

## PROSES PENGUJIAN *ULTRASONIC TESTING* (UT) DALAM MENDETEKSI CACAT LAMINASI

Daniel Sutopo Pamungkas<sup>1</sup>, Nugroho Pratomo Ariyanto<sup>2</sup>, Ari Wibowo<sup>2</sup>, Muhammad Ismail<sup>2</sup>, Yosef Adicita<sup>2</sup>, Reza Apriyono<sup>2</sup>, Roza Puspita<sup>2</sup>, Muhammad Ilham<sup>2</sup>, Nurul Laili Arifin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam

<sup>2</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Negeri Batam

\*Corresponding author: [laili@polibatam.ac.id](mailto:laili@polibatam.ac.id)

### Article history

**Received:**

11-05-2026

**Accepted:**

22-06-2026

**Published:**

30-06-2026

Copyright © 2026  
Jurnal Teknologi dan  
Riset Terapan

Open Access

### Abstrak

*Non Destructive Testing* (NDT) merupakan bagian dari pengendalian mutu (*quality control*) yang berperan dalam memverifikasi bahwa suatu material dalam kondisi baik dan layak digunakan. Salah satu metode NDT yang banyak diterapkan adalah *Ultrasonic Test* (UT), yaitu teknik pemeriksaan serbaguna yang dapat digunakan pada berbagai jenis produk. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Ultrasonic Testing* (UT) berdasarkan standar blok kalibrasi ISO 7963:2022 untuk mendeteksi dan mengidentifikasi keberadaan cacat laminasi pada material serta mengevaluasi keandalannya dalam proses inspeksi. Jenis *probe* yang digunakan adalah *probe* normal (*straight beam probe*) dengan rentang frekuensi minimum antara 1 hingga 6 MHz. Prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan ISO 16810 dengan metode kalibrasi sesuai dengan standar ISO 7963:2022. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan berdasarkan standar pengujian ISO 7963:2022, diperoleh beberapa indikasi cacat dengan kedalaman berada pada rentang 14,7 mm hingga 15,05 mm dengan amplitudo minimum sebesar  $\geq 40\%$  *Full Screen Height* (FSH). Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan tingkat deviasi penggunaan alat UT sebesar 0,1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode ini memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan dapat diandalkan dalam proses inspeksi material.

**Kata Kunci:** *Non-Destructive test, Pengujian laminasi, Ultrasonic Testing, Quality Control*

### Abstract

*Non-Destructive Testing* (NDT) is an essential part of quality control that plays a role in verifying that a material is in good condition and suitable for use. One of the most widely applied NDT methods is *Ultrasonic Testing* (UT), a versatile inspection technique that can be used on a wide range of products. This study aims to apply the *Ultrasonic Testing* (UT) method based on the ISO 7963:2022 calibration block standard to detect and identify the presence of lamination defects in materials and to evaluate its reliability in the inspection process. The probe used in this study was a normal probe (*straight beam probe*) with a frequency range of 1 to 6 MHz. The testing procedure was carried out in accordance with ISO 16810, while the calibration method followed the requirements specified in ISO 7963:2022. Based on the testing conducted in accordance with the ISO 7963:2022 standard, several defect indications were detected at depths ranging from 14.7 mm to 15.05 mm, with a minimum amplitude of  $\geq 40\%$  *Full Screen Height* (FSH). Overall, the test results showed a UT equipment deviation of only 0.1%, indicating that the method provides excellent accuracy and can be reliably applied in material inspection processes.

**Keywords:** *Non-Destructive test, Lamination Testing, Ultrasonic Testing, Quality Control*

## 1.0 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pengelasan dewasa ini berlangsung sangat dinamis, ditandai dengan munculnya berbagai metode baru, baik yang bersifat manual maupun yang telah terotomatisasi [1]. Proses pengelasan menawarkan sejumlah keunggulan dalam penyambungan material, namun hasil yang diperoleh tidak senantiasa bebas dari ketidaksempurnaan akibat pengaruh berbagai faktor, baik yang terjadi secara sengaja maupun di luar kendali operator [2]. Cacat las yang umum dijumpai meliputi porositas, retak, *slag inclusion*, *lack of fusion*, dan *undercut*, yang masing-masing dapat memengaruhi integritas struktural sambungan secara signifikan [3]. Oleh sebab itu, kegiatan inspeksi terhadap sambungan las menjadi suatu keharusan guna memastikan kualitasnya memenuhi standar yang berlaku dan layak digunakan secara aman [4].

