang	57
4.5.	Hasil Pengujian Spesimen IV Tanpa Coating	58
a.	Crack Memanjang.....	58
b.	Crack Melintang	60
4.6.	Pembahasan	61
4.6.1.	Pengaruh lebar retak terhadap lebar indikasi liff-off.....	61
4.6.2.	Pengaruh ketebalan coating terhadap tinggi indikasi liff-off.....	62
4.6.3	Analisis Perbandingan Hasil Pengaruh Orientasi Crack Terhadap Indikasi Pada Layar ECT .	64
4.6.3.1.	Crack Memanjang.....	64
4.6.3.2.	Crack Melintang.....	65
BAB 5 KESIMPULAN		67
5.1.	Kesimpulan	67
5.2.	Saran.....	67
Daftar Pustaka.....		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. NDT Methods. [Sumber: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/NDTIntro/cc_intro001.htm]	5
Gambar 2-2. Proses pengelasan SMAW. [Sumber: en.wikipedia.org]	7
Gambar 2-3. Proses kerja EDM.[www.idsmachining.com]	10
Gambar 2-4. <i>Eddy Current Testing</i>	12
Gambar 2-5. Skema sederhana metode <i>eddy current</i> . [Sumber: www.nde-ed.org]	12
Gambar 2-6. Lapisan non-konduktif yang digunakan sebagai <i>lift-off standard</i> . [Sumber: Cox, 1997]	14
Gambar 2-7. SNR <i>formula</i> . [Sumber: www.nde-ed.org].....	15
Gambar 2-8. Kondisi pengujian optimum untuk mendeteksi sinyal <i>interest</i> . [Sumber: Cox, 1997]	16
Gambar 2-9. Tampilan CRT <i>digital</i> . [Sumber: Cox, 1997].....	17
Gambar 2-10. Pengaturan pengujian konduktivitas pada diagram bidang impedansi... ..	20
Gambar 2-11. Standard kedalaman penembusan berbanding frekuensi pada berbagai tipe material . [Sumber: Cox, 1997]	21
Gambar 2-12. Penyusunan <i>probe coil</i> . [Sumber: Cox, 1997].....	22
Gambar 2-13. Pengujian <i>encircling coil</i> pada batang round. [Sumber: Cox, 1997].....	22
Gambar 2-14. Bagian-bagian bobbin coil. [Sumber: Cox, 1997].....	23
Gambar 2-15. Konfigurasi coil absolute dan coil differential. [Sumber: Cox, 1997]	24
Gambar 2-16. Tampilan respon sinyal absolute. [Sumber; Cox, 1997]	24
Gambar 2-17. Perbedaan <i>single coil</i> dan <i>double coil</i> . [Sumber: Cox, 1997]	25
Gambar 2-18. External reference dan self-comparison differential. [Sumber: Cox, 1997]	26
Gambar 2-19, Tipe scanning pada daerah HAZ. [Sumber: DVN, 2012]	27
Gambar 2-20. Tipe scanning pada daerah las. [Sumber: DVN, 2012]	27

Gambar 3-1. Diagram Alir.....	31
Gambar 3-2. Diagram Alir (lanjutan).	32
Gambar 3-3. Pelat baja karbon A36.....	32
Gambar 3-4. Kawat las.	33
Gambar 3-5. <i>Wire Master</i>	33
Gambar 3-6. Mesin potong.	34
Gambar 3-7. Hasil potong pelat yang telah dihaluskan.	34
Gambar 3-8. Peralatan untuk proses pengelasan.	35
Gambar 3-9. Alur pengelasan pada material.	36
Gambar 3-10. Oven Elektroda.....	37
Gambar 3-11. Suhu oven elektoda 150°C.....	37
Gambar 3-12. Besar arus pasda proses pengelasan.	37
Gambar 3-13. Proses Pengelasan.....	38
Gambar 3-14.Design <i>crack</i> pada tiap spesimen.....	39
Gambar 3-15. Spesifikasi <i>crack</i> tiap spesimen.	39
Gambar 3-16. Peletakan spesimen dalam tangki EDM.	40
Gambar 3-17. Monitor pada mesin EDM.	40
Gambar 3-18. Mesin EDM yang digunakan dalam membuat <i>crack</i>	41
Gambar 3-19. Jenis dempul yang dipakai.....	41
Gambar 3-20. Spesimen yang diberi dempul.....	42
Gambar 3-21. Jenis Pylox dan warna yang digunakan.	42
Gambar 3-22. Proses pengecatan spesimen.	43
Gambar 3-23. Hasil pengecatan spesimen.	43
Gambar 3-24. Penampang keempat spesimen uji.	44

Gambar 3-25. Blok kalibrasi.....	45
Gambar 3-26. Probe yang digunakan.	46
Gambar 3-27. Monitor Eddy Current Testing Machine.	46
Gambar 3-28. <i>Scanning</i> spesimen dengan metode <i>Eddy Current Testing</i>	47
Gambar 3-29. Contoh tabel pengolahan data hasil pengujian.	48
Gambar 4-1. Konfiigurasi ECT <i>machine</i>	49
Gambar 4-2. Hasil pengujian <i>Crack</i> Memanjang spesimen dengan coating 100µm.....	51
Gambar 4-3. Hasil pengujian <i>Crack</i> melintang spesimen dengan coating 100µm.....	52
Gambar 4-4. Hasil pengujian <i>Crack</i> Memanjang spesimen dengan coating 200µm.....	54
Gambar 4-5. Hasil pengujian <i>Crack</i> melintang spesimen dengan coating 200µm.....	55
Gambar 4-6. Hasil pengujian <i>Crack</i> memanjang spesimen dengan coating 300µm.	56
Gambar 4-7. Hasil pengujian <i>Crack</i> Melintang spesimen dengan coating 300µm.	58
Gambar 4-8. Hasil pengujian <i>Crack</i> Memanjang spesimen tanpa <i>coating</i>	59
Gambar 4-9. Hasil pengujian <i>Crack</i> melintang spesimen tanpa <i>coating</i>	61
Gambar 4-10. Perubahan arus eddy pada orientasi <i>crack</i> memanjang.	65
Gambar 4-11. Perubahan arus eddy pada orientasi <i>crack</i> melintang.	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1. Kandungan baja karbon A36. [Sumber: http://www.ilmuteknikpilindonesia.com/2015/11/klasifikasi-baja-menurut-komposisi-kimia].....	6
Tabel 2-2. Hubungan diameter elektroda dan arus ampere.(Sumber: Howard BC, 1998)	9
Tabel 4-1. Rekapitulasi jumlah <i>crack</i> hasil <i>scanning</i> keempat spesimen.....	50
Tabel 4-2. Indikasi lift-off <i>crack</i> memanjang spesimen dengan coating 100µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	50
Tabel 4-3. Indikasi lift-off <i>crack</i> melintang spesimen dengan coating 100µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	52
Tabel 4-4. Indikasi lift-off <i>crack</i> memanjang spesimen dengan coating 200µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	53
Tabel 4-5. Indikasi lift-off <i>crack</i> melintang spesimen dengan coating 200µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	54
Tabel 4-6. Indikasi lift-off <i>crack</i> memanjang spesimen dengan coating 300µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	56
Tabel 4-7. Indikasi lift-off <i>crack</i> melintang spesimen dengan coating 300µm pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	57
Tabel 4-8. Indikasi lift-off <i>crack</i> memanjang spesimen tanpa coating pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	58
Tabel 4-9. Indikasi lift-off <i>crack</i> melintang spesimen tanpa coating pada monitor <i>Eddy Current Testing</i>	60
Tabel 4-10. Rekapitulasi rata-rata lebar <i>lift-off indication</i> terhadap masing-masing lebar retak.	61
Tabel 4-11. Rekapitulasi rata-rata tinggi <i>lift-off indication</i> terhadap masing-masing ketebalan <i>non-conductive coating</i>	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Proses pengelasan di pondasi mesin kapal merupakan salah satu hal yang penting. Hal ini dikarenakan beban yang akan disangga pondasi tersebut sangat berat, sehingga proses pengelasan pondasi mesin ini harus sangat diperhatikan. Terjadinya kerusakan pada bagian las pondasi mesin adalah salah satu hal yang perlu ditangani dengan segera.

Suatu material seringkali mengalami kerusakan akibat proses pengelasan. Sama halnya terjadi pula pada pondasi kamar mesin yang terbuat dari baja karbon. Pada umumnya, kerusakan tersebut dapat terjadi di permukaan dan di dalam permukaan. Jika kerusakan terjadi diatas permukaan, akan mudah dideteksi secara kasat mata atau secara visual. Namun beda halnya jika kerusakan tersebut terjadi di permukaan material yang telah dicat. Kerusakan akan sulit dideteksi dan akan menyebabkan kegagalan pada material tersebut. Oleh karena itu, diperlukan metode *Nondestructive Testing* guna mendeteksi dan mengukur terjadinya kerusakan pada material, sehingga segala dampak yang ditimbulkan dapat diminimumkan.

Salah satu metode *Nondestructive Test* yang telah digunakan untuk pengecekan *crack* adalah metode *Eddy Current Testing*. Metode ini sudah lebih dulu digunakan untuk mendeteksi *crack* pada badan pesawat. Penggunaan *Eddy Current Testing* ini diharapkan juga mampu mendeteksi *crack* yang terjadi pada las-lasan pondasi mesin kapal yang telah tertutup cat. Kelebihan dari *Eddy Current Testing* sendiri adalah untuk mendeteksi cacat permukaan, cacat dekat permukaan, dan juga mengukur ketebalan lapisan cat nonkonduktif. Oleh karena itu, hal ini yang menjadi dasar pengujian lebar *crack* pada permukaan las pondasi mesin kapal yang telah dicat.

Pada abad ke-19 pengujian NDT dengan *Eddy Current Testing* dilakukan untuk aplikasi industri selama Perang Dunia II di Jerman. Prinsip kerja *Eddy Current Testing* pada dasarnya memanfaatkan induksi elektromagnetik. Sifat-sifat tertentu di dalam material mempengaruhi arus eddy yang diinduksikan. Arus *eddy* sendiri menimbulkan medan magnet yang berinteraksi dengan medan magnet kumparan sedemikian rupa hingga impedansi kumparan berubah.

1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi lebar *crack* material baja karbon A36 pada sambungan las di pondasi mesin terhadap pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan *non-conductive coating* terhadap pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

- Material yang digunakan adalah baja karbon dengan ukuran 300 x 120 x 6 mm sebanyak 4 (empat) buah.
- Diberikan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) di tengah spesimen uji dengan elektrode E 7018
- Pembuatan *crack* (*crack*) pada setiap spesimen uji sebanyak 6 buah dengan menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan variasi lebar 0.25 mm, 0.5 mm, dan 0.75 mm dan panjang *crack* 10 mm serta kedalaman *crack* 3 mm.
- Jenis cat berupa *nonconductive coating*.
- Pelapisan *nonconductive coating* pada setiap material dengan variasi ketebalan yaitu, 100 mikron, 200 mikron, 300 mikron dan tanpa pelapisan *coating*.
- Metode pengujian menggunakan *Eddy Current Testing* dengan probe absolut, single-coil probe.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui efektifitas dan sensitifitas pembacaan alat *Eddy Current Testing* terhadap variasi lebar *crack* dan penggunaan variasi ketebalan *nonconductive coating* pada material baja A36.

2. Menganalisis pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian mesin *Eddy Current Testing* terhadap cacat yang terjadi.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :
Secara praktik, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui pengaruh lebar *crack* material baja karbon A36 dengan ketebalan *nonconductive coating* pada sambungan las di pondasi mesin kapal terhadap pendeteksian pada metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:
Dugaan awal dari Tugas Akhir ini adalah ukuran lebar *crack* pada baja yang diberi pelapis cat yang bersifat *nonconductive* akan mempengaruhi tinggi indikasi yang terbentuk pada line kurva *crack response* dan line kurva *lift-off response* pada layar CRT peralatan *Eddy Current Testing*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

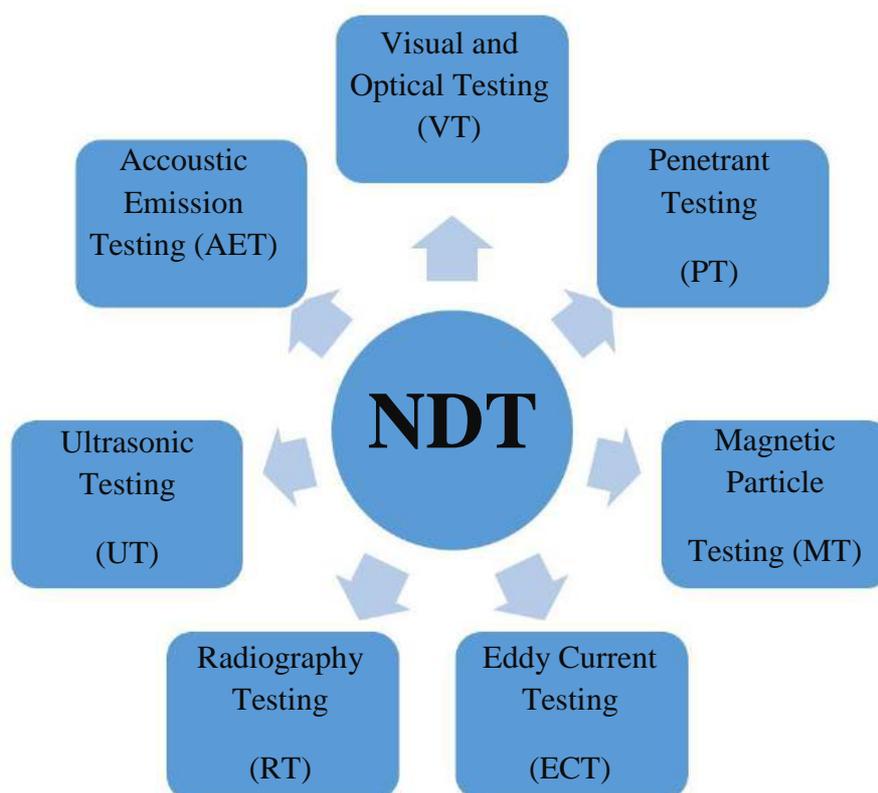
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Non-destructive Testing* (NDT)

Non-destructive testing (NDT) adalah pemeriksaan, pengujian atau penilaian yang dilakukan pada benda yang diuji tanpa mengganti atau mengubah objek dengan cara apapun untuk menentukan ada tidaknya diskontinuitas yang dapat mempengaruhi kegunaan atau kinerja dari benda tersebut. [Hellier, 2003]. NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara pengendalian mutu (*quality control*) dan efektivitas biaya (*cost effectiveness*).

Pemeriksaan NDT selalu berkembang, setidaknya ada enam metode yang sering digunakan:



Gambar 2-1. NDT Methods. [Sumber: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/NDTIntro/cc_intro001.htm]

Dalam dunia industri, NDT berperan penting, seperti:

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

Singkatnya, NDT adalah teknologi yang sangat penting yang dapat memberikan informasi yang sangat berguna mengenai kondisi aktual dari objek yang diperiksa, tentunya dilakukan sesuai dengan standard, diperiksa, serta dilakukan oleh tenaga ahli. [Hellier, 2003]

2.2. Baja Karbon

Baja karbon A36 termasuk dalam kelompok baja karbon rendah (*Low Carbon/Mild Steel*) karena hanya memiliki kandungan unsur karbon yang sedikit. Tercatat kandungan C sebesar 0.260 %, kandungan Cu 0.2 % dan kandungan Fe 99.0 %. Kekuatan baja ini cenderung rendah, lunak namun memiliki keuletan yang tinggi karena strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit.

Baja karbon A36 banyak dipakai karena strukturnya yang baik untuk proses pengelasan. Pada penelitian ini digunakan baja karbon A36 dengan ketebalan 6mm. Berikut adalah tabel kandungan dari baja karbon A36:

Tabel 2-1. Kandungan baja karbon A36. [Sumber: <http://www.ilmuteknikspilindonesia.com/2015/11/klasifikasi-baja-menurut-komposisi-kimia>]

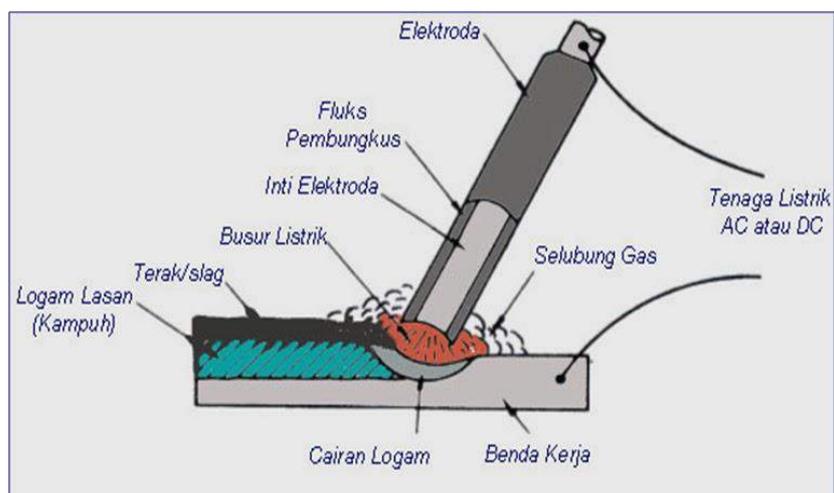
Element	Percentage
Karbon, max%	0.026
Magnesium, max%	0
Fosfor, max%	0.04
Sulfur, max%	0.05
Silikon, max%	0.4
Tembaga, max%	0.20

2.3. Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Pengelasan SMAW merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan muatan listrik yang terjadi antara dua electrode pada tekanan satu *atmosphere* (atm).

Prinsip kerja pengelasan busur elektroda terbungkus (SMAW) adalah pengelasan busur listrik terumpun yang menggunakan elektroda yang terbungkus fluks sebagai pembangkit busur dan sebagai bahan pengisi. Panas yang timbul pada listrik yang terjadi diantara elektroda dan bahan induk mencairkan ujung elektroda (kawat) las dan bahan induk setempat kawah las yang cair, kemudian membeku membentuk lasan. Bungkus (coating) elektroda yang berfungsi sebagai fluks akan terbakar pada waktu proses berlangsung, gas yang terjadi akan melindungi proses terhadap pengaruh udara yang sekaligus fungsinya adalah memantapkan busur. Gas pelindung dari lapisan pembungkus elektroda yang terurai (*decomposition*). [Okumura, 1994]

Fluks yang mencair akan terapung kemudian membeku pada permukaan las berupa terak (slag). Pada pengelasan ini yang terpenting adalah bahan fluks yang digunakan dan jenis las listrik yang digunakan. [Okumura, 1994]



Gambar 2-2. Proses pengelasan SMAW. [Sumber: en.wikipedia.org]

a. Bahan Fluks

Pada pengelasan SMAW, fluks berperan penting karena fluks berfungsi sebagai berikut:

1. Penghasil gas (CO_2) yang berasal dari pembakaran fluks yang berfungsi melindungi busur listrik dan kubangan logam las dari lingkungan atmosfer.

