

## UJI FUNGSI *ULTRASONIC TEST* SONOSCREEN ST10 MENGUNAKAN TEKNIK *IMMERSION*

Muhammad Fauzi, Helmi, Setia Permana, Antonio Gogo  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

Dalam rangka revitalisasi fasilitas dan peralatan *hotcell* Instalasi Radiometalurgi telah dipasang 2 unit peralatan *Ultrasonic Testing* Sonoscreen ST10 dengan jenis *transducer* menggunakan teknik *Immersion*. *Ultrasonic Testing* Sonoscreen ST10 merupakan salah satu alat uji tak merusak pada kegiatan *Post-Irradiation Examination*, yang digunakan untuk mengetahui lokasi dan dimensi cacat pada *spent fuel* akibat dari penggunaan di dalam reaktor. Uji fungsi alat *Ultrasonic Testing* Sonoscreen ST10 dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa alat mampu beroperasi dengan baik dan memiliki sensitivitas serta resolusi pengukuran yang memenuhi persyaratan uji. Benda uji yang digunakan pada uji fungsi dengan teknik *immersion* adalah blok standar kalibrasi dan sample pelat. Pengujian dilakukan pada blok standar kalibrasi dengan ketebalan 100 mm (dengan dan tanpa cacat) dan 25 mm dan pelat dengan ketebalan 1, 3 mm (tanpa cacat). Hasil uji fungsi menunjukkan bahwa alat mampu mengukur ketebalan benda uji dengan akurasi sebesar 2,48%. Uji sensitivitas dan resolusi pada blok standar kalibrasi mendapatkan bahwa alat mampu mendeteksi cacat terkecil sebesar 1,5 mm dan membedakan cacat yang terletak berdekatan sebesar 6 mm. Adapun pengujian pada pelat perlu dilakukan penggantian *transducer* dengan frekuensi yang lebih tinggi untuk mendapatkan hasil interpretasi sinyal yang lebih jelas.

Kata Kunci : *Ultrasonic Testing*, , *transducer* dengan teknik *immersion*, sensitivitas, resolusi

### PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi merupakan fasilitas yang berperan dalam kegiatan *Post-Irradiation Examination* (PIE). Kegiatan PIE diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja material yang telah teriradiasi di dalam reaktor. Informasi yang diperoleh dari kegiatan PIE digunakan oleh *designer*, *fabricator*, dan operator reaktor dalam rangka perbaikan dan peningkatan desain bahan bakar dari segi keselamatan dan ekonomi. Selain itu data-data kegiatan PIE digunakan oleh Badan Pengawas untuk penilaian keselamatan dan keberlanjutan perizinan pengoperasian instalasi nuklir.<sup>[1]</sup>

Salah satu kegiatan PIE di Instalasi Radiometalurgi adalah kegiatan uji tak merusak (*Non-Destructive Test/NDT*) terhadap *spent fuel* dari Reaktor Serba Guna – G.A.Siwabessy (RSG-GA S), yang telah dilakukan pendinginan sebelumnya selama 100 hari. *Spent fuel* RSG-GAS berbentuk pelat dengan dimensi panjang 629 mm, lebar 76 mm dan tebal 1,3 mm. Selain itu, dilakukan juga uji tak merusak pada *short pin* PWR yang memiliki dimensi dengan diameter 10,575 mm dan panjang 460 mm. Metode uji tak merusak yang sering digunakan pada PIE adalah *Radiographic* dan *Ultrasonic Testing*<sup>[2]</sup>. Pada fasilitas fabrikasi bahan bakar untuk RSG-GAS telah dilakukan pengujian pra iradiasi menggunakan *Ultrasonic Testing* untuk mengetahui ada tidaknya *blister* (rongga

udara) di dalam pelat bahan bakar. Oleh karena itu, metode pengujian *spent fuel* pada kegiatan PIE dipilih *Ultrasonic Testing* untuk mengetahui perbandingan data hasil uji pra dan pasca iradiasi pada pelat bahan bakar.

Dalam rangka revitalisasi fasilitas dan peralatan *hotcell* Instalasi Radiometalurgi khusus pada kegiatan uji tak merusak, telah dipasang 2 unit peralatan *Ultrasonic Testing* Sonoscreen ST10 dengan jenis transducer menggunakan teknik *Immersion*. Pemilihan teknik *immersion* berdasarkan pada tingkat paparan radiasi yang sangat tinggi pada benda uji (*spent fuel*) sehingga *transducer* tidak boleh kontak langsung dengan benda uji. Penggunaan *Ultrasonic Testing* Sonoscreen ST10 pada PIE adalah untuk mengetahui lokasi dan jenis cacat dari *spent fuel* sebagai akibat dari penggunaan di dalam reaktor. Kegiatan uji fungsi ini dilakukan untuk memastikan bahwa alat mampu beroperasi dengan baik dan memiliki sensitivitas serta resolusi pengukuran yang baik.

