

LEMBAR REVISI

STUDI PENENTUAN RETAK PADA SAMBUNGAN LAS CLADDING PADA TANGKI KAPAL MENGGUNAKAN PENGUJIAN ULTRASONIK

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir
10 July 2014

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Konstruksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

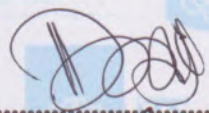
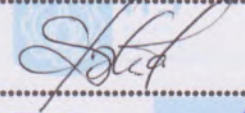
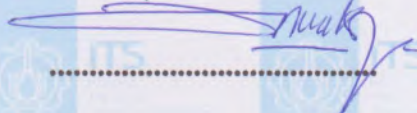
Oleh:

Indra Hary Winahyu

N.R.P. 4109 100 033

Disetujui oleh Tim Dosen Penguji Tugas Akhir

1. **Dony Setyawan., ST., M.Eng.**
2. **Septia Hardy Sujiantanti, ST., M.T.**
3. **Dedi Budi Purwanto, ST., MT.**


.....

.....

.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Wing Hendroprasetyo A.P., ST., M.Eng.



SURABAYA, [19 Juli 2014]

ABSTRAK

Tangki kapal *chemical tanker* mengangkut muatan korosif. Muatan tersebut bisa mengakibatkan korosi pada tangki dan struktur-struktur konstruksi kapal, oleh karena itu diperlukan suatu material anti-korosif. Daripada mengganti seluruh konstruksi kapal dengan bahan anti korosif yang lebih mahal, diberlakukan metode *cladding* sebagai suatu solusi. Setelah diaplikasi ke material, sambungan ini perlu dicek mengenai kemulusannya. Metode ultrasonik NDT dirasa tepat digunakan.

Pada tugas akhir kali ini, dilakukan penelitian mengenai pengujian ultrasonic menggunakan *transfer-receiver probe (TR probe)* berdiameter 10 dan 20 mm dengan *rules ASME Sec V* menggunakan metode DAC dan non DAC. Variasi yang digunakan untuk percobaan ini menggunakan kedalaman cacat 5 dan 12 mm sebagai pengganti cacat pada material *cladding* dan *incomplete penetration*. Kemudian setelah itu dibuat sebuah SOP (*Standart Operational Procedure*) dalam pengujian ini sebagai sarana pembantu untuk bekerja di lapangan.

Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan akurasi yang besar untuk percobaan dengan kedalaman 5 mm, 95% untuk probe 10 mm dan 97% untuk probe 20 mm. Selain itu untuk akurasi pada kedalaman 12 mm menurun drastis dibandingkan dengan kedalaman 5 mm, yaitu 84.17% untuk probe berdiameter 10 mm dan 83.33% untuk probe berdiameter 20 mm.

Kata kunci: pengujian ultrasonik, *cladding*, *TR probe*

ABSTRACT

Chemical tanker ships carrying various liquid cargo. That cargo could cause corrosion on tank and structures of ship's construction, therefore anti corrosive material is needed. Rather than replacing entire constructions, cladding method applied as a solution. After the material is being applicated, bondline area's soundness need to be checked. Ultrasonic NDT method seems to be the best choice.

In this final project, research is implemented on ultrasonic testing using the transfer-receiver probe (TR probe) that has 10 and 20 mm in diameter with DAC and non-DAC technique from ASME Sec V. Discontinuities in this final project is variated between 5 and 12 mm depth as representation of flaw in cladding material and incomplete fusion in bondline area. Then, after scanning, we made a SOP (Standart Operational Procedure) as guidance to UT man.

The result of the study shows that the isn't big difference in accuracy on 5 mm depth between 10 diameter probe (95% in accuracy) and 20 diameter probe (97% in accuracy). Beside that, the 12 mm depth's accuracy is significantly decreased. We have 84.17% accuracy on 10 diameter probe and 83.33% accuracy on 20 mm diameter probe.

Key words: ultrasonic test, cladding, TR probe

DAFTAR TABEL

Table 2.1. Tabel komposisi kimia beberapa kawat las [AWS A5.4, 2006]	10
Table 4.1. Hasil pengujian probe diameter 10 mm untuk teknik satu	40
Tabel 4.2. Hasil pengujian probe diameter 20 mm untuk teknik satu	41
Tabel 4.3. Hasil intepretasi menggunakan acceptance kriteria.....	41
Table 4.4. Hasil pengujian probe diameter 10 mm untuk teknik dua	41
Table 4.5. Hasil pengujian probe diameter 20 mm untuk teknik dua.....	42

BAB II

STUDI LITERATUR.

II.1 PENGUJIAN ULTRASONIK

Uji ultrasonik adalah pengujian baik pengukuran tebal maupun pendeteksian cacat internal (*flaw detection*) dengan menggunakan getaran ultra, yakni gelombang mekanis yang berfrekuensi diatas 20 KHz. Gelombang ini memiliki sifat sama dengan gelombang suara yang dapat dipantulkan, dibiaskan, didefraksikan, dan diserap. Dimensinya ditentukan sebagai berikut: panjang gelombang (λ), frekuensi (f), kecepatan rambat (v), amplitude, dan fasa. [Sri Widharto, 2013]