2. Deoxidizer (mengikat O₂ yang terlarut dalam cairan logam).
3. Pembentuk terak atau slag, yang melindungi logam las beku dari oksidasi dan membantu membentuk manik las.
4. Unsur-unsur paduan, yang memberikan perbaikan sifat tertentu pada logam las.
5. Unsur-unsur pembentuk ion-ion, yang membuat busur listrik lebih stabil dan mampu beroperasi dengan penggunaan arus AC.

Meningkatkan produktifitas pengelasan (misalnya pada fluks yang mengandung serbuk besi). Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantap busur, pembuat slag, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan, dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain: oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan, dan serbuk besi. [Sonawan, 2003]

b. Busur Listrik

Busur listrik terbentuk ketika elektroda berkontak sesaat dengan permukaan benda kerja (pelat) dan kemudian menariknya sehingga terbentuk celah atau jarak diantaranya. Arus listrik akan melewati celah ini disertai dengan adanya panas dan cahaya. Selanjutnya ujung elektroda dan sebagian benda kerja mencair. Busur listrik dibagi menjadi dua, yaitu busur listrik DC dan busur listrik AC. Beberapa factor keuntungan dari pengelasan ini antara lain :

1. Perangkat alat yang sederhana dan mudah digunakan.
2. Cara pengelasan ini cukup fleksibel, karena dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan memposisikan pengelasan.
3. Lebih ekonomis dan biaya perawatan murah.
4. Bisa untuk semua jenis logam.

Sedangkan, kerugian dari pengelasan SMAW, antara lain: hasilnya masih terpengaruh oleh keadaan cuaca setempat, welder, mesin, dan material yang digunakan.

Tegangan arus listrik antara elektroda dan logam yang dilas tergantung pada panjang busur. Dengan bertambahnya pendek busur listrik akan menyebabkan bertambah rendahnya tegangan arus listrik yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan, meskipun arusnya tidak berubah. Hal ini disebabkan semakin panjang busur listrik maka semakin besar tahanan listrik yang ada di ruangan gas tersebut. Tenaga atau power listrik yang digunakan untuk proses pengelasan ini dapat

berupa tegangan arus listrik AC atau DC, tergantung dari jenis electrode yang digunakan, tetapi pada umumnya menggunakan arus DC. Besarnya arus yang digunakan selama pengelasan tergantung ketebalan material yang akan di las, serta ukuran diameter elektroda yang digunakan yang juga mempengaruhi besar ampere selama pengelasan berlangsung.

c. Elektroda

Sebagian besar elektrode las SMAW dilapisi oleh lapisan flux, yang berfungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekelilingnya. Selain itu flux berguna juga untuk membentuk terak las yang juga berfungsi melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan elektrode ini merupakan campuran kimia yang komposisinya sesuai dengan kebutuhan pengelasan. Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

AWS EX₁X₂X₃X₄

- E menyatakan elaktroda busur listrik.
- X₁X₂ (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik logam las (dalam satuan ksi).
- X₃ (angka ketiga) menyatakan posisi pangelasan. Angka 1 untuk pengelasan segala posisi. Angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan. Angka 3 untuk pengelasan mendatar.
- X₄ (angka keempat) menyataken jenis flux.

Pada proses pengelasan dalam penelitian kali ini digunakan elektroda E 7018. Pengertiannya adalah, elektroda dengan kekuatan tarik minimum 70.000 ksi, dilakukan dengan segala posisi pengelasan, dan pengelasan diselimuti fluks *low hydrogen*.

Tabel 2-2. Hubungan diameter elektroda dan arus ampere.(Sumber: Howard BC, 1998)

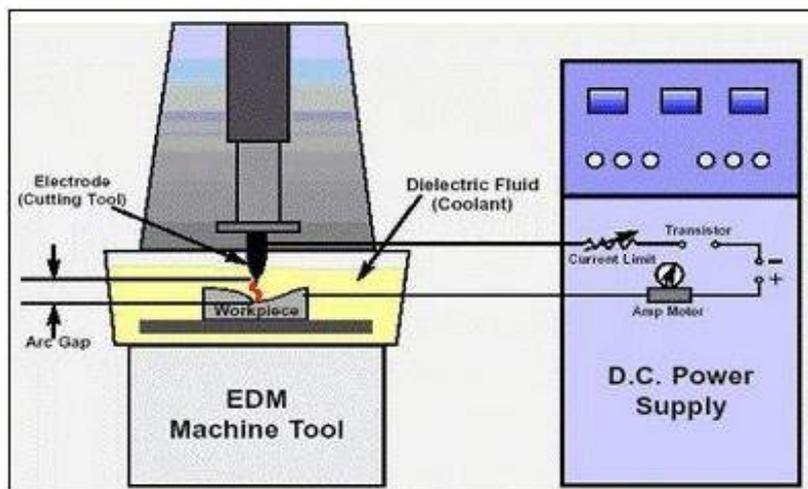
Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60-90
2,6	60-90

3,2	80-130
4,0	150-190
5,0	180-250

2.4. Electrical Discharge Machining

Asal mula EDM (Electrical Discharge Machining) adalah pada tahun 1770, ketika ilmuwan Inggris Joseph Priestly menemukan efek erosi dari percikan arus listrik. Pada tahun 1943, ilmuwan Rusia B. Lazarenko dan N. Lazarenko memiliki ide untuk memanfaatkan efek merusak dari percikan arus listrik untuk membuat proses yang terkontrol untuk pemesinan secara elektrik bahan konduktif. Dengan adanya ide tersebut, proses EDM telah lahir. Lazarenko bersaudara menyempurnakan proses dengan cara menempatkan cairan tidak konduktif di mana percikan listrik terjadi di antara dua konduktor, cairan tersebut dinamakan dielektrik (dielectric). Rangkaian listrik yang membuat peristiwa tersebut terjadi digunakan sebagai nama proses ini. Pada saat ini telah banyak unit EDM yang digunakan lebih maju daripada milik Lazarenko. Pada saat ini ada dua macam mesin EDM yaitu: EDM konvensional (Biasanya disebut Sinker EDM atau Ram EDM) dan Wire EDM.

Pada proses pembuatan crack dalam penelitian ini menggunakan Wire EDM. Kawat listrik di discharge machining (WEDM), atau kawat-cut EDM, tipis untai tunggal kawat logam, kali ini yang dipakai adalah tembaga, diberi makan melalui benda kerja, biasanya terjadi tenggelam dalam sebuah tangki dengan cairan dielektrik, yang biasanya air deionised.



Gambar 2-3. Proses kerja EDM.[www.idsmachining.com]

Gambar di atas pada proses awal EDM, elektrode yang berisi tegangan arus listrik listrik didekatkan ke benda kerja (elektrode positif mendekati benda kerja/turun). Di antara dua elektrode ada minyak isolasi (tidak menghantarkan arus listrik), yang pada EDM dinamai cairan dielectric. Walaupun cairan dielektrik adalah sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, yang menyebabkan tegangan arus listrik listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Dengan adanya graphite dan partikel logam yang tercampur ke cairan dapat membantu transfer tegangan arus listrik listrik dalam dua cara: partikel-partikel (konduktor) membantu dalam ionisasi minyak dielektrik dan membawa tegangan arus listrik listrik secara langsung, serta partikel-partikel dapat mempercepat pembentukan tegangan arus listrik listrik dari cairan. Daerah yang memiliki tegangan arus listrik listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektrode dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat di gambar. Grafik menunjukkan bahwa tegangan arus listrik (beda potensial) meningkat, tetapi arusnya nol.

2.5. Pengujian Eddy Current Testing

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

Eddy current testing ialah satu diantara beberapa metode *nondestructive test* (NDT). *Eddy current* diciptakan melalui proses yang disebut induksi elektomagnetik. Ketika arus bolak balik (AC) dialirkan pada suatu penghantar listrik, seperti kawat tembaga, maka akan tercipta medan magnet di sekitar penghantar tersebut. Medan magnet tersebut meluas sebagai arus bolak-balik (AC) naik hingga maksimum dan turun sebagai arus yang direduksi menjadi nol. Jika penghantar listrik lainnya dibawa ke dekat medan magnet yang berubah-ubah ini, arus akan diinduksikan pada penghantar kedua tersebut.

Eddy Current Testing (ECT) digunakan untuk mendeteksi dan mendapatkan ukuran suatu *crack*, korosi, dan diskontinuitas material lainnya yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Metode ini biasanya diaplikasikan untuk memeriksa daerah yang relatif kecil dan dikarenakan ukuran dan pola terjadinya kerusakan yang harus dideteksi,

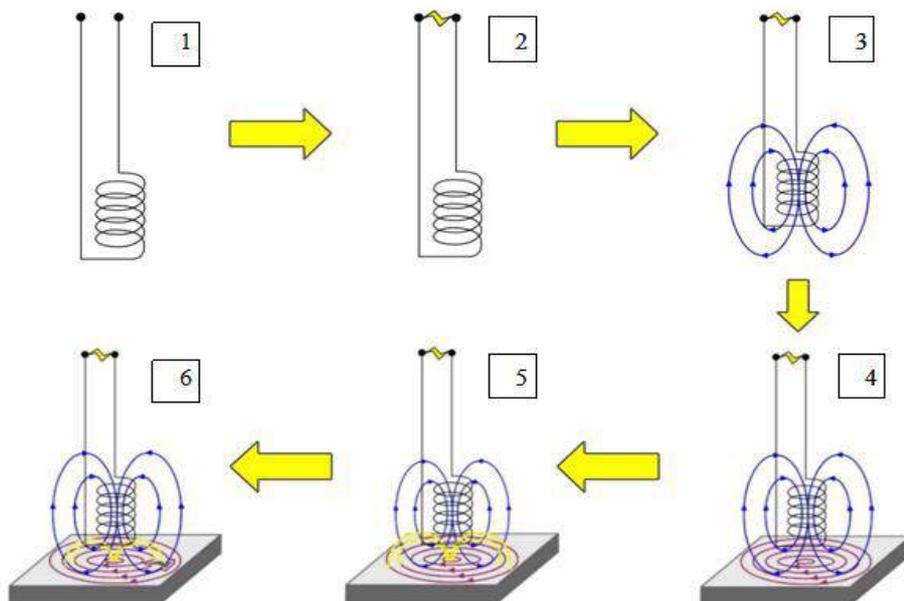
desain dari *probe* dan parameter pengujian harus dibuat sesuai mungkin dengan material yang akan diperiksa dan target deteksi. [Ichinose, 2007]



Gambar 2-4. Eddy Current Testing.

2.5.1. Prinsip Pengujian *Eddy Current*

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



Gambar 2-5. Skema sederhana metode *eddy current*. [Sumber: www.nde-ed.org]

Berikut adalah penjelasan Gambar 2.5:

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 di bawah 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 dengan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan atau *probe*.
6. Ketika terdapat *defect* pada material tersebut, maka *eddy current* akan terganggu dan hasil pembacaan dapat dilihat secara visual melalui monitor atau instrument lainnya.

[Sumber: www.nde-ed.org]

2.5.2. Faktor Penting dalam Pengujian *Eddy Current*

Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi pengujian *Eddy Current*:

- Konduktivitas (*Conductivity*)

Konduktivitas atau daya hantar adalah kemampuan sebuah material dalam menghantarkan arus listrik. Konduktivitas merupakan lawan dari hambatan. Material dengan hambatan tinggi memiliki konduktivitas rendah, dan material dengan hambatan rendah memiliki konduktivitas tinggi. Satuan konduktivitas adalah “mho”. [Cox, 1997]

- Permeabilitas (*Permeability*)

Permeabilitas adalah kemampuan dari suatu material untuk memusatkan garis gaya magnet. Faktor ini hanya akan berpengaruh pada material yang bersifat *ferromagnetic*. Efek ini dapat terlihat jelas dengan meningkatnya ketebalan material, dimana permeabilitas dapat mengurangi kemampuan penetrasi *eddy current*. [Hagemaiyer, 2002]

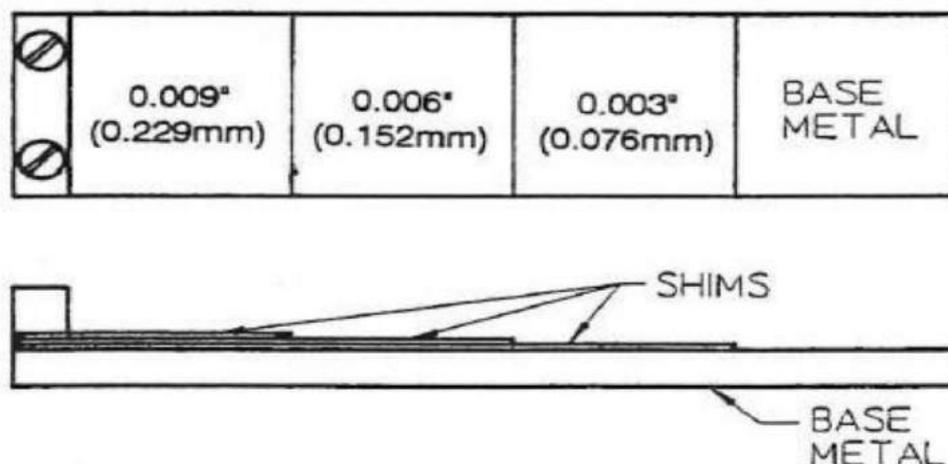
- Frekuensi (*Frequency*)

Pengujian *eddy current* seringkali menggunakan frekuensi dalam rentang kilohertz (dikalikan seribu siklus per detik [kHz]) atau kadangkala dalam rentang megahertz (dikalikan satu juta siklus per detik [MHz]). Frekuensi-frekuensi tersebut tidak dihasilkan oleh putaran kumparan di dalam suatu medan magnet, melainkan melalui rangkaian elektronik khusus yang mengubah frekuensi 60 Hz menjadi frekuensi-frekuensi yang jauh lebih tinggi untuk dipakai dalam pengujian *eddy current*. [Cox, 1997]

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. [Hagemaier, 2002]

- *Lift-off* dan *Lift-off Standard*

Lift-off effect dapat didefinisikan sebagai perubahan pada *test signal* saat *probe* diangkat atau dijauhkan dari permukaan material yang diuji. Standard *lift-off* mudah dibuat dengan menempelkan material non-konduktif yang telah diketahui ketebalannya di atas permukaan sampel material yang diuji. Kertas, mylar, dan selofen adalah contoh material-material non-konduktif yang sering digunakan. [Cox, 1997].



Gambar 2-6. Lapisan non-konduktif yang digunakan sebagai *lift-off standard*. [Sumber: Cox, 1997]

- *Skin Effect*

Pengujian *eddy current* paling sensitif terhadap variabel-variabel benda uji yang letaknya dekat dengan kumparan pengujian akibat adanya *skin effect*. *Skin effect* adalah hasil dari interaksi yang saling berhubungan antara *eddy current*, frekuensi pengujian, konduktivitas dan permeabilitas benda uji. Akibat adanya *skin effect*, konsentrasi *eddy current* di dalam benda uji terjadi paling dekat dengan kumparan pengujian dan menjadi lebih jelas saat frekuensi pengujian, konduktivitas, dan permeabilitas benda uji bertambah besar. [Cox, 1997]

- *Signal-to-noise ratio*

Signal-to-noise ratio adalah perbandingan sinyal yang menjadi perhatian terhadap sinyal yang tidak diinginkan. Sumber-sumber gangguan yang umum terjadi adalah variasi pada benda uji. Gangguan kelistrikan lainnya dapat diakibatkan oleh sumber-sumber luar seperti mesin las, motor listrik dan generator. Getaran mekanis dapat meningkatkan gangguan sistem pengujian akibat gerakan fisik kumparan pengujian atau benda uji. [Cox, 1997]

Merupakan kebiasaan yang umum di dalam NDT untuk mensyaratkan signal-to-noise ratio minimum sebesar 3:1. Ini berarti sinyal yang menjadi perhatian harus memiliki respon paling tidak tiga kali respon gangguan pada titik tersebut. Tingkat gangguan absolut dan kekuatan absolut dari sebuah sinyal diskontinuitas tergantung pada beberapa faktor, seperti jenis dan ukuran kumparan pencari, frekuensi, lintasan dan jarak inspeksi, kondisi permukaan dan struktur mikro benda, ukuran, lokasi, dan orientasi diskontinuitas.