**TEORI**

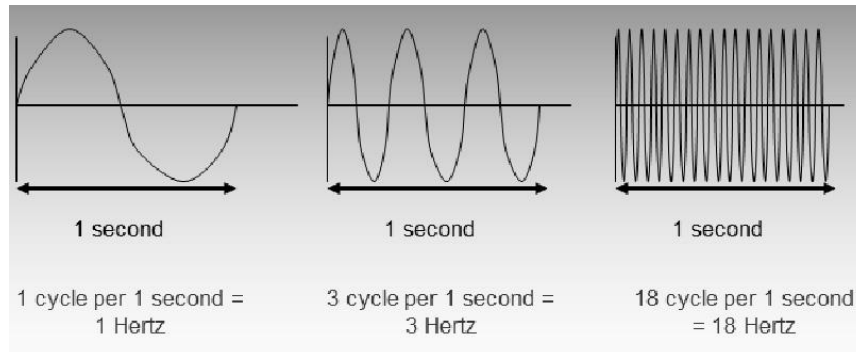
Metode *Ultrasonic* menggunakan energi suara frekuensi tinggi (20 KHz – 10 MHz) dalam melakukan suatu pengujian dan pengukuran. Suara dihasilkan dari benda yang bergetar, dan bergerak dalam bentuk gelombang suara. Gelombang suara dapat merambat pada medium padat, cair, dan gas. Setiap material memiliki daya tahan dalam mengirimkan gelombang suara, tergantung pada densitas dan kecepatan rambat di dalam material tersebut. Daya tahan material untuk menghubungkan satu material terhadap material lain secara *ultrasonic* disebut impedansi akustik. Besar impedansi akustik beberapa material ditunjukkan pada Tabel 1.<sup>[3]</sup>

Tabel 1. Nilai impedansi akustik beberapa material

Material	Impedansi (gram/cm <sup>2</sup> -sec)	Kecepatan (cm/sec)	Densitas (gram/cm <sup>3</sup> )
Udara	0,0003 x 10 <sup>5</sup>	0,33 x 10 <sup>5</sup>	0,001
Air	1,49 x 10 <sup>5</sup>	1,49 x 10 <sup>5</sup>	1
Alumunium	17,21 x 10 <sup>5</sup>	6,35 x 10 <sup>5</sup>	2,71
Besi	45,63 x 10 <sup>5</sup>	5,58 x 10 <sup>5</sup>	7,8

Tabel 1 menunjukkan bahwa material padat merupakan konduktor yang paling baik untuk mengirimkan gelombang suara berdasarkan besarnya nilai kecepatan rambat suara yang melalui material tersebut. Gelombang tidak hanya dipantulkan oleh permukaan suatu benda tetapi juga dipantulkan oleh cacat internal yang berada di dalam struktur benda tersebut. Semakin kuat pengaruh interaksi gelombang *ultrasonic* dengan material, semakin pendek panjang gelombang dan semakin besar frekuensi gelombang. Pada kondisi ini gelombang *ultrasonic* harus digunakan pada *range* frekuensi 0,5 MHz –

25 MHz sehingga akan menghasilkan panjang gelombang dalam satuan mm. Jika frekuensi gelombang yang digunakan lebih kecil (kurang dari 0,5 MHz), maka pengaruh interaksi gelombang terhadap cacat di dalam benda uji akan semakin kecil, akibatnya hasil pengujian menjadi kurang valid. Pola gelombang dengan frekuensi yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 1.



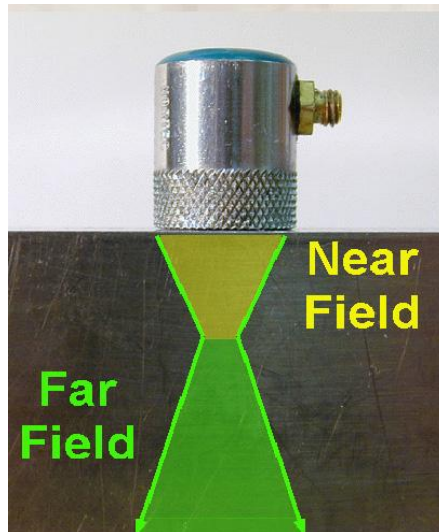
Gambar 1. Pola gelombang pada frekuensi 1 Hz; 3 Hz; dan 18 Hz

Semakin rendah frekuensi maka pengaruh interaksi gelombang terhadap cacat internal akan semakin kecil sehingga deteksi cacat akan semakin sulit, hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan pada persamaan 1. Sebaliknya, semakin rendah panjang gelombang, maka sensitivitas akan semakin tinggi. Sensitivitas merupakan kemampuan sistem dalam mendeteksi cacat terkecil dalam sebuah benda uji.<sup>[4]</sup>