System pengujian ultrasonik mengandung beberapa unit, seperti *pulser/receiver*, *transducer*, dan perangkat *display*. Sebuah *pulser/receiver* adalah perangkat elektronik yang berfungsi menghasilkan pulsa bertegangan tinggi. Dipicu oleh *pulser*, *transducer* menghasilkan energi suara berfrekuensi tinggi. Energi suara kemudian masuk dan merambat di material dalam bentuk gelombang. Ketika ada diskontinuitas (semisal retak) pada jalur gelombang tersebut, maka sebagian energi akan dipantulkan kembali ke permukaan. Sinyal gelombang yang dipantulkan diubah menjadi sinyal listrik oleh *transducer* dan kemudian ditampilkan pada layar. [<http://www.ndt-ed.org>]

Pengujian ultrasonik merupakan pengujian yang serbaguna. Beberapa keuntungan pengujian ultrasonik diantaranya adalah

- Sensitif, baik pada permukaan maupun di dalam material terhadap diskontinuitas
- Kedalaman penetrasi yang lebih baik terhadap metode NDT yang lain
- Saat menggunakan teknik *one pulse echo*, hanya membutuhkan akses dari satu sisi saja
- Keakuratan yang tinggi dalam menentukan posisi reflector dan memperkirakan bentuk dan ukurannya
- Hanya membutuhkan persiapan yang minim dalam proses inspeksi
- Hasil dapat diketahui seketika

- Memiliki kegunaan lainnya, seperti pengukuran ketebalan, selain pendeteksian cacat\

Seperti metode NDT yang lainnya, pengujian ultrasonic memiliki beberapa batasan, diantaranya adalah:

- Permukaan material harus dapat diakses untuk memberikan gelombang suara
- Pelatihan dan keterampilan lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya
- Biasanya membutuhkan media coupling untuk menyalurkan energy suara ke benda uji
- Bahan yang kasar, tidak teratur bentuknya, sangat kecil, sangat tipis, atau homogen sulit untuk diperiksa
- Besi cor dan bahan berbutir kasar lainnya sulit untuk diperiksa
- Cacat linier yang sejajar dengan arah rambat gelombang bisa tidak terdeteksi
- Dibutuhkan referensi standart untuk kalibrasi peralatan dan pengelompokan cacat. [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]

II.1.1. TEORI DASAR GELOMBANG ULTRASONIK

Ultrasonik adalah gelombang suara atau getaran dengan frekuensi yang terlalu tinggi untuk bisa didengar oleh telinga manusia, yaitu frekuensi di atas 20 kiloHertz. Hanya beberapa hewan, seperti lumba-lumba menggunakannya untuk komunikasi, sedangkan kelelawar menggunakan gelombang ultrasonik untuk navigasi. Dalam hal ini, gelombang ultrasonik merupakan gelombang ultra (di atas) frekuensi gelombang suara (sonik). [Railway, 2006]

Pengujian Ultrasonik adalah pengujian *non destructive* atau tidak merusak dengan cara memasukkan gelombang suara berfrekuensi tinggi pada suatu material, untuk mendeteksi flaw atau diskontinuitas pada permukaan atau dibawah permukaan material tersebut. Gelombang suara yang berjalan pada material mengalami kehilangan energi atau atenuasi dan pemantulan pada beberapa tempat. Pantulan gelombang inilah yang akan di tampilkan dan dianalisa untuk menentukan keberadaan dan lokasi dari *flaw* atau diskontinuitas [Hellier, 1997]

Di antara sifat-sifat gelombang yang merambat di dalam material padat adalah panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan. Panjang gelombang berbanding lurus dengan kecepatan

gelombang dan berbanding terbalik dengan frekuensi gelombang. Hubungan ini dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$\text{Wavelength}(\lambda) = \frac{\text{Velocity}(v)}{\text{Frequency}(f)} \dots\dots\dots \text{persamaan 1}$$

[<http://www.ndt-ed.org>]

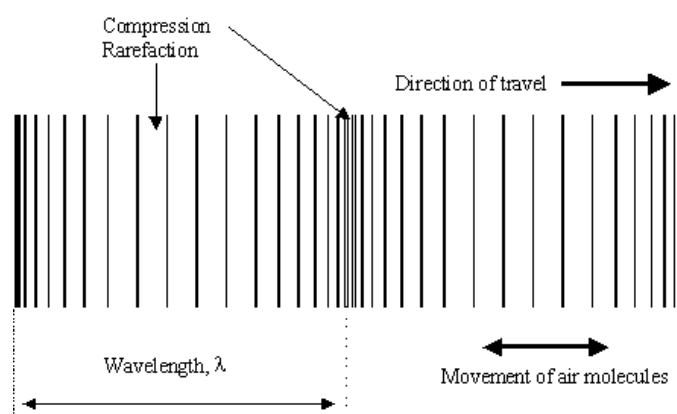
II.1.2. KARAKTERISTIK GELOMBANG ULTRASONIK

Di dalam benda padat, gelombang suara dapat merambat dalam empat mode yang didasarkan pada cara partikel berosilasi. Suara dapat merambat sebagai gelombang:

II.1.2.1 Longitudinal

Pada gelombang longitudinal, osilasi terjadi dalam arah longitudinal atau sama dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini adalah jenis yang paling banyak digunakan dalam pendeteksian material. [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]

Gelombang longitudinal dapat merambat di zat cair dan gas sebaik pada zat padat. Ini berarti jarak antar molekul-molekul zat cair dan gas sangatlah kecil, hingga gelombang longitudinal dapat merambat melalui tabrakan antar molekul. Kecepatan gelombang ultrasonic longitudinal kira-kira 5850m/s pada baja, 1490 m/s pada air, dan 330 m/s di udara. [ASM vol 17, 1997]

