



DETEKSI CACAT HASIL PENGELASAN PADA BAJA KARBON RENDAH MENGGUNAKAN FUNGSI TRANSFER UNTUK *NON DESTRUCTIVE TEST* (NDT)

Ari Agung Santoso¹, Rubijanto Juni Pribadi², Samsudi Raharja³

^{1,2,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Semarang

E-mail: ariagungsantoso25@gmail.com

Abstrak

Pengelasan adalah proses penyambungan dari dua buah logam khususnya baja untuk menghasilkan sebuah konstruksi mesin yang dilakukan dalam keadaan cair. Pada proses pengelasan seringkali terdapat masalah seperti adanya cacat las akibat kesalahan dalam proses pengelasan. Dalam mendeteksi kerusakan pada *crack* tanpa perlu merusak dalam proses pengujian dapat dilakukan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT), Salah satu metode *Non-Destructive Test* (NDT) atau pengujian tanpa merusak adalah *Eddy Current Testing* (ECT). Dan digunakannya probe planar sederhana untuk mendeteksi cacat pada sambungan pengelasan. Probe planar memiliki dua coil yaitu: *Driving coil* dan *Pickup coil*. Digunakan fungsi transfer untuk menginspeksi beda antara spesimen tanpa cacat dan dengan cacat 1mm dan 2mm. Hasil pengujian *eddy current testing* menunjukkan bahwa *probe planar* berhasil digunakan untuk mendeteksi adanya *crack* pada spesimen baja karbon rendah yang tidak terlihat secara visual, hal itu dapat dilihat dari hasil perbedaan respon waktu dan frekuensi pada *crack* 1mm dan 2mm.

Kata kunci: *Welding, Non Destructive Test, Eddy Current Test, Fungsi Transfer*

Abstract

Welding is the process of joining two metals, especially steel, to produce a machine construction which is carried out in a liquid state. In the welding process, there are often problems such as welding defects due to errors in the welding process. In detecting damage to cracks without the need for damage in

the testing process, it can be done using the Non-Destructive Test (NDT) method. One of the Non-Destructive Test (NDT) methods or non-destructive testing is Eddy Current Testing (ECT). And the use of a simple planar probe to detect defects in the welding joint. The planar probe has two coils: the Driving coil and the Pickup coil. Transfer function is used to inspect the difference between specimens without defects and with defects of 1mm and 2mm. The results of the eddy current testing show that the planar probe has been successfully used to detect the presence of cracks in low carbon steel specimens that are not visually visible, it can be seen from the results of the difference in response time and frequency at 1mm and 2mm cracks.

Keywords: *Welding, Non Destructive Test, Eddy Current Test, Functoin Transfer*

PENDAHULUAN

Pengelasan (*welding*) adalah proses penyambungan dari dua buah logam khususnya baja untuk menghasilkan sebuah kontruksi mesin yang dilakukan dalam keadaan cair. Salah satu bahan yang sering digunakan di bidang teknik adalah baja. Baja merupakan logam campuran yang dari besi (Fe) dan karbon (C) (Wahyudi, Nurdin, and Saifuddin 2019).

Tabel 1 Kandungan Baja Karbon Berdasarkan Komposisi

Kelas	Kandungan Karbon
Baja Karbon Rendah (<i>low carbon steel</i>)	0.05%-0.35%
Baja Karbon Menengah (<i>medium carbon steel</i>)	0.35%-0.50%
Baja Karbon Tinggi (<i>high carbon steel</i>)	0.50%- 1.70%

Sumber: (Mahardika, Pratikno, and Titah 2018)

Menurut Mahardika, Pratikno, and Titah (2018) Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), tetapi di sisi lain membuatnya menjadi getas (brittle) dan keuletannya (*ductility*) menurun.

Pada proses pengelasan seringkali terdapat masalah seperti adanya cacat las akibat kesalahan dalam proses pengelasan. Menurut Haidar (2021) penyebab terjadinya kerusakan adalah proses pengelasan yang kurang baik. Hal tersebut disebabkan adanya beban pada material saat pengelasan terus menerus sehingga meningkatkan kerusakan pada cacat las dimana kerusakan tersebut dapat terjadi pada permukaan dan di bawah permukaan.