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

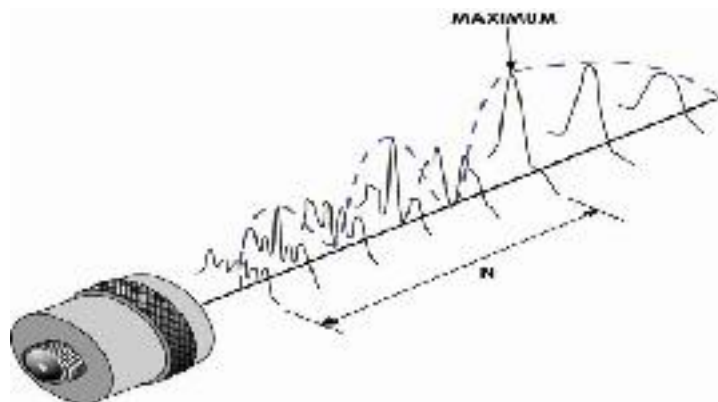
dengan :  $\lambda$  : Panjang Gelombang (mm)  
 $C$  : Cepat rambat gelombang (km/s)  
 $f$  : Frekuensi (MHz)

Komponen yang paling penting dari peralatan *Ultrasonic Testing* (UT) adalah transducer/ probe, yang berfungsi untuk menghasilkan gelombang *ultrasonic* kemudian ditransmisikan ke dalam benda uji dan menerima kembali pantulan gelombang tersebut. Probe diletakkan di permukaan benda uji dan digerakkan/*scanning* sepanjang benda yang diuji. Area pancaran gelombang *ultrasonic* dibagi menjadi 2 area, yaitu konvergen (*near field*) dan divergen (*far field*) seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Panjang area *near field* dan *far field* tergantung pada diameter dan frekuensi probe serta cepat rambat gelombang dalam benda uji.<sup>[4]</sup>



Gambar 2. Area Pancaran Gelombang *Ultrasonic*.

Pengujian pada area *near field* tidak direkomendasikan, karena pada area tersebut gelombang *ultrasonic* yang dipancarkan oleh probe memiliki intensitas yang beragam (belum stabil) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini. <sup>[4]</sup>



Gambar 3. Pola gelombang di area *near field*

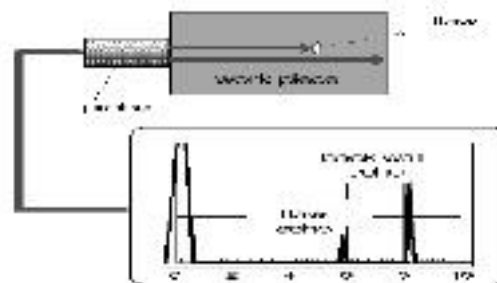
Panjang area *near field* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut,

$$Near\ field = \frac{d^2 \times f}{4 \times v}, \tag{2}$$

dengan d adalah diameter probe, f adalah frekuensi probe, dan v adalah kecepatan suara dari benda uji. <sup>[5]</sup>

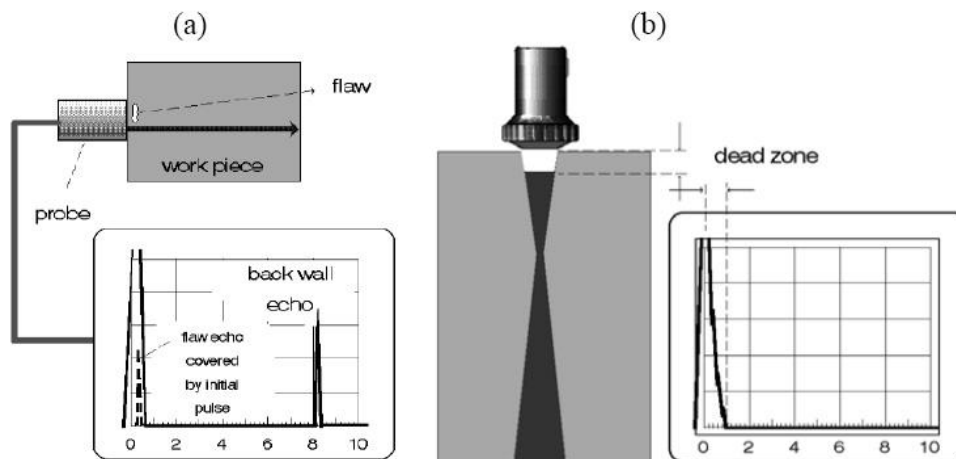
Prinsip kerja *Ultrasonic* adalah mengirimkan dan menerima kembali gelombang yang dipancarkan ke dalam benda uji. Pertama kali probe memancarkan gelombang *ultrasonic* terbentuk *peak* pertama di layar, yang disebut *Initial pulse* (IP). *Initial pulse* merupakan pembangkitan tegangan dari amplifier untuk menghasilkan gelombang *ultrasonic* pada probe. Gelombang tersebut akan merambat di dalam benda uji dan akan dipantulkan kembali ke probe oleh dasar benda uji, sehingga terbentuklah *peak* kedua

pada layar yang disebut *Backwall echo* (BE). Jarak antara *initial pulse* dan *backwall echo* merupakan ketebalan dari benda uji. Apabila terdapat cacat di dalam benda uji maka akan terbentuk *peak* ketiga yang berada di antara *initial pulse* dan *backwall echo*, yang disebut *Flaw echo* (FE). Posisi cacat di dalam benda uji dapat diketahui dengan melihat jarak antara *initial pulse* dan *flaw echo*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan sinyal pada benda uji dengan sebuah cacat internal.

