



WELDING DENGAN MENGGUNAKAN PENERAP PENGUJIAN HASIL LASAN GAS TUNGSTEN ARC PADA SAMBUNGAN BUTT WELD

Arif Rahman Hakim¹, Joni Mart Sitio²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kepulauan Jl. Batu Aji Baru, Batam, Propinsi Kepulauan Riau

Corresponding Author : arhakim88@yahoo.com

ABSTRAK

Kegagalan pada sebuah *plant* baik pada bagian struktural ataupun perpipaan masih sering terjadi. Hal ini disebabkan salah satunya adanya cacat pengelasan yang tidak dideteksi dengan benar pada proses pabrikasi. Saat ini konsumen menginginkan suatu metode pengujian yang akurat dan memiliki data permanen yang dapat ditinjau kembali untuk memastikan kualitas hasil pengelasan tersebut. Metode *Phased Array Ultrasonic Testing* adalah yang paling tepat untuk proses ini. Karena itu perlu diberikan perhatian khusus mengenai tingkat keakuratan pengujian metode ini terhadap dimensi ukuran cacat. Dengan tujuan tersebut maka dilakukan suatu penelitian pada benda uji dengan material S355 yang memiliki ketebalan pelat yang berbeda yaitu 10,64mm dengan 17,75mm dan pada hasil lasan akan ditanam cacat buatan dengan metode pengeboran dengan dua ukuran kedalaman yang berbeda yaitu Ø 2,0mm x 10,0mm x 8,0mm dan Ø 2,0mm x 10,0mm x 13,0mm.

Faktor yang mempengaruhi hasil interpretasi *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) salah satunya adalah *focus depth*. Oleh karena itu kedua cacat buatan tersebut akan di uji dari kedua sisi ketebalan 10,64mm dan 17,75mm dengan menggunakan setup focusing depth yang berbeda 10,15 dan 20mm. Pemilihan setup *focusing depth* ini dilakukan dengan pendekatan terhadap ketebalan material benda uji yaitu ketebalan 10,64mm dan 17,75mm. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan *focus depth* 15mm memberikan tingkat akurasi diatas 80% untuk ukuran dimensi cacat serta pengujian cukup dilakukan dari satu sisi saja yaitu dari pelat ketebalan 17,75mm.

Kata Kunci: *Phased Array Ultrasonic Testing*, beda ketebalan, *focus Depth*, dimensi Cacat.

ABSTRACT

Failures in a plant either in the structural or piping parts are still common be happened. One of the root cause due to the presence of welding defects that were not detected properly in the manufacturing or fabrication process. Currently, consumers want a test method that is accurate and has permanent data that can be reviewed to ensure the quality of the welding results. The Phased Array Ultrasonic Testing method is the most appropriate for this purpose. Therefore, it is necessary to pay deep attention to the level of accuracy of the testing of this method on the sizes of the defects. With this aim, research was carried out on the test object with S355 material which has different plate thicknesses 10,64mm by 17,75mm and on the welding pool artificial defects will be located with drilling methods with two defects at different depth Ø2,0mm x 10,0mm in length x 8,0mm depth from the surface and Ø 2,0mm in diameter x 10,0mm in length x 13,0mm depth from the surface.

One of the factors that influences the size interpretation of Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) is focus depth. Therefore, the two artificial defects will be tested from both sides with a thickness of 10,64mm and 17,75mm using different focusing depth 10mm, 15mm and 20mm. The selection of this focusing depth setup is done by approaching to the thickness of the test object material, with thickness 10,64mm and 17,75mm. From the results of research that has been carried out a focus depth of 15mm provides an accuracy rate of above 80% for the dimensions of the defect and the test is enough to do from one side, namely from the plate thickness of 17,75mm.

Keywords: *Phased Array Ultrasonic Testing, Difference Thickness, Focus Depth, Dimension of Defect.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini banyak metoda NDT *Phased Array ultrasonic (PAUT)* adalah metode pengujian yang paling banyak direkomendasikan oleh para konsumen dikarenakan pengjerjaannya cepat dan tidak mengandung bahaya serta memiliki data permanen yang dapat ditinjau ulang saat dibutuhkan. Oleh karena metode pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT)* ini perlu diteliti mengenai bagaimana kemampuan deteksi dan keakuratan ukuran cacat pada sebuah benda uji dimana benda uji tersebut telah dibuatkan cacat buatan, serta mengetahui kendala apa saja yang dihadapi dalam melakukan setup *focusing depth* pada pengujian *phased array ultrasonic* untuk material yang memiliki ketebalan berbeda.

2. LANDASAN TEORI

Pengujian Phased Array ultrasonic (PAUT) merupakan metode uji tak rusak yang sangat canggih untuk mendeteksi cacat pada raw material ataupun hasil pengelasan dengan sangat cepat dan akurat. Metode ini merupakan pengembangan dari konvensional ultrasonic testing yang mana pada konvensional hanya memiliki satu atau dua tranduser/element saja. Tetapi untuk Phased Array Ultrasonic Testing ini probe yang dipakai adalah multi element seperti 16,32,64,128,256. Pancaran gelombang dari elemen-elemen ini dapat diarahkan dan difokuskan dengan menggunakan perangkat elektronik sehingga elemen-elemen tersebut dapat bekerja secara bersama-sama.

Focus depth merupakan satu parameter yang mempengaruhi keakurasiuk ukuran cacat pada pengujian PAUT. Nilai focus depth ini difungsikan sebagai target pemokuskan seluruh gelombang ultrasonic yang dihasilkan oleh semua elemen yang aktif sehingga menghasilkan resolusi dan ukuran cacat yang baik pada proses pengujian. Skematik Pengujian PAUT dapat dilihat pada gambar 2.1

Jenis pendekstian cacat dengan menggunakan Phased Array Ultrasonic testing terdiri dari dua jenis:

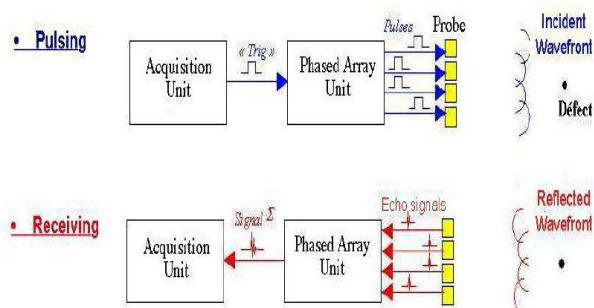
1. Pendekstian Dengan Sektoral Scanning

Pendekstian sektorl dilakukan karena lasan biasanya diperiksa dengan sudut probe 45° hingga 70° *beam steering* dengan *probe array* bertahap dapat diatur antara 35°-80°. Dengan mengetahui (jenis, lebar dan ketebalan) jarak *probe* optimal dapat dihitung untuk setiap hasil pengelasan. Kita dapat mulai mendekstsi area pengelasan dimulai dari area HAZ (*heat affected zone*) dengan memulai sudut minimum (35°) Gambar 2.2. Dalam pengujian

Sektoral scan ini kita dapat mengaktifkan bayak sudut (35-80°) untuk meliputi seluruh bagian pengelasan yang akan kita periksa mulai dari area *Root*, *Filler*, *Capping* dan daerah HAZ. Dengan menggunakan metode *scanning* ini maka waktu yang dibutuhkan dalam proses *scanning* relatif lebih singkat.