*Non-Destructive Testing* (NDT) adalah pendekatan pengujian material yang tidak menimbulkan kerusakan pada komponen atau struktur yang diperiksa. Metode ini merupakan bagian integral dari sistem pengendalian mutu dan bersifat melengkapi metode-metode pengujian yang sudah ada. NDT tidak hanya difungsikan sebagai alat untuk menyingkirkan material yang tidak layak, tetapi juga sebagai sarana verifikasi bahwa suatu material berada dalam kondisi yang memadai. Dalam penerapannya, NDT mencakup beragam teknik pengujian, dan tidak ada satu pun teknik yang dapat memenuhi seluruh kebutuhan sekaligus, mencakup jenis material, kondisi lingkungan pengujian, maupun lokasi kerusakan yang ingin diidentifikasi [5].

*Ultrasonic Testing* (UT) adalah teknik pemeriksaan yang bersifat serbaguna dan dapat diterapkan pada berbagai jenis produk, baik logam maupun non-logam, seperti hasil lasan, komponen tempa, produk tuang, pelat, pipa, plastik, hingga keramik. Salah satu keunggulan utama metode ini adalah kemampuannya mendeteksi cacat di bawah permukaan material hanya dengan mengakses satu sisi spesimen [6]. Prinsip kerjanya didasarkan pada perambatan gelombang suara ke dalam material uji, di mana sinyal yang dipantulkan maupun yang diteruskan kemudian diamati dan dianalisis untuk mengidentifikasi kondisi material. Gelombang yang digunakan dalam pengujian ini beroperasi pada rentang frekuensi 0,5 hingga 20 MHz [7] [8].

Pengujian ultrasonik memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya salah satu metode NDT yang paling banyak digunakan. Metode ini hanya membutuhkan akses dari satu sisi material saja, sehingga proses inspeksi dapat dilakukan dengan lebih efisien dan persiapan benda uji pun relatif sederhana [9],[10]. Dari segi kemampuan deteksi, metode ultrasonik unggul dalam hal penetrasi dibandingkan metode NDT lainnya, sehingga mampu mengidentifikasi cacat pada kedalaman yang cukup signifikan. Hasil pemeriksaan juga dapat ditampilkan dan direkam langsung melalui layar CRT, memungkinkan mendapatkan informasi secara cepat dan akurat. Selain itu, metode ini terbukti andal untuk mengukur ketebalan material dengan presisi tinggi. Dari aspek keselamatan, pengujian ultrasonik tidak menimbulkan bahaya bagi operator maupun lingkungan, serta tidak memberikan efek negatif terhadap material yang diuji.

Di sisi lain, pengujian ultrasonik memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, terutama dalam mendeteksi cacat laminasi. Metode ini kurang optimal pada material dengan ketebalan yang sangat tipis karena sensitivitas deteksi cacat cenderung menurun. Selain itu,

pengoperasian peralatan dan interpretasi sinyal memerlukan operator yang terlatih, sementara kondisi permukaan material yang kasar dapat mengganggu perambatan gelombang ultrasonik. Pengujian juga mensyaratkan akses *probe* ke permukaan benda uji serta penggunaan *couplant* agar transmisi gelombang berlangsung efektif.

Dalam konteks cacat laminasi, keterbatasan utama terletak pada orientasi cacat yang sejajar dengan permukaan material. Kondisi ini menyebabkan gelombang ultrasonik yang digunakan pada pengujian sambungan las konvensional tidak menghasilkan pantulan yang signifikan kembali ke *transducer*, sehingga indikasi cacat sulit teramati. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Ultrasonic Testing* (UT) berdasarkan standar blok kalibrasi ISO 7963:2022 untuk mendeteksi dan mengidentifikasi keberadaan cacat laminasi pada material serta mengevaluasi keandalannya dalam proses inspeksi. Secara sistematis, penelitian ini menguraikan setiap tahapan proses dari awal hingga akhir pengujian. Adapun batasan dalam penelitian ini mencakup pembahasan yang difokuskan hanya pada prosedur pengujian, tanpa menganalisis karakteristik material uji, sehingga jenis atau sifat cacat yang terdapat pada benda uji tidak menjadi bagian dari lingkup penelitian ini.