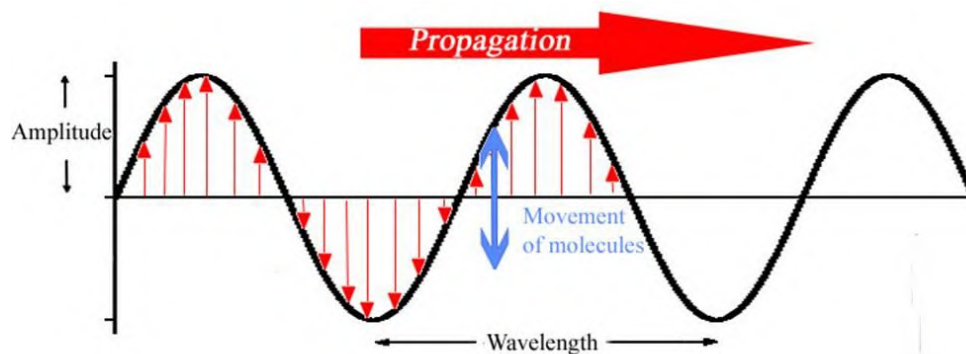


Gambar 2.1. Gelombang Longitudinal [<http://www.antonine-education.co.uk>, 2014]

II.1.2.2 Transversal

Pada gelombang *transverse* atau *shear* partikel berosilasi pada suatu sudut atau tegak lurus pada arah perambatan gelombang. Gelombang *shear* membutuhkan solid material untuk merambat secara efektif, dan oleh karena itu tidak dapat merambat pada zat cair atau gas. [http://www.ndt-ed.org, 2014]

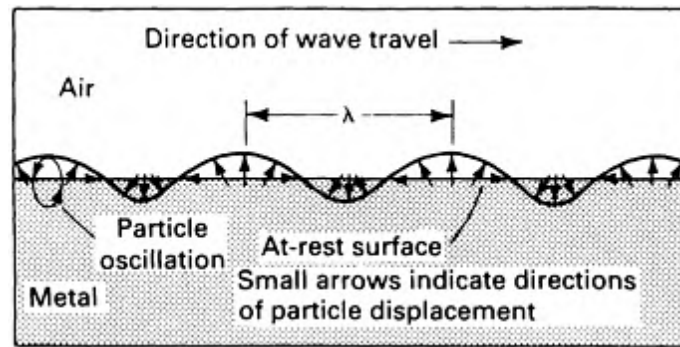
Gelombang *shear* biasanya digunakan untuk mendeteksi las, tabung, dan pipa. Gelombang *shear* lebih sensitive terhadap cacat dari pada gelombang longitudinal karena panjang gelombang yang lebih pendek; gelombang shear memiliki kecepatan sekitar separuh dari kecepatan gelombang longitudinal. Namun, pengujian menggunakan gelombang *shear* dari suatu plat biasanya sering melewati laminasi yang sejajar dengan permukaan material. [Paul E Mix, 2005]



Gambar 2.2 Gelombang Transverse [http://outreach.phas.ubc.ca/]

II.1.2.3. Surface (permukaan)

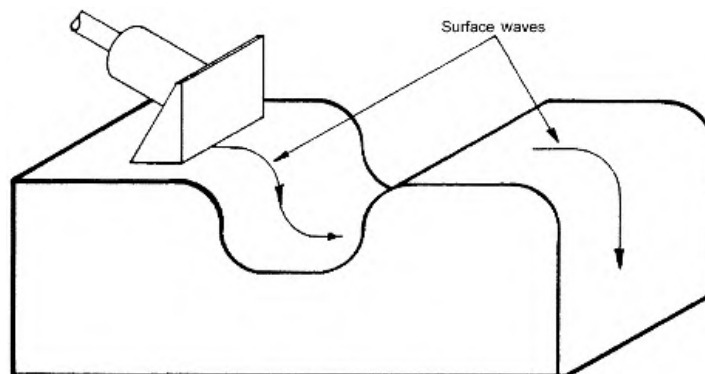
Gelombang permukaan merambat sepanjang permukaan material. Kecepatan dari gelombang permukaan kira-kira 0.9 dari kecepatan gelombang *shear* pada material yang sejenis; partikel permukaan ini merambat baik secara longitudinal maupun transversal. Gelombang permukaan (*Rayleigh*) banyak dipengaruhi oleh *defect* yang dekat dengan permukaan, oleh karena itu, minyak dan kotoran pada permukaan juga dapat melemahkan suara dan menghasilkan pulsa pada layar juga. Kekuatan asli gelombang permukaan akan berkurang sebanyak 0.04 pada kedalaman satu panjang gelombang. [Paul E Mix, 2005]



Gambar 2.3. Gelombang Rayleigh [ASM vol 17, 1997]

II.1.2.4. *Lamb* (plat).