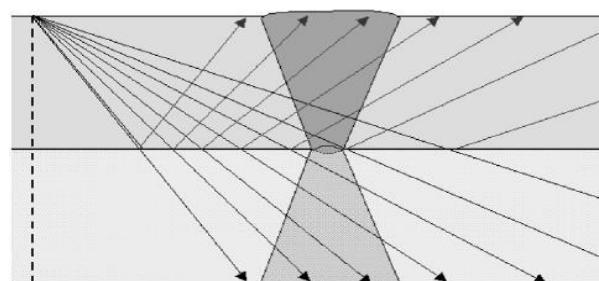
2. Pendekstian Dengan *Linear Scanning*

Pengujian dengan menggunakan *linear scanning* *Phased array* ini elemen-elemen yang tersusun

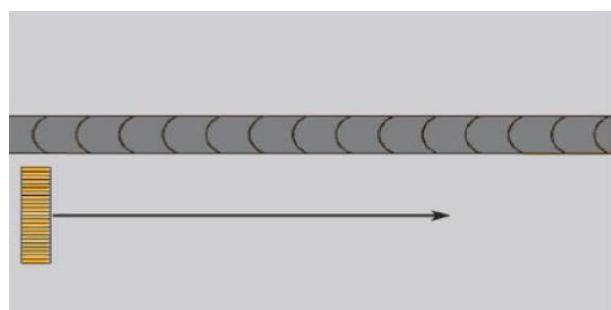


dalam probe tersebut dapat diarahkan pada satu sudut saja sehingga area yang dideteksi dapat tercapai tanpa harus menggerakkan probe maju atau mundur. Dengan menggunakan *Linear scan* ini waktu yang dibutuhkan akan lebih efisien dan pendekstian cacat yang khusus dapat dideteksi dengan sangat cepat dan jelas seperti cacat tidak fusi (*Lack of Side Wall Fusion*).

Gambar 2.1 Skematik Pengujian PAUT



Gambar 2.2 Posisi sudut gelombang sektorl scan

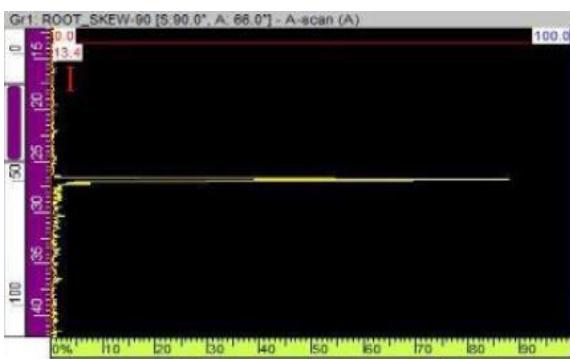


Gambar 2.3. Pendekstian dengan *linear scanning*.

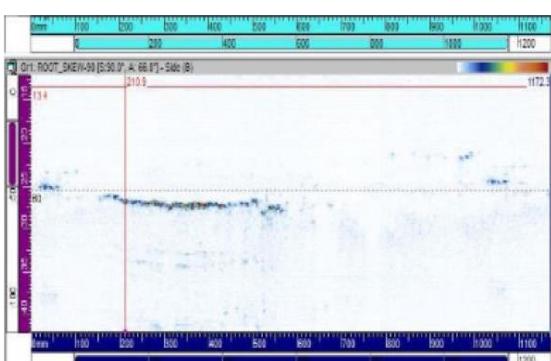
2.1 Tampilan Layar Pengujian Phased Array

Pada proses PAUT memiliki empat (4) pandangan untuk membaca hasil interpretasi sebuah cacat yang terdapat pada suatu material atau cacat hasil pengelasan atau diantaranya *A*, *B*, *C* dan *S*-scan. *A*-scan merupakan pandangan dari *pulse* yang menyatakan ada tidaknya cacat dari material ataupun hasil pengelasan atau merupakan pantulan gelombang *ultrasonic* dari dinding ketebalan suatu material (Gambar 2.4). *B*-scan berfungsi juga untuk mengetahui panjang maupun kedalaman cacat pada serta ketebalan dari logam induk saat kita melakukan interpretasi dari suatu material (Gambar 2.5). *C*-scan berfungsi menginterpretasikan sebuah hasil pengelasan dari tampak atas dengan tujuan untuk bisa mengetahui panjang sebuah cacat pada pengelasan (Gambar 2.6) dan yang terakhir adalah *S*-scan merupakan pandangan sectorial (Gambar 2.7).

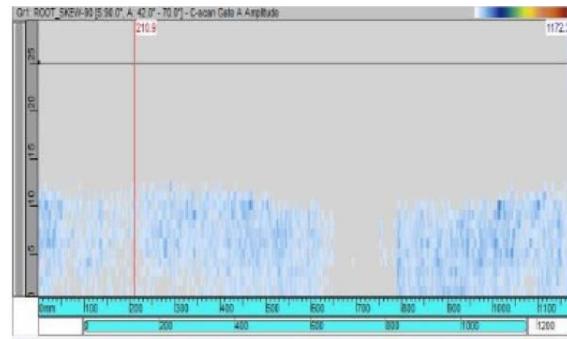
Pada proses interpretasi data, metode ini menggunakan *pulse* (gelombang *amplitude*) dan gambar interpretasi berupa warna yang menandakan bahwasanya adanya cacat dibenda uji, semakin besar dimensi sebuah cacat maka warna yang ditampilkan pada monitor semakin pekat sehingga semakin memudahkan kita untuk mengetahui letak dan posisi cacat dan dapat juga mengukur panjang, tinggi dan lebar sebuah cacat.



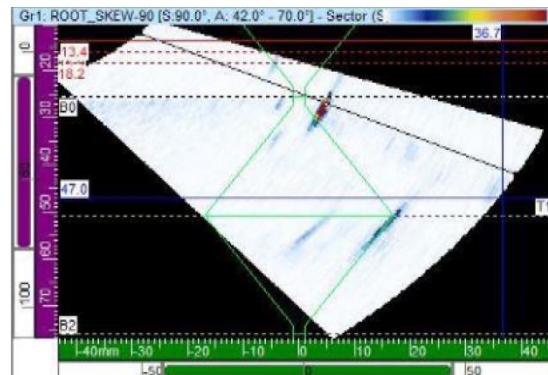
Gambar 2.4 Tampilan A-scan.



Gambar 2.5 Tampilan B-scan.



Gambar 2.6 Tampilan C-Scan.