Dalam mendeteksi kerusakan pada *crack* atau retak tanpa perlu merusak dalam proses pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Salah satu metode dari pengujian tanpa merusak atau *non-destructive test* (NDT) adalah *eddy current testing* (ECT). Pengujian *eddy*

current testing (ECT) merupakan prinsip dasar dari listrik dan magnet atau elektromagnetik dalam pengujiannya (Achmad suseno 2021).

Jenis Pengelasan

a. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Shield metal arc Welding (SMAW) merupakan proses dari las busur yang mana panas pengelasan yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpun berpelindung *flux* dengan benda kerja.

b. *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW)

Pengelasan busur gas tungsten (GTAW) merupakan proses pengelasan dimana busur terjadi diantara elektroda tungsten *nonconsumable* dan benda kerja logam.

c. *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

Prinsip sistem pembangkit tenaga pada mesin GMAW sama dengan mesin SMAW dan dibagi menjadi 2 golongan, antara lain : Mesin las arus bolak balik (*Alternating Current / AC Welding Machine*) dan Mesin las arus searah (*Direct Current / DC Welding Machine*).

d. *Flux cored arc welding* (FCAW)

merupakan pengelasan busur listrik dengan *flux* di inti tengah elektroda dengan sumber energi arus listrik Ac atau Dc melalui trafo atau mesin las FCAW.

e. *Submerged Arc Welding* (SAW)

merupakan jenis pengelasan busur listrik yang dilakukan dengan cara memanaskan dan mencairkan benda kerja serta logam pengisi atau elektroda oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan logam pengisi (elektroda).

Cacat Pada Pengelasan

a. Keropos (*Porosity*)

Cacat keropos merupakan cacat pengelasan yang berupa lubang kecil pada logam las (*weld metal*) (Indra Primahadin 2019).

b. Percikan Las (*Spatter*)

Percikan las atau *Spatter* atau dapat dikatakan sebagai cacat visual apabila jumlahnya berlebih dan tidak bisa dibersihkan sedangkan apabila *spatter* dapat dibersihkan maka tidak dapat dikatakan cacat (Indra Primahadin 2019).

c. Inklusi Terak (*Slag Inclusion*)

Inklusi terak (*Slag inclusion*) merupakan cacat berupa *slag* atau *flux* yang mencair pada las yang sering terjadi pada daerah *stop and run*. Cacat ini dapat dilihat melalui pengujian radiografi atau bending dan biasanya terjadi pada daerah hasil (Indra Primahadin 2019).

d. *Incomplete Penetration* (IP)

Menurut Indra Primahadin (2019) *incomplete penetration* (IP) merupakan jenis cacat las yang terjadi pada daerah akar las (*root*), cacat ini terjadi apabila pengelasan pada daerah akar las tidak tembus atau *reinforcemen* pada akar las berbentuk cekung.

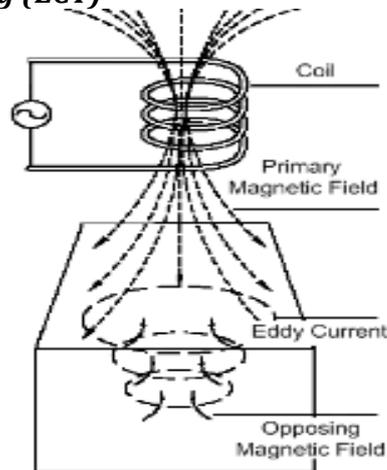
e. Cacat *Incomplete Fusion*

Menurut Indra Primahadin (2019) cacat *incomplete fusion* merupakan sebuah hasil pengelasan yang tidak diinginkan karena ketidak sempurnaan proses penyambungan antara logam las dengan logam induk.

f. Cacat *Undercut*

Menurut Indra Primahadin (2019) Las tidak penuh (*Undercut*) merupakan jenis cacat las yang berbentuk seperti cerukan yang terjadi pada logam induk (*base metal*).

2.3 *Eddy Current Testing* (ECT)

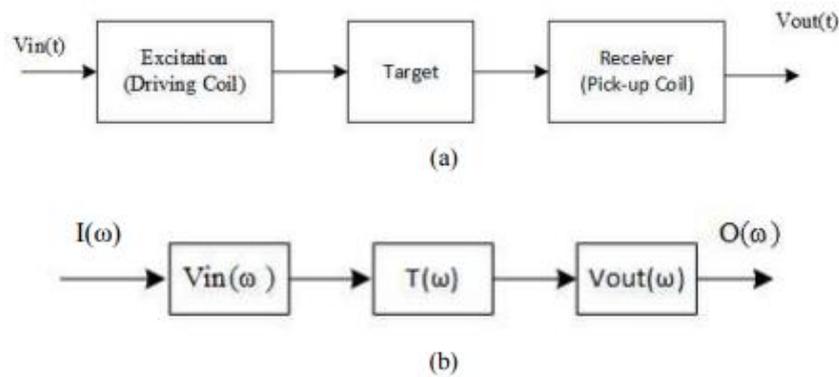


Gambar 2.1 Prinsip Dasar *Eddy Current Testing*
(sumber: (Achmad suseno 2021)).