Apabila cacat berada di dekat permukaan benda uji maka cacat tersebut akan sulit dideteksi karena *flaw echo* berada dalam area *initial pulse*. Area ini disebut *Dead zone*. *Dead zone* tergantung pada *setting* pengujian, yaitu sesuai probe dan instrument uji yang digunakan. *Dead zone* dapat diminimalkan dengan pemilihan peralatan uji yang tepat.<sup>[4]</sup>



Gambar 5. (a). Cacat dekat permukaan (b). *Dead zone*.

Berdasarkan cara penggunaannya transducer dibedakan menjadi 2 teknik, yaitu kontak dan *immersion*. Teknik kontak, dilakukan dengan menempelkan langsung transducer di permukaan benda uji dengan menggunakan bahan perantara (penghantar) yang disebut *Couplant*. *Couplant* dapat berupa air, pelumas, minyak, atau material lain yang berfungsi untuk menghilangkan *gap* udara diantara transducer dan benda uji. Pada teknik *immersion*, transducer didesain untuk bisa beroperasi di medan berair. Transducer dan benda uji diletakkan di dalam tangki yang berisi air<sup>[5]</sup>. Dalam teknik *immersion*, jarak antara probe dengan benda uji harus diatur sedemikian rupa sehingga *first surface-echo* tidak muncul sebelum *backwall echo* muncul pada layar. Hal ini disebabkan jika *first*

*surface-echo* muncul sebelum *backwall echo*, *peak* tersebut akan diindikasikan sebagai sebuah cacat di dalam benda uji, sehingga dapat menyebabkan kesalahan interpretasi. *First surface-echo* merupakan *peak* yang muncul sebagai akibat interaksi gelombang *ultrasonic* mulai masuk ke dalam benda uji setelah melalui material lain (*couplant*) yang berbeda dengan material benda uji. *First surface-echo* secara umum disebut dengan *Initial Entry (IE)*.<sup>[6]</sup>

Transducer yang digunakan dalam pengujian harus memiliki sensitivitas dan resolusi yang bagus. Sensitivitas adalah kemampuan transducer untuk mendeteksi cacat terkecil dalam suatu benda uji. Sesuai dengan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) transducer memiliki sensitivitas yang bagus jika mampu mendeteksi cacat sampai dengan ukuran 1,5 mm. Resolusi adalah kemampuan transducer untuk membedakan 2 atau lebih cacat yang terletak berdekatan satu sama lain di dalam benda uji.

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Uji fungsi dengan metode UT ini menggunakan *UltrasonicFlaw Detector* tipe Sonoscreen ST10 dengan spesifikasi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 di bawah ini<sup>[7]</sup>.

Tabel 2. Spesifikasi *Ultrasonic* Sonoscreen ST10

<b>Data Umum</b>	
Dimensi	310 x 206 x 77 mm
Range suhu	Suhu penyimpanan: -20 sampai +60 °C Suhu operasi: -20 sampai +60 °C
<i>Charging operation</i>	Via <i>power supply</i> eksternal dengan <i>range</i> input (100 - 240V; 1,07A)
Mode Operasi	<i>Pulse-echo, Transmit-Receive, Through-Transmission</i>
Range pengukuran	10 – 10000 mm
Kecepatan suara Standar	Dapat diatur 500 – 10000 m/s DIN EN 12688, ASTM 1324
<b>Layar</b>	
Dimensi A-scan	Ukuran: 156 x 76 mm Resolusi: 720 x 350 pixel
Mode A-scan	Normal
<b>Transmitter</b>	
Bentuk pulsa	Persegi panjang, searah
Polaritas	Negatif
Tegangan	50 – 400 V
Lebar pulsa	20 – 1000 ns
Frekuensi perulangan pulsa	4 step (maksimum, <i>high, medium, low</i> )
<b>Receiver</b>	
Amplifier	<i>Range</i> dinamis: 0 – 110 dB

Koreksi <i>Reject</i> Ukuran amplitudo	Kenaikan: 0; 0,5; 1; 2; 6; 12 dB <i>Full-wave</i> ; positif/negatif <i>half-wave</i> ; RF 0 – 80 % tinggi <i>screen</i> 0 – 125 % tinggi <i>screen</i>
<b>Penyimpanan Data</b> Kapasitas penyimpanan  Pilihan penyimpanan	Internal : 2GB (60000 A-scan) Eksternal : USB <i>flash drive</i> Internal dan eksternal: <i>Screenshot</i> (semua parameter, A-scan, konteks pengukuran, Tanggal dan waktu), Setup ( <i>setting</i> peralatan dan probe), <i>database</i> material dan probe

Jenis transducer yang digunakan adalah *immersion pulse-echo* dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. IK-5-6