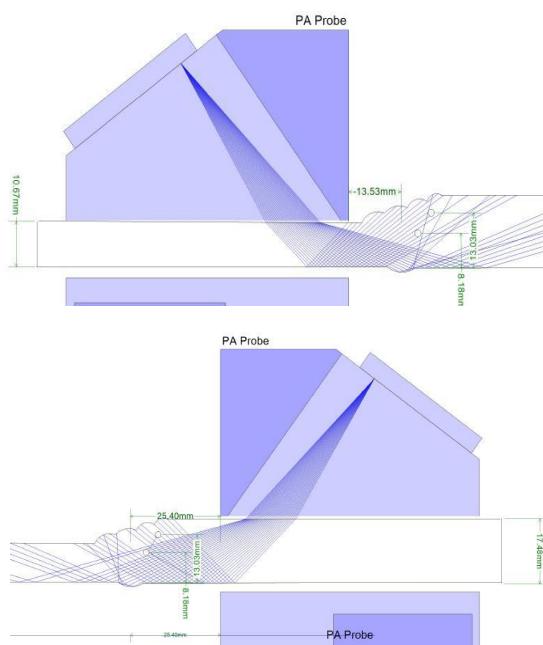
Gambar 2.7 Tampilan S-scan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini untuk memahami kegagalan yang terjadi pada pemeriksaan cacat pengelasan pada material yang berbeda ketebalan dengan menggunakan metode *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) dengan tujuan agar tidak ada cacat yang terkirim sampai ketangan konsumen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi pada saat produk tersebut terpasang pada *Plant*. Agar analisis ini dapat berjalan dengan baik maka diperlukan pembuatan benda uji dengan material S355 yang memiliki ketebalan pelat yang berbeda yaitu 10,64mm dengan 17,75mm. Kedua pelat yang berbeda ketebalan ini akan digabungkan dengan menggunakan proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Bentuk kampuh pengelasan adalah "V" dan sudut total kampuh las adalah $70^\circ \pm 5^\circ$. Setelah proses pengelasan selesai dengan akan dilakukan proses pembuatan cacat buatan (*Artificial Defect*) pada bagian pengelasan. Dan cacat buatan tersebut akan diperiksa metode *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT). Karena analisis yang digunakan untuk penilitian ini adalah analisis kegagalan maka perlu diketahui tahapan proses dan material yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kegagalan proses pengujian cacat pada lasan yang memiliki ketebalan berbeda tidak

terulang. Penelitian yang akan dilakukan ini meliputi kegiatan pengujian dan analisis penyebab resolusi yang buruk dari cacat pada layar monitor pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) yang akan mengakibatkan kesalahan dalam melakukan pengukuran panjang dan lebar cacat sebuah cacat. Pengujian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk mendapatkan informasi pendukung data teknis yang telah didapat sehingga menjadi bahan dalam analisis penyebab masalah tersebut.

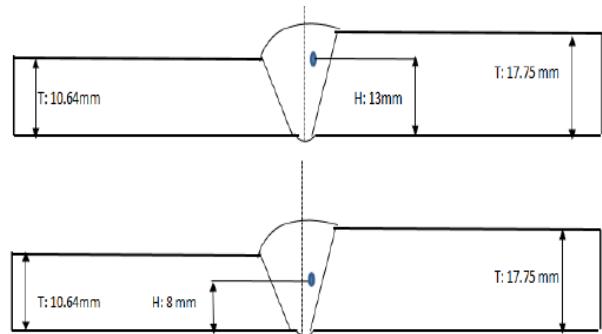
Software Beam Tool 8 digunakan dalam pembuatan *Scan plan* merupakan tahapan yang mempermudah kita untuk melakukan setup termasuk penentuan sudut dan elemen *Phased array* yang akan digunakan dalam meliputi seluruh area las-lasan yang ada seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Software Beam tool 8 (Beam Simulator).

3.1 Material Uji

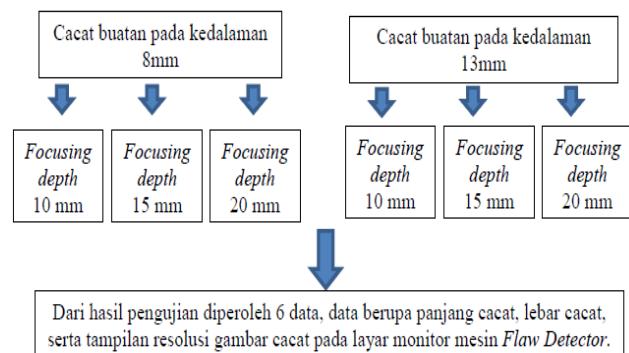
Material yang digunakan adalah pelat baja karbon S355 dengan ukuran awal 12 mm x 160mm x 110mm dan 20mm x 160mm x 110mm. Material ini merupakan material yang *similar* dengan material projek yang akan dikerjakan di kemudian hari. Untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan 10,64mm dan 17,75mm setelah proses pengelasan selesai akan dilakukan kegiatan *machining*.



Gambar 3.2 Sketsa cacat buatan

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penentuan *variable focusing depth* ini, melihat dari ketebalan dari material uji yang terdiri dari 10,64mm dan 17,75mm. Dalam teori PAUT bahwa cacat akan terlihat jelas pada posisi satu ketebalan benda uji (*Leg 1*), jika posisi cacat sudah berada pada posisi 2 ketebalan benda uji (*Leg 2*) maka akan terjadi reduksi intensitas *decibel* (db) pada pengujian. Maka melalui hal tersebut peneliti menggunakan parameter yang mendekati dengan ketebalan benda uji yaitu 10mm, 15mm dan 20mm.



Gambar 3.3 Bagan pengambilan data

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Parameter yang akan dimasukkan kedalam pengaturan alat *flaw detector* yang digunakan pada pengujian ini dapat dilihat pada table 1.

Table 1. Parameter Pengujian PAUT yang digunakan.

No	Jenis Parameter	Nilai
1	Jumlah Element	16
2	Start Element	49
3	Sudut Minimum	45 °
4	Sudut Maksimum	75 °
5	Angle Step	1 °
6	Focus Depth	10, 15 dan 20 mm
7	Index Offset	13,5 mm
8	Weld Cap	25 mm
9	Root Gap	1,6 mm
10	Root Face	1 mm
11	Bevel Angle	35 °

4.1 Kalibrasi

- **Kalibrasi Kecepatan Rambat gelombang**

Proses kalibrasi ini menggunakan blok kalibrasi V1 dengan menggunakan radius 100mm dan 225mm sebagai nilai set referensinya. Semua sudut 45 °- 75 ° harus menyentuh radius dari *calibration block*. Dengan menekan kalibrasi *velocity*, maka secara otomatis alat akan mendapatkan nilai *velocity* dari blok kalibrasi.

- **Kalibrasi Wedge Delay**

Proses kalibrasi ini adalah untuk mendapatkan nilai kompensasi *delay* dari *sound path* yang disebabkan oleh variasi ketebalan sepatu *probe* (*wedge*) pada sistem PAUT dengan tujuan agar setiap sudut dari elemen dapat membaca nilai kedalaman cacat yang sama. Proses kalibrasi ini menggunakan set referensi blok V1 dengan diameter lubang 1,5mm *Side Drilled Hole* (SDH) dan standar kedalaman *reflector* 15mm.

- **Kalibrasi Sensitivitas**

Dalam proses kalibrasi ini menggunakan 1,5mm dengan kedalam 15mm dan dengan toleransi pembacaan dalam *range* +/-5% dari nilai kedalaman *reflector*. Semua sudut yang telah ditentukan mulai dari 45 °-75 ° ketika menyentuh *reflector* yang telah ditetapkan, maka besaran *decibell* (db) respon dari masing-masing sudut harus memberikan respon 80% FSH. Hal ini dilakukan dengan menggeser *probe* maju dan mundur hingga semua sudut mengenai *reflector* yang ada pada kalibrasi blok.