Prinsip dari metode ini hampir sama dengan metode *Magnetic Particles*, akan tetapi medan listrik yang dipancarkan dari arus listrik bolak-balik, ketika ada *crack* maka medan listrik akan berubah dan perubahannya itu akan terbaca pada alat pengukur *impadance* (Irwansyah 2019).

Sistem Kontrol

Menurut (Norman S. Nise 2011) Sistem kontrol merupakan perangkat yang beroperasi pada sinyal untuk menghasilkan keluaran (*output*). Pemodelan sistem ECT dapat dibangun sebagai respon dari tiga komponen (*driving coil*, *pick-up coil* dan *conductive target specimen*), sehingga kita dapat memodelkan fungsi transfer sistem ECT dalam domain waktu variasi respons jaringan model matematika untuk analisis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**



Gambar 2. 2 (a) Model domain waktu (b) Model domain frekuensi
(sumber: (Rubijanto 2022))

Dari **gambar 2.2** sistem *eddy current testing* (ECT) merupakan jaringan impedansi dimana $s = j\omega$ dan ω adalah frekuensi sudut dari sistem sehingga dapat dituliskan sistem transfer impedansi dari *eddy current testing* jaringan sistem sebagai berikut:

$$J(\omega) = \frac{V_{out}(\omega)}{V_{in}(\omega)} \quad (1)$$

Jaringan Elektrik Fungsi Transfer

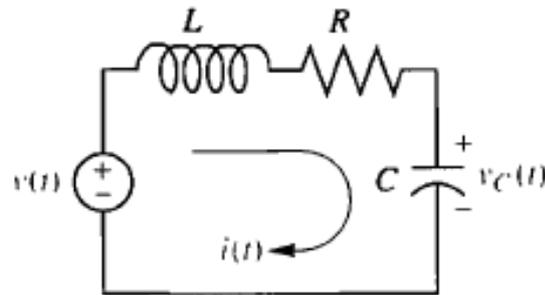
Fungsi transfer dapat diterapkan pada pemodel matematika, rangkaian listrik termasuk jaringan pasif dan rangkaian penguat operasional. Bagian yang meliputi sistem mekanis dan elektromekanis. Rangkaian jaringan elektrik terdiri dari tiga elemen linier pasif yaitu resistor, kapasitor, dan induktor. **Tabel 2.1** merangkum unsur-unsur antara tegangan dan arus antara tegangan dan muatan di bawah kondisi nol.

Tabel 2. 1 Tegangan-arus, tegangan-muatan, dan impedansi kapasitor, resistor, induktor

Component	Voltage-current	Current-voltage	Voltage-charge	Impedance $Z(s) = V(s)/I(s)$	Admittance $Y(s) = I(s)/V(s)$
 Capacitor	$v(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$	$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$	$v(t) = \frac{1}{C} q(t)$	$\frac{1}{Cs}$	Cs
 Resistor	$v(t) = Ri(t)$	$i(t) = \frac{1}{R} v(t)$	$v(t) = R \frac{dq(t)}{dt}$	R	$\frac{1}{R} = G$
 Inductor	$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$	$i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t v(\tau) d\tau$	$v(t) = L \frac{d^2q(t)}{dt^2}$	Ls	$\frac{1}{Ls}$

(sumber: (Norman S. Nise 2011))

Catatan: Rangkaian simbol dan satuan berikut digunakan : $v(t)$ -V(volts), $i(t)$ -A(amp), $q(t)$ -Q(coulumb), C-F(farad), R- Ω (Ohm), L-H(Henries).