Tabel 3. Spesifikasi transducer IK-5-6

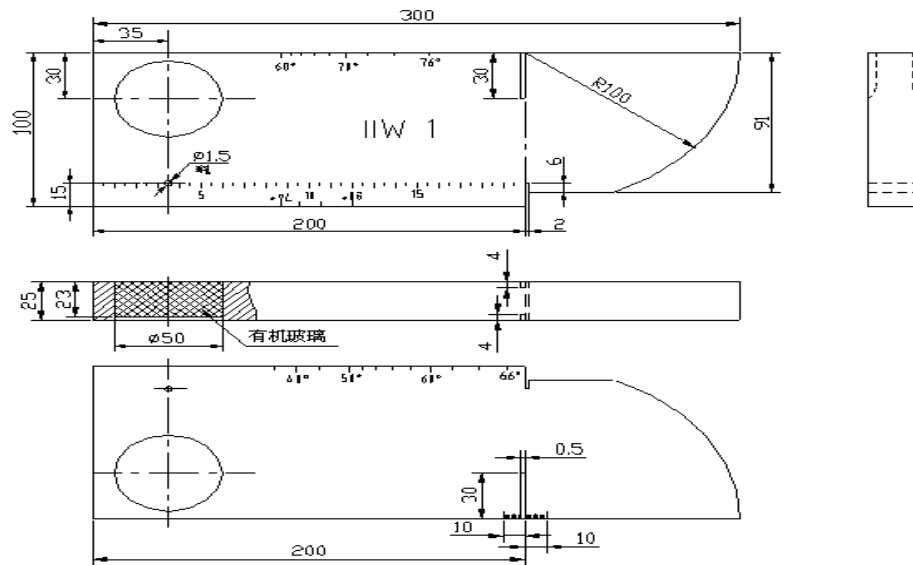
Delay Time	58,555 $\mu$ s
Delay Sound Speed	2700 m/s
Damping	50 $\Omega$
Frekuensi	5 MHz
Effective Diameter	5,90 mm
Angle	0.0 <sup>0</sup>
X-Measure	0.0 mm
Ampilutde Correction	0.0 dB
Filter	0.5 – 20 MHz

2. IK-5-10

Tabel 4. Spesifikasi transducer IK-5-10

Delay Time	32,065 $\mu$ s
Delay Sound Speed	2700 m/s
Damping	50 $\Omega$
Frekuensi	5 MHz
Effective Diameter	9,80 mm
Angle	0.0 <sup>0</sup>
X-Measure	0.0 mm
Ampilutde Correction	0.0 dB
Filter	0.5 – 20 MHz

Objek yang digunakan sebagai benda uji adalah Blok Standar Kalibrasi *International Institute of Welding* (IIW) tipe 2 (sketsa benda uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan pelat dengan jenis material aluminium).



Gambar 6. Sketsa blok standar kalibrasi IIW type 2

**Cara kerja**

1. Pengujian pada blok standar kalibrasi.

a. Pengukuran ketebalan benda uji

Pengujian dilakukan pada blok standar kalibrasi dengan ketebalan 100 mm dan 25 mm dengan cara memasukkan blok ke dalam bak yang telah berisi air dengan posisi berdiri dan tidur. Probe kemudian diletakkan tepat diatas blok pada bagian yang tidak terdapat cacat dan diatur hingga muncul *peak* di layar monitor. Jarak probe terhadap benda uji selanjutnya diatur sehingga posisi IE berada dibelakang BE. Nilai ketebalan benda uji ( $\Delta s$ ) diperoleh dengan menempatkan gate 1 pada IP dan gate 2 pada BE.

b. Penentuan lokasi cacat terkecil pada benda uji

Pengujian dilakukan dengan memasukkan standar kalibrasi ke dalam bak yang telah diisi dengan air dan diletakkan pada posisi berdiri. Probe kemudian diletakkan tepat di atas blok pada bagian yang terdapat cacat dengan ukuran (diameter) 1,5 mm pada benda uji. Posisi probe kemudian diatur hingga muncul *peak* di layar monitor. Jarak probe terhadap benda uji selanjutnya diatur sehingga posisi IE berada di belakang BE<sub>1</sub>. Nilai posisi cacat pada benda uji ( $\Delta s$ ) diperoleh dengan meletakkan gate 1 pada IP dan gate 2 pada FE.

c. Penentuan lokasi beberapa cacat yang saling berdekatan pada benda uji.

Pengujian dilakukan dengan memasukkan blok standar kalibrasi ke dalam bak yang telah diisi dengan air dan diletakkan pada posisi berdiri. Probe kemudian diletakkan tepat di atas blok pada bagian yang terdapat cacat yang posisinya



saling berdekatan satu sama lain. Posisi probe selanjutnya diatur hingga muncul spektrum di layar monitor dengan 3 *peak* yang berdekatan dan dapat dibedakan secara jelas satu sama lain.