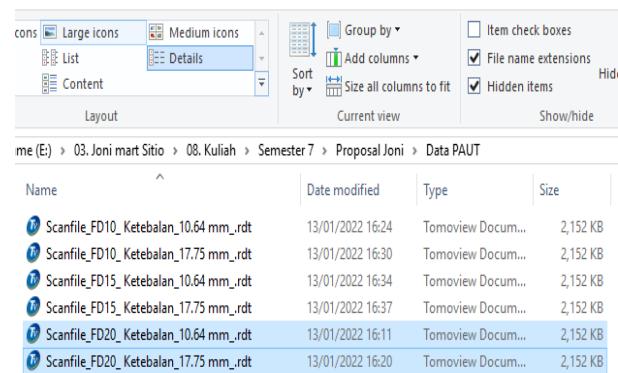
4.2 Pengumpulan Data (Data Collection)

Setelah selesai melakukan proses kalibrasi pada alat PAUT *flaw detector*, langkah selanjutnya adalah melakukan *bench mark* pada benda uji yang akan digunakan sebagai referensi *Stand off* dari *probe position* terhadap *center Welding capping. Marking*

ini akan dilakukan pada kedua sisi pada material yang memiliki ketebalan 10,64mm dan 17,75mm dengan nilai 23mm dari *center weld*. Kemudian akan dilanjutkan pengumpulan data berdasarkan table 2.

Table 2. Jumlah pengambilan data

No	Ketebalan Material	Jumlah data		
		Focus Depth 10mm	Focus Depth 15mm	Focus Depth 20mm
1	17,75mm	1	1	1
2	10,64 mm	1	1	1
Jumlah data		2	2	2



Gambar 4.1 Data Scanning PAUT

4.2 Pengukuran Dimensi Aktual Cacat Buatan Pada Benda Uji

Untuk mendapatkan data pembanding yang akan digunakan dalam pengujian PAUT ini. Harus dilakukan pengukuran dimensi cacat actual yang ditanam pada benda uji dengan menggunakan alat ukur digital caliper serta depth gauge pada benda uji meliputi:

- Pengukuran panjang.
- Pengukuran kedalaman cacat dari permukaan baik dari ketebalan material yang 10,64mm dan 17,75mm.
- Pengukuran ketinggian dari cacat buatan.

Adapun hasil pengukuran dimensi cacat actual pada benda uji dapat disajikan pada table dibawah ini.

Table 3. Dimensi Cacat Aktual Pada Benda Uji

No	Cacat 1			Cacat 2		
	Panjang (mm)	Ketinggian (mm)	Kedalaman dari Ketebalan (mm)	Panjang (mm)	Ketinggian (mm)	Kedalaman dari ketebalan (mm)
1	10,0	2,3	-1,0	4,5	10,3	2,2

4.3 Analisis Data

Proses analisis pada data hasil *scanning Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) dilakukan pada ke 6 data. Analisa akan dilakukan untuk mengetahui panjang cacat, kedalaman cacat dan ketinggian cacat. Teknik Pengukuran cacat tersebut dilakukan dengan metode berikut:

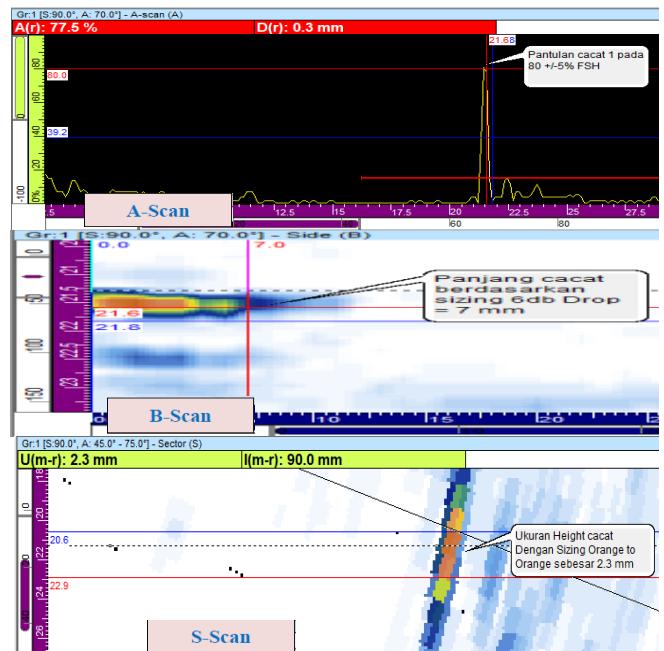
- Panjang cacat- metode pengukuran Panjang cacat dilakukan dengan 6db drop didapat pada tampilan *A-Scan* dan *B-Scan*.
- Kedalaman cacat - pengukuran kedalaman cacat dengan cara mencari pantulan *echo* tertinggi dari *reflector* didapat pada tampilan *A-Scan*.
- Ketinggian cacat - pengukuran ketinggian cacat dengan memposisikan pantulan *echo* cacat pada *A-Scan* 80% FSH dan *sizing* dilakukan pada tampilan *S-Scan* dengan metode *sizing Color to Color (Orange to Orange)*.
- Untuk pengambilan nilai dibelakang koma hanya akan diambil satu angka saja dan akan dilakukan pembulatan keatas untuk nilai yang lebih dari 0,5mm dan pembulatan kebawah untuk nilai yang kurang dari 0,5mm.

Analisa Data *Focus Depth* 10mm Pengujian dari Ketebalan 10,64mm.

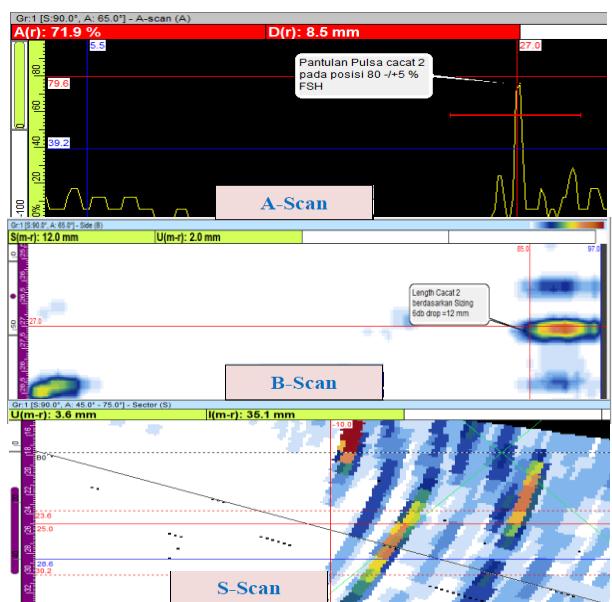
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi cacat pada table 4.

Table 4. Dimensi Cacat *Focus Depth* 10mm dari Ketebalan 10,64mm.

Cacat	Kedalaman	Ketinggian	Panjang
1	0,3mm	2,3mm	7,0mm
2	4,6 mm	2,7mm	10,0mm



Gambar 4.1 Tampilan cacat 1 pada *A-Scan*, *B-Scan* dan *S-Scan* dari ketebalan 10,64mm dengan *Focus Depth* 10mm



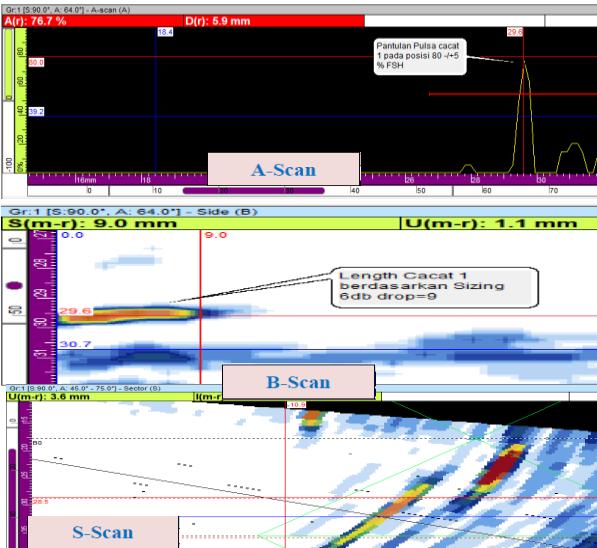
Gambar 4.2. Tampilan cacat 2 pada *A-Scan*, *B-Scan* dan *S-Scan* dari ketebalan 10,64mm dengan *focus depth* 10mm.