Gambar 2. 3 Rangkaian RLC
(sumber: (Hellier. C 2003))

Dari rangkaian pada **Gambar 2.38** maka ditemukan persamaan fungsi transfer sebagai berikut:

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^1 i(t)dt = v(t) \quad (2)$$

Mengubah variabel dari arus ke pengisian menggunakan $i(t) = dq(t)/dt$, dan menghasilkan:

$$L = \frac{d^2qt}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C}qt = v(t) \quad (3)$$

Dari hubungan tegangan-muatan untuk kapasitor pada **Tabel 2.1**

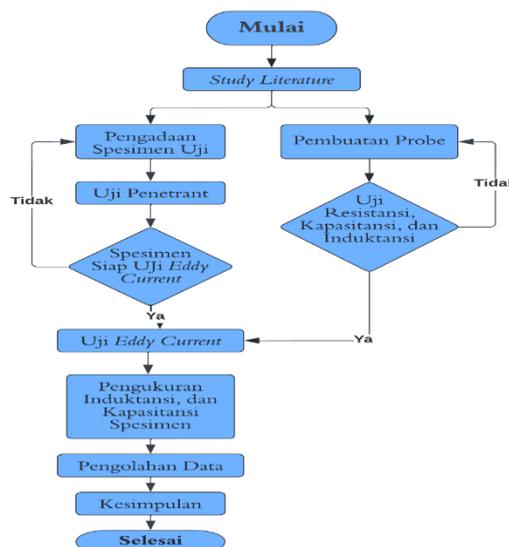
$$q(t) = Cv_C(t) \quad (4)$$

Mengganti persamaan (4) ke persamaan (3), menghasilkan persamaan:

$$LC \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} + RC \frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t) = v(t) \quad (5)$$

Maka fungsi transfer pada jaringan elektrik pada **Gambar 2. 3** dapat ditentukan dengan persamaan (5).

Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1Diagram Alir Penelitian

Uji resistansi dan induktansi probe ini digunakan untuk mengetahui kinerja probe untuk menerima respon frekuensi saat pengujian *eddy current testing*.

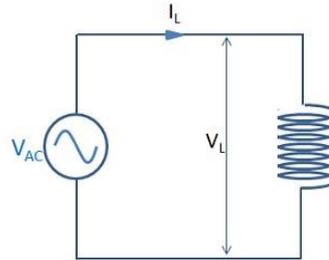
Dengan skema rangkaian seperti pada **Gambar 3. 2**.
Selanjutnya Hasil Pengukuran Induktansi dapat dihitung menggunakan **Persamaan 8**:

$$X_L = 2\pi fL \quad (6)$$

Dan, untuk pengukuran kapasitansi dapat dilakukan perhitungan dengan **Persamaan 9**.

$$C = \frac{t}{R} \quad (7)$$

Skema cara pengukuran kapasitansi dapat dilihat pada **Gambar 3. 4**

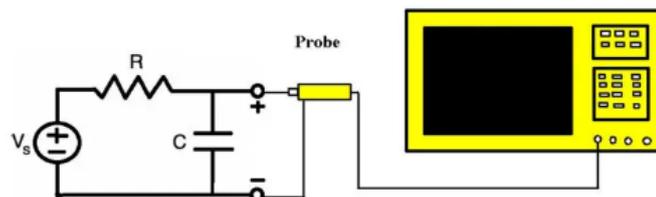


Gambar 3. 2 Skema Induktansi
(sumber: (teknikelektronika.com))

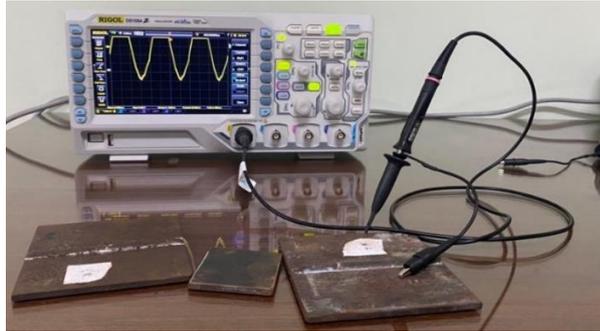


Gambar 3. 3 Pengukuran Induktansi Probe

Simple capacitance measurement setup



Gambar 3. 4 Skema Pengukuran Kapasitansi
(sumber:www.testandmeasurementtips.com)



Gambar 3. 1 Pengukuran Kapasitansi Spesimen

Metodologi Penelitian pada intinya dilakukan pengukuran resistansi, induktansi, dan kapasitansi *probe* serta *spesimen* sehingga nanti dapat ditemukan perbedaan antara spesimen tanpa cacat dan spesimen dengan cacat 1mm dan 2mm, setelah dihitung menggunakan **Persamaan 6** dan diinput ke *software* Matlab dengan **Persamaan 7**.