Gelombang plat digunakan untuk mendeteksi cacat laminasi yang dekat permukaan material tipis. Gelombang ini juga sering digunakan untuk penetesan laminasi pada material tipis. Kecepatan pada gelombang plat tergantung pada karakteristik material, ketebalan plat, dan frekuensi. Gelombang *lamb* dihasilkan saat gelombang datang di atur sehingga pantulan maksimum diperoleh dari reflector yang diketahui. [Paul E Mix, 2005]



Gambar 2.4. Gelombang Permukaan [Paul E Mix, 2005]

II.1.3. ELEKTRODA E 309

Penamaan *electrode* E-309 berbeda dengan *electrode* lainnya. E menunjukkan arti *electrode*. Sementara nomor 309 menunjukkan kalau filler *electrode* ini adalah material dengan *metal number* 300, yaitu austenite chorme-nickel alloy

Table 1 Chemical Composition Requirements for Undiluted Weld Metal													
AWS Classification	UNS Number ^d	Weight Percent ^{a,b}											
		C	Cr	Ni	Mo	Nb (Cb) Plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu	Other
E209-XX	W32210	0.06	20.5–24.0	9.5–12.0	1.5–3.0	—	4.0–7.0	1.00	0.04	0.03	0.10–0.30	0.75	V = 0.10–0.30
E219-XX	W32310	0.06	19.0–21.5	5.5–7.0	0.75	—	8.0–10.0	1.00	0.04	0.03	0.10–0.30	0.75	
E240-XX	W32410	0.06	17.0–19.0	4.0–6.0	0.75	—	10.5–13.5	1.00	0.04	0.03	0.10–0.30	0.75	
E307-XX	W30710	0.04–0.14	18.0–21.5	9.0–10.7	0.5–1.5	—	3.30–4.75	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E308-XX	W30810	0.08	18.0–21.0	9.0–11.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E308H-XX	W30810	0.04–0.08	18.0–21.0	9.0–11.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E308L-XX	W30813	0.04	18.0–21.0	9.0–11.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E308Mo-XX	W30820	0.08	18.0–21.0	9.0–12.0	2.0–3.0	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E308LMo-XX*	W30823	0.04	18.0–21.0	9.0–12.0	2.0–3.0	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309-XX	W30910	0.15	22.0–25.0	12.0–14.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309H-XX	W30910	0.04–0.15	22.0–25.0	12.0–14.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309L-XX	W30913	0.04	22.0–25.0	12.0–14.0	0.75	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309Nb-XX ^f	W30917	0.12	22.0–25.0	12.0–14.0	0.75	0.70–1.00	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309Mo-XX	W30920	0.12	22.0–25.0	12.0–14.0	2.0–3.0	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	
E309LMo-XX*	W30923	0.04	22.0–25.0	12.0–14.0	2.0–3.0	—	0.5–2.5	1.00	0.04	0.03	—	0.75	

Table 2.1. Tabel komposisi kimia beberapa kawat las [AWS A5.4, 2006]

II.1.4. CEPAT RAMBAT GELOMBANG

Suara berjalan pada kecepatan yang berbeda pada material yang berbeda juga. Hal ini dapat diketahui saat, sebagai contoh seorang pekerja rel kereta diamati sedang memukul rel dengan palu dari kejauhan. Karena kecepatan cahaya lebih cepat dari suara, pengamat akan melihat rel dipukul terlebih dahulu. Jika pengamat berdiri di dekat atau sebelah pemukul, maka suara akan terdengar sangat jelas keluar dari rel. Ini menunjukkan kalau kecepatan suara di rel lebih cepat daripada di udara. Dan benar juga jika suara merambat lebih cepat di zat cair dari pada di udara. Dan lebih cepat di logam daripada zat cair. Tetapi, juga benar bahwa suara akan merambat pada kecepatan berbeda pada setiap metal. Kecepatan yang berbeda-beda inilah yang disebut dengan *velocity* di teori pengujian ultrasonic. [Hellier, 2003]

Densitas dan elastisitas adalah factor yang dominan dalam penentuan *velocity*. Tetapi ada lagi factor minor tetapi cukup berpengaruh, itu disebut *Poisson's Ratio*. Contoh mudah adalah sebuah lembaran karet, jika ditarik, maka lembaran itu akan semakin tipis. Semakin ditarik, akan semakin tipis. *Passions ratio* menghubungkan antara semakin tipisnya material dengan penarikannya dan dapat dihitung dengan membagi perubahan diameter karet edngan perubahan panjang. [Hellier, 2003]

Kecepatan gelombang longitudinal dapat dihitung dari persamaan:

$$V_c = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}}$$

Dimana:

V_c = Kecepatan gelombang Longitudinal

E = Modulus Young

ρ = Density

μ = Rasio Poisson.

Gelombang *shear* bisa muncul dalam logam, tetapi tidak dengan kecepatan yang sama dengan gelombang longitudinal. Ini dikarenakan, yang menentukan kecepatannya bukanlah modulus young, tetapi modulus kerapatan. Modulus kerapatan lebih kecil dari modulus young, oleh karena itu kecepatannya akan selalu lebih rendah daripada gelombang longitudinal pada material yang sama. Rata-rata kecepatan gelombang shear adalah setengah dari gelombang longitudinal. Kecepatannya dapat dihiutng dengan rumus:

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1 + \sigma)}} \quad \text{atau} \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

dimana:

V_s = kecepatan gelombang shear

G = modulus kerapatan

ρ = Density

μ = Rasio Poisson.