## 2.0 METODE

Metodologi penelitian ini adalah dengan cara mempelajari dari masing-masing operator pengujian *ultrasonic test*. Sehingga dapat diketahui dengan saksama proses dari pengujian, pada penelitian ini setiap proses, langkah-langkahnya dijelaskan dari awal proses pengujian hingga akhir pengujian, sehingga didapatkan kesimpulan berupa gambaran umum dari langkah-langkah proses pengujian *ultrasonic test*. Alur dari metode penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Metode Penelitian

### 2.1. Peralatan dan Bahan Pengujian

Sebelum pelaksanaan UT, seluruh peralatan dan bahan pendukung harus disiapkan terlebih dahulu guna memastikan kelancaran proses pengujian. Peralatan utama yang digunakan meliputi *flaw detector*, *probe*, blok kalibrasi, penggaris, dan majun. Adapun peralatan yang diperlukan seperti pada Tabel.1

Tabel 1: Deskripsi Peralatan Pengujian

No.	Nama Peralatan	Model/ Tipe	No. Seri
1	Flaw Detector Ultrasonik	Kal Deutchs	11435
2	Probe Normal (0°)	2.25 MHz, Ø 20 mm	PR-225-20
3	Couplant (Gel Ultrasonik)	Magnaflux SWC-2	-
4	Blok Kalibrasi IIW V1	Baja karbon	-

#### 2.1.1. Flaw Detector

*Flaw detector* merupakan instrumen utama dalam pengujian ultrasonik yang berfungsi membangkitkan dan menerima sinyal gelombang suara. Pada penelitian ini digunakan *flaw detector* dengan spesifikasi merek Kal Deutchs.

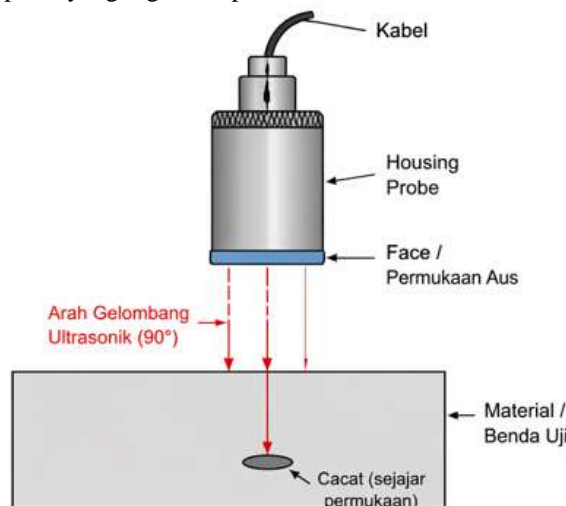
Sebelum digunakan dalam pengujian, *flaw detector* harus memenuhi beberapa persyaratan teknis, yaitu mampu dioperasikan menggunakan teknik *pulse-echo* maupun teknik *double probe*, memiliki rentang frekuensi minimum antara 1 hingga 6 MHz, serta dilengkapi dengan layar datar yang dapat diakses dari bagian depan untuk *plotting* langsung *Distance Amplitude Curves (DAC)* atau telah memiliki fasilitas DAC digital.

#### 2.1.2. Probe

*Probe* adalah elemen kunci dalam pengujian ultrasonik yang menjalankan fungsi ganda, yakni sebagai pemancar sekaligus penerima gelombang ultrasonik. Prinsip kerja *probe* didasarkan pada efek piezoelektrik, di mana energi listrik dikonversi menjadi gelombang suara berfrekuensi tinggi melalui elemen kristal piezoelektrik yang kemudian diarahkan ke dalam material yang sedang diperiksa [11]. Apabila gelombang ultrasonik tersebut bertemu dengan batas antar-material atau ketidaksempurnaan di dalam benda uji, sebagian energi gelombang akan terpantul kembali menuju *probe* dan selanjutnya diproses menjadi sinyal yang dapat diamati pada layar alat *ultrasonic flaw detector* [12]. Oleh karena itu, *probe* memegang peranan yang sangat krusial dalam proses identifikasi cacat maupun diskontinuitas pada material.