1. Analisa Data *Focus Depth* 10mm pengujian dari Ketebalan 17,75mm.

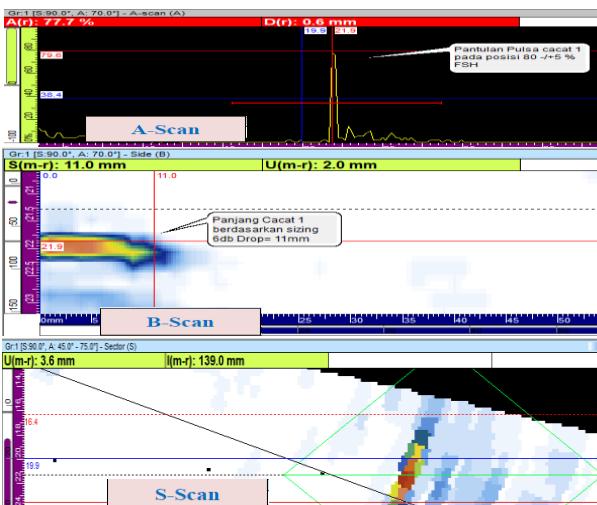
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi pada tabel 5.

Table 5. Dimensi Cacat *Focus Depth* 10mm dari Ketebalan 17.75mm.

Cacat	Kedalaman	Ketinggian	Panjang
1	5,9 mm	3,6mm	9,0mm
2	8,5 mm	3,6mm	12,0mm



Gambar 4.3 Tampilan cacat 1 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan *Focus Depth* 10mm



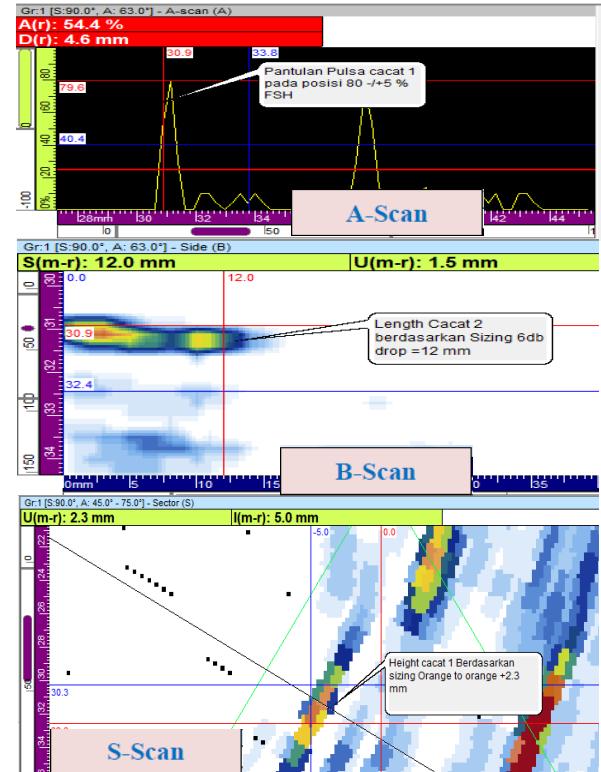
Gambar 4.4 Tampilan cacat 2 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan *Focus Depth* 10mm

3. Analisa Data *Focus Depth* 15mm pengujian dari Ketebalan 10,64mm.

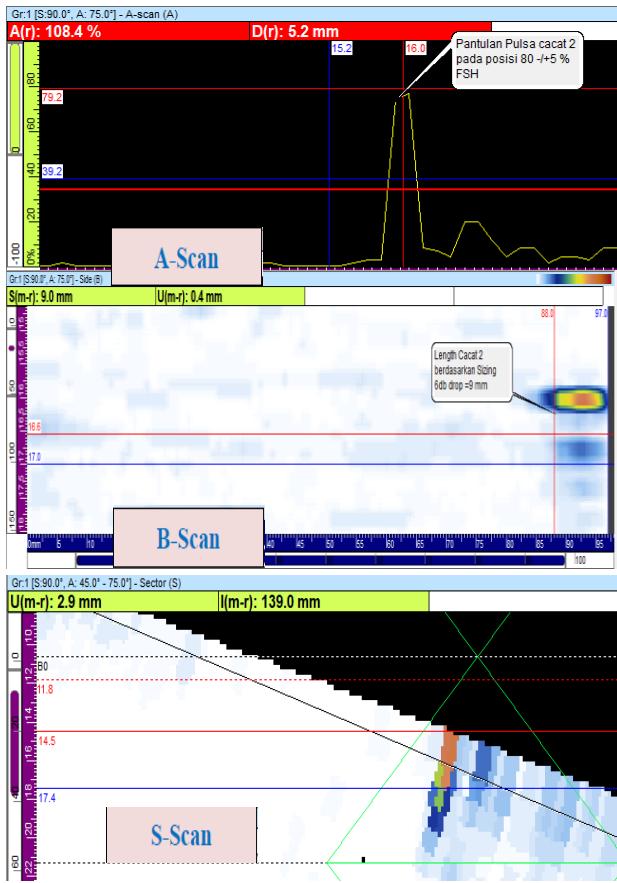
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi pada tabel 6.

Table 6. Dimensi Cacat *Focus Depth* 15mm dari Ketebalan 10.64mm.

Cacat	Kedalaman	ketinggian	Panjang
1	0,6 mm	3,6mm	11,0mm
2	5,2 mm	2,9mm	9,0mm



Gambar 4.5 Tampilan cacat 1 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 10.64mm dengan *Focus Depth* 15mm



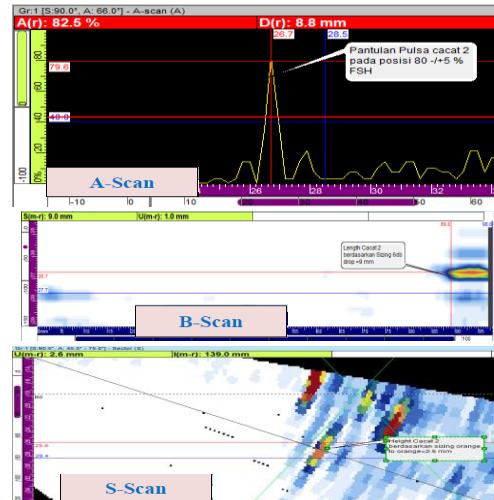
Gambar 4.6 Tampilan cacat 2 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 10.64mm dengan Focus Depth 15mm

4. Analisa Data *Focus Depth* 15mm pengujian dari Ketebalan 17,75mm.

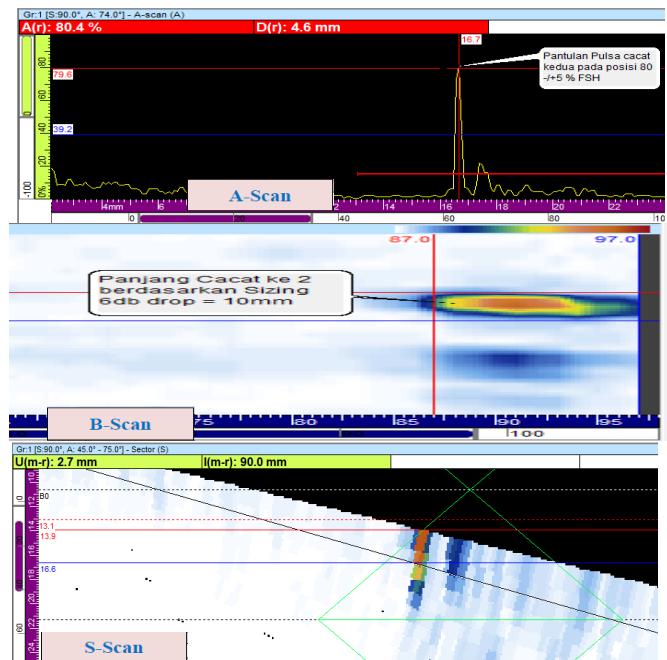
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi pada tabel 7.