Diketahui bahwa perhitungan Signal to Noise Rasio adalah,

$$\frac{S}{N} = \sqrt{\frac{16}{P v_{metal} w_x w_y \Delta t}} \frac{A_{flaw}(f_0)}{FOM(f_0)}$$

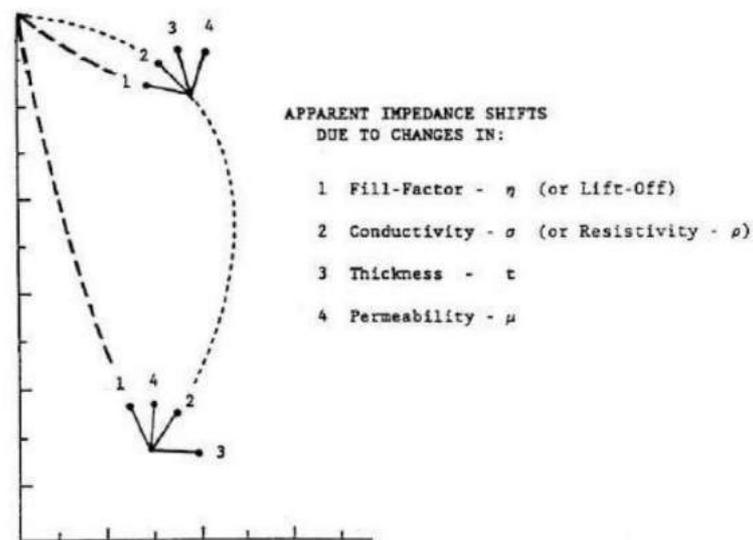
The diagram shows the SNR formula with labels for each variable:

- P : sound speed in metal
- v_{metal} : lateral beam widths at flaw depth
- w_x : lateral beam width at flaw depth
- w_y : lateral beam width at flaw depth
- Δt : pulse duration
- $A_{flaw}(f_0)$: Flaw scat. ampl. at center frequency
- $FOM(f_0)$: Noise FOM at center frequency

Gambar 2-7. SNR formula. [Sumber: www.nde-ed.org]

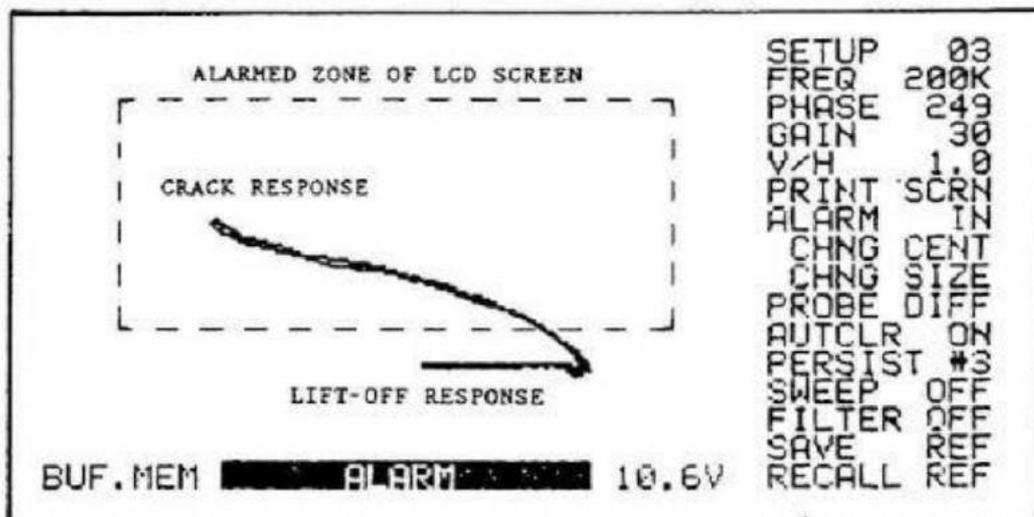
2.5.3. Sinyal-sinyal *Output* Pengujian [Cox, 1997]

Dalam sebuah pengujian dibutuhkan banyak variabel, dan tidak mungkin jika hanya mengandalkan pengujian dengan meteran saja. Pada peralatan yang menggunakan meteran sebagai dasar pengujian, hanya akan didapatkan separuh dari informasi yang ada. Gambar berikut menunjukkan bahwa memungkinkan untuk memisahkan respon yang dihasilkan oleh permeabilitas atau konduktivitas. Pemisahan respon dari kedua perubahan ini memerlukan teknik dan *probe* khusus.



Gambar 2-8. Kondisi pengujian optimum untuk mendeteksi sinyal *interest*. [Sumber: Cox, 1997]

Jika kita melihat semua informasi yang ditampilkan dalam layar atau CRT, maka dapat mengerti tentang sinyal *output* dari pengujian dengan baik. Hal ini memungkinkan kita untuk mengukur kedua *amplitudo* dan fase dari respon tersebut. dengan menggunakan tegangan arus listrik vertikal dan horizontal, dengan mudah dapat dibedakan antara variabel-variabel yang akan mempengaruhi sinyal *output* tersebut. peralatan hanya mampu menampilkan informasi pada satu sumbu saja, sedangkan peralatan yang memakai CRT mampu menampilkan informasi dua kali lebih banyak. Perubahan sinyal yang sedang dideteksi dapat dihasilkan secara lebih lengkap.



Gambar 2-9. Tampilan CRT digital. [Sumber: Cox, 1997]

Dalam hal proses pengujian *eddy current* dibutuhkan informasi yang lebih lengkap, solusinya ialah dengan menggabungkan kedua komponen tersebut ke dalam satu perangkat dengan tampilan CRT seperti yang terlihat pada gambar di atas. Layar CRT digital akan bekerja seperti halnya layar komputer. Layar tersusun dari serangkaian *pixel* yang diatur oleh rangkaian *output*. Saat *pixel* bekerja, akan muncul berbagai warna dan tingkat kecerahan.

2.5.4. Pemilihan Frekuensi [Cox, 1997]

Arus di dekat kumparan pengujian terbentuk terlebih dahulu dibandingkan dengan arus yang berada lebih dalam pada material uji. Kerapatan arus yang lebih tinggi memungkinkan proses pendeteksian yang lebih baik dan beda fase yang besar antara permukaan atas dan bawah menghasilkan ketelitian yang baik. Dalam memilih frekuensi, terdapat dua sistem yang umum digunakan yaitu *Single Frequency Systems* dan *Multiple Frequency Systems*.

- *Single Frequency Systems*

Sistem pengujian ini berhubungan dengan sistem kumparan yang dialiri oleh satu macam frekuensi. Dengan mengatur frekuensi, seorang teknisi dapat lebih responsif terhadap variabel benda uji. Sistem ini dipakai dalam pemeriksaan *surface weld*.

- *Multiple Frequency Systems*

Sistem pengujian yang dialiri lebih dari satu frekuensi dinamakan sistem multi frekuensi atau multi parameter. Adalah umum bagi kumparan pengujian jika dialiri

dengan tiga frekuensi atau lebih secara serentak. Meskipun beberapa frekuensi dapat diberikan pada kumparan pengujian secara serentak atau berurutan, masing-masing frekuensi individu mengikuti aturan yang ditetapkan untuk *single frequency system*. Sinyal yang dihasilkan oleh berbagai frekuensi seringkali digabungkan atau dicampur di dalam rangkaian elektronik dimana sinyalnya ditambahkan atau dikurangkan secara aljabar untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Sistem ini diaplikasikan pada pemeriksaan *tubing*.

2.5.5. Kalibrasi pada Pengujian *Eddy Current*

Menurut ASME *Boiler and Pressure Vessel Code – 2015, Section V – Appendix IV*, frekuensi *probe* dan *gain setting* harus diatur guna mendapatkan penetrasi kedalaman yang cocok pada material sehingga kedalaman dari *crack* yang terdalam dapat dibedakan dengan *crack* yang lebih kecil. *Gain setting* pada sumbu vertikal dan horizontal harus diatur sehingga terlihat ada perbedaan Db dengan kedalaman diskontinuitas *gain* menjadi lebih tinggi. *Probe* harus di *reset* pada daerah material logam yang kosong dan jauh dari *crack*. Posisi X-Y pada titik nol harus terletak dalam satu sudut di monitor. Kontrol fase atau rotasi harus disesuaikan sehingga ketika *probe* dalam keadaan *lifted off* dari permukaan logam, titik *display* akan bergerak 90 derajat menuju kedalaman diskontinuitas. [ASME, 2015]

Perlu meningkatkan *gain* vertikal atau horizontal, sebagaimana yang diperlukan, jika indikasi terkecil atau indikasi terbesar dari suatu *crack* tidak mencapai 10% atau 50%. Respon maksimal dari *crack* akan dicapai ketika *probe* dipindai secara tegak lurus terhadap *crack* dan berpusat pada *crack*. Perbedaan antara *gain* vertikal dan horizontal harus disesuaikan. Panjang indikasi dari *baseline (lift-off line)* yang muncul di layar untuk masing-masing kedalaman *crack* harus tercatat. [ASME, 2015]

Sistem *eddy current* biasanya dikalibrasi dengan standar referensi material yang memiliki *crack* alami, *crack* buatan, atau dalam kasus tertentu, tanpa diskontinuitas. Lubang, alur lekuk, dan *notches* adalah beberapa contoh dari diskontinuitas buatan yang seringkali digunakan untuk menentukan sensitivitas tes. Tujuan dari standar kalibrasi tersebut adalah untuk melakukan pengecekan pada frekuensi dan perubahan fase. Dengan sistem inspeksi yang otomatis, bagian yang aktual harus dapat digunakan untuk proses kalibrasi dan proses penyesuaian tingkat sensitivitas. [Mix, 2005]

Prosedur kalibrasi dalam pengujian pada sambungan las material besi: [DNV, 2012]

1. Atur frekuensi.
2. Lakukan *balancing* pada alat dengan mengangkat *probe* ke udara.
3. Gunakan kontrol X dan Y untuk menyesuaikan posisi *spot* ke tengah layar monitor (sumbu X) dan minimal 1,5 bagian dari layar monitor di atas garis dasar (sumbu Y), bertujuan untuk memastikan tidak ada *noise-signal* yang ikut muncul pada layar monitor.
4. Letakkan *probe* diatas blok kalibrasi tanpa *cover* untuk memastikan tidak berada dekat dengan celah *crack* buatan (*slot*) manapun. Lakukan *balance* pada peralatan.
5. Untuk memperoleh tampilan *crack* yang tepat, gerakkan/jalankan *probe* pada *slot* dengan kedalaman 2 mm. Lakukan dengan perlahan, pastikan sumbu memanjang dari *probe* tetap paralel/sejajar. Indikasi dari *slot* akan tampak pada layar.
6. Tingkat sensitivitas harus disesuaikan untuk mengimbangi ketebalan cat yang diukur, berdasarkan prosedur yang ada.

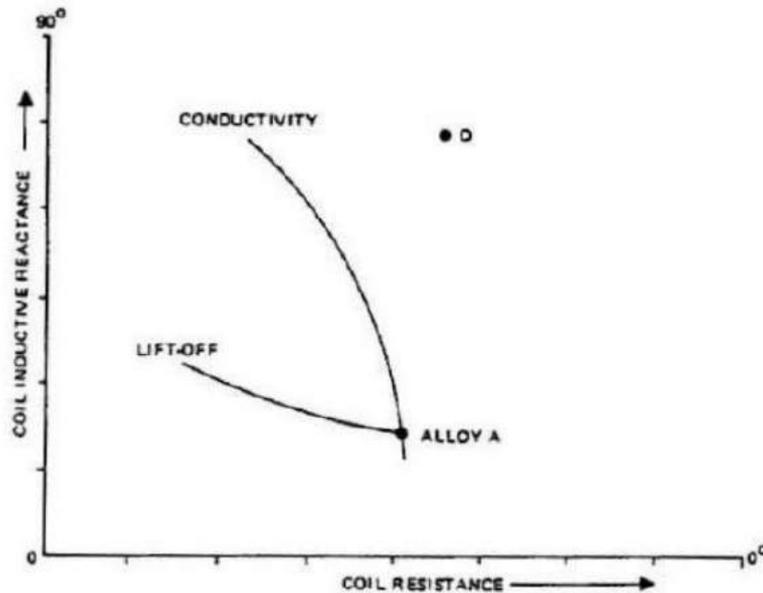
Penggunaan kalibrasi pada pengujian ini sesuai dengan ASME *Boiler and Pressure Vessel Code – 2015, Section V – Appendix III* yaitu, kedalaman *crack* yang diijinkan adalah sebesar 0.5 mm dan lebar *crack* yang diijinkan 0.25 mm. [ASME, 2015]

2.5.6. Sistem Analisis Fase [Cox, 1997]

Karena perubahan impedansi diikuti oleh pergeseran fase, dimungkinkan untuk mengamati pergeseran fase ketimbang perubahan impedansi dalam menentukan kondisi yang terjadi di dalam material. Dengan mengamati perubahan impedansi dan pergeseran fase maka akan lebih banyak informasi yang diperoleh. Salah satu indikator yang dapat mempengaruhi perubahan impedansi yaitu pengaruh ketebalan material terhadap diagram bidang-impedansi.

Jika ingin memeriksa konduktivitas dari suatu paduan (*alloy*) maka diatur jumlah reaktansi induktif dan hambatan yang tepat ke dalam impedansi *balancing* sehingga peralatan tersebut akan diatur untuk beroperasi dari titik D pada diagram

bidang-impedansi. Impedansi kumparan dari pengujian saat ditempelkan di atas material akan berada pada garis konduktivitas di titik "Alloy A" seperti gambar 2-10.



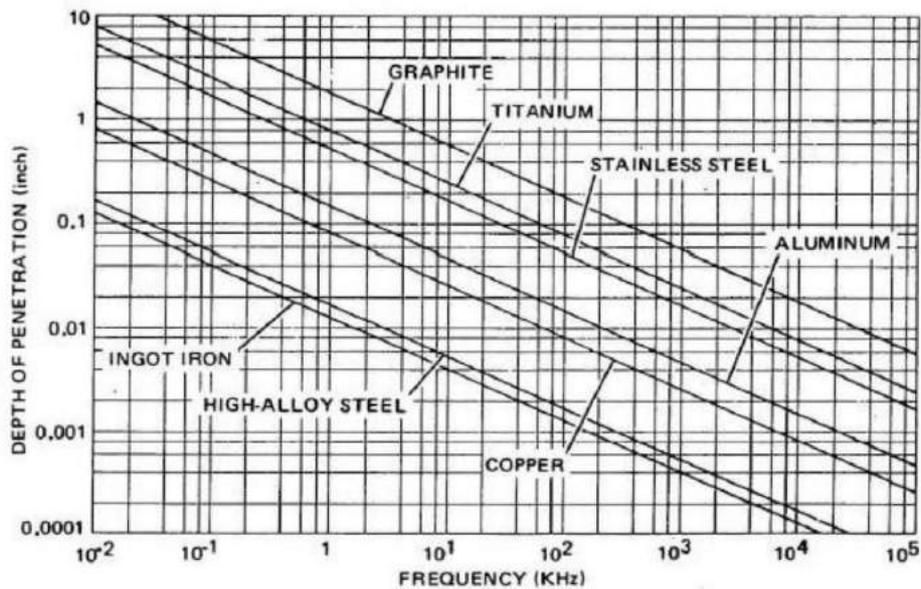
Gambar 2-10. Pengaturan pengujian konduktivitas pada diagram bidang impedansi.

[Sumber: Cox, 1997]

2.5.7. Kedalaman Penembusan Standard [Cox, 1997]

Kedalaman penembusan standard didefinisikan sebagai kedalaman dimana kerapatan *eddy current* kurang lebih 37% dari kerapatan di permukaan. Gambar 2.7 menunjukkan kedalaman penembusan standard dari beberapa material pada frekuensi pemeriksaan yang berbeda.

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



Gambar 2-11. Standard kedalaman penembusan berbanding frekuensi pada berbagai tipe material . [Sumber: Cox, 1997]

2.5.8. Kumpulan Pemeriksaan Eddy Current Testing

Kumpulan pemeriksaan (*inspection coils*) dapat dibedakan menjadi tiga jenis kumpulan yang berkaitan dengan struktur fisik dan jenis pengujian yang dilakukan, yaitu: *Probe Coils*, *Bobbin Coils*, dan *Encircling Coils*.

a. *Probe Coils*

Probe coils kadang disebut juga sebagai kumpulan permukaan atau kumpulan rata. *Probe coils* umum digunakan untuk *scanning* pada permukaan. Beberapa fitur dari *probe* ini, diantaranya: [Cox, 1997]

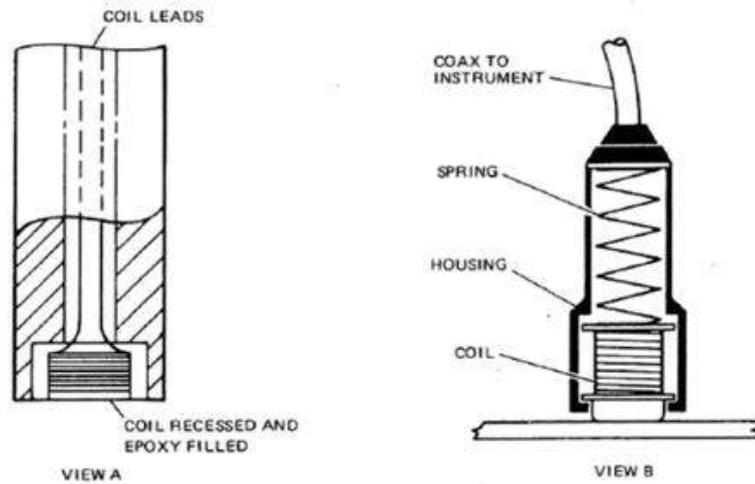
- Mekanisme pegas untuk meminimumkan *lift-off*.

Bagian depan kumpulan dilapisi pelat tahan aus untuk melindungi kawat kumpulan tersebut. kumpulan dilindungi oleh lapisan epoksi yang melindungi lilitan dan memberikan ketahanan terhadap keausan. Rumah kumpulan terbuat dari material nonkonduktif yang mencegah perpindahan panas dari tangan seorang inspektor ke kumpulan atau dari sumber-sumber luar.

- Desain modular (dua bagian) terdiri dari kepala *probe* dan kabel berpegang.

Saat menggunakan *probe coil* beresolusi tinggi, permukaan benda uji harus di-*scan* dengan teliti untuk menjamin area pemeriksaan yang menyeluruh. *Scanning* secara

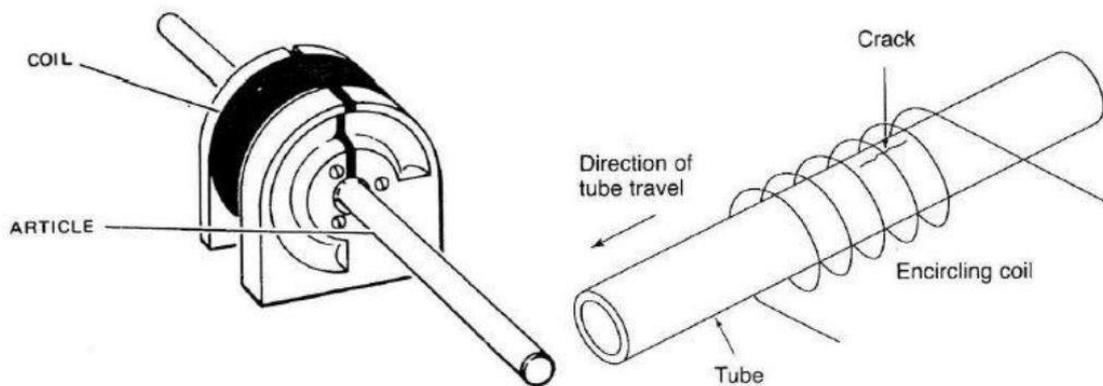
teliti memboroskan waktu. Oleh karenanya, pemeriksaan memakai *probe coil* pada benda uji yang besar biasanya dibatasi pada daerah yang kritis saja.