## 2. Pengujian pada pelat

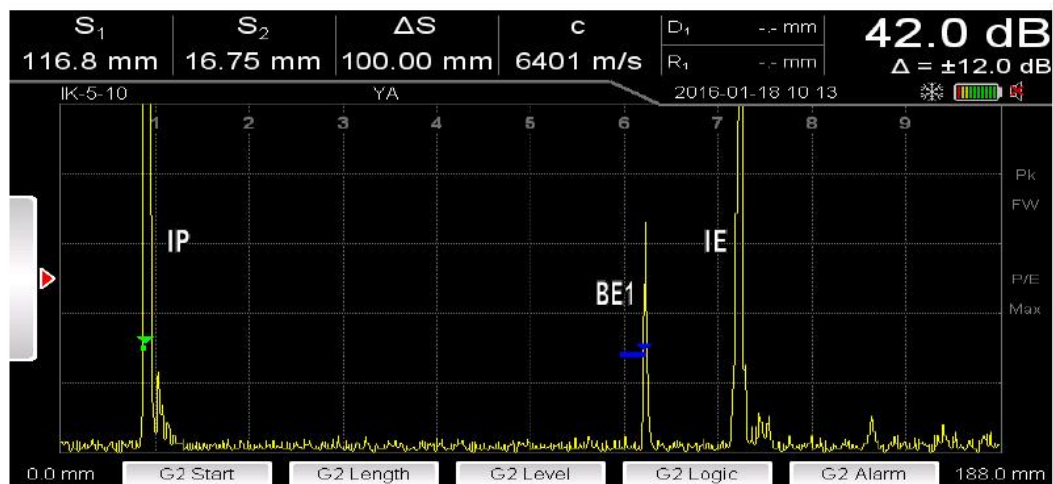
Pengujian dilakukan dengan memasukkan pelat dengan ketebalan 1,3 mm ke dalam bak yang telah diisi dengan air. Posisi probe kemudian diatur hingga muncul spektrum di layar monitor. Sinyal yang muncul kemudian dianalisis untuk menghitung *peak* spektrum yang merupakan IP dan BE<sub>1</sub>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengujian pada blok standar kalibrasi

#### a. Pengujian ketebalan

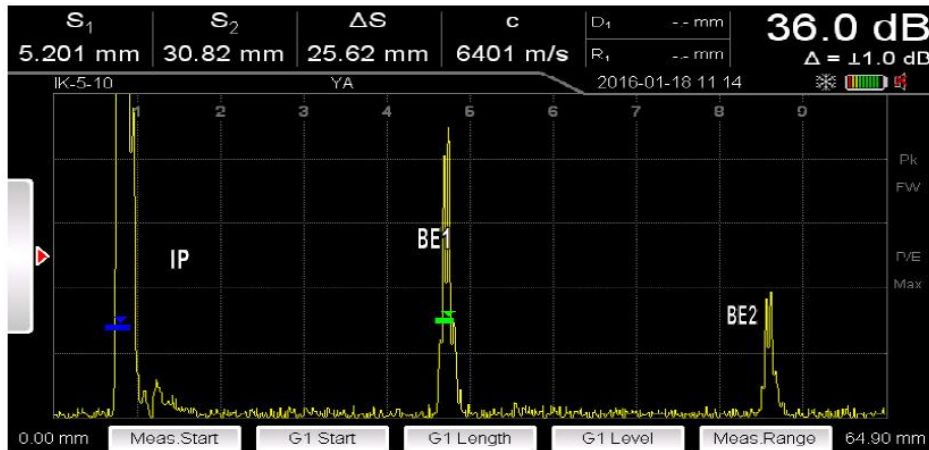
Hasil pengukuran ketebalan pada blok standar kalibrasi dengan ketebalan 100 mm berupa spektrum dengan 3 puncak spektrum ( IP, BE<sub>1</sub> dan IE) seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Output sinyal pada ketebalan 100 mm

Gambar 7 menunjukkan bahwa *gate 2* ( $S_2$ ) berada pada IP dan *gate 1* ( $S_1$ ) berada pada BE<sub>1</sub> sehingga diperoleh nilai  $\Delta S$  sebesar 100,00 mm. Nilai tersebut adalah nilai ketebalan blok standar kalibrasi. Fakta ini menunjukkan bahwa pengukuran ketebalan pada ketebakan 100 mm memberikan data pengujian yang akurat.