II.1.5. PELEMAHAN (ATENUASI)

Ketika suara berjalan melalui suatu media, intensitasnya akan berkurang sebanding dengan jarak. Dalam material yang ideal, amplitudo gelombang suara hanya akan berkurang oleh penyebaran gelombang. Material-material yang biasa, menghasilkan suatu efek yang melemahkan suara itu. Hal ini disebabkan oleh adanya pelemahan (*absorption*) dan hamburan (*scatter*). [<http://www.ndt-ed.org>]

II.1.5.1. PELEMAHAN (ABSORPTION)

Suara merambat melalui getaran partikel dari zat padat, cair, atau gas dan pergerakan dari partikel tersebut menyebabkan gesekan dan penyerapan energy. Seberapa besar energy yang diserap tergantung oleh material yang dilewati oleh suara tersebut dan frekuensi nya. Pada umumnya, semakin tinggi frekuensi maka semakin besar juga penyerapan yang terjadi, atau dengan kata lain, semakin kecil frekuensi, semakin dalam penetrasi yang akan dihasilkan oleh probe tersebut. [Hellier, 2003]

II.1.5.2. HAMBURAN (SCATTER)

Gelombang suara akan masuk dari batas material yang akan diuji dengan udara. Saat gelombang masuk, butiran-butiran material yang dilewati tidak berbentuk simetri dan sama. Ini menyebabkan gelombang akan terpantul ke arah yang acak. Pantulan acak ini lah yang disebut dengan hamburan atau *scatter*. Energy hamburan yang tidak kembali ke *probe* disebut *lost energy*. Sedangkan energy hamburan yang kembali ke probe sangatlah menyusahkan, karena di layar nanti, energy ini akan tampak seperti rumput (*grass*) yang biasa disebut *noise*. *Noise* biasanya akan menutupi diskontinuitas dan mempersulit pembacaan. [Hellier, 2003]

II.1.6. SISTEM DESIBEL

Untuk membandingkan data, beberapa bentuk pengukuran dibutuhkan satuan, contohnya panjang dengan satuan inch atau mm. Untuk mengukur intensitas suara, satuan pengukurannya adalah bel. Nama bel diambil dari Alexander Graham Bell (1847-1922), penemu telepon. Ukuran bel dirasa masih terlalu besar, maka ukurannya akan dikecilkan menjadi decibel atau dB atau 0.1 dari bel.

II.1.7. TRANSDUCER

Ada beberapa nama lain dari *transducer* seperti *probe*, *search unit*, dan *test head*. Kata *transducer* berasal dari bahasa latin *transducere*, yang berarti menyampaikan. Fungsi utama dari *transducer* adalah untuk mengantarkan energi listrik menjadi energi gerak dan sebaliknya. [Hellier, 2003]

Transducer adalah salah satu komponen yang paling penting dalam system pengujian ultrasonic. Banyak hal yang harus diperhatikan dalam memilih *transducer*. Karakteristik *transducer* dan pengaturan serta sifat material dan kondisi *coupling* memainkan peranan penting dalam pengujian. [Olympus, 2014]

Berdasarkan aplikasinya, *transducer* dibagi menjadi 2 kelompok:

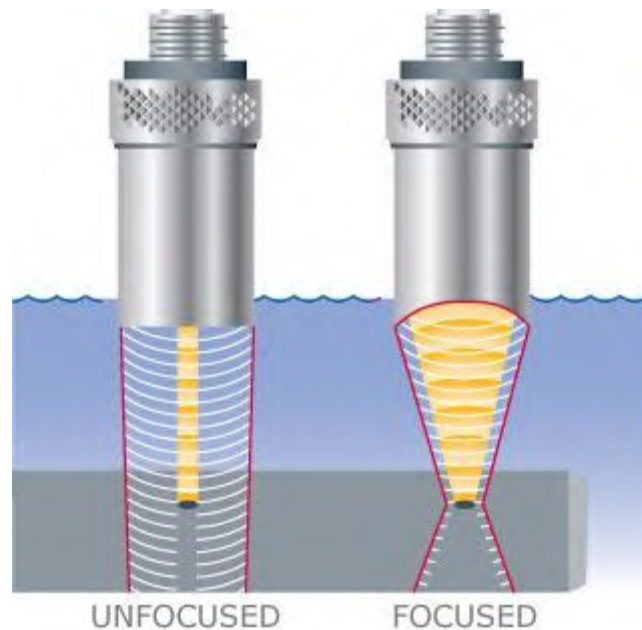
- *Contact Transducer*; sebuah *contact transducer* digunakan untuk inspeksi dengan kontak langsung dan secara umum dioperasikan dengan menggunakan tangan. Kristal *probe* ini dilindungi sebuah wadah yang kuat untuk menghindari kontak gesek dengan material. *Transducer* ini memiliki desain yang simple, jadi dapat dengan mudah dipegang dan digerakan pada permukaan material. Kebanyakan *probe* ini memiliki plat plastic yang bisa diganti untuk memperpanjang masa pakainya. [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]



Gambar 2.5. *Contact Transducer* [Olympus, 2014]

- *Immersion Transducer*; *probe* jenis ini tidak mengalami kontak dengan permukaan material. Ini dirancang untuk beroperasi di lingkungan cair dengan semua komponennya yang kedap air. *Probe* ini bisa diberikan tambahan berupa sepatu yang berbentuk silinder maupun spiral untuk menghasilkan gelombang yang terfokus. Sebuah *transducer* yang terfokus, dapat menambah sensitifitasnya. *Immersion*

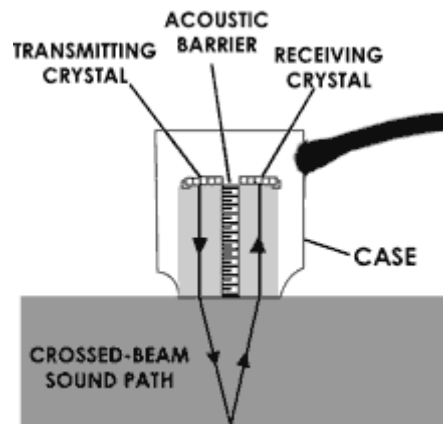
transducer biasanya digunakan dalam sebuah tangki air atau *system scanning* dengan kondisi penuh percikan. [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]