Gambar 2-12. Penyusunan *probe coil*. [Sumber: Cox, 1997]

a. Encircling Coils

Kumparan ini terkadang disebut juga sebagai kumparan diameter luar, atau kumparan “*feed-through*”, karena kumparan mengelilingi benda uji. Proses untuk mencari *crack* memanjang yang lebih mudah dilihat menggunakan teknik kumparan luar. Kawat dililitkan mengelilingi *tube*. Ini berarti bahwa arus utama di dalam kawat mengalir mengitari *tube*. *Eddy current* selalu mengalir dalam arah berlawanan terhadap arus utama, oleh karena itu *eddy current* harus mengalir mengelilingi *tube* juga. [Cox, 1997]



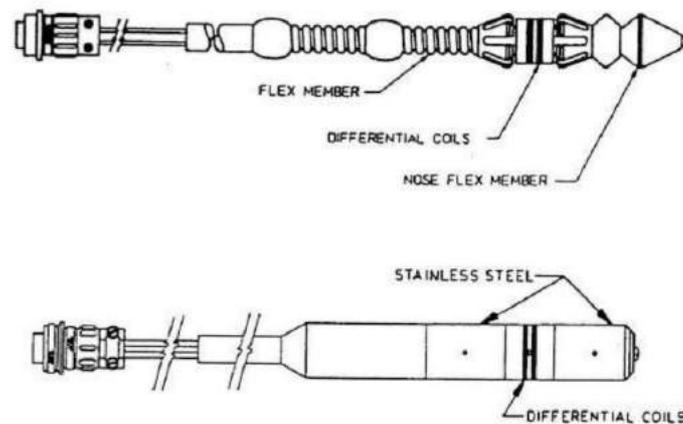
Gambar 2-13. Pengujian *encircling coil* pada batang round. [Sumber: Cox, 1997]

Encircling coil umumnya dipakai untuk memeriksa produk berbentuk *tubular* dan batang. *Tube* atau batang tersebut dialirkan ke dalam kumparan pada kecepatan yang relatif tinggi. Diskontinuitas melingkar akan susah dideteksi memakai *encircling coil*. Volume material yang diuji pada saat tertentu lebih besar dibandingkan menggunakan kumparan *probe*. Oleh karena itu, sensitivitas *encircling coil* ini lebih rendah.

a. *Bobbin Coils*

Kumparan Bobbin digunakan untuk memeriksa dari sisi dalam benda uji berbentuk *tubular*. Kumparan bobbin dimasukkan dan ditarik dari sisi dalam *tube* menggunakan batang semi-fleksibel yang panjang. Seperti halnya pada kumparan luar,

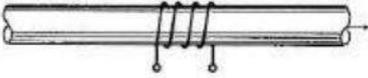
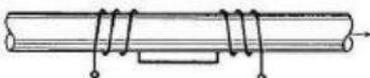
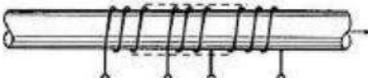
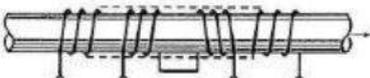
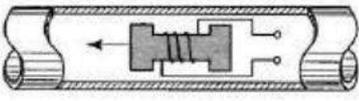
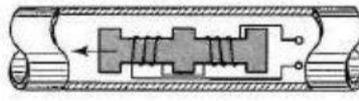
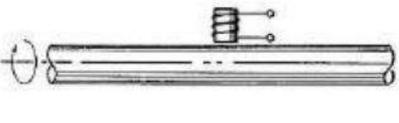
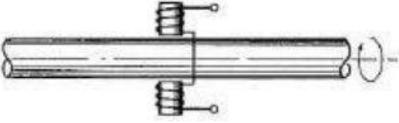
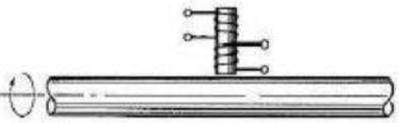
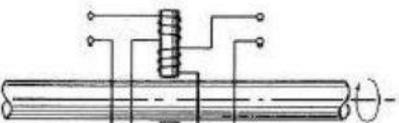
Bobbin coil menginduksikan arus yang mengitari seluruh keliling *tube* sehingga seluruh bagian yang mengelilingi kumparan dapat diperiksa. Karena arus yang diinduksikan di dalam material paling kuat di dekat kumparan, *bobbin coil* paling sensitif mendeteksi *crack* yang terletak pada permukaan atau dekat permukaan bagian dalam *tube*, sedangkan *encircling coil* lebih sensitif mendeteksi *crack* yang terletak pada atau dekat permukaan luar *tube*. [Cox, 1997].



Gambar 2-14. Bagian-bagian bobbin coil. [Sumber: Cox, 1997]

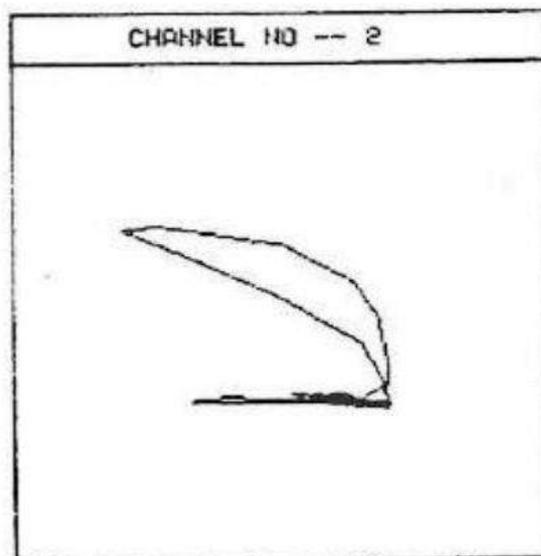
2.5.9. Susunan Kumparan

Ketiga jenis kumparan tersebut dapat dikelompokkan lebih lanjut yang ditentukan berdasarkan pada bagaimana kumparan tersebut dihubungkan secara elektrik, diantaranya adalah *absolute* dan *differential*.

		Absolute	Differential
Encircling coils	Single		
	Double		
Bobbin coils			
Probe coils	Single		
	Double		

Gambar 2-15. Konfigurasi coil absolute dan coil differential. [Sumber: Cox, 1997]

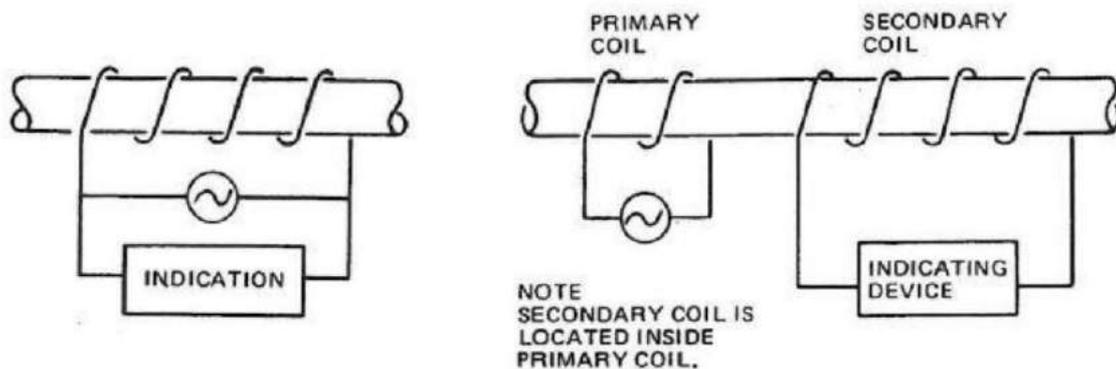
a. *Absolute Coil*



Gambar 2-16. Tampilan respon sinyal absolute. [Sumber; Cox, 1997]

Absolute coil dapat didefinisikan dalam melakukan pengukuran tanpa referensi atau perbandingan langsung terhadap suatu standard saat pengukuran dilakukan. Beberapa kegunaan dari sistem *absolute coil* yaitu pengukuran konduktivitas, permeabilitas, dimensi, dan kekerasan material. Gambar di atas menunjukkan tampilan dari respon sinyal *absolute*.

Absolute coil memiliki dua macam jenis kumparan yang umum digunakan, yaitu *single coil* dan *double coil*. Jika *single coil* dipakai untuk menginduksikan *eddy current* di dalam benda dan juga untuk mendeteksi reaksi benda uji terhadap *eddy current*. Sedangkan *double coil* digunakan untuk menghasilkan medan magnet, menginduksikan *eddy current* di dalam suatu benda, sekaligus berfungsi mendeteksi perubahan aliran *eddy current*. [Cox, 1997].

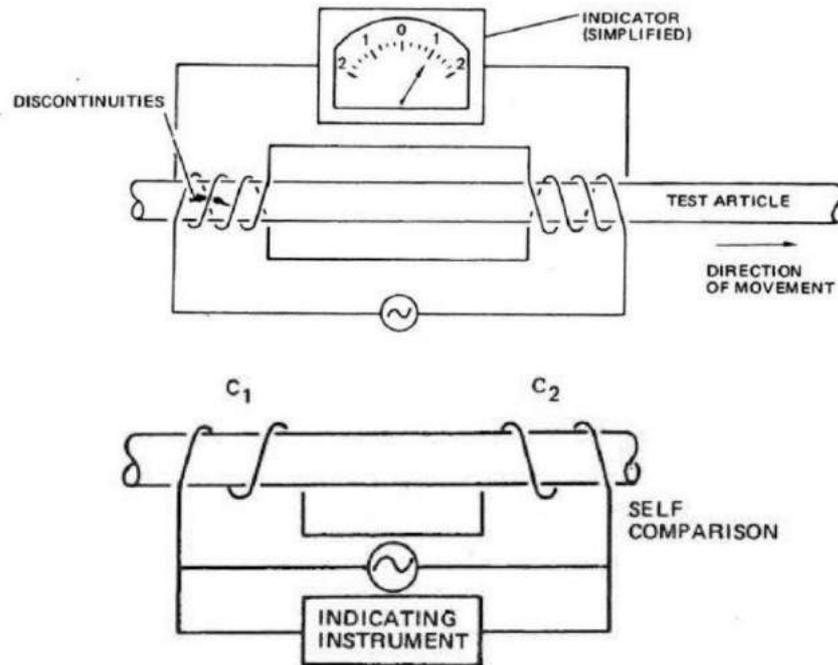


Gambar 2-17. Perbedaan *single coil* dan *double coil*. [Sumber: Cox, 1997]

b. *Differential Coils*

Differential coil terdiri dari dua buah kumparan atau lebih yang saling dihubungkan secara kelistrikan untuk berlawanan satu sama lainnya. Perbedaan kecil pada sifat material akan mengakibatkan indikasi *output* yang tidak seimbang. Dengan kata lain, selama tidak ada perbedaan di dalam material di bawah kumparan, maka tidak ada indikasi yang muncul pada perangkat, namun saat sebuah diskontinuitas terletak di bawah salah satu kumparan, terjadi ketidakseimbangan yang ditunjukkan oleh perangkat tersebut. *Differential coil* terbagi menjadi dua jenis, yaitu: [Cox, 1997]

1. *Self-comparison Differential*.
2. *External Reference Differential*.

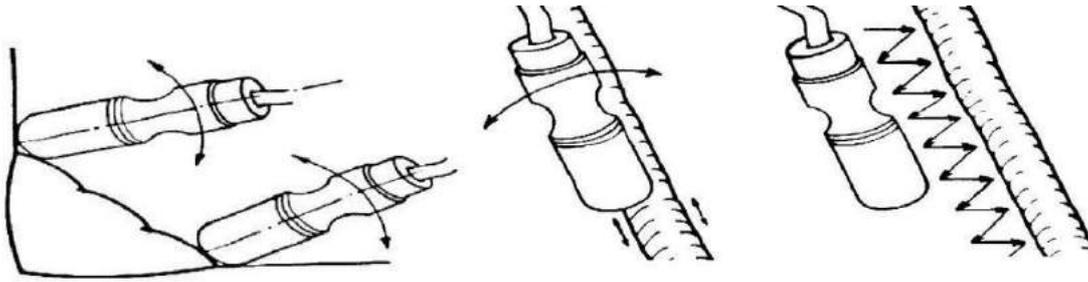


Gambar 2-18. External reference dan self-comparison differential. [Sumber: Cox, 1997]

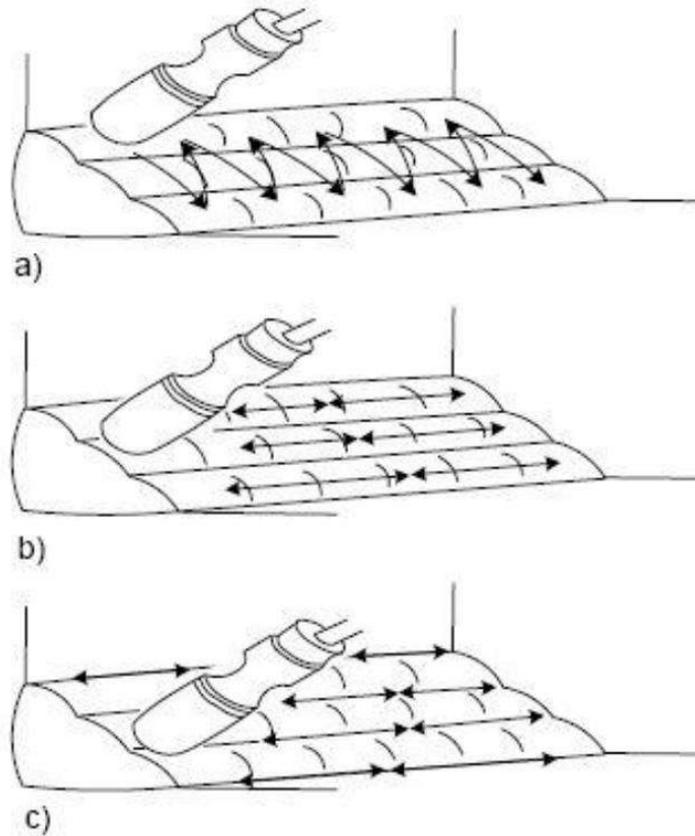
2.5.10. Teknik Scanning dalam Pengujian Eddy Current Testing

Dalam melakukan proses *scanning*, permukaan las dan area sejauh 25 mm dari daerah las (termasuk *Heat-Affected Zones*) harus di-*scan* dengan menggunakan *probe*. Selama geometri dari objek pengujian memungkinkan, *probe* harus digerakkan dengan arah tegak lurus terhadap arah utama dari indikasi yang diharapkan. Jika tidak diketahui, atau jika terdapat indikasi pada arah yang berbeda, setidaknya harus ada dua *probe* yang dipakai, satu *probe* tegak lurus terhadap *probe* lainnya.

Pengujian dapat dilakukan pada dua bagian, yaitu pada daerah HAZ (25 mm dari tiap sisi daerah las) dan pada permukaan las. Harus diingat bahwa reliabilitas dari pengujian ini sangat bergantung pada *probe* yang terhubung dengan daerah las dalam proses pengujian. Kehati-hatian juga perlu dilakukan untuk memastikan *probe* berada pada sudut yang optimum untuk menemukan variasi kondisi permukaan pada daerah HAZ. Untuk *probe* dengan tipe gulungan yang berbeda-beda, sensitivitas pendeteksian dipengaruhi oleh orientasi dari *crack* terhadap gulungan tersebut. Oleh karena itu, kehati-hatian harus selalu dilakukan dan diatur selama pengujian berlangsung.



Gambar 2-19, Tipe scanning pada daerah HAZ. [Sumber: DVN, 2012]



Gambar 2-20. Tipe scanning pada daerah las. [Sumber: DVN, 2012]

2.5.11. Aplikasi Pengujian Eddy Current Testing

Pengujian *eddy current* melibatkan penggunaan medan magnet dan material-material konduktif, operator harus berhati-hati dalam memastikan pengujian dilakukan pada daerah yang bebas dari gangguan kelistrikan atau magnetik apapun. Sebagai contoh, material konduktif apapun, selain material uji, harus terpisah dengan jarak minimum 300 mm dari kumparan pengujian. Pengujian *eddy current* digunakan dalam pendeteksian diskontinuitas, pengukuran ketebalan lapisan *nonconductive*, pengukuran

ketebalan lapisan *nonconductive*, pengukuran ketebalan material tipis, dan pengukuran kekerasan material. [Cox, 1997]

Pengujian *eddy current* digunakan untuk pendeteksian diskontinuitas pada permukaan material yang telah dilapisi *nonconductive coating* (*plate, crane, machinery foundation, pipe, etc.*). Selain itu *Eddy Current Testing* dapat digunakan dalam pengukuran ketebalan lapisan *cat* dan pengecekan *heat exchanger tubing*. Aplikasi *Eddy Current Testing* dapat digunakan pada material berbahan *non-ferromagnetic*, termasuk *stainless steel, copper-nickel alloys, titanium*, dll. Aplikasi pengujian *eddy current* tidak dapat menentukan ukuran indikasi *crack* secara pasti, tetapi hanya dapat memperkirakannya berdasarkan perbedaan besar sinyal *lift-off* dan sinyal *crack* yang dihasilkan satu indikasi dengan indikasi lainnya. Untuk mengetahui ukuran panjang dan kedalaman harus dilanjutkan dengan pengujian menggunakan metode NDT lainnya.