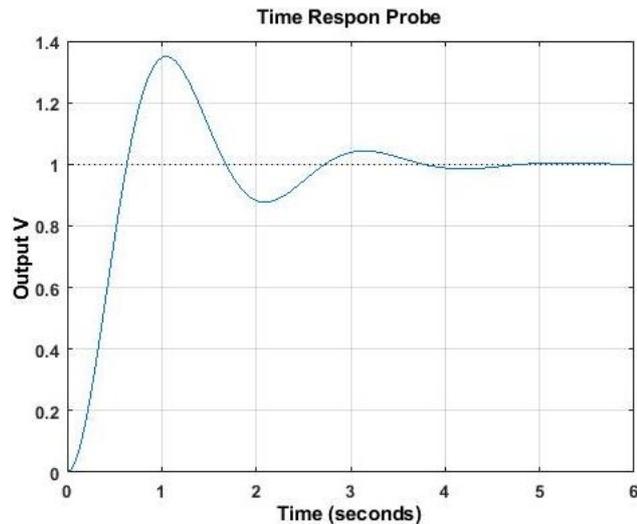
$$T(s) = \begin{vmatrix} R_1 + j\omega M_{DP} & -j\omega L_{12} & V_{in} \\ -j\omega L_{12} & j\omega M_{DP} + R_2 + R_L + 1/j\omega C_2 & 0 \\ -\frac{1}{j\omega C_1} & \frac{1}{j\omega C_2} & 0 \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$G(s) = \frac{9,111}{9,111 \quad 8 \quad 120} (\Delta)(V_{in}) \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

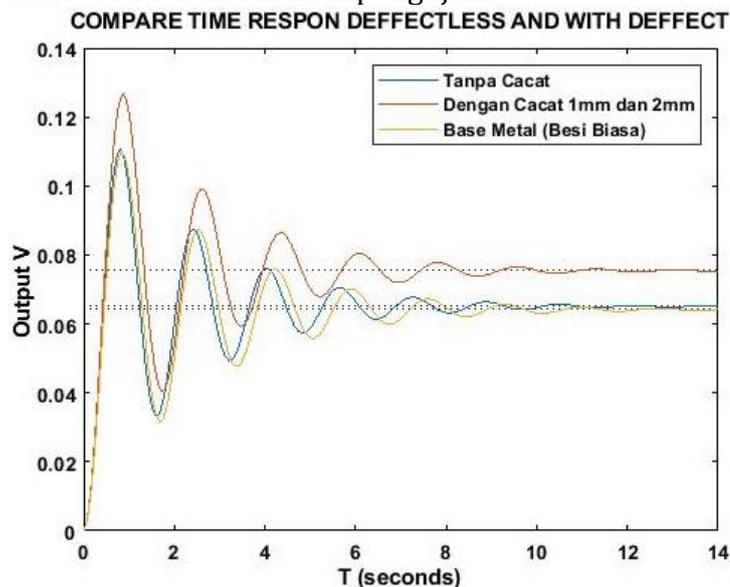
Tabel 4. 1 Hasil Uji Resistansi, Induktansi, dan Kapasitansi

Item	Unit	Hasil
<i>Driving Coil</i>		
Induktansi, L_1	μH	2,06
Resistansi	Ω	0,103
Kapasitansi	pF	235
<i>Pickup-Coil</i>		
Induktansi, L_2	μH	1,67
Resistansi	Ω	0,153
Kapasitansi	pF	235
<i>Coil Inner Gap</i>		
Kapasitansi Spesimen Tanpa Cacat	pF	74,26
Kapasitansi Spesimen Dengan Cacat	pF	88,97
Kapasitansi Base Metal	pF	69,58
<i>SMAW Joint</i> Induktansi (M_{DP})	μH	90,5
Frekuensi	kHz	10