Gambar 2.6. *Immersion Transducer* [Olympus, 2014]

Contact *transducer* mempunyai banyak variasi dalam penggunaannya. Jika permukaan material datar, bisa digunakan transducaer normal seperti di atas, jika mambentuk kurva atau berjari-jari, maka sepatu bisa ditambahkan untuk kemudahan pengujian. Ada beberapa jenis contact transducer yang memiliki fungsi khusus:

- *Dual Element Transducer. Probe* ini terdiri dari dua buah elemen yang bekerja secara independen pada satu probe. Salah satu elemen memancarkan gelombang, sedang yang lainnya menerima gelombang. *Dual elemen* sangat cocok digunakan saat pengujian ketebalan material yang tipis dan jika *reflector* yang akan diuji berada sanagt dekat dengan permukaan, karena pada teknik *pulse echo*, *elemen single* tidak akan bisa memancarkan dan menerima gealombang secara bersamaan. [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]



Gambar 2.7. TR probe [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]

- *Angle beam transducer*. Atau *probe* sudut dan *wedges* digunakan untuk menghasilkan gelombang transversal pada material. *Probe* ini bisa didapat dalam berbagai macam sudut pasati atau yang dapat diubah-ubah sudut masuk yang diinginkan oleh pengguna. Gelombang suara yang membentuk sudut berguna karena gelombang akan memantul melalui *backwall* dan akan menaikkan kemampuan pendeteksian flaw di atas atau di sekitar area las. Ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan gelombang permukaan dalam mendeteksi cacat permukaan [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]



Gambar 2.8. Probe sudut [Olympus, 2014]

- *Delay line transducer*. Sesuai namanya, fungsi utama dari *probe* ini adalah untuk menyelaraskan waktu *probe* normal dalam menghasilkan dan menerima gelombang suara sehingga kemampuan pendeteksian pada cacat yang dekat dengan

permukaan akan meningkat. *Probe* ini juga berguna dalam aplikasi dengan suhu yang tinggi, karena adanya tambahan material yang melindungi kristal *probe* dari panas. [http://www.ndt-ed.org, 2014]



Gambar 2.9. *Delay line probe* [Olympus, 2014]

- *Paint brush transducer*. *Probe* ini biasanya digunakan untuk mendeteksi area yang luas. Bentuknya yang panjang dan ramping digunakan untuk menyamakan sensitivitas pada seluruh area *transducer*. Tetapi, *transducer* yang lebih kecil dan sensitif tetap dibutuhkan untuk mengidentifikasi diskontinuitas lebih detail. [http://www.ndt-ed.org, 2014]

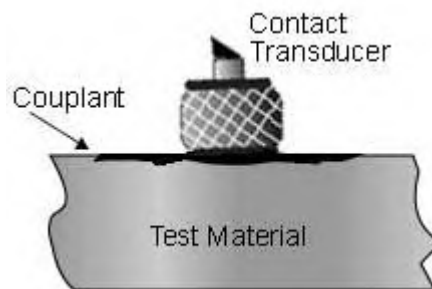


Gambar 2.10. Paint brush probe [Olympus, 2014]

II.1.8. COUPLANT

Udara adalah penghantar gelombang suara pada frekuensi tinggi (megahertz), dan ketidakcocokan impedansi antara udara dan kebanyakan material padat sangatlah besar. Bahkan, lapisan tipis dari udara akan sangat menghambat transmisi gelombang suara dari *transducer* ke material. Untuk melakukan inspeksi kontak yang baik dengan *transducer*

piezoelectric, sangatlah perlu untuk menghilangkan udara antara *transducer* dan *testpiece* dengan menggunakan *couplant*. [ASM vol 17, 1997]



Gambar 2.11. *Couplant* [<http://www.ndt-ed.org>, 2014]

Ada banyak zat yang cocok yang dapat digunakan sebagai *couplant*, kriteria utama yang paling cocok adalah yang tidak menghasilkan reaksi kimia antara *couplant* dan logam. Kebanyakan *couplant* pada umumnya mempunyai impedansi akustik yang rendah. Pada pengujian *immersion couplant* yang digunakan biasanya adalah air yang hanya membuat energi yang masuk ke dalam material sebesar 12%. Kebanyakan *couplant* hanya membuat energi yang masuk ke material sekitar 10-15 %. Diantara *couplant* yang paling baik adalah gliserin. Macam-macam jenis *couplant* yang biasa digunakan adalah:

- Air
- Minyak tanah
- Oli
- Gemuk
- Gliserin
- Gel yang dirancang khusus [Hellier, 2003]

II.2. CLADDING

Cladding, juga dikenal sebagai *surfacing*, adalah proses dimana suatu material diaplikasikan kepada material lainnya. Ini dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat pada permukaan ataupun yang dekat dengan permukaan, seperti ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap suhu, dan *hardness*. Benda-benda yang biasa diaplikasikan untuk *cladding* adalah tangki atau bejana yang memuat material asam atau material korosif. [ASM Heat Treating, 2006]