2.5.12. Kelebihan dan Kekurangan Eddy Current Testing

a. Kelebihan metode Pengujian *Eddy Current*

Eddy current testing memiliki kelebihan sebagai berikut: [Mix, 2005]

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

b. Kekurangan metode Pengujian *Eddy Current*

Metode *Eddy Current Testing* ini juga memiliki kekurangan seperti: [Mix, 2005]

1. Hanya dapat diaplikasikan pada material yang bersifat konduktif (*electrically conductive*).
2. Permukaan material harus mudah diakses dengan *probe*.
3. *Skill* dan latihan dibutuhkan lebih mendalam dibandingkan teknik atau metode lainnya.
4. Ujung permukaan dan kekasaran permukaan material dapat mempengaruhi hasil.
5. Kedalaman dari penetrasi alat terbatas. Akibatnya pengujian terbatas pada kerusakan di permukaan saja.
6. *Crack* berupa delaminasi yang sejajar dengan arah lilitan atau gulungan *probe* dan arah pembacaan dari *probe* dapat tidak terdeteksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

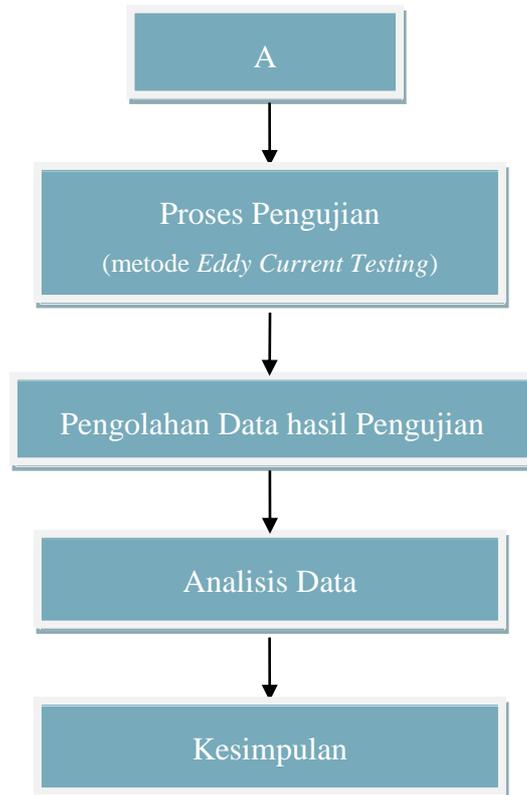
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Pengujian yang dilakukan memiliki tahapan yang telah disusun sebelum melakukan pengujian. Secara garis besar tahapan tersebut terdiri dari pemilihan judul, pengidentifikasian masalah, mencari tinjauan pustaka, pengadaan material, pembuatan spesimen uji, proses pengujian, pengolahan data hasil pengujian, dilanjutkan dengan analisis data, dan terakhir menarik kesimpulan. Tahapan tersebut dijelaskan dalam bagan sebagai berikut:



Gambar 3-1. Diagram Alir



Gambar 3-2. Diagram Alir (lanjutan).

3.2. Pengadaan Bahan Pengujian

3.2.1. Material

Pada tahap pengadaan material, disediakan baja karbon A36 yang dipotong menjadi pelat berukuran 300x120x6mm sebanyak 4 buah. Pelat-pelat inilah yang merupakan specimen uji Tugas Akhir ini. Selain pelat tersebut, pembuatan sebuah blok kalibrasi juga menggunakan pelat baja karbon A36 dengan ukuran yang lebih kecil.



Gambar 3-3. Pelat baja karbon A36.

3.2.2. Kawat Las

Pada material uji diberikan pengelasan di permukaan menggunakan proses pengelasan SMAW dan kawat las yang digunakan adalah E 7018 dengan diameter 3.2mm.

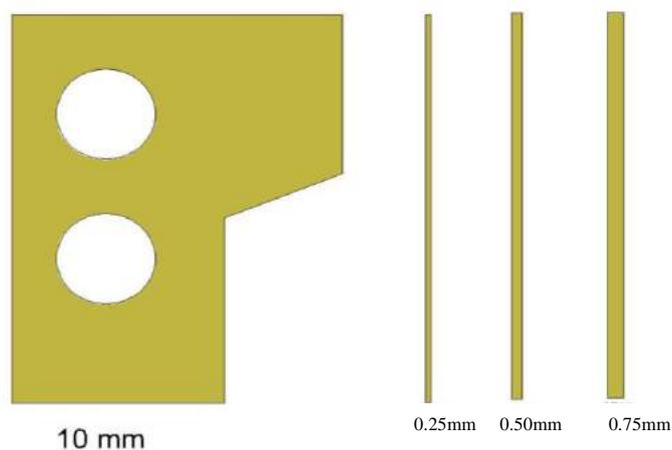
Pengelasan yang dilakukan menggunakan kawat las merek Kobe Steel LB-52 seperti gambar 3-4.



Gambar 3-4. Kawat las.

3.2.3. Wire Master

Wire master adalah sebutan untuk mata potong pada mesin EDM. *Wire master* terbuat dari tembaga. Ukuran ketebalan tembaga yang dibutuhkan adalah 0.25mm, 0.5mm, dan 0.75mm. Ukuran tersebut sesuai dengan lebar *crack* yang nantinya dibuat pada material. Ilustrasi gambar 3-5 menjelaskan bentuk wire master yang digunakan dengan tiga ketebalan berbeda.



Gambar 3-5. *Wire Master*.

3.3. Pembuatan Spesimen Uji

3.3.1. Pemotongan Material

Ukuran material yang ada di pasaran paling kecil adalah 1200 x 6000mm, sedangkan specimen yang kita butuhkan adalah 120 x 30 x 6 mm sebanyak empat buah specimen ditambah dengan material blok kalibrasi. Maka dari itu, material harus dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dengan menggunakan mesin potong. Setelah proses pemotongan pelat menjadi specimen yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan proses penghalusan sisi specimen dengan menggunakan gerinda.



Gambar 3-6. Mesin potong.

Gambar 3-7 berikut menunjukkan hasil pelat yang telah dipotong dan dihaluskan dengan gerinda. Hal ini dilakukan karena setelah dipotong permukaan pelat tidak merata dan juga untuk menghilangkan korosi pada pelat.



Gambar 3-7. Hasil potong pelat yang telah dihaluskan.

3.3.2. Pengelasan Material

3.3.2.1. Persiapan Pengelasan

Material yang telah dibentuk menjadi specimen uji dan blok kalibrasi selanjutnya akan melalui proses pengelasan. Persiapan proses pengelasan itu sendiri selain dengan kawat las elektroda E7018 Ø 3.2mm adalah dengan mempersiapkan peralatan sebagai berikut:

- Mesin las SMAW model ESAB LEE 300
- Oven elektroda
- Gerinda merk Makita
- Kawat las LB-52 merek Kobe Steel
- Palu
- Sikat besi
- Mata gerinda
- Flap disk
- Kapur besi merk Axell
- Helm pelindung pengelasan
- Sarung tangan
- Penutup telinga
- Penggaris



Gambar 3-8. Peralatan untuk proses pengelasan.

3.3.2.2. Spesifikasi Pengelasan

Sebelum melakukan proses pengelasan, alur las diberi tanda terlebih dahulu. Pertama dengan kapur khusus baja, lalu mempertegas alur pengelasan dengan menggunakan gerinda. Batasan yang diijinkan dalam pengelasan antara lain:

- Lebar alur las : 3,5x Ø elektroda
- Panjang alur las : 280mm
- Tinggi alur las : 15mm
- Proses pengelasan : SMAW
- Besar daya mesin las : 100 A



Gambar 3-9. Alur pengelasan pada material.

3.3.2.3. Proses Pengelasan

Sebelum menggunakan elektroda E7018, elektroda dipanaskan terlebih dahulu ke dalam oven elektroda sampai suhu 150°C. proses tersebut membutuhkan waktu sekitar 120-150menit. Setelah keluar dari oven untuk menjaga suhu elektroda tetap panas agar kadar hydrogen nya rendah, elektroda dimasukkan ke dalam termos elektroda sebagai *portable oven*.



Gambar 3-10. Oven Elektroda



Gambar 3-11. Suhu oven elektoda 150°C.

Pengaturan mesin las yang digunakan dengan kuat arus sebesar 100 ampere. Hal ini dikarenakan bila arus terlalu besar maka akan membuat pelat berlubang. Sebaliknya bila arus terlalu kecil maka akan membuat elektroda menempel pada spesimen yang dilas.



Gambar 3-12. Besar arus pasda proses pengelasan.

Proses pengelasan dilakukan dengan posisi pengelasan G3. Spesimen yang akan dilas pertama-tama diberi penyangga di bagian belakang untuk mengurangi deformasi. Setelah itu, tag weld spesimen pada bidang pengelasan. Pengelasan dlakukan oleh ahli

agar hasilnya baik dan menyerupai keadaan asli pada lasan di kapal. Proses pengelasan yang dilakukan ditunjukkan dengan gambar 3-13.



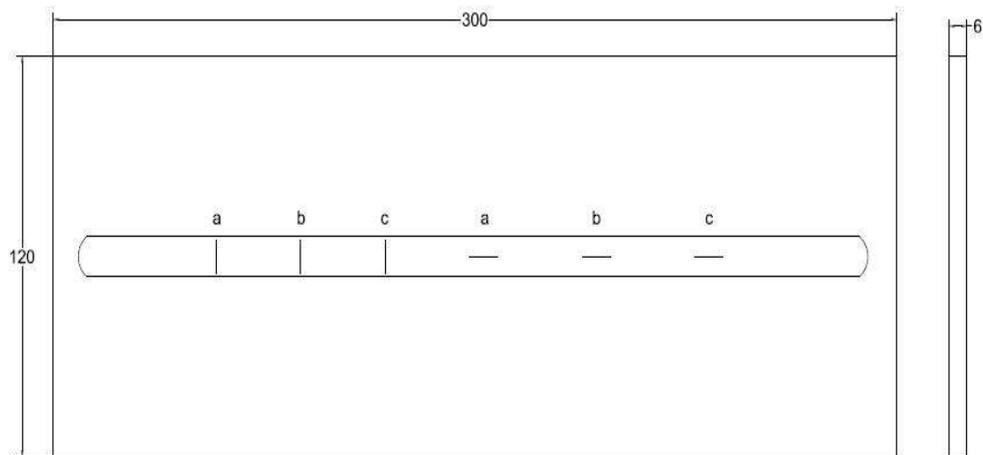
Gambar 3-13. Proses Pengelasan.

3.3.3. Pembuatan *Crack*

3.3.3.1. Spesifikasi *Crack*

Pembuatan *crack* pada spesimen yang telah melalui proses las, selanjutnya proses pembuatan *crack* tepat pada *weld metal*. Adapun syarat pembuatan *crack* setiap spesimen adalah terdiri dari 6 buah *crack*, dengan:

- Tiga buah *crack* bentuk horisontal, masing-masing lebar *crack* 0.25mm, 0.5mm, dan 0.75mm
- Tiga buah *crack* bentuk vertikal, masing-masing lebar *crack* 0.25mm, 0.5mm, dan 0.75mm
- Jarak antar *crack* \pm 30-40mm
- Kedalaman *crack* 10mm



Gambar 3-14. Design *crack* pada tiap spesimen.



Gambar 3-15. Spesifikasi *crack* tiap spesimen.

3.3.3.2. Proses Pembuatan Crack

Proses pembuatan *crack* pada spesimen menggunakan mesin EDM. Pertama, pasang *wire master* dengan ukuran yang diinginkan sebagai elektroda pada *cutting tool*. Selanjutnya, material diletakan pada tangki EDM machine tool. Setelah itu, tangki akan terisi dengan cairan dielektrik sampai spesimen terendam seluruhnya.



Gambar 3-16. Peletakan spesimen dalam tangki EDM.

Langkah berikutnya adalah setting mesin EDM sesuai dengan kedalaman *crack* yang diijinkan dan mesin akan beroperasi secara otomatis. Tampilan monitor mesin EDM seperti yang terlihat pada gambar 3-17. Masing-masing *crack* yang dibuat membutuhkan waktu yang berbeda-beda. Sesuai dengan kedalaman *crack* dan lebar dari *crack* itu sendiri. Rentang waktu yang dibutuhkan untuk 1 buah *crack* antara 20-60 menit.



Gambar 3-17. Monitor pada mesin EDM.

Kelebihan dari alat EDM adalah dimana letak *crack* yang telah direncanakan dapat dengan mudah dilakukan pengaturan baik dari segi ukuran letak *crack* maupun kedalaman *crack*. Pengoperasian mesin EDM harus dilakukan oleh seorang ahli.



Gambar 3-18. Mesin EDM yang digunakan dalam membuat *crack*.

3.4. Pengecatan Spesimen

Pengecatan spesimen dilakukan setelah proses pemberian *crack* pada material. Proses ini dimulai dengan membersihkan spesimen dari korosi atau karat dengan gerinda. Setelah spesimen bersih, pertama dilakukan pemberian dempul pada *crack* material. Hal ini bertujuan agar nantinya cat yang disemprotkan ke spesimen tidak masuk ke dalam lubang *crack*.



Gambar 3-19. Jenis dempul yang dipakai.

Masing-masing spesimen memiliki tingkat kerataan permukaan lasan yang berbeda walaupun telah dilakukan penghalusan dengan gerinda. Pemberian dempul juga dapat berguna untuk meratakan permukaan las-lasan yang akan dicat.



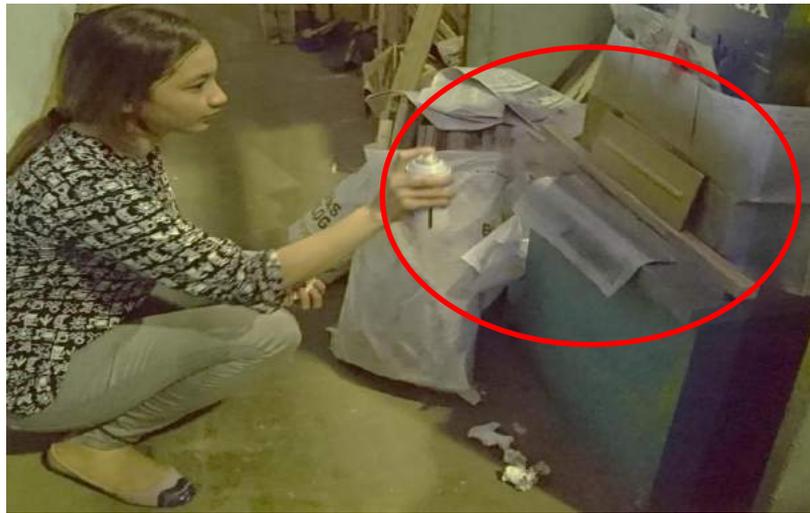
Gambar 3-20. Spesimen yang diberi dempul.

Selanjutnya, spesimen yang telah diberi dempul dicat dengan *non-conductive coating* yang telah disediakan. Penggunaan *non-conductive coating* dengan tiga warna yang berbeda seperti ditunjukkan gambar 3-21 bertujuan agar lebih mudah membedakan tebal lapisan *coating* berdasarkan warnanya.



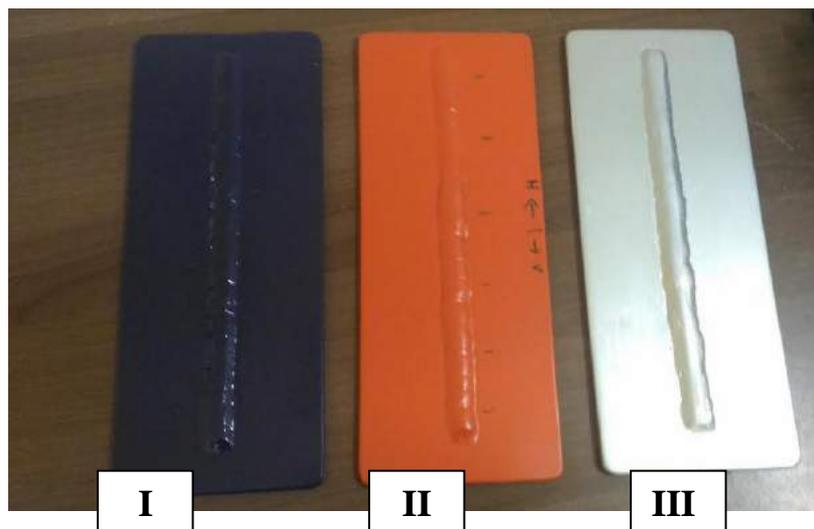
Gambar 3-21. Jenis Pylox dan warna yang digunakan.

Cara pengecatan dengan menyemprotkan *nonconductive coating* ke spesimen dengan jarak 40 cm. Pengecatan dilakukan layer per layer agar cat kering sempurna. Dikarenakan bila tidak kering sempurna cat bagian dalam akan lunak. Spesimen dicat dengan ukuran 100 μm , 200 μm , dan 300 μm . Untuk mempermudah, pengecatan masing-masing ukuran μm berbeda dibedakan pula warna catnya, tetapi dengan jenis cat yang sama.



Gambar 3-22. Proses pengecatan spesimen.

Pada gambar 3-23 ditunjukkan hasil pengecatan tiga buah spesimen dengan *non-conductive coating*. Warna *deep blue* pada spesimen I dibuat untuk ketebalan 100 μm , sedangkan spesimen II dengan warna *light scarlet* untuk ketebalan 200 μm , dan pada spesimen III warna *silver* dibuat untuk ketebalan *coating* 300 μm .



Gambar 3-23. Hasil pengecatan spesimen.

Hasil akhir keempat spesimen uji memiliki penampang seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-24. Dimana, masing-masing spesimen menunjukkan warna dengan ketebalan berbeda serta ditambah satu spesimen tanpa lapisan *non-conductive coating*.



Gambar 3-24. Penampang keempat spesimen uji.

3.5. Pembuatan Blok Kalibrasi

Sesuai dengan panduan ASME V, maka blok kalibrasi dibuat dengan ukuran *crack* sebagai berikut:

- panjang *crack* : 10 mm
- lebar *crack* : 0.25 mm
- kedalaman *crack* : 0.50 mm

Pembuatan blok kalibrasi sama seperti pembuatan spesimen, yaitu:

Pertama, material blok kalibrasi di las dibagian tengah. Kedua, blok kalibrasi dibersihkan dan kemudian diberi *crack* sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Ketiga, blok kalibrasi dibersihkan dari korosi. Bedanya, blok kalibrasi tidak perlu di *coating* hanya menggunakan plasti berukuran 100 μm , 200 μm , dan 300 μm sebagai pengganti *coating*.



Gambar 3-25. Blok kalibrasi.

3.5. Pengujian Spesimen

3.5.1. Persiapan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan persiapan alat-alat dan bahan yang diperlukan untuk pengujian. Berikut hal yang harus dipersiapkan sebelum pengujian.

1. Meja kerja

Meja kerja yang disiapkan haruslah sesuai standar dengan luas meja yang memadai tanpa mengganggu proses pengujian. Baik penempatan peralatan *eddy current testing* maupun spesimen uji.

2. Peralatan *Eddy Current Testing*

Peralatan Eddy Current Testing yang perlu dipersiapkan antara lain:

- *Probe* dengan spesifikasi sebagai berikut:

<i>Probe manufacture/brand</i>	: ETHER NDE
<i>Probe type</i>	: <i>Right Angle Probe</i>
<i>Probe coil</i>	: <i>Normal Single/Absolute</i>
<i>Probe serial number</i>	: 504794 / 01
<i>Probe frequency</i>	: 650 Hz – 6 MHz



Gambar 3-26. Probe yang digunakan.

- *Eddy Current Testing Machine* dengan spesifikasi sebagai berikut:

<i>Manufacture/brand</i>	: <i>Olympus</i>
<i>Type</i>	: NORTEC 600
<i>Serial Number</i>	: 6003161142



Gambar 3-27. Monitor Eddy Current Testing Machine.