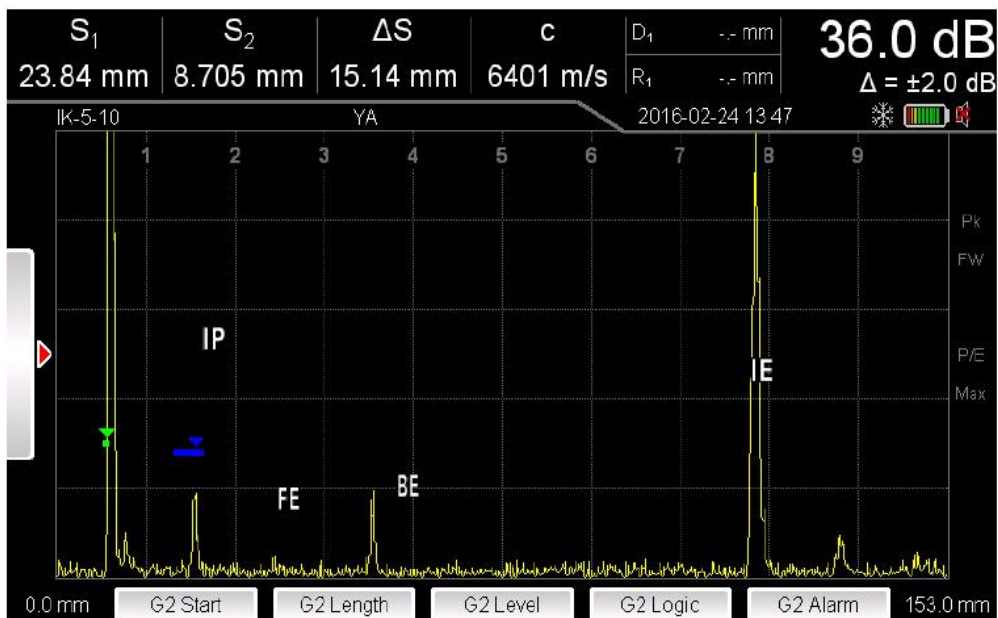
Hasil pengujian blok standar kalibrasi dengan ketebalan 25 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Output sinyal pada ketebalan 25 mm

Pada Gambar 8 terlihat bahwa *gate 2* ( $S_2$ ) berada pada IP dan *gate 1* ( $S_1$ ) berada pada  $BE_1$ , sehingga nilai  $\Delta S$  diperoleh sebesar 25,62 mm. Akurasi pengukuran yang merupakan perbedaan ketebalan dari pengukuran dan ketebalan sebenarnya sebesar 2,48%. Untuk mendapatkan nilai akurasi dan presisi pengujian ketebalan masih perlu dilakukan beberapa kali pengulangan pengukuran.

b. Uji Sensitivitas

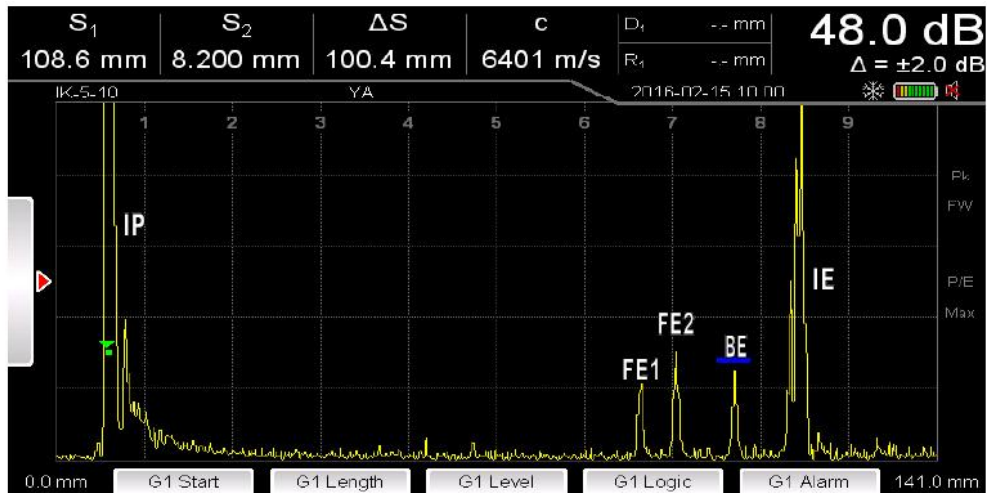


Gambar 9. Output sinyal uji sensitivitas

Pada Gambar 9 terlihat bahwa *gate 2* ( $S_2$ ) berada pada IP dan *gate 1* ( $S_1$ ) berada pada FE, sehingga nilai  $\Delta S$  diperoleh sebesar 15,14 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa cacat berada pada kedalaman  $\pm 15,14$  mm dari permukaan. Berdasarkan sketsa blok standar kalibrasi diketahui bahwa

besarnya ukuran cacat adalah  $\varnothing$  1,5 mm. Fakta ini menunjukkan bahwa probe mampu mendeteksi cacat dengan sensitivitas yang baik, sesuai dengan ketentuan dari ASME.