Table 7. Dimensi Cacet Focus Depth 15mm dari Ketebalan 17.75mm.

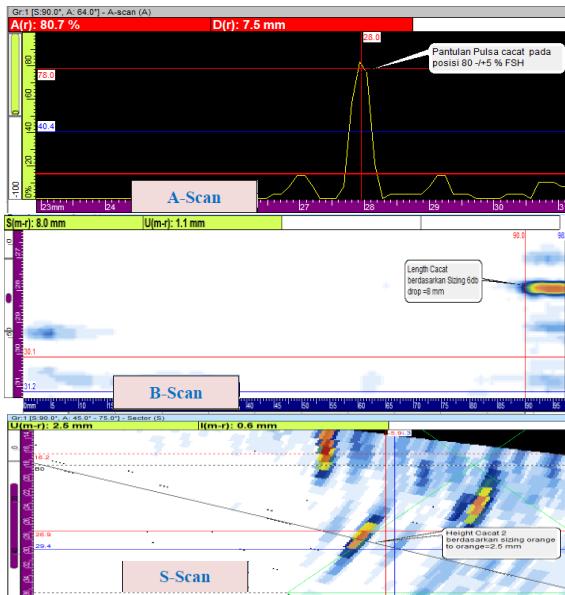
Cacet	Kedalaman	Ketinggian	Panjang
1	4,6 mm	2,3mm	12,0mm
2	8,8 mm	2,6mm	9,0mm



Gambar 4.7 Tampilan cacat 1 pada B-Scan, A-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17,75mm



Gambar 4.7 Tampilan cacat 1 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan Focus Depth 15mm



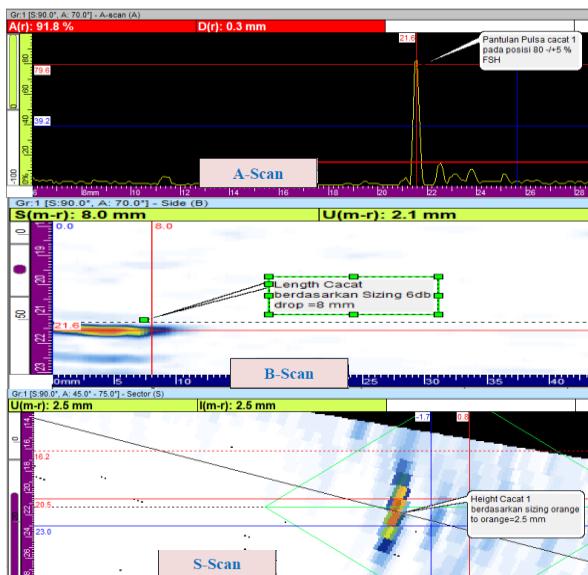
Gambar 4.8 Tampilan cacat 2 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan Focus Depth 15mm

5. Analisa Data Focus Depth 20mm Pengujian dari Ketebalan 10,64mm.

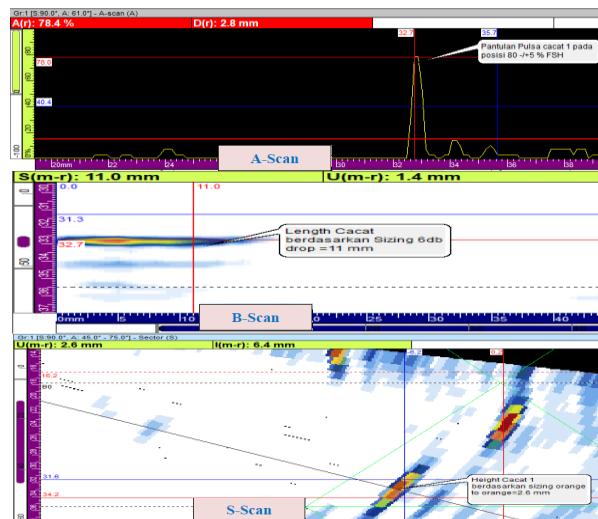
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi pada tabel 8.

Table 7. Dimensi Cacat Focus Depth 20mm dari Ketebalan 10.64mm.

Cacat	Kedalaman	Ketinggian	Panjang
1	0,3 mm	2,5mm	8,0mm
2	4,9 mm	2,8mm	11,0 mm



Gambar 4.9 Tampilan cacat 1 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 10.64mm dengan Focus Depth 20mm



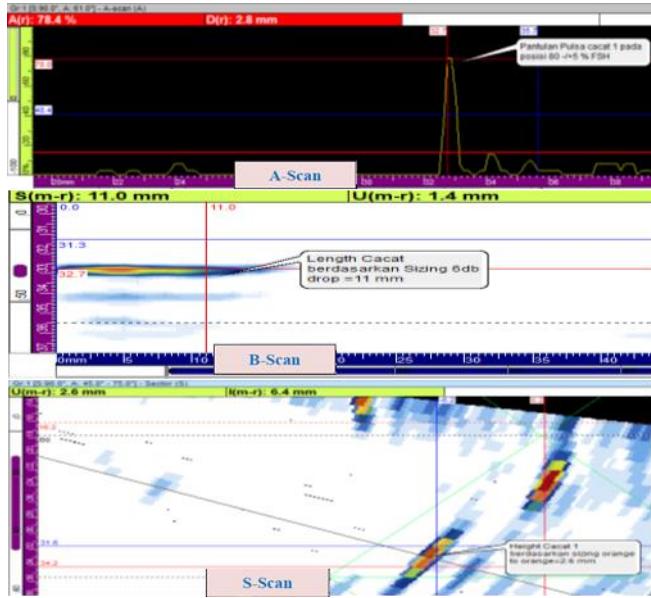
Gambar 4.10 Tampilan cacat 2 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 10.64mm dengan Focus Depth 20mm

6. Analisa Data Focus Depth 20mm pengujian dari Ketebalan 17,75mm.

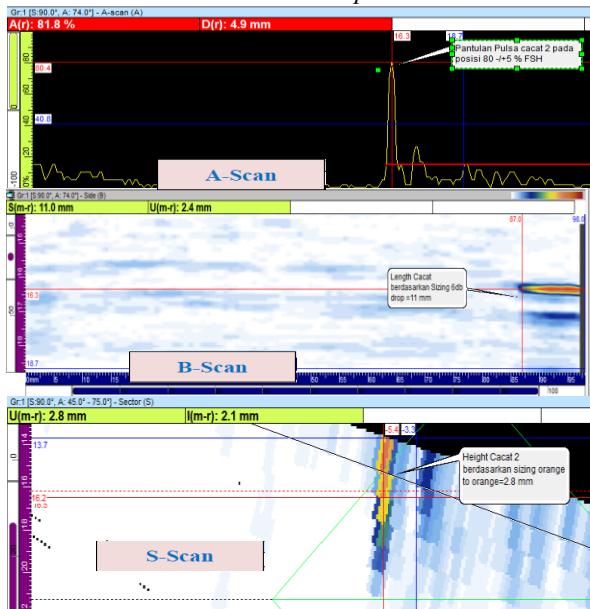
Ditemukan 2 cacat dengan dimensi pada tabel 9.