3.5.2. Prosedur Pengujian *Eddy Current*

Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian, serta semua peralatan pengujian telah disiapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *Eddy Current Testing*. Berikut adalah uraian tahapan pengujian *Eddy Current Testing*:

1. Langkah pertama yaitu persiapan pada meja kerja. Pada tahapan ini material dan blok kalibrasi disiapkan.
2. Melakukan kalibrasi dengan blok kalibrasi dan pengaturan instrumen *Eddy Current Testing* yang telah disiapkan. Pada tahapan ini yang perlu diperhatikan

dalam pengaturan instrumen yaitu, *frequency*, *phase angle*, dan *gain*. Dimana harus diperhatikan agar terjadi perbedaan fase antara *lift-off* dan indikasi *crack* sebesar $\pm 90^\circ$.

3. Dilakukan pengujian terhadap spesimen uji. Pengujian terhadap spesimen ini dilakukan pada daerah *weld metal* dan daerah *toe*.
4. Sebelum suatu pengujian *Eddy Current Testing* dilakukan, harus dilakukan *Balancing*, yaitu proses penyamaan impedansi antara *probe* dan impedansi internal dari alat *Eddy Current Testing*.
5. Selanjutnya, bersamaan dengan dijalankan *probe* pada permukaan spesimen uji, dilihat *signal* yang dihasilkan pada monitor. Jika terdapat indikasi maka diberikan tanda pada material.
6. Setelah semua indikasi diskontinuitas ditemukan serta didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* telah selesai.



Gambar 3-28. *Scanning* spesimen dengan metode *Eddy Current Testing*.

3.6. Pengolahan Data Hasil Pengujian

Pada tahap ini adalah dilakukan pengelompokan hasil pengujian berdasarkan tipe spesimen dan orientasi retak. Sehingga, masing-masing spesimen terdiri dari dua buah data tabel dengan satu tabel orientasi *crack* melintang dan satu tabel orientasi *crack* memanjang. Pada gambar 3-29, ditunjukkan bentuk format tabel untuk hasil pengujian spesimen dengan suatu orientasi retak.

Width of Crack (mm)	<i>Lift-off Indication</i>	
	Width (mm)	Height (mm)

Gambar 3-29. Contoh tabel pengolahan data hasil pengujian.

3.7. Analisis Data

Setelah semua data dikelompokkan menjadi beberapa tabel, tahap selanjutnya data tersebut direkap menjadi dua tabel. Hal ini, dilakukan agar memudahkan analisis data yang berkaitan dengan lebar retak dan ketebalan *non-conductive coating*. Ada tiga macam analisis yang dilakukan, yaitu:

1. Pengaruh lebar retak
2. Pengaruh ketebalan *nonconductive coating*
3. Pengaruh tipe orientasi *crack*

3.8. Kesimpulan

Analisis data yang telah dilakukan akhirnya akan memudahkan penulis menarik kesimpulan dari pengaruh lebar retak dan *non-conductive coating* terhadap pengujian dengan metode *Eddy Current Testing*.

BAB 4

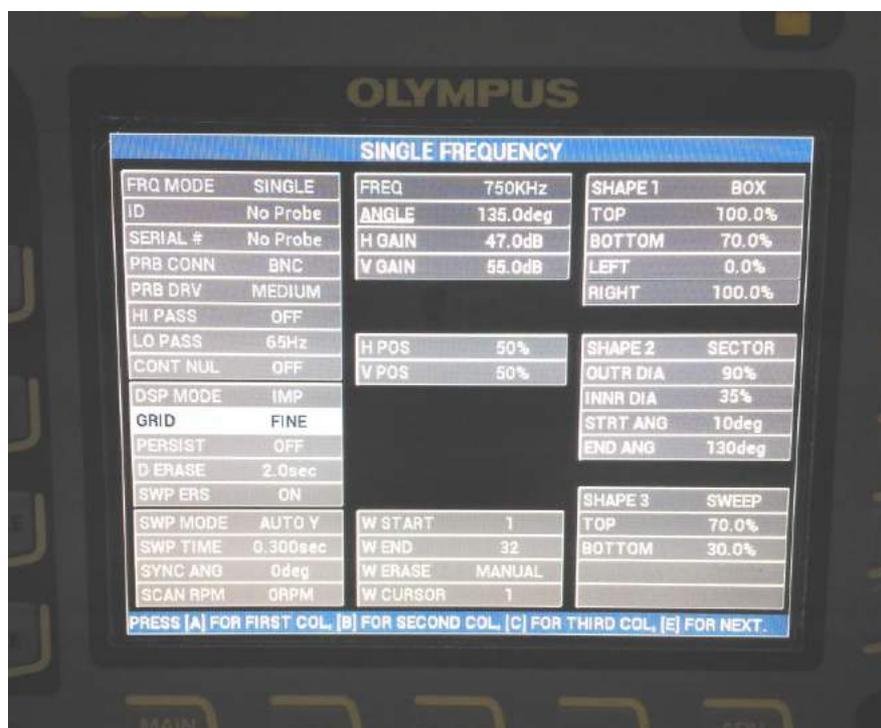
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisis dan pembahasan hasil pengujian lebar *crack* dengan variasi *non-conductive coating* dengan metode *Eddy Current Testing* pada keempat spesimen. Kondisi pelaksanaan pengujian sesuai dengan metodologi penelitian pada bab sebelumnya.

4.1. Konfigurasi Blok Kalibrasi

Sebelum dilakukan pengujian dengan keempat spesimen, didapatkan data konfigurasi *Eddy Current Testing Machine* melalui pengujian dengan blok kalibrasi dengan kondisi sebagai berikut:

- Gain (H/V) : 47.0dB/55.0dB
- Angle : 135.0 deg
- Frequency : 750 KHz
- Probe Type : Single Absolute
- Probe Connector : BNC
- Display : IMP
- Filter : · Low pass : 65 Hz
· High pass : off



Gambar 4-1. Konfigurasi ECT machine.

Selanjutnya, dengan konfigurasi blok kalibrasi yang ada, saya melakukan pengetesan *scanning* terhadap keempat spesimen. Hasilnya menunjukkan banyak *crack* yang terdeteksi masing-masing spesimen adalah seperti yang ditunjukkan tabel 4-1. Keenam retak terdeteksi oleh *probe*.

Tabel 4-1. Rekapitulasi jumlah *crack* hasil *scanning* keempat spesimen.

SPESEMEN	JUMLAH CRACK
I	6
II	6
III	6
IV	6

4.2. Hasil Pengujian Lebar *Crack* Spesimen I Dengan Ketebalan *Coating* 100 μ m

a. *Crack* Memanjang

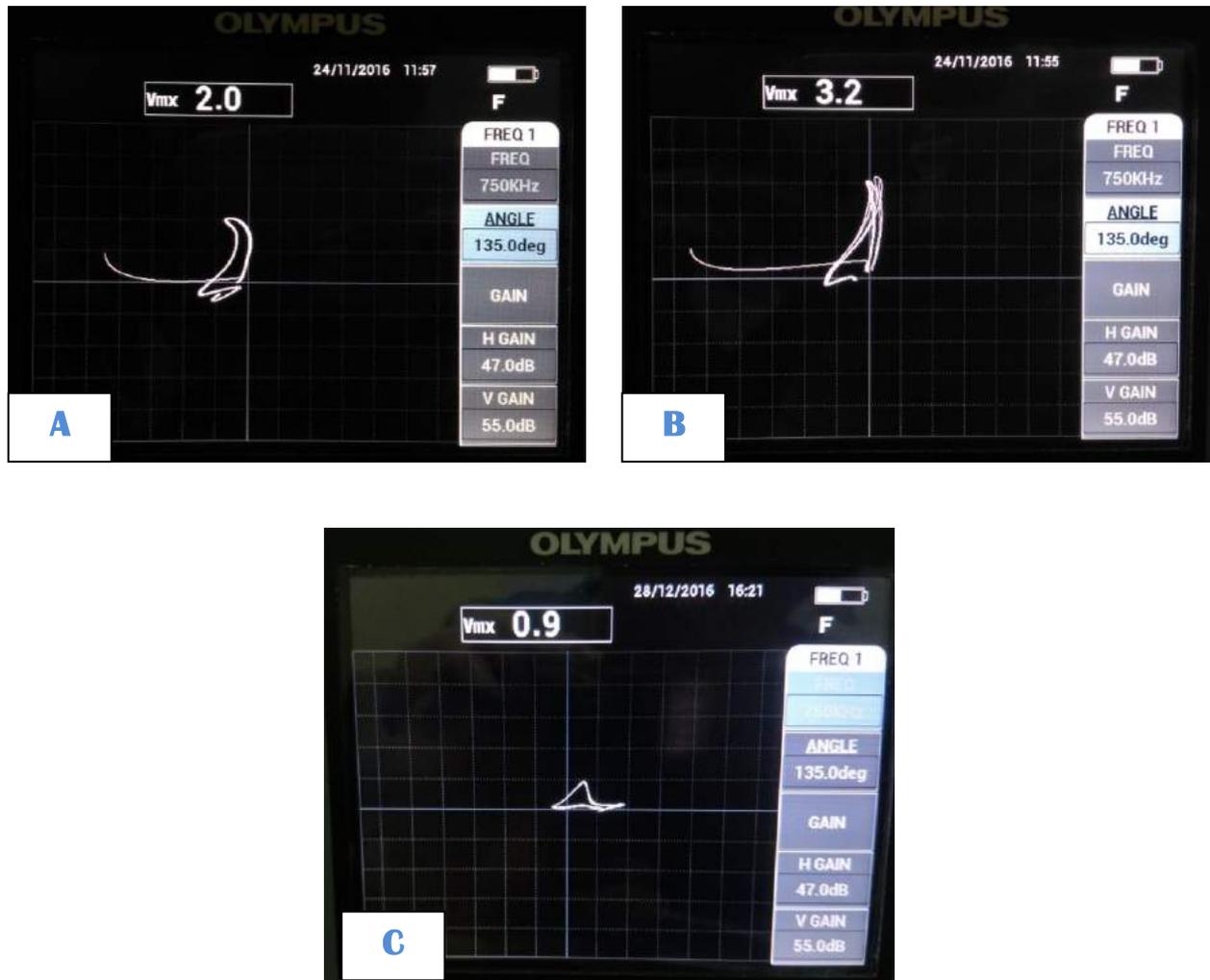
Pada pengujian pertama dilakukan untuk spesimen I, hasil dari *scanning* spesimen menunjukkan data seperti pada tabel 4-2. Dengan gambar 4-2 A dengan lebar *crack* 0.25 mm, B lebar *crack* 0.50 mm, dan C lebar *crack* 0.75 mm.

Tabel 4-2. Indikasi lift-off *crack* memanjang spesimen dengan coating 100 μ m pada monitor *Eddy Current Testing*.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	7	11
0.50	6	9
0.75	5	6

Tabel 4-2 menunjukkan hasil bahwa indikasi lebar *lift-off* pada lebar retak 0.25 mm lebih besar dibanding lebar *lift-off* pada lebar retak 0.50 mm dan 0.75 mm. indikasi *lift-off* tersebut juga menunjukkan ketinggian *lift-off* yang makin menurun dengan semakin besarnya lebar retak. Angka ketinggian *lift-off* untuk lebar *crack* 0.25 mm

mencapai 11 mm dan untuk ketinggian *liff-off* lebar *crack* 0.75 mm hanya mencapai 6 mm.



Gambar 4-2. Hasil pengujian *Crack* Memanjang spesimen dengan coating 100 μ m.

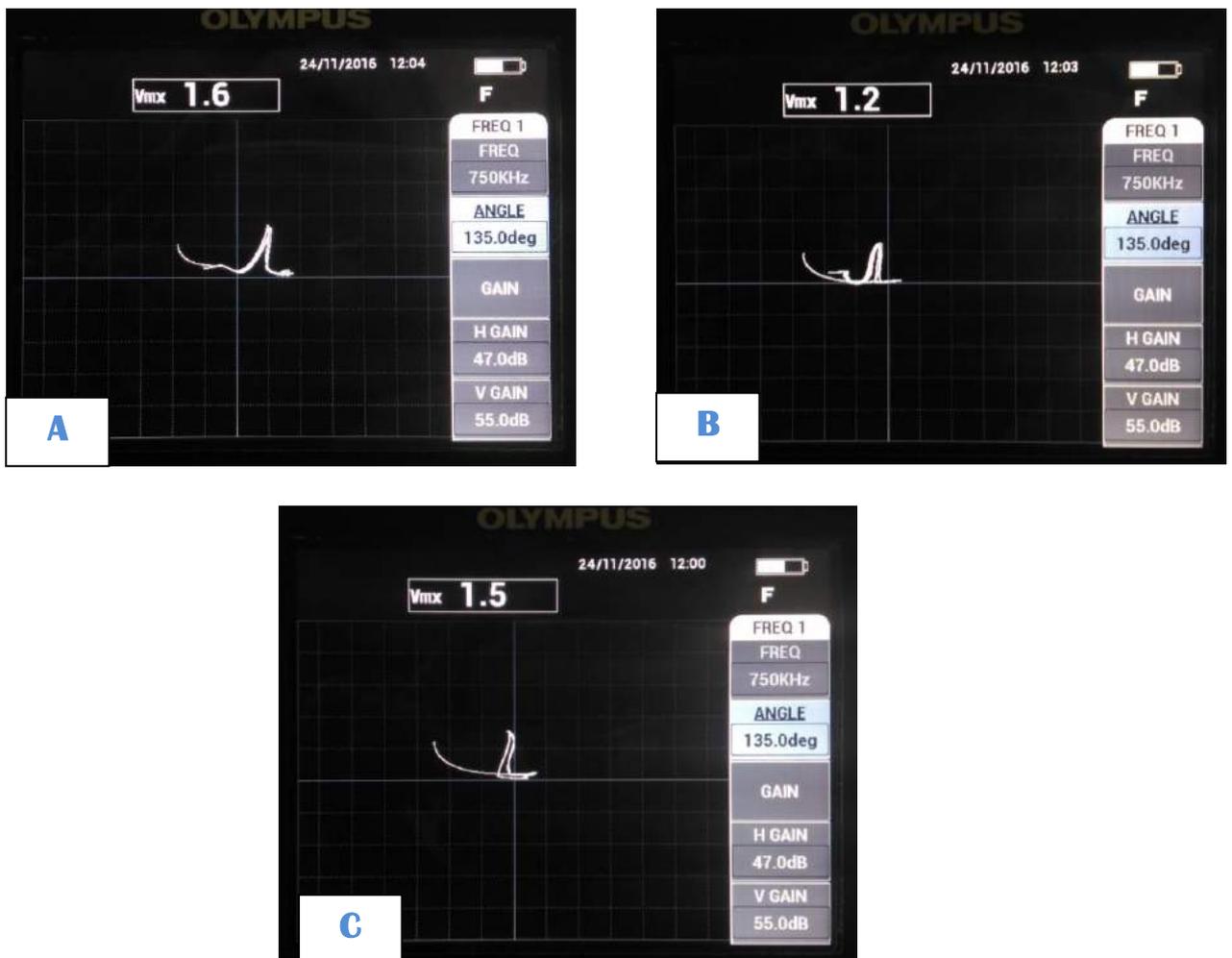
b. *Crack* Melintang

Selanjutnya untuk spesimen I dilakukan *scanning* orientasi lebar retak melintang. Pada lebar retak melintang hasil tabel 4-3 menunjukkan hal yang sama dengan tabel sebelumnya. Semakin lebar retak yang terdeteksi, maka akan semakin kecil pula lebar dan ketinggian indikasi *liff-off*.

Tabel 4-3. Indikasi lift-off crack melintang spesimen dengan coating 100 μ m pada monitor Eddy Current Testing.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	6	11
0.50	4	10
0.75	3	9

Pada gambar 4-3 dapat dilihat bentuk hasil indikasi lift-off pada ketiga crack yang hampir serupa hanya saja ukurannya berbeda. Jelas terlihat bahwa gambar A memiliki lebar lift-off yang lebih besar dibanding gambar B. Begitu pula gambar B yang memiliki lebar indikasi lift-off yang lebih besar dari gambar C.



Gambar 4-3. Hasil pengujian Crack melintang spesimen dengan coating 100 μ m

4.3. Hasil Pengujian Lebar *Crack* Spesimen II dengan Ketebalan *Coating* 200 μ m

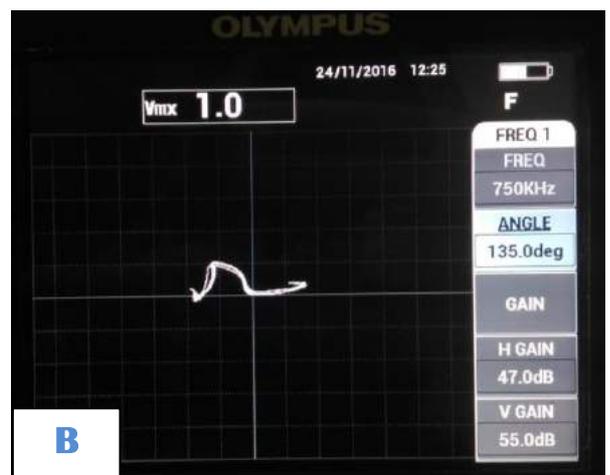
a. *Crack* Memanjang

Pada pengujian selanjutnya dilakukan terhadap spesimen II dengan orientasi *crack* memanjang. Hasil pengujian juga terangkum dalam tabel 4-4 yang berupa data lebar dan tinggi indikasi *liff-off* pada tiap retak. Didapatkan hasil lebar *liff-off* 8 mm untuk lebar retak 0.25 mm, lebar *liff-off* 7 mm untuk lebar retak 0.50 mm, dan lebar *liff-off* 5 mm untuk lebar retak 0.75 mm.

Tabel 4-4. Indikasi lift-off *crack* memanjang spesimen dengan coating 200 μ m pada monitor *Eddy Current Testing*.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	7	9
0.50	5	7
0.75	4	6

Pada gambar 4-4 juga dapat dilihat bentuk dari indikasi garis *liff-off* yang terbentuk menunjukkan ketinggian dan lebar yang berbeda. Berlaku pula hal yang sama terhadap pengujian lebar retak sebelumnya bahwa indikasi *liff-off* gambar C lebih kecil dari gambar B, dan indikasi *liff-off* gambar B lebih kecil dari indikasi *liff-off* gambar A.