Dalam penelitian ini, jenis *probe* yang digunakan adalah *probe normal (straight beam probe)* merek Kal Deutchs dengan nomor serial 11435 sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. *Probe* jenis ini memancarkan gelombang ultrasonik secara tegak lurus terhadap permukaan benda uji, sehingga sangat andal dalam mendeteksi cacat yang orientasinya sejajar dengan

permukaan material, seperti laminasi maupun cacat internal lainnya. Di samping itu, *probe normal* banyak dimanfaatkan untuk pengukuran ketebalan material karena menghasilkan pantulan gelombang yang stabil dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Pemilihan *probe normal* dalam pengujian ini didasarkan pada pertimbangan jenis material yang diuji serta tujuan inspeksi yang ingin dicapai.



Gambar 2: Probe Normal (Straight Beam Probe) Kal Deutchs

#### 2.1.3. Couplant

*Couplant* merupakan media perantara yang diaplikasikan di antara permukaan *probe* dan benda uji. Penggunaan *couplant* bertujuan untuk meminimalkan hambatan akustik (*acoustic impedance*) akibat celah udara sehingga transmisi gelombang ultrasonik dapat berlangsung secara optimal.

*Couplant* digunakan untuk menghilangkan lapisan udara di antara *probe* dan permukaan benda uji sehingga gelombang ultrasonik dapat ditransmisikan secara optimal ke dalam material. Tanpa *couplant*, keberadaan udara pada antarmuka tersebut akan menyebabkan hampir seluruh energi gelombang dipantulkan kembali ke *probe* karena perbedaan impedansi akustik yang sangat besar antara udara dan material uji

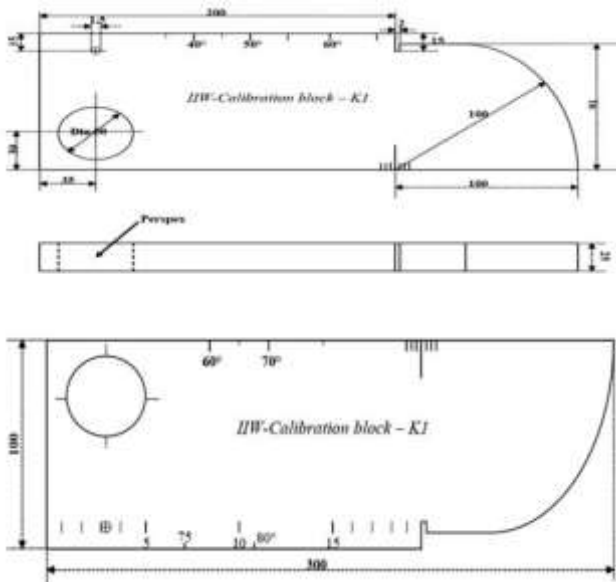
### 2.2. Pengujian Ultrasonic Test

*Probe* dioperasikan melalui beberapa tahapan yang harus dilakukan secara sistematis. Tahap pertama adalah mengidentifikasi jenis *probe* yang digunakan, yaitu *single cable* atau *twin cable*, karena perbedaan jenis *probe* akan memengaruhi konfigurasi dan pengaturan perangkat ultrasonik. Tahap kedua adalah menentukan nilai *range* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai *range* yang digunakan harus minimal dua kali ketebalan benda uji agar seluruh volume material dapat teramati selama proses inspeksi. Tahap ketiga adalah melakukan kalibrasi perangkat. Pada tahap ini, minimal harus teridentifikasi dua *back wall echo (BWE)* sebagai indikasi bahwa kalibrasi telah dilakukan dengan benar dan sistem pengukuran beroperasi dalam kondisi yang valid.