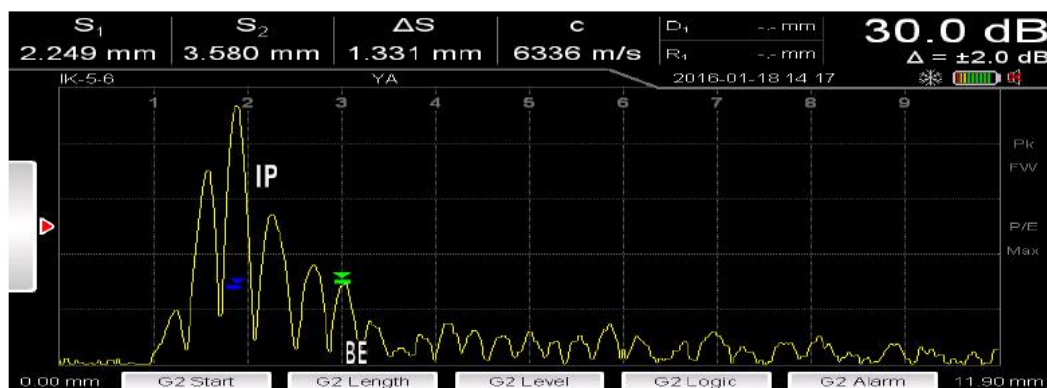
### c. Uji Resolusi



Gambar 10. Output sinyal uji resolusi

Pada Gambar 10 terlihat bahwa diantara IP dan BE terdapat 2 *peak* yang saling berdekatan yaitu FE1 dan FE2. Hal tersebut menunjukkan bahwa di dalam benda uji terdapat 2 cacat yang terletak berdekatan. Berdasarkan sketsa blok standar kaibrasi diperoleh bahwa jarak cacat dari permukaan ke dalam benda uji adalah 85 dan 91 mm, sedangkan ketebalan benda uji adalah 100 mm. Fenomena ini membuktikan bahwa probe mampu memperlihatkan 3 *peak* dengan jelas yaitu 2 *peak* interpretasi dari cacat internal dan 1 *peak* interpretasi dari ketebalan benda uji. Berdasarkan fakta ini dapat dinyatakan bahwa probe memiliki resolusi yang baik untuk melakukan pengujian.

## 2. Pengukuran pada pelat



Gambar 11. Output sinyal pada ketebalan 1,3 mm

Gambar 11 menunjukkan bahwa *gate 1* ( $S_1$ ) berada pada IP dan *gate 2* ( $S_2$ ) berada pada  $BE_1$  sehingga diperoleh nilai  $\Delta S$  sebesar 1,331 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketebalan benda uji sebesar 1,331 mm. Pada tampilan terlihat bahwa *peak* antar sinyal berhimpitan satu sama lain, sehingga menyulitkan dalam menginterpretasikan sinyal (sulit dalam menentukan ketebalan benda uji dan ada tidaknya cacat dalam benda uji). Hal ini disebabkan area pengukuran masih berada di dalam *dead zone*, akibatnya *backwall echo* dan *initial entry* tercampur menjadi satu di dalam *initial pulse*. Pengukuran ini juga masih berada di area *near field*. Pada area tersebut pembentukan gelombang masih belum stabil, akibatnya *peak* sinyal yang ditampilkan di A-scan tidak beraturan dan sulit untuk diinterpretasikan. Salah satu cara untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat pada pengujian benda uji tipis adalah menggunakan probe dengan frekuensi yang tinggi. Semakin tinggi frekuensi gelombang yang dihasilkan probe, panjang gelombang akan semakin pendek dan sensitivitas probe semakin tinggi, sehingga pembentukan gelombang pada A-scan akan semakin mudah untuk diinterpretasikan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian ketebalan blok standar kalibrasi diperoleh bahwa alat *ultrasonic Sonoscreen ST 10* mampu mengukur ketebalan 100 mm dan 25 mm dengan akurasi lebih kecil dari 0, 2,48 %. Hasil pengujian sensitivitas mendapatkan bahwa probe mampu mendeteksi cacat dengan ukuran 1,5 mm dengan jarak 6 mm di dalam blok standar kalibrasi sesuai dengan yang tercantum dalam ASME. Resolusi pengujian menunjukkan bahwa probe mampu mendeteksi 2 cacat yang berdekatan dengan jelas yaitu pada jarak 85 dan 90 mm dari permukaan blok standar kalibrasi dengan ketebalan 100 mm.

Pengujian terhadap benda uji yang tipis, seperti bentuk pelat perlu dilakukan penggantian *transducer* dengan frekuensi yang lebih tinggi, minimum 20 MHz untuk mendapatkan hasil interpretasi sinyal yang lebih jelas.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Babha Atomic Research Centre, "*Nuclear Fuel Cycle – Post Irradiation Examination*", pp. 38- 45, 2006 – 2007.
2. M. Willcox and G. Downes, "*A Brief Description of NDT Techniques Table of Contents*," no. 771, pp. 1–22, 1981.
3. Sabolik, Mark J., UTGen Software, 1995 – 2008.
4. Berke, Michael, "*Nondestructive Material Testing with Ultrasonic – Introduction to the*

- Basic Principles”, Krautkramer, 2000.
5. Chong, Charlie, “Introduction to Ultrasonic Testing”, NDT Education Resource Center, 2014.
  6. T. Martin, S. Knaak, and J. Aktaa, “Immersion Ultrasonic Testing on EUROFER Welded Joints for Determination of the Minimum Detectable Flaw Size,” pp. 1–9, 2010.
  7. SONOTEC USA Inc, "*Manual Book: Ultrasonic Flaw Detector SONOSCREEN ST10 For Nondestructive Testing*", New York, 2014.