Gambar 4-4. Hasil pengujian *Crack* Memanjang spesimen dengan coating 200 μ m.

b. Crack Melintang

Selanjutnya tabel 4-5 adalah data yang berisi indikasi *lift-off* untuk lebar retak melintang pada spesimen II. Untuk gambar A dengan lebar retak 0.25 mm, gambar B dengan lebar retak 0.55 mm dan gambar C dengan lebar retak 0.75 mm. Hasil dari tabel 4-5 menunjukkan indikasi lebar *lift-off* 6 mm dan tinggi *lift-off* 12 mm untuk lebar *crack* 0.25 mm, lebar *lift-off* 4 mm dan tinggi *lift-off* 9 mm untuk lebar *crack* 0.50 mm, serta lebar *lift-off* 3 mm dan tinggi 3 mm untuk lebar *crack* 0.75 mm.

Tabel 4-5. Indikasi lift-off *crack* melintang spesimen dengan coating 200 μ m pada monitor *Eddy Current Testing*.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	5	12
0.50	4	9
0.75	3	3

Pada gambar 4-5 A, B, dan C juga bisa dilihat terdapat perbedaan tegangan arus yang terjadi saat proses *scanning* berbeda-beda. Pada gambar 4-5 A menunjukkan tegangan arus 1.7 volt, pada gambar 4-5 B menunjukkan tegangan arus 1.4 volt, dan pada gambar 4-5 C menunjukkan tegangan arus 0.5 volt. Hal ini dipengaruhi oleh *scanning speed* yang dilakukan oleh operator *probe*. Semakin tinggi *scanning speed*,

maka semakin tinggi pula tegangan arusnya. Tingginya tegangan arus berpengaruh pada kejernihan garis indikasi *liff-off*.



Gambar 4-5. Hasil pengujian *Crack* melintang spesimen dengan coating 200 μ m.

4.4. Hasil Pengujian Lebar *Crack* Spesimen III dengan Ketebalan *Coating* 300 μ m

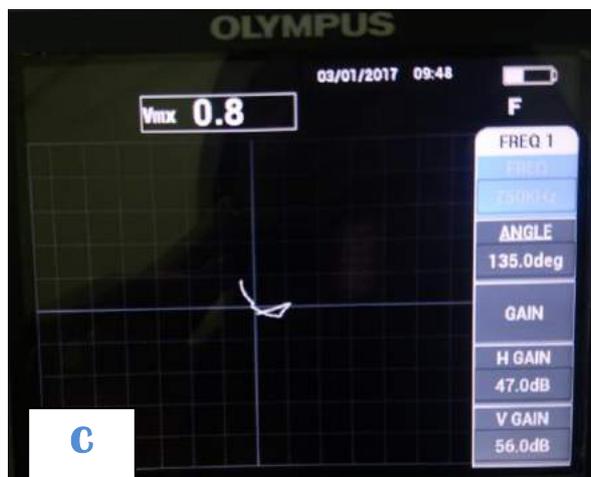
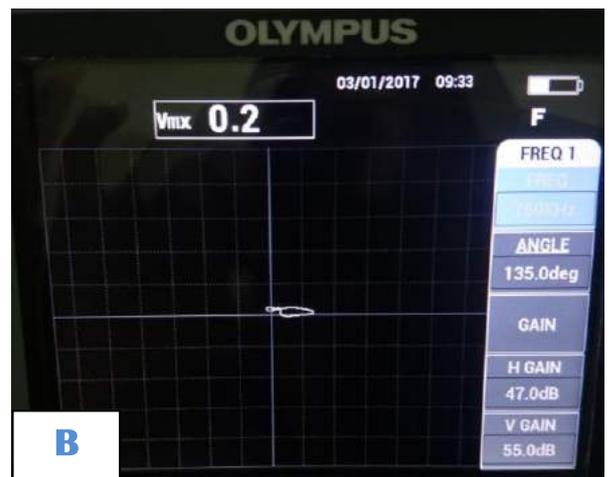
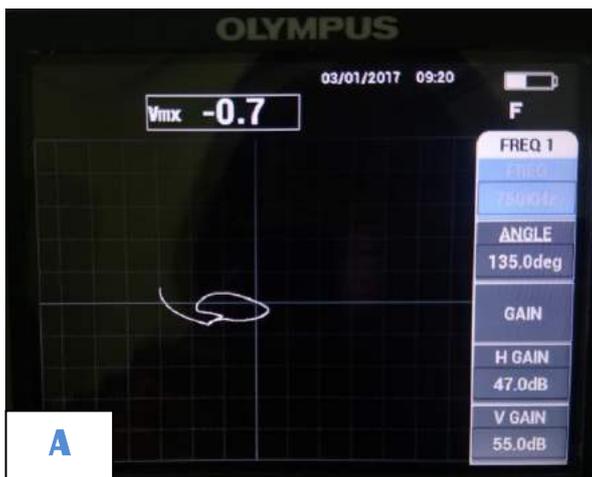
a. *Crack* Memanjang

Pada pengujian spesimen III dengan orientasi *crack* memanjang didapatkan hasil seperti gambar 4-6 dan diperoleh data yang dimasukkan ke dalam tabel 4-6. Hasil dari lebar retak 0.25 mm menunjukkan lebar indikasi *liff-off* 15 mm, dan hasil dari lebar retak 0.50 mm menunjukkan lebar indikasi *liff-off* 8 mm, serta untuk hasil dari lebar retak 0.75 mm menunjukkan lebar indikasi *liff-off* sebesar 6 mm.

Tabel 4-6. Indikasi lift-off crack memanjang spesimen dengan coating 300µm pada monitor Eddy Current Testing.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	15	7
0.50	8	3
0.75	6	2

Untuk hasil ketinggian indikasi *lift-off* didapatkan, gambar 4-6 A sebesar 7 mm, gambar 4-6 B sebesar 3 mm, dan gambar 4-6 C sebesar 2 mm. Analisis dari data tersebut adalah bahwa semakin besar lebar retak maka semakin kecil lebar indikasi *lift-off* dan ketinggian indikasi *lift-off*. Semakin lebar retak juga mempengaruhi ketinggian indikasi *lift-off*.



Gambar 4-6. Hasil pengujian Crack memanjang spesimen dengan coating 300µm.

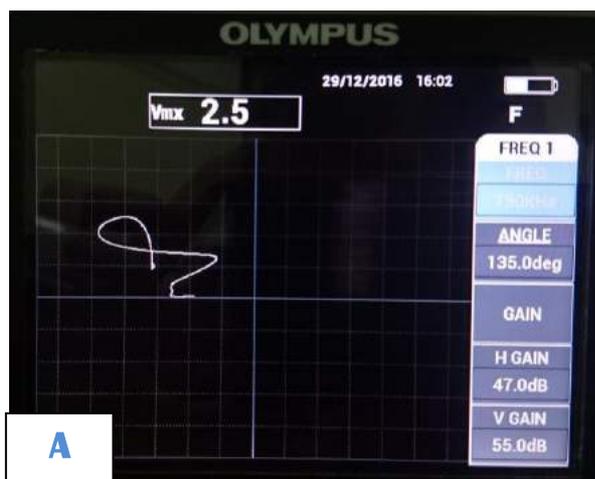
b. Crack Melintang

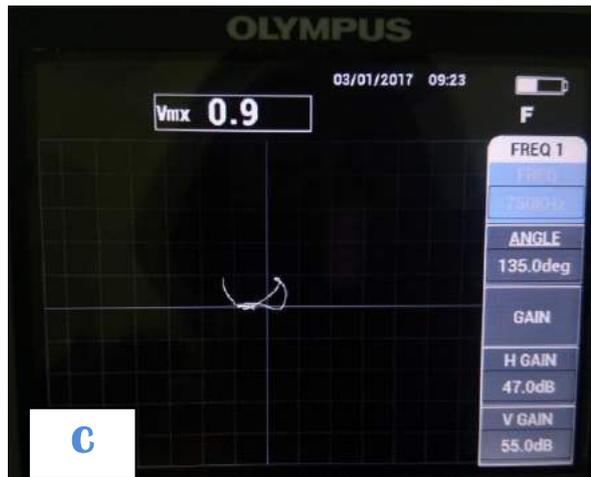
Hasil dari tabel 4-7 menunjukkan lebar indikasi *lift-off* pada gambar 4-7 A sebesar 11 mm, lalu B sebesar 8 mm, dan pada C sebesar 6 mm. Sedangkan untuk ketinggian *lift-off*, pada gambar 4-7, A sebesar 7 mm, B sebesar 6 mm, dan C sebesar 5 mm. Hasil yang sama menunjukkan semakin besar lebar retak maka berpengaruh pada ketinggian indikasi *lift-off*.

Tabel 4-7. Indikasi lift-off crack melintang spesimen dengan coating 300 μ m pada monitor Eddy Current Testing.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	11	7
0.50	8	6
0.75	6	5

Pada gambar 4-7 A, B, dan C juga menunjukkan angka besar tegangan arus yang berbeda pada layar mesin ECT. Untuk gambar A sebesar 2.5 volt, untuk gambar B sebesar 1.4 volt, dan C sebesar 0.9 volt. Sama halnya dengan pengujian sebelumnya. Besar tegangan arus pada layar mesin ECT ini dipengaruhi oleh *scanning speed* saat operator menggerakkan *probe*.





Gambar 4-7. Hasil pengujian *Crack* Melintang spesimen dengan coating 300 μ m.

4.5. Hasil Pengujian Spesimen IV Tanpa *Coating*

a. *Crack* Memanjang

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk orientasi *crack* memanjang spesimen tanpa *coating*. Pada gambar 4-8 A, menunjukkan hasil *scanning* untuk lebar retak 0.25 mm, gambar 4-8 B adalah hasil *scanning* lebar retak 0.50 mm, dan gambar 4-8 C merupakan hasil *scanning* lebar retak 0.75 mm. Hasil *scanning* tersebut dihitung tinggi dan lebar indikasi *lift-off*, lalu data tersebut dimasukkan ke dalam tabel 4-8.

Tabel 4-8. Indikasi *lift-off crack* memanjang spesimen tanpa *coating* pada monitor *Eddy Current Testing*.

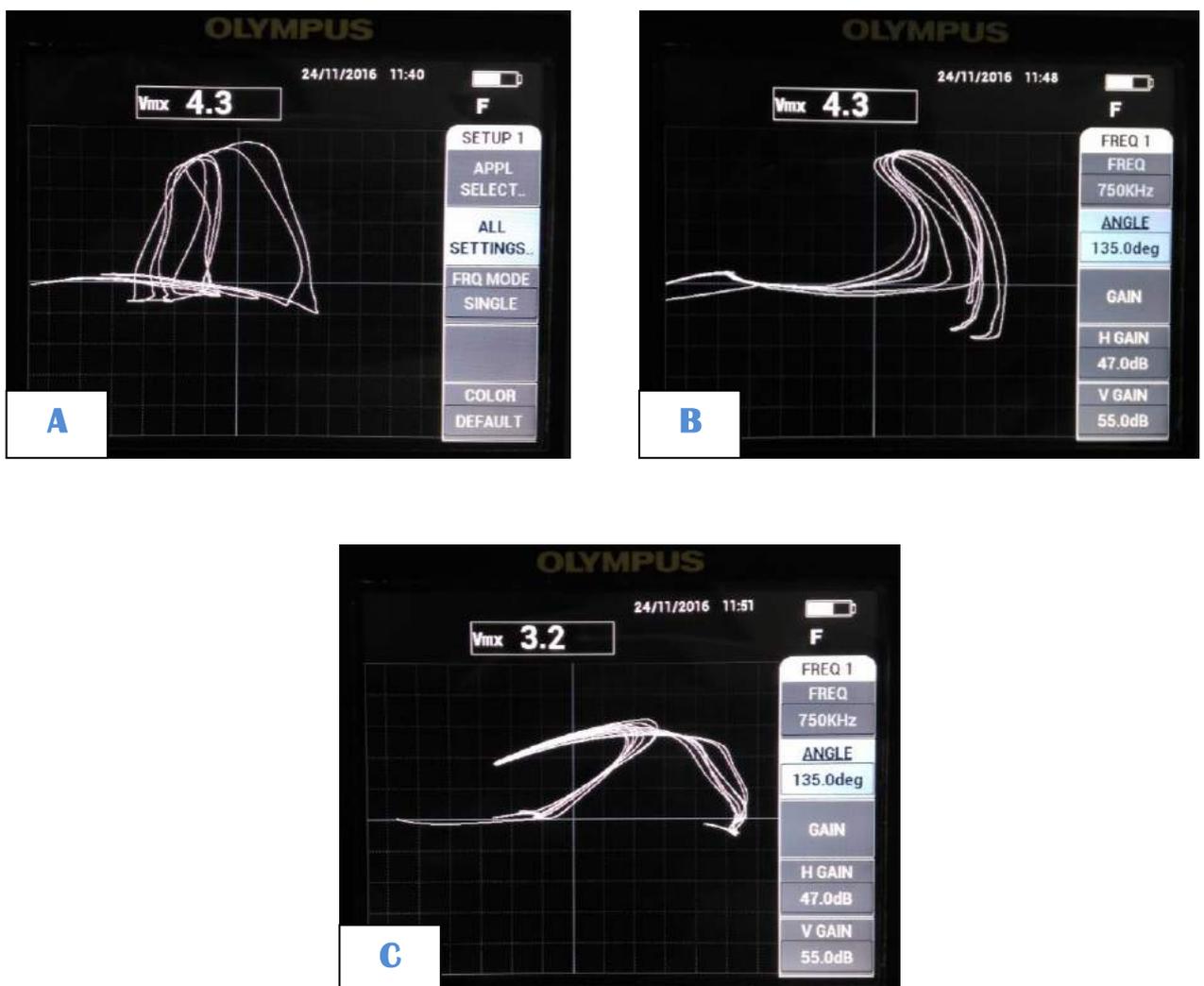
Width of Crack (mm)	<i>Lift-off Indication</i>	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	37	32
0.50	32	25
0.75	28	19

Pada data hasil *scanning* menunjukkan bahwa spesimen tanpa *coating* memiliki angka yang lebih besar dibanding dengan hasil pengujian ketiga spesimen lain. Sehingga bentuk dari indikasi garis *lift-off* pada spesimen IV lebih besar dibanding indikasi *lift-off* pada layar mesin ECT spesimen lainnya. Tetapi, kekurangan dari hasil pengujian spesimen tanpa *coating* ini adalah bentuk dari *lift-off* indikasi yang kurang

teratur dibanding dengan hasil indikasi *liff-odd* spesimen dengan *non-conductive coating*.

Besar indikasi *liff-off* untuk lebar retak 0.25 mm adalah 37 mm. Sedangkan untuk lebar retak 0.50 mm lebar indikasinya adalah 32 mm. Selanjutnya, untuk lebar retak 0.75mm, lebar indikasi *liff-off* nya adalah 28 mm.

Sesuai dengan tabel 4-8, ketinggian *liff-off* spesimen IV juga sangat besar dibanding spesimen dengan *coating*. Ketinggian indikasi *liff-off* 32 mm dicapai oleh lebar retak 0.25 mm. untuk lebar retak 0.50 mm ketinggiannya 25 mm, dan untuk lebar retak 0.75 mm ketinggian indikasi *liff-off* sebesar 19 mm.



Gambar 4-8. Hasil pengujian *Crack Memanjang* spesimen tanpa *coating*.

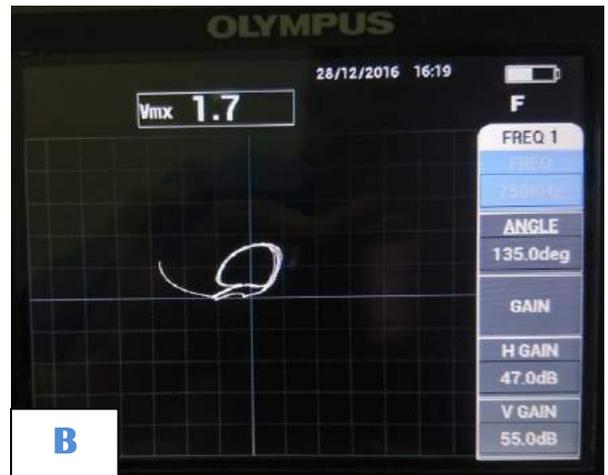
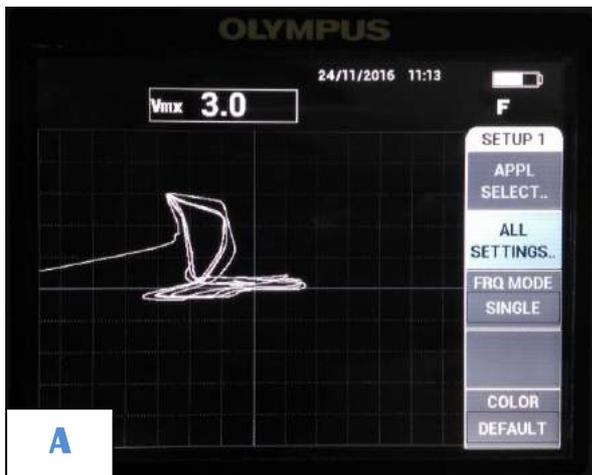
b. Crack Melintang

Untuk *crack* dengan orientasi melintang pada spesimen IV didapatkan hasil indikasi *liff-off* seperti dalam tabel 4-9. Sama halnya dengan spesimen dengan *coating*, hasil indikasi *liff-off* menunjukkan semakin lebar retak, maka semakin kecil garis *liff-off* yang terbentuk pada layar mesin ECT.

Tabel 4-9. Indikasi lift-off *crack* melintang spesimen tanpa coating pada monitor *Eddy Current Testing*.

Width of Crack (mm)	Lift-off Indication	
	Width (mm)	Height (mm)
0.25	8	15
0.50	7	10
0.75	6	5

Pada gambar 4-9 menunjukkan bentuk indikasi *liff-off* yang berbeda. Hal ini bisa disebabkan karena tidak adanya lapisan *coating* pada spesimen IV yang mempengaruhi daerah *scanning* yang tidak rata. Tetapi, untuk hasil dari pengujian spesimen IV dengan orientasi retak melintang didapatkan besar indikasi *liff-off* pada gambar C lebih kecil dibanding gambar B, dan indikasi *liff-off* gambar B lebih kecil dari gambar A.





Gambar 4-9. Hasil pengujian *Crack* melintang spesimen tanpa coating.