Clad metal adalah dua atau lebih logam atau *alloy* yang digabung menjadi satu untuk mengkombinasikan karakteristik masing-masing logam. Sebagai contoh *Copper-clad steel* digunakan untuk menggabungkan karakteristik suhu dan elektrik pada tembaga dengan kekuatan dari baja. Variasi dari logam dan alloy dapat dikombinasikan dalam dua atau lebih lapisan dan dapat dibentuk berbagai macam, seperti lembaran, plat, tabung, kabel. [Brady, Clauser, and Vaccari; 2004]

II.2.1. WELD OVERLAY

Weld overlay, yang juga disebut *direct weld deposit*, mempunyai arti penambahan material las berupa kawat las pada permukaan suatu *basemetal*. Teknik *weld overlay* biasanya digunakan pada industri *power*, *process*, dan *pipeline* untuk memberikan tambahan material las kepada material. *Weld overlay* tidak direkomendasikan untuk memperbaiki retak tetapi bisa dapat untuk tambahan pipa yang telah tipis. [Antaki, 2003]

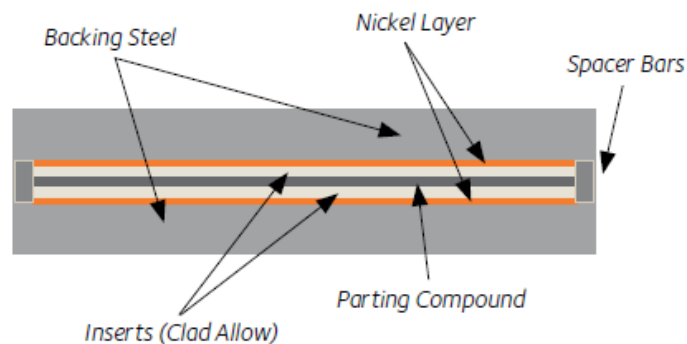


Gambar 2.12. Contoh *Weld Overlay* [<http://www.hi-techindustrial.com>]

II.2.2. **HOT ROLL BONDING**

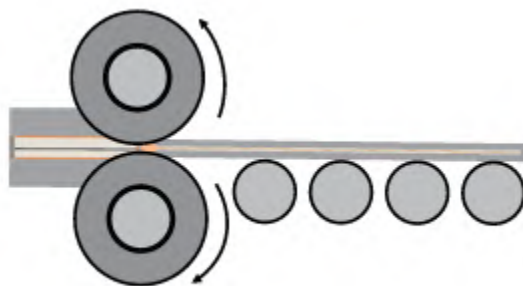
Hot Roll Bonding merupakan metode *cladding* yang menggunakan *roll* bersuhu dan tekanan tinggi dalam prosesnya. Secara garis besar langkah-langkah *hot roll bonding* adalah

1. Pertama disiapkan 4 lapis material, 2 *backing material* (misal baja), 2 *cladding material* dan diatur pada posisi seperti gambar 2.5. Ketebalan dan ukuran awal harus diperhatikan karena akan terjadi pengurangan ketebalan akibat rolling.



Gambar 2.13. Pengaturan *hot roll bond* [<http://www.arcelormittalna.com>]

2. Material yang sudah disusun kemudian di *roll* dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Disinilah dimana ketebalan material akan berkurang dan material *backing* akan menyatu dengan *cladding*.



Gambar 2.14. Proses *hot roll* [<http://www.arcelormittalna.com>]

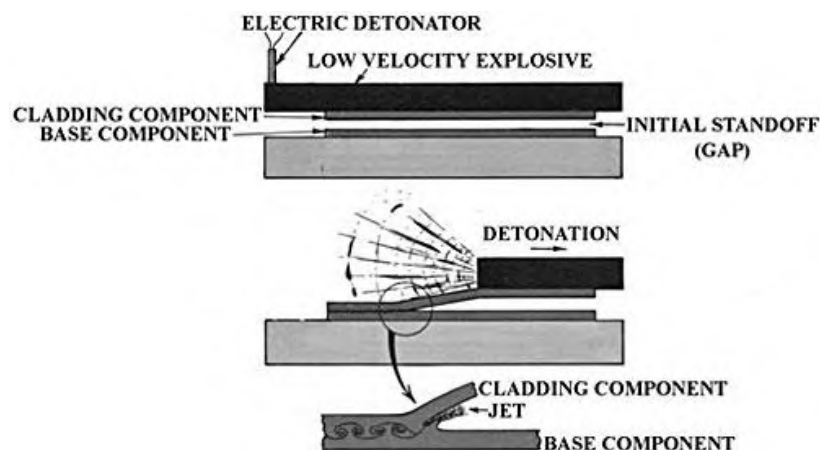
3. Hasil dari pengerolan, material akan menjadi 2 material *bonding*



Gambar 2.15. Hasil dari *hot roll bonding* [<http://www.arcelormittalna.com>]

II.2.3. EXPLOSIVE BONDING

Proses *explosive bonding* menggunakan ledakan untuk menghasilkan sambungan secara metalurgi diantara komponen material. Proses ini dapat juga untuk menyatukan dua kombinasi material secara vertical, baik jika keduanya cocok untuk disatukan, ataupun material yang *non-weldable* oleh proses konvensional. Lebih lanjut lagi, proses ini bisa menyatukan satu atau lebih layer ke satu ataupun dua permukaan base metal. [Nobelclad.com]



Gambar 2.16. Proses eksplosif bonding [<http://www.regal-technology.com>]