Table 9. Dimensi Cacat Focus Depth 20mm dari Ketebalan 17.75mm.

Cacat	Kedalaman	Lebar	Panjang
1	2,8mm	2,6mm	11,0 mm
2	7,5mm	2,5mm	8,0mm



Gambar 4.11 Tampilan cacat 1 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan Focus Depth 20mm



Gambar 4.12 Tampilan cacat 2 pada A-Scan, B-Scan dan S-Scan dari ketebalan 17.75mm dengan Focus Depth 20mm

4.5 Hasil Analisa Data

Untuk mengetahui nilai setup *focus depth* yang paling tepat dalam proses pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) untuk material beda ketebalan ini, maka perlu dilakukan peninjauan dan perbandingan dari ke enam hasil analisis data PAUT tersebut. Dari hasil perbandingan hasil tersebut akan

didapatkan parameter setup *focus depth* yang paling tepat untuk digunakan dalam proses pengujian yang akan dilakukan dikemudian hari. Sebagai parameter pembanding dalam pengujian ini adalah hasil pengukuran dimensi cacat buatan yang telah didapatkan dengan menggunakan *digital caliper* dan juga *depth micrometer* meliputi ketinggian, kedalaman serta panjang cacat. Adapun hasil perbandingan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

A. Kemampuan Terhadap Deteksi Cacat

Setup *focus depth* 10, 15 dan 20mm terhadap cacat buatan nomor 1 dan 2, ketiga setup *focusing depth* ini mampu mendeteksi adanya cacat yang berada diantara ketebalan material (cacat nomor 2) serta cacat yang berada diatas ketebalan material scanning (cacat nomor 1). Namun untuk cacat nomor 1, karena posisi cacat telah berada diluar dari ketebalan material maka cacat tersebut tidak dapat diperhitungkan sebagai sebuah cacat dan dalam pembacaan hasil analisa PAUT nilai kedalaman dari cacat tersebut adalah positif (+), namun pada keyataannya nilai dari cacat tersebut berada diatas ketebalan yang seharusnya bernilai negatif (-). Dalam prinsip PAUT cacat ini tidak dapat diperhitungkan maka proses *sizing* ketinggian dan panjang dan kedalaman tidak perlu dilakukan dalam pengujian nyata dilapangan.

B. Keakurasi Terhadap Kedalaman Cacat

Untuk kedalaman cacat nomor 1, oleh karena kedalaman cacat berada diatas ketebalan scanning pelat maka ketepatan terhadap pengukuran kedalaman cacat tidak dapat dilakukan. Sementara untuk cacat nomor 2 setup *focusing depth* 15mm menghasilkan deviasi pengukuran kedalaman yang paling besar jika dibandingkan dengan kedua setup *focusing depth* lainnya yaitu 10 dan 20mm seperti yang ditampilkan pada Tabel 10.

C. Keakurasi Terhadap Ketinggian Cacat

Dalam hal keakurasi pengukuran ketinggian cacat untuk cacat nomor 1 dan cacat nomor 2, setup *focusing depth* 15mm memberikan deviasi yang paling besar dibandingkan dengan setup *focusing depth* 10 dan 20mm, seperti terlihat pada tabel 10.

D. Keakurasi Terhadap Panjang Cacat

Untuk keakurasi pengukuran panjang cacat, setup *focusing depth* tidak memberikan pengaruh terhadap pengukuran panjang cacat, hal ini disebabkan oleh metode *scanning* yang dilakukan

adalah Sektorial *scanning* dimana cakupan sudut adalah 45° - 75° . Dalam hal ini dalam untuk keakurasiannya pengukuran panjang sangat ditentukan oleh *encoder*.

4.5.2 Pengujian Pada Ketebalan Plat 17,75mm Cacat 1 dan 2

A. Kemampuan Terhadap Deteksi Cacat

Ketiga setup *focusing depth* 10mm, 15mm dan 20mm mampu mendeteksi adanya cacat yang berada diantara ketebalan material baik cacat nomor 1 dan cacat nomor 2.

B. Keakurasiyan Terhadap Kedalaman Cacat

Untuk kedalaman cacat nomor 1 dan 2, setup *focusing depth* 20mm memberikan deviasi yang paling besar dibandingkan dengan setup *focusing depth* 10mm dan 15mm. Setup *focusing depth* 15mm menunjukkan nilai deviasi yang paling kecil dibandingkan pada setup *focusing depth* 10mm dan 20mm. Untuk perbandingan dimensi dapat dilihat pada tabel 10.

C. Keakurasiyan Terhadap Ketinggian Cacat

Untuk keakurasiyan pengukuran ketinggian cacat untuk cacat nomor 1 dan cacat nomor 2, setup *focusing depth* 10mm memberikan deviasi yang paling besar dibandingkan dengan setup *focusing depth* 15mm dan 20mm.

D. Keakurasiyan Terhadap Panjang Cacat

Untuk keakurasiyan pengukuran panjang cacat, setup *focusing depth* tidak memberikan pengaruh terhadap pengukuran panjang cacat, hal ini disebabkan oleh metode *scanning* yang dilakukan adalah Sektorial *scanning* dimana cakupan sudut adalah 45° - 75° . Dalam hal ini dalam untuk keakurasiyan pengukuran panjang sangat ditentukan oleh *encoder*. Berdasarkan analisa pada data pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) pada material beda ketebalan ditemukan hasil sebagai berikut:

- Untuk mendeteksi cacat pada hasil lasan beda ketebalan 10,64mm dan 17,75mm cukup dilakukan pengujian dari satu sisi saja yaitu dilakukan dari material yang memiliki ketebalan 17,75mm.

Table 10. Pengukuran Cacat Dengan PAUT dan Manual

Focus Depth (mm)	Ketebalan Material (mm)	Defect No	Data Pengujian PAUT			Data Pengukuran Manual			Deviasi Pengukuran Manual Dengan PAUT			Persentasi Keakurasiyan		
			Depth (mm)	Length (mm)	Height (mm)	Depth (mm)	Length (mm)	Height (mm)	Depth (mm)	Length (mm)	Height (mm)	Depth (mm)	Length (mm)	Height (mm)
10	10,64	1	0,3	7,0	2,3	-1,0	10,0	2,3	-1,3	3,0	0,0	30%	70%	100%
15	10,64	1	0,6	11,0	3,6	-1,0	10,0	2,3	-1,6	-1,0	-1,3	60%	90%	43%
20	10,64	1	0,3	8,0	2,5	-1,0	10,0	2,3	-1,3	2,0	-0,2	30%	80%	91%
10	10,64	2	4,6	10,0	2,7	4,2	10,3	2,2	-0,4	0,3	-0,5	90%	97%	77%
15	10,64	2	5,2	9,0	2,9	4,2	10,3	2,2	-1,0	1,3	-0,7	76%	87%	68%
20	10,64	2	4,9	11,0	2,8	4,2	10,3	2,2	-0,7	-0,7	-0,6	83%	93%	73%
10	17,75	1	5,9	9,0	3,6	4,5	10,0	2,3	-1,4	1,0	-1,4	69%	90%	36%
15	17,75	1	4,6	12,0	2,6	4,5	10,0	2,3	-0,1	-2,0	-0,3	98%	80%	87%
20	17,75	1	2,8	11,0	2,5	4,5	10,0	2,3	1,7	-1,0	-0,2	68%	90%	91%
10	17,75	2	8,5	12,0	3,6	9,1	10,3	2,2	0,6	1,3	-1,4	93%	83%	36%
15	17,75	2	8,8	9,0	2,6	9,1	10,3	2,2	0,3	1,3	-0,4	97%	87%	82%
20	17,75	2	7,5	8,0	2,5	9,1	10,3	2,2	1,6	2,3	-0,3	82%	78%	86%