Gambar 4. 1 Time Respon Probe

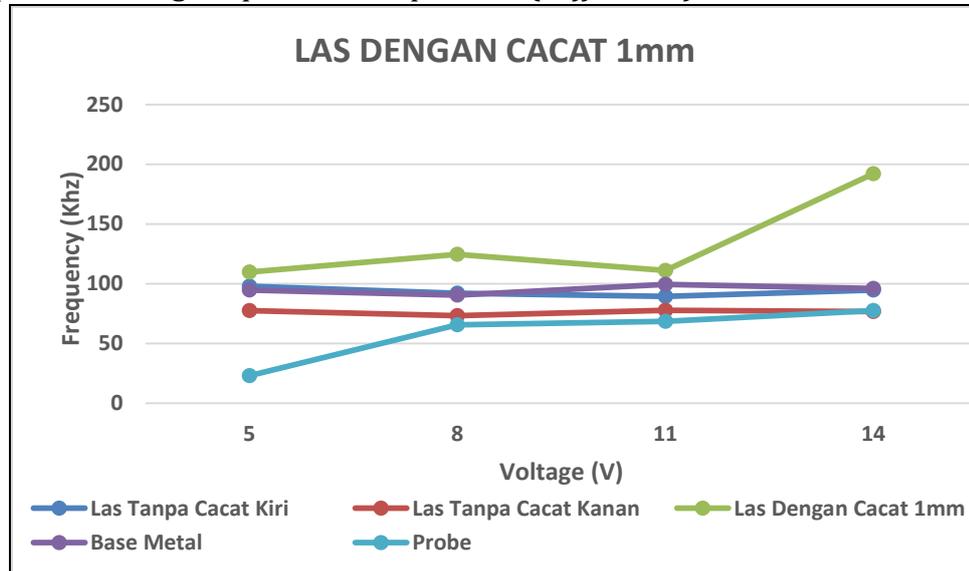
Pemodelan matematika probe ini digunakan untuk menunjukkan bagaimana kinerja probe untuk menguji sistem jaringan dan bagaimana menanggapi respon frekuensi saat pengujian *eddy current testing*. Respon dimodelkan untuk digunakan dengan sinyal periodik, yang dalam hal ini adalah langkah input dan langkah ini akan memberikan informasi tentang kekuatan probe dalam respons transien, yang berarti keadaan awal hingga akhir, yang diharapkan dalam keadaan stabil. Dari hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa probe memiliki respon dan probe memiliki stabilitas yang baik, yang merupakan sifat terpenting yang harus dimiliki sistem pendeteksi tertentu. Dengan kata lain, probe yang digunakan dalam percobaan ini akan berhasil melakukan pengujian.



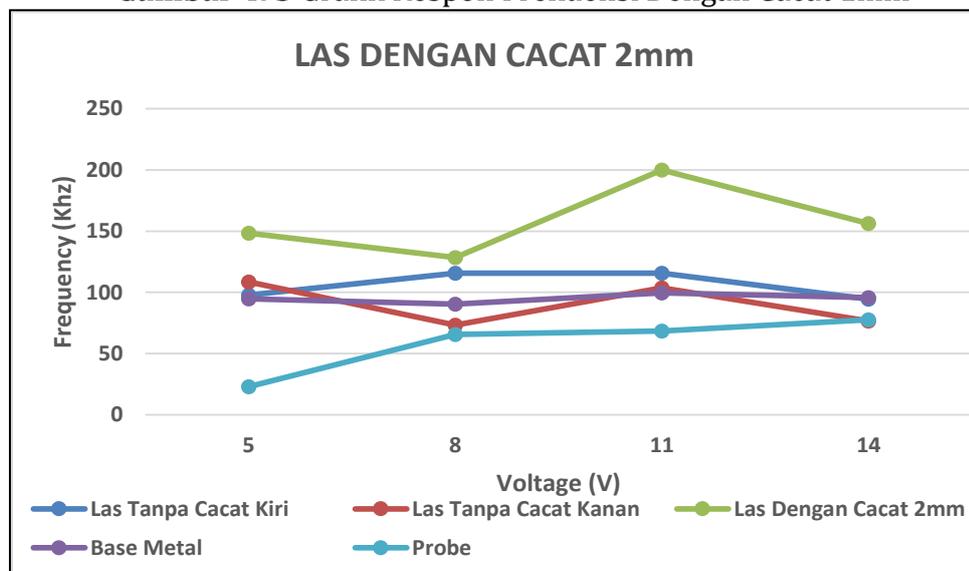
Gambar 4. 2Perbandingan Respon Waktu Spesimen Dengan dan Tanpa Cacat

Pada **Gambar 4.3** Menunjukkan perbandingan antara besi biasa, spesimen tanpa cacat, dan spesimen dengan cacat 1mm dan 2mm, Yang menunjukkan bahwa jaringan sistem pengujian dengan stabilitas yang baik. Dalam

penelitian ini sambungan las tanpa cacat respon waktunya lebih rendah atau melemah dibandingkan dengan sambungan las dengan cacat 1mm dan 2mm. Dan jika dibandingkan dengan besi biasa (*base metal*) hasil respon waktunya hampir sama dengan spesimen tanpa cacat (*Deffectless*).