Gambar 3: Tampilan Peak Dua Back Wall Echo (BWE)

Prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan ISO 16810. Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu melakukan kalibrasi pada alat ultrasonik dengan menggunakan blok kalibrasi V1 (K1=IIW Blok ) sesuai dengan standar ISO 7963:2022, lihat Gambar 4. Tujuan kalibrasi yaitu agar bisa mendapatkan atau memastikan bahwa hasil dari pengujian yang dilakukan akurat serta konsisten dengan instrumen lainnya. Apabila sudah dikalibrasi maka pengujian bisa dilakukan [13], [14],[15], [16].



Gambar 4: Standar Blok V1

Tahapan kalibrasi dilanjutkan dengan proses identifikasi dan pengaturan posisi *echo*. Langkah pertama adalah mencari *initial pulse* (IP) dan *back wall echo* pertama (1st BWE) pada layar perangkat ultrasonik. Selanjutnya, *sweep delay* digeser hingga 1st BWE berada tepat pada posisi 0 sebagai titik referensi awal.

Setelah posisi referensi ditetapkan, pengaturan *time* dan *sweep delay* disesuaikan ke posisi yang diinginkan. Sebagai contoh seperti pada Gambar 5, pada konfigurasi *range* 100 mm dengan ketebalan benda uji 25 mm, posisi setiap *back wall echo* (BWE) yang diharapkan adalah sebagai berikut: 1<sup>st</sup> BWE = 25 mm, 2<sup>nd</sup> BWE = 50 mm, 3<sup>rd</sup> BWE = 75 mm, dan 4<sup>th</sup> BWE = 100 mm.



Gambar 5: Tampilan *peak* hasil kalibrasi

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu membersihkan permukaan material dari kotoran yang menempel dipermukaan sehingga tidak mengganggu proses inspeksi pada benda kerja. Setelah permukaan benda uji dipastikan bersih dari kotoran selanjutnya yaitu *apply couplant* atau pengolesan koplant, seperti pada Gambar 6. Hal ini dilakukan untuk memudahkan merambatnya gelombang ultrasonik dari *probe* ke benda uji.



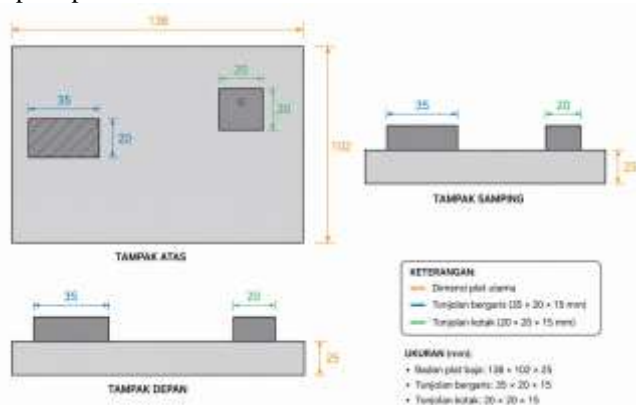
Gambar 6: Aplikasi *Couplant* Pada Permukaan Benda Uji



Gambar 7: *Probe* normal digunakan untuk mencari cacat laminasi dan untuk mengetahui ketebalan benda uji

Selanjutnya gunakan *probe* normal (0°) yang sudah dikalibrasi ditempelkan pada benda kerja, seperti pada Gambar.7, untuk mencari atau mendeteksi cacat laminasi dan untuk mengetahui ketebalan benda uji. Kemudian *probe* normal dilakukan untuk melakukan *scanning* pada plat baja yang ukurannya telah dibuat dengan presisi menggunakan mesin CNC. Plat baja memiliki Panjang

138 mm dan lebar 102 mm. Kemudian plat tersebut dibuat cacat buatan berbentuk persegi Panjang dan persegi seperti pada Gambar 8.