4.6. Pembahasan

4.6.1. Pengaruh lebar retak terhadap lebar indikasi *liff-off*.

Setelah dilakukan pengujian, maka data tersebut dapat direkapitulasi menjadi sebuah tabel 4-10. Dimana tabel tersebut berisi perbandingan antara lebar indikasi *liff-off* masing-masing lebar retak terhadap keempat spesimen.

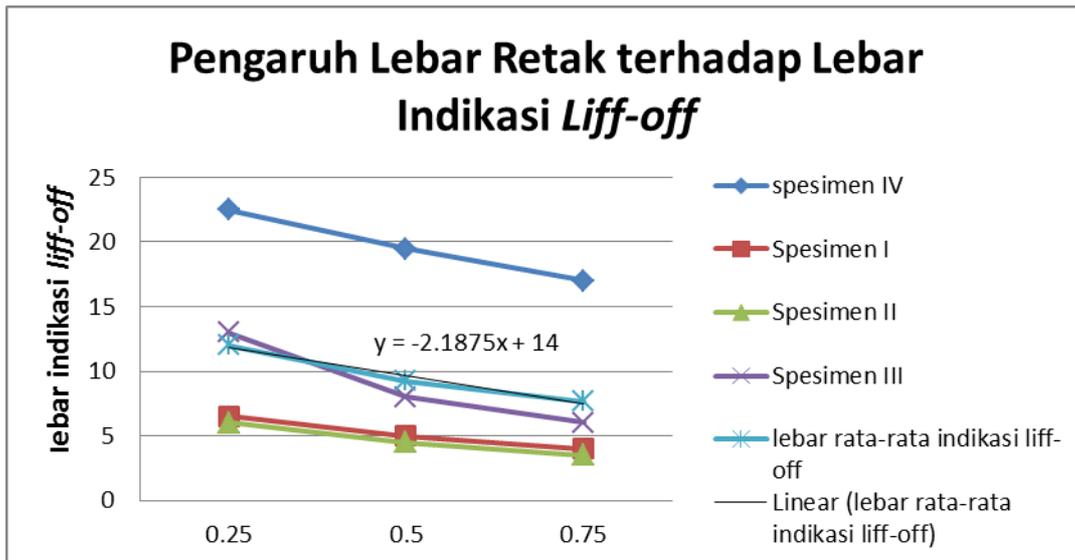
Tabel 4-10. Rekapitulasi rata-rata lebar *liff-off indication* terhadap masing-masing lebar retak.

Lebar Retak tebal coating	0 μm (mm)	100 μm (mm)	200 μm (mm)	300 μm (mm)	Rata-rata Lebar Indikasi <i>Liff-off</i> (mm)
0.25	22.5	6.5	6	13	12
0.5	19.5	5	4.5	8	9.25
0.75	17	4	3.5	6	7.625

Data tersebut menunjukkan bahwa semakin lebar retak maka akan semakin kecil lebar indikasi *liff-off* pada layar monitor mesin *Eddy Current Testing*. Ada beberapa faktor penyebab dari semakin sempitnya lebar indikasi *liff-off* pada layar mesin ECT. Pertama disebabkan interupsi yang terjadi akibat *crack* berbanding lurus dengan lebar *crack*. Sehingga indikasi sinyal medan magnet yang melewati *crack* yang semakin lebar

akan menjadi semakin lemah. Hal ini dikarenakan arus magnet yang melewati cacat dengan jarak yang semakin besar akan semakin mengurangi sensitivitas dari indikasi mesin ECT. Kedua, adanya faktor *skin effect*. Lebar retak yang kecil akan membuat *skin effect* menjadi kuat, tetapi sebaliknya dengan lebar *crack* yang semakin besar, kondisi *skin effect* ini justru akan berkurang dan menyebabkan berkurangnya sensitivitas indikasi mesin ECT.

Berikut adalah grafik yang dibuat dengan data dari tabel 4-10:



Grafik 4-1. Grafik Pengaruh Lebar Retak terhadap Indikasi *Liff-off*.

Pada grafik 4-1 diketahui pula persamaan garis rata-rata lebar indikasi *liff-off* yang dihasilkan pada pengujian keempat spesimen. Hal ini dimaksudkan untuk mencari ukuran perkiraan lebar retak selain dari ketiga lebar retak buatan yang ada pada keempat spesimen. Persamaan yang didapat pada grafik 4-1, yaitu:

$$Y = -2.1875x + 14$$

Dengan, Y adalah tinggi indikasi *liff-off* dan x adalah lebar retak yang terdeteksi.

Kondisi berkurangnya lebar indikasi *liff-off* dengan semakin lebarnya *crack* yang dideteksi disebabkan oleh berkurangnya

4.6.2. Pengaruh ketebalan *coating* terhadap tinggi indikasi *liff-off*.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara ketinggian indikasi *liff-off* terhadap masing-masing spesimen. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan *non-conductive coating* yang digunakan untuk keempat spesimen. Rekapitulasi pada tabel 4-11 menunjukkan bahwa ketebalan *coating* mempengaruhi ketinggian dari indikasi *liff-*

off. Sensitivitas *probe* yang mendeteksi *crack* berkurang dengan adanya lapisan *nonconductive coating* pada alur las. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa konduktivitas adalah salah satu faktor penting dalam pengujian dengan metode *Eddy Current Testing*. Dengan adanya lapisan *coating* yang bersifat *nonconductive coating* maka mengurangi konduktivitas dari spesimen uji. Kemudian penyebab berkurangnya ketinggian *liff-off* pada layar indikasi adalah permeabilitas spesimen yang berkurang karena semakin tebalnya lapisan *nonconductive coating*. Faktor lain adalah faktor *liff-off effect* yang juga menjadi penyebab ketinggian *liff-off* pada layar indikasi berkurang dengan semakin besarnya *nonconductive coating*.

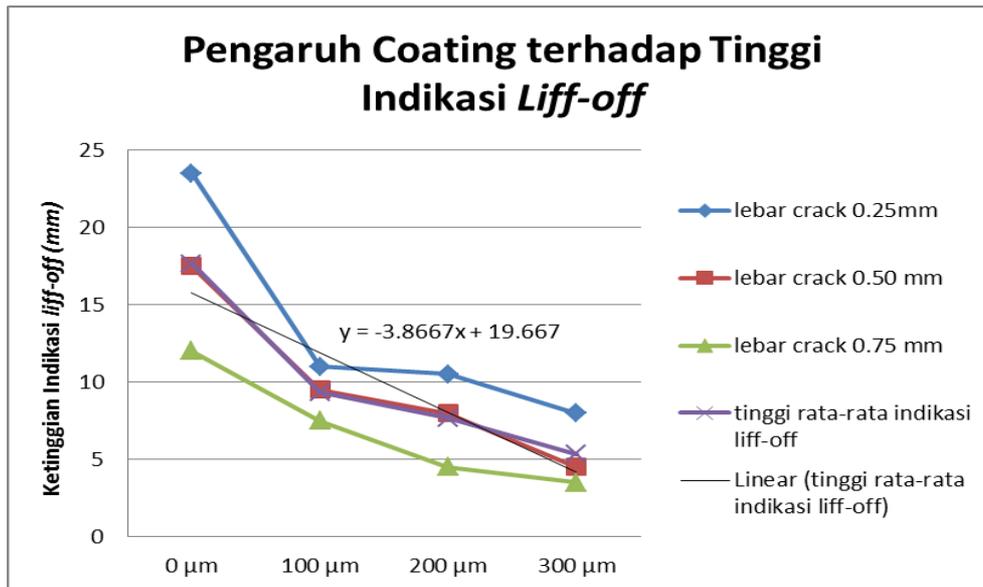
Tabel 4-11. Rekapitulasi rata-rata tinggi *liff-off indication* terhadap masing-masing ketebalan *non-conductive coating*.

Lebar Retak tebal coating	0 μm (mm)	100 μm (mm)	200 μm (mm)	300 μm
0.25	23.5	11	10.5	8
0.5	17.5	9.5	8	4.5
0.75	12	7.5	4.5	3.5
Rata-rata Tinggi Indikasi <i>Liff-off</i> (mm)	17.66667	9.333333	7.666667	5.333333

Data tabel 4-11 tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal *non-conductive coating* yang melapisi spesimen, maka ketinggian indikasi *liff-off* pada layar monitor *Eddy Current Testing* akan semakin rendah. Hal ini dapat dilihat melalui grafik 4-2 yang menampilkan data ukuran ketinggian *liff-off* masing-masing spesimen. Pada grafik juga diketahui persamaan untuk menghitung perkiraan tinggi *liff-off indication* terhadap ketebalan *nondoncuctive coating* selain tebal *coating* pada keempat spesimen. Persamaan tersebut, yaitu:

$$Y = -3.8667x + 19.667$$

Dengan, Y adalah tinggi indikasi *liff-off* dan x adalah perkiraan ketebalan lapisan *coating*.



Grafik 4-2. Grafik Pengaruh ketebalan *coating* terhadap tinggi indikasi *liff-off*.

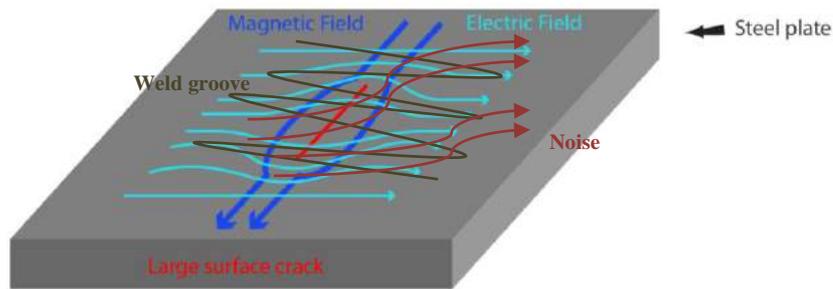
4.6.3 Analisis Perbandingan Hasil Pengaruh Orientasi *Crack* Terhadap Indikasi Pada Layar ECT

4.6.3.1. *Crack* Memanjang

Gangguan sinyal pengujian yang dihasilkan *probe* dari orientasi *crack* memanjang adalah tidak ratanya permukaan las. Orientasi melintang alur las yang tegak lurus orientasi *crack* memanjang menyebabkan *noise* dikarenakan perubahan arus *eddy* dari medan magnet yang dihasilkan *crack* memanjang dan juga perubahan arus *eddy* karena pengaruh dari permukaan las yang tidak merata dengan orientasi melintang.

Hal ini berkaitan dengan faktor yang mempengaruhi pengujian dengan metode *Eddy Current Testing*, yaitu faktor *skin effect*. Pada retak memanjang *skin effect* tidak hanya terjadi di sekitar tepi retak, tetapi juga terjadi karena adanya permukaan las yang lebih menonjol. Faktor lain adalah faktor *signal to noise ratio* yang terjadi karena adanya permukaan las yang tidak rata yang teridentifikasi dan menyebabkan *noise* pada layar pendeteksian.

Pada gambar 4-10 menjelaskan bagaimana *magnetic field* yang berubah karena adanya *crack* pada permukaan las kemudian terjadi aliran *noise* yang terdeteksi menyebabkan gangguan pada layar indikasi mesin *Eddy Current Testing*. Aliran *noise* arahnya hampir sejajar dengan alur las karena sehingga tegak lurus dengan arah *magnetic field*.

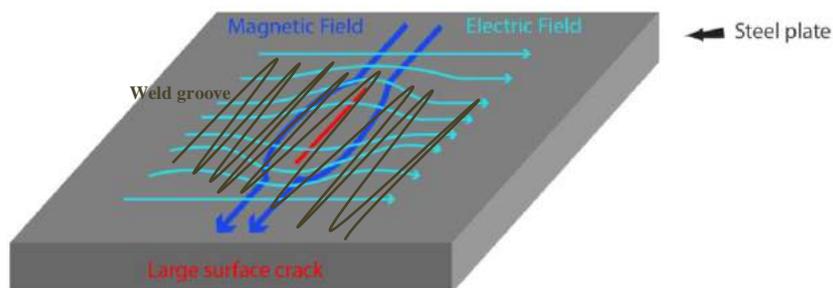


Gambar 4-10. Perubahan arus eddy pada orientasi *crack* memanjang.

4.6.3.2. Crack Melintang

Pada *crack* orientasi melintang, permukaan las yang tidak rata, tidak mempengaruhi hasil pengujian. Hal ini dikarenakan orientasi lebar yang melintang sejajar dengan alur las pada *weld metal*. *Probe* mendeteksi *crack* buatan dengan lebih mudah karena lebar *crack* dan kedalaman *crack* yang berbeda dan lebih dalam dibandingkan dengan tidak ratanya alur las.

Skin effect yang terjadi pada *crack* orientasi melintang tidak menyebabkan gangguan terhadap indikasi mesin ECT. Begitu pula dengan faktor *signal to noise ratio* yang terjadi sangat kecil sehingga tidak menyebabkan gangguan pada hasil indikasi layar mesin ECT. Pada gambar 4-11, *noise* yang mungkin terjadi searah dengan arah *magnetic field* yang terganggu akibat adanya *crack*, sehingga *noise* yang terjadi tidak menyebabkan gangguan seperti yang terjadi pada orientasi *crack* memanjang.



Gambar 4-11. Perubahan arus eddy pada orientasi *crack* melintang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dengan analisis dan pembahasan dari metode pengujian Eddy Current Testing terhadap pengaruh lebar *crack* dan coating yang terjadi pada material maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Variasi lebar *crack* yang diuji mempengaruhi sensitivitas indikasi mesin *Eddy Current Testing*. Semakin besar lebar retak yang terdeteksi maka lebar sinyal indikasi *liff-off* pada layar akan semakin kecil.
2. Ketebalan lapisan *non-conductive coating* pada suatu spesimen mempengaruhi hasil indikasi pada layar monitor mesin *Eddy Current Testing*. Semakin tebal cat pada suatu spesimen, maka akan memperkecil ketinggian sinyal *liff-off* pada layar mesin *Eddy Current Testing*.
3. Posisi *crack* yang memanjang atau melintang di permukaan las-lasan juga mempengaruhi pendeteksian lebar *crack* pada pengujian dengan metode *Eddy Current Testing*. Pada *crack* memanjang, permukaan alur las yang tidak rata akan memberikan pengaruh garis *noise* pada layar indikasi mesin *Eddy Current Testing*.

5.2. Saran

Hasil pengujian masih terganggu karena permukaan las yang tidak rata. Perataan permukaan las dengan gerinda diharapkan lebih diperhatikan lagi. Sehingga tidak mempengaruhi sensitivitas dari pengujian. Selanjutnya, untuk melanjutkan pengujian diharapkan dengan jenis material yang berbeda.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- ASME. (2015). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Nondestructive Examination*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASTM A36 Steel Plate (2016 Januari 29). Carbon&HSLA: Plate. Diambil Kembali dari Oneal The Metal Company Website: <http://www.onealsteel.com/carbon-steel-plate-a36>
- AWS. (1981). *Welding Handbook - Fundamental of Welding*. Miami: American Welding Society
- Cox, J. (1997). *Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Eddy Current*. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- DNV. (2012). *Classification Notes No.7, Non-destructive Testing*. Det Norske Veritas AS.
- Hagemaiier, D. J. (2002). *Fundamentals of Eddy Current Testing*. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Hellier, C. (2003). *Handbook of Nondestructive Evaluation*. USA: The McGraw-Hill Companies Inc.
- Ichinose, L. (2007). *Applications Eddy Current Test to Fatigue Crack Inspection of Steel Bridge*. Osaka: Osaka City University.
- Mix, P. E. (2005). *Introduction to Nondestructive Testing*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- NDE (2016, Desember 17). *Education Resource: NDT Course Material*. Diambil kembali dari NDT Resource Center Website: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/signaltonoise.htm>
- NDT (2017, Januari 03). Alternating Current Field Measurement. Diambil kembali dari: <http://www.et-ndt.org/eddy-current-technologies/alternating-current-field-measurement>
- Sonawan, Hery, Las Listrik SMAW dan Pemeriksaan Hasil Pengelasan, Penerbit: ALFABETA, Bandung, 2003.
- Wirjosumarto, H dan Okumura, T, Teknologi Pengelasan Logam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.
- XACT Wire EDM Corporation (2016, Maret 30), How EDM Works. Diambil kembali dari: <http://www.xactedm.com/edm-capabilities/how-edm-works/>

Biodata Penulis



NONA THERESIA, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 10 Oktober 1992. Dibesarkan di kota Jakarta, penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara dengan orang tua Abraham E.F dan Verra O.L. Penulis memulai pendidikan formal di sekolah Katholik TK. Santa Maria. Selanjutnya, penulis bersekolah di SDS St. Fr. Xaverius VII di Palembang. Hanya setahun, penulis melanjutkan pendidikan SD-nya hingga tamat di SDS Strada St. Fr. Xaverius, Jakarta. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertamanya di SMP Negeri 30 Jakarta dan melanjutkan pendidikan menengah atasnya di SMA Negeri 110 Jakarta. Pada tahun 2011 penulis diterima melalui jalur ujian masuk SNMPTN tulis di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama masa pendidikan di Jurusan Teknik Perkapalan, penulis pernah mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan yaitu sebagai anggota kepanitiaan SAMPAN 7 dan SAMPAN 8, menjadi panitia di *Marine Technology* 2013, dan menjadi anggota kepanitiaan seminar Welding International 2014. Penulis juga aktif dalam kegiatan himpunan mahasiswa teknik perkapalan (HIMATEKPAL) ITS dengan menjadi staf Departemen Hubungan Luar yang bertanggung jawab atas kegiatan Studi Ekskursi tahun 2013. Penulis juga mengikuti kegiatan untuk mengasah *soft skill* melalui LKMM Pra-TD dan Pelatihan Kepribadian.

Sebagai mahasiswa Teknik Perkapalan, penulis dituntut untuk mampu menguasai teori dan aplikasi dalam hal merancang dan membangun kapal. Maka dari itu, penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan yang fokus pada konstruksi kapal. Tugas Akhir yang dibuat penulis juga menjadi salah satu syarat untuk menjadi seorang Sarjana Teknik, dengan judul “Analisis Pengaruh Lebar Retak Pada Material Baja Karbon A36 Dengan Variasi Ketebalan *Non-Conductive Coating* Pada Sambungan Las Di Pondasi Mesin Kapal Menggunakan Metode *Eddy Current Testing* (ECT)”. Tugas Akhir ini juga diharapkan penulis akan berguna untuk pengaplikasian langsung ECT pada kapal dan berguna sebagai dasar dari penelitian selanjutnya.

E-mail : nonatheresia92@yahoo.com / nonatheresia92@gmail.com

No. Hp : 081231811844 / 08111838844