4.6 Kendala-kendala Pada Set-up dan Pengujian PAUT.

Saat proses setup dan pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) ini ditemukan beberapa kendala atau tingkat kesulitan baik pada saat proses kalibrasi maupun pengumpulan data serta data interpretasi. Antara lain:

- Setiap kali melakukan perubahan parameter *focusing depth* maka proses kalibrasi harus dilakukan ulang kembali baik proses kalibrasi *Velocity*, *Wedge delay* dan *Sensitivity*. Hal ini disebabkan ketika melakukan perubahan setup *focusing depth* maka secara otomatis sistem pada PAUT *Flaw detector* akan mereset semua data kalibrasi yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini menyebabkan diperlukannya waktu tambahan untuk melakukan kalibrasi ulang kembali. Untuk mengurangi aktivitas ini kedepan perusahaan perlu membuat data sesuai dengan ujicoba yang telah dilakukan pada beberapa projek yang telah berjalan. Sehingga pemilihan *focusing depth* dapat dilakukan dengan tepat tanpa melakukan ujicoba kembali.
- Untuk setup *focusing depth* yang terbaik pada proses pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) ini adalah 15mm hal ini ditinjau dari dua parameter utama yaitu keakurasiyan terhadap kedalaman dan ketinggian cacat.
- Untuk keakurasiyan pengukuran panjang cacat, selama metode *scanning* yang dilakukan dengan metode Sektorial maka panjang cacat sangat ditentukan oleh *encoder*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) pada material beda ketebalan ini memiliki kemampuan deteksi cacat dengan akurasi > 80% jika pengujian dilakukan dengan menggunakan setup *focusing depth* 15mm. Hasil ini didapatkan dari perbandingan data Pengujian *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) dengan pengukuran manual pada cacat buatan yang ditanam pada benda uji.
2. Kendala yang ditemukan saat melakukan setup *focusing depth* ini baik pada kalibrasi dan pengujian yaitu:
 - a. Diperlukan proses kalibrasi dasar baik *Velocity*, *Wedge Delay* dan *sensitivity* saat dilakukan perubahan parameter *focusing depth* pada PAUT *flaw detector* unit.
 - b. Pada saat kalibrasi *Velocity*, *Wedge delay* dan *Sensitivity* diperlukan kehati-hatian dalam melakukan pergerakan maju dan mundur *probe* agar menghasilkan nilai yang uniform.
 - c. Diperlukan verifikasi ulang khususnya kalibrasi *sensitivity* untuk memastikan nilai pantulan *echo (decibell)* dari lubang 1,5mm *side drilled hole* berada di posisi 80% FSH.
 - d. Pergerakan *probe* dan *encoder* yang seharusnya sama sangat sulit dilakukan karena benda uji tidak tersambung dengan pelat lain yang difungsikan sebagai *run-off*, menyebabkan ukuran panjang cacat yang berada dibagian tepi terluar dari pengelasan tidak terukur dengan akurat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada proses pengujian hasil lasan GTAW dengan menggunakan PAUT pada sambungan Butt Weld ini ada beberapa saran dari penulis jika suatu hari nanti ada orang yang ingin melakukan pengembangan dari hasil penelitian ini, antara lain:

1. Proses *scanning* sebaiknya dilakukan secara *mechanized* agar memastikan posisi *probe* dan *encoder* berjalan secara beriringan.
2. Perlu dikakukan penambahan *run-off Plate* pada kedua sisi pelat benda uji yang difungsikan sebagai dudukan awal *probe* dan *encoder* sebelum melakukan *scanning*.
3. Perlu dibuatkan cacat buatan berbentuk "V" *notch* pada bagian *weld root* dan *weld capping* untuk memastikan cacat yang berada

dipermukaan benda uji dapat di deteksi dengan pengujian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASNT-TC-1A. (2016). "Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing". American Society for Nondestructive Testing, Inc.
2. AWS D1.1/D1.M. (2015). Structural Welding Code – Steel. American Welding Society (AWS).
3. Berke, M. (1992). Nondestructive Material with Ultrasonic – Introduction to the Basic Principles. Krautkramer. Berlin: Springer-Verlag.
4. Birks, R. E. G. Jr dan Lclntire P. (1991). "Nondestructive Testing Handbook" – Second Edition – Volume 7 Ultrasonic Testing. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
5. E.Ginzel, 2003, "Phased Arrays and Mechanised Ultrasonic Testing A Handbook", Prometheus Press Waterloo, Ontario Canada.
6. Eclipse Scientific. 2013. "Phased Array Ultrasonic Technology" - 2nd edition. ISBN: 978-0-9917095-0-2. Ontario Canada.
7. Harsono Wiryosumarto. 2008. "Teknologi Pengelasan Logam". PT.Pradnya Paramita. Jakarta.
8. Hellier, C. J. (2003). "Handbook of Nondestructive Evaluation". New York: McGraw-Hill Companies.
9. Mix, P. E. (2005). "Introduction to Nondestructive Testing- A Training Guide Second Edition" . New Jersey: John Wiley and Sons Inc.Publisaction.
10. NDT Resource Center. (2016). "Introduction To Ultrasonic Testing". from NDT Resource Center web site: <http://www.nde-ed.org>. (diakses 8 September 2021).
11. Olympus [Online] tersedia: <http://www.olympus-ims.com/en/> (diakses 8 September 2021).
12. Olympus. "Focusing With Phased Array Probe" [online] tersedia: <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/transducers/focusing/> (Diakses 8 September 2021).
13. Omniscan. "Ültrasound, UT Phased, Eddy current, and Ec Array" [online] tersedia <http://www.mitrasgroup.gr/products/ultrasonic/pdf/omniscan.pdf> (Diakses 10 September 2021).
14. Olympus. 2017. "Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Application". Advance Practical NDT Series. ISBN 0-9735933-0-X. Ontario Canada.
15. TWI.ltd. 2018. "Manual and encoded Phased



Array Inspection of Welds” Materials Joining and engineering Technologies Training and Examination Services.

16. TWI.ltd.2002. “Senior Welding Inspection (WIS 10)” Great Abington Cambridge, CB16AL.UK.
17. Vienna International Centre. (2013). “Training

Guidelines in Non-Destructive Testing Technique Manual for Visual Testing at Level 2”. International Atomic Energy Agency (IAEA) in Australia, Training Course Series. Vol. IAEA-TCS-54, ISSN 1018-55