Gambar 8: Gambar Isometrik Spesimen Pengujian Ultrasonik

### 3.0. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2: Hasil Pengukuran Blok Kalibrasi menggunakan mesin UT

No.	Posisi Reflektor (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Amplitudo Echo (%FSH)	Gain (dB)	Deviasi (mm)
1	100	100.1	80	44.3	0.1
2	85	85.0	28	44.3	0
3	90	90.1	73	44.3	0.1
<b>Delay</b>		<b>7.800 μs</b>			

Proses kalibrasi dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis berdasarkan standar pengujian ISO 7963:2022 [17]. Pertama, *couplant* diaplikasikan pada permukaan logam blok kalibrasi IIV V2 untuk memastikan transmisi gelombang ultrasonik berlangsung optimal. Selanjutnya, parameter pengujian diatur dengan menetapkan kecepatan gelombang sebesar 5900 m/s (sesuai karakteristik material baja) dan rentang pengukuran (*range*) sebesar 200 mm, yaitu dua kali ketebalan spesimen. Setelah itu, persentase *Full Screen Height* (%FSH) disesuaikan menjadi 80% dan nilai gain awal dicatat sebagai referensi. Proses dilanjutkan dengan melakukan pemindaian (*scanning*) pada blok kalibrasi pada kedalaman 100 mm, 85 mm, dan 90 mm.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel.3, hasil kalibrasi sensitivitas menunjukkan adanya deviasi sebesar ±0,1 mm pada tampilan layar, misalnya pembacaan 100 mm menjadi 100,1 mm. Nilai deviasi ini masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan, yaitu sebesar 2% berdasarkan standar ISO dan 1% berdasarkan ASME terhadap ketebalan aktual. Selain itu, amplitudo sinyal pantul (*echo*) berhasil mencapai target 80% FSH dengan *gain* referensi sebesar 44,3 dB. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil kalibrasi sensitivitas telah memenuhi kriteria yang diharapkan dan sesuai dengan standar yang berlaku.

Setelah dilakukan kalibrasi *time base pulse* maka dilakukan kalibrasi DB. Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa peralatan ultrasonik dapat mendeteksi dan mengukur kedalaman reflektor secara akurat sebelum digunakan dalam pengujian yang sesungguhnya.

Tabel 3: Hasil Pengukuran Probe Normal Pada Blok Kalibrasi IIV V1

No.	Posisi Reflektor	Kedalaman Lubang (mm)	Amplitudo Echo (%FSH)	Gain (dB)
1.	Lubang 100 mm	99.7	80	20.8
2.	Lubang 85 mm	84.8	80	27.0
3.	Lubang 90 mm	90.8	80	28.0
4.	Lubang 100 mm	99.7	40	15.4
5.	Lubang 85 mm	84.8	40	16.6

Dari hasil kalibrasi, diperoleh data kedalaman aktual yang terukur oleh peralatan sedikit berbeda dari nilai nominal, seperti lubang 100 mm yang terukur 99,7 mm dan lubang 85 mm yang terukur 84,8 mm. Perbedaan kecil ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima dan tidak mempengaruhi keabsahan kalibrasi.

Pada Tabel.2, kalibrasi dilakukan pada dua level amplitudo *echo* yang berbeda, yaitu 80% FSH dan 40% FSH. Pada level 80% FSH, kalibrasi dilakukan terhadap tiga posisi reflektor pada kedalaman 99,7 mm, 84,8 mm, dan 90,8 mm, dengan nilai *gain* yang diperlukan masing-masing sebesar 20,8 dB, 27,0 dB, dan 28,0 dB. Sementara itu, pada level 40% FSH, kalibrasi dilakukan pada dua kedalaman yaitu 99,7 mm dan 84,8 mm, dengan nilai *gain* sebesar 15,4 dB dan 16,6 dB. Perbedaan nilai *gain* antara kedua level amplitudo tersebut adalah wajar, karena target amplitudo yang lebih rendah membutuhkan penguatan sinyal yang lebih kecil.

Berdasarkan hasil pengujian ultrasonik yang telah dilakukan pada spesimen uji, diperoleh beberapa indikasi cacat dengan kedalaman berada pada rentang 14,7 mm hingga 15,05 mm. Rentang kedalaman yang relatif berdekatan menunjukkan bahwa indikasi cacat kemungkinan berada pada bidang atau lapisan yang sama di dalam material. Kondisi ini mengindikasikan adanya keterkaitan antar cacat, baik yang disebabkan oleh proses manufaktur, perlakuan panas, maupun akibat konsentrasi tegangan pada area tertentu selama material digunakan.