Gambar 4.3 Grafik Respon Frekuensi Dengan Cacat 1mm



Gambar 4.4 Grafik Respon Frekuensi Dengan Cacat 2mm

Gambar 4.3 dan **Gambar 4.4**. menunjukkan hasil dari pengujian yang dilakukan ini menunjukkan bahwa pada frekuensi kerja yang sama, *crack* dengan ukuran yang berbeda di sambungan las SMAW berhasil dideteksi dan menghasilkan frekuensi yang berbeda. Pada **Gambar 4.3** menunjukkan pada tegangan 11 Volt frekuensi mengalami peningkatan tertinggi sampai 2 kali dari frekuensi *Base Metal* dan pada **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa pengukuran las tanpa cacat kiri dan kanan dari perimeter probe juga menghasilkan level sinyal yang berbeda dalam rentang terukur yang disebabkan oleh variasi konduktivitas material pada sambungan las. Sifat konduktivitas sambungan las ini berubah karena proses pengelasan yang



menggunakan panas tinggi akan menyebabkan perubahan sifat material yang kompleks.

KESIMPULAN

Hasil pengujian *eddy current testing* menunjukkan bahwa *probe planar* berhasil digunakan untuk mendeteksi adanya *crack* pada spesimen baja karbon rendah yang tidak terlihat secara visual, hal itu dapat dilihat dari hasil perbedaan frekuensi pada *crack* 1mm dan 2mm.

Dari hasil pengujian menggunakan model fungsi transfer dapat ditemukan perbedaan respon waktu pada spesimen *deffectless* dan dengan *crack* 1mm dan 2mm, dimana pada spesimen *deffectless* memiliki output 0,11 V, dan spesimen dengan *crack* 1mm dan 2mm memiliki output 0,13 V, dan pada pengujian *eddy current testing* dapat dilihat semakin dalam *crack* (cacat) pada sambungan pengelasan maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, pada *crack* 1mm memiliki frekuensi tertinggi di 192 kHz, dan pada *crack* 2mm memiliki frekuensi tertinggi di 200 kHz.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad suseno, Wing Hendri A.P. 2021. "Analisis Kemampuan Pendeteksian Pengujian Eddy Current Terhadap Crack Toe Pada Sambungan Tee Material Aluminium 5083 Yang Dilapisi Non-Conductive Coating Dengan Variasi Kedalaman Dan Panjang Crack." *Jurnal Teknik ITS* 10 (2).
- Haidar, Henry. 2021. "Analisis Kemampuan Pendeteksian Pengujian Eddy Current Terhadap Retak Memanjang Logam Las Pada Sambungan Tee Joint Material Aluminium 5083 Dilapisi Non-Conductive Coating Dengan Variasi Panjang Dan Kedalaman Cacat." *Jurnal Teknik ITS* 1 (1): 7.
- Hellier. C. 2003. *Nondestructive Testing Handbook*.
- Indra Primahadin. 2019. *Pengelasan SMAW Asetilin Dan Pengecoran Logam*. Cimahi: Geupedia.
- Irwansyah, Irwansyah. 2019. "Deteksi Cacat Pada Material Dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak." *Lensa* 2 (48): 7-14.
- Mahardika, Gilang Rezha, Herman Pratikno, and Sulistiyaning Titah. 2018. "Analisis Ketahanan Microalga Pada Material Baja AH 36 Dengan Menggunakan Metode Impressed Current Anti Fouling (ICAF)." *Jurnal Teknik ITS* 7 (2): 145-50.
- Norman S. Nise. 2011. *CONTROL SYSTEMS ENGINEERING SIXTH EDITION*. Sixth. United states of America.
- Rubijanto, J P. 2022. "Inspecting Power Network Analysis On Eddy Current Test Of SMAW Joints," no. 13.
- Wahyudi, Rizki, Nurdin, and Saifuddin. 2019. "Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap Tensile Strenght." *Journal Of Welding Technology* 1 (2): 43-47.