Tabel 4: Hasil Scanning Pada Plat Baja

No.	Lokasi (X mm)	Lokasi (Y mm)	Amplitudo (%)	Kedalaman (mm)
1	94	13	40%	15,05
2	125	33	40%	15,05
3	64	20	40%	14,7
4	85	40	40%	14,7

Hasil evaluasi pada Tabel 4, sinyal menunjukkan terdapat 4 indikasi yang memenuhi kriteria amplitudo minimum sebesar  $\geq 40\%$  *Full Screen Height* (FSH) [17]. Nilai amplitudo tersebut digunakan sebagai batas evaluasi karena sinyal pantul pada level tersebut dianggap cukup signifikan untuk merepresentasikan adanya diskontinuitas nyata di dalam material. Oleh karena itu, seluruh indikasi yang memenuhi batas tersebut dikategorikan sebagai indikasi relevan dan perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut sesuai prosedur pengujian yang berlaku.

Meskipun demikian, data amplitudo dan kedalaman belum cukup untuk menentukan karakteristik cacat secara menyeluruh. Diperlukan analisis tambahan berupa pengukuran ukuran cacat (*defect sizing*) untuk mengetahui dimensi aktual cacat, serta identifikasi jenis diskontinuitas guna menentukan apakah indikasi tersebut berupa retak (*crack*), porositas (*porosity*), laminasi, atau jenis cacat lainnya [18].

Selain itu, berdasarkan distribusi indikasi pada kedalaman yang hampir seragam, terdapat kemungkinan bahwa cacat tersebar pada satu zona tertentu di dalam material. Oleh karena itu, pemeriksaan lanjutan menggunakan metode yang memiliki resolusi lebih tinggi, seperti *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) atau radiografi, direkomendasikan untuk memperoleh visualisasi distribusi cacat yang lebih detail dan akurat [19], [20].

#### 4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan berdasarkan standar pengujian ISO 7963:2022, diperoleh beberapa indikasi cacat dengan kedalaman berada pada rentang 14,7 mm hingga 15,05 mm dengan amplitudo minimum sebesar  $\geq 40\%$  *Full Screen Height* (FSH). Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan tingkat deviasi penggunaan alat UT sebesar 0,1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode ini memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan dapat diandalkan dalam proses inspeksi material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Wang, S. J. Hu, L. Sun, and T. Freiheit, "Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives," *J. Manuf. Syst.*, vol. 56, pp. 373–391, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.020.
- [2] A. Raj *et al.*, "RETRACTED ARTICLE: Weld quality monitoring via machine learning-enabled approaches," *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM*, Jan. 2023, doi: 10.1007/s12008-022-01165-9.
- [3] M. Shaloo, M. Schnall, T. Klein, N. Huber, and B. Reitingner, "A Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques for Defect Detection: Application to Fusion Welding and Future Wire Arc Additive Manufacturing Processes," *Materials*, vol. 15, no. 10, p. 3697, May 2022, doi: 10.3390/ma15103697.
- [4] P. Kah, R. Rajan, J. Martikainen, and R. Suoranta, "Investigation of weld defects in friction-stir welding and fusion welding of aluminium alloys," *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, vol. 10, no. 1, p. 26, Dec. 2015, doi: 10.1186/s40712-015-0053-8.
- [5] T. Endramawan and A. Sifa, "APLIKASI STANDAR AWS UNTUK MENENTUKAN ACCEPTANCE CRITERIA PADA PENGELASAN SMAW MENGGUNAKAN NONDESTRUCTIVE TEST-ULTRASONIC TEST," *Turbo J. Program Studi Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, Dec. 2017, doi: 10.24127/trb.v6i2.544.
- [6] S. Tavares, K. Yang, and M. A. Meyers, "Heusler alloys: Past, properties, new alloys, and prospects," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 132, p. 101017, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.pmatsci.2022.101017.
- [7] M. V. Felice and Z. Fan, "Sizing of flaws using ultrasonic bulk wave testing: A review," *Ultrasonics*, vol. 88, pp. 26–42, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.ultras.2018.03.003.
- [8] M. Mihaljević, H. Cajner, B. Runje, D. Markučić, and Z. Keran, "Analysis of the couplant influence on the ultrasonic thickness measurement of the steel grade S355J0: **Untersuchung des Einflusses des Koppelmittels auf die Ultraschall-Messung der Probendicke des Stahls S355J0**," *Mater. Werkst.*, vol. 48, no. 8, pp. 803–813, Aug. 2017, doi: 10.1002/mawe.201700050.
- [9] K. Schabowicz, "Non-Destructive Testing of Materials in Civil Engineering," *Materials*, vol. 12, no. 19, p. 3237, Oct. 2019, doi: 10.3390/ma12193237.
- [10] S. Hassani and U. Dackermann, "A Systematic Review of Advanced Sensor Technologies for Non-Destructive Testing and Structural Health Monitoring," *Sensors*, vol. 23, no. 4, p. 2204, Feb. 2023, doi: 10.3390/s23042204.
- [11] Y. Chen, J. Zhang, A. J. Croxford, and P. D. Wilcox, "Thickness measurement optimisation for permanently installed inductively coupled ultrasonic transducer systems," *NDT E Int.*, vol. 129, p. 102655, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.ndteint.2022.102655.
- [12] P. J. Shull, *Nondestructive Evaluation*, 0 ed. CRC Press, 2002. doi: 10.1201/9780203911068.
- [13] A. Hidayatullah, M. F. Muvariz, H. Saputra, W. Rossbandrio, and N. Yuniarsih, "Studi Replating Area Forepeak & Deep Tank pada Kapal Tanker 105 Meter Berdasarkan Hasil Pengujian Ultrasonic Thickness Test," *J. Teknol. Dan Ris. Terap. JATRA*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2023, doi: 10.30871/jatra.v5i1.3655.
- [14] A. Fajrin, M. Mutiarani, N. P. Ariyanto, and W. Wissesa, "Identifikasi Tebal Plat Lambung Kapal Tanker Tyche IMO 8794891 Dengan Ultrasonic Thickness Gauge," *J. Teknol. Dan Ris. Terap. JATRA*, vol. 4, no. 2, pp. 69–73, Dec. 2022, doi: 10.30871/jatra.v4i2.4786.
- [15] F. Widyawati and L. Marano, "IDENTIFIKASI CACAT LASAN FCAW PADA FONDASI MESIN KAPAL MENGGUNAKAN METODE ULTRASONIC TESTING," *J. TAMBORA*, vol. 5,

- no. 2, pp. 53–58, Jul. 2021, doi: 10.36761/jt.v5i2.1124.
- [16] H. Darmadi, A. B. Tarigan, U. I. Purba, N. S. Bintang, R. Faulianur, and D. Kurnia, “ANALISA KETEBALAN DINDING SHELL (SPLITTING) DENGAN METODE PENGUKURAN TEMPERATUR TINGGI MENGGUNAKAN ALAT ULTRASONIC THICKNESS PADA FATTY ACID PLANT DI PT XYZ,” *J. Tek. Mesin*, 2025.
- [17] L. E. Maggi, C. E. R. Silva, A. V. Alvarenga, and R. P. B. Costa-Felix, “Ultrasonic calibration and certification of V1 and V2 type reference standard blocks for use in Non-Destructive Testing,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 279, p. 012029, Feb. 2011, doi: 10.1088/1742-6596/279/1/012029.
- [18] R. A. Pitalokha, C. Mulyana, M. R. Hamdani, and F. Muhammad, “INSPEKSI CACAT (DISKONTINUITAS) PADA MATERIAL DENGAN MENGGUNAKAN UJI ULTRASONIK DAN UJI RADIOGRAFI,” in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL) SNF2016 UNJ*, Pendidikan Fisika dan Fisika FMIPA UNJ, 2016, pp. SNF2016-MPS-29-SNF2016-MPS-36. doi: 10.21009/0305020206.
- [19] P. Pujono and E. W. Galih, “Inspeksi Upper Wing Top Skin Panel Menggunakan Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT),” *Bangun Rekaprima*, vol. 4, no. 2, p. 65, Oct. 2018, doi: 10.32497/bangunrekaprima.v4i2.1202.
- [20] T. T. Widodo, D. A. Kifta, R. Yasra, and R. Suhadi, “Analisa Pengendalian Kualitas Scanning Data Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) Untuk Meningkatkan Produksi”.