II.3. TEKNIK SCANNING

Pada pengujian ultrasonic pada material *cladding*, *rules ASME* memberikan prosedur tersendiri. Terdapat perbedaan yang sangat mendasar dalam teknik scanning pada material atau las-lasan biasa dengan material cladding. Diantaranya adalah menggunakan *TR probe* yang

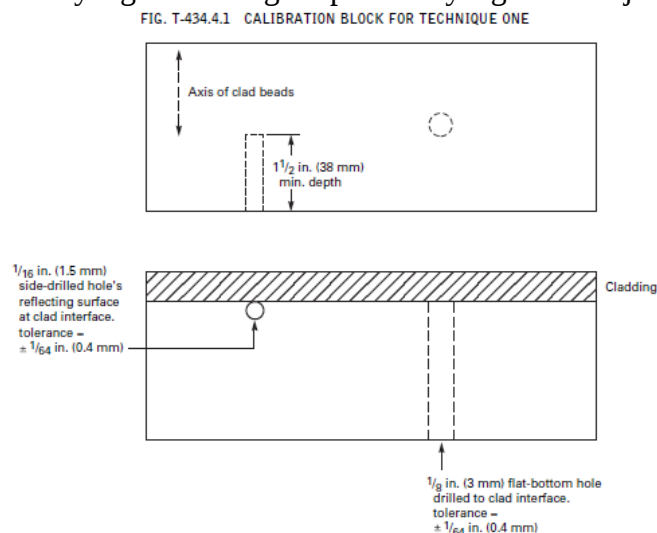
diwajibkan pada material *cladding*, desain blok BCB yang berbeda. Ada dua jenis teknik pengujian ultrasonik pada material cladding menurut ASME

II.3.1 TEKNIK 1 DAN TEKNIK 2

Teknik 1 pada pengujian *cladding* ini digunakan untuk *scanning* daerah *cladding* dan daerah *bondline*. Jika yang dibutuhkan hanya proses *scanning* untuk *bondline*, teknik dua dapat digunakan. Pada teknik pertama ini, blok BCB yang digunakan untuk kalibrasi akan dipakai untuk membuat kurva DAC untuk proses *acceptance criteria*. Arah plat pemisah akustik pada *probe TR* yang digunakan *scanning* harus digerakkan tegak lurus dengan arah las-las an pada *cladding*. Teknik 2 digunakan untuk pengujian pada daerah *bondline*. Tidak seperti teknik 1, pergerakan *probe* pada teknik 2 tidak diatur dalam ASME dan pada teknik 2, tidak menggunakan kurva DAC.

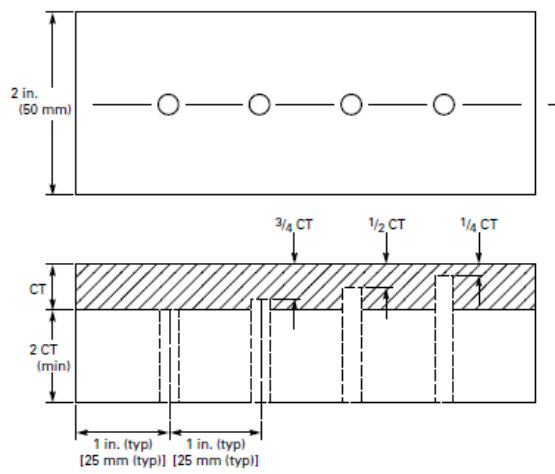
II.3.2. BLOK BCB

Pada *rules* ASTM Sec V, dalam sebuah kegiatan inspeksi adalah sebuah kewajiban bagi NDT / *UT man* untuk memiliki dan menggunakan BCB. BCB digunakan untuk membuat suatu kurva DAC sebagai dasar untuk menginterpretasi sebuah indikasi. Blok BCB harus di *cladding* dengan metode dan perlakuan yang sama dengan spesimen yang akan diuji.



Gambar 2.17. BCB untuk Teknik satu.

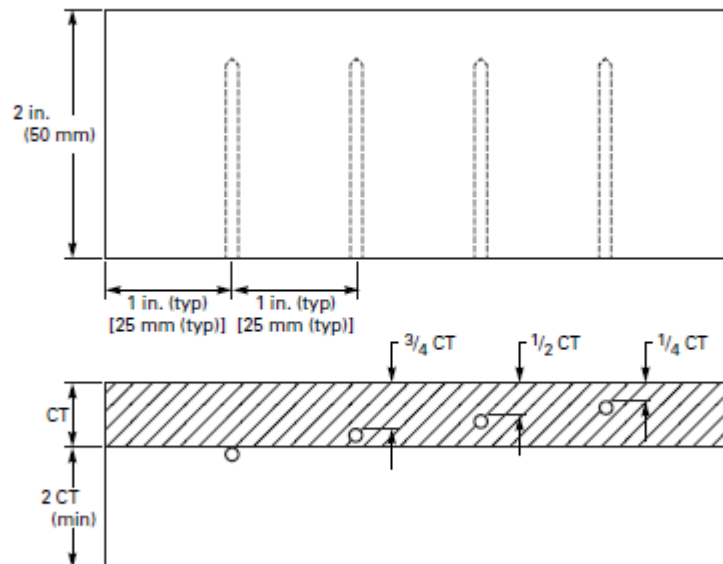
FIG. T-434.4.2.1 ALTERNATE CALIBRATION BLOCK FOR TECHNIQUE ONE



GENERAL NOTE: All flat-bottom holes are $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) diameter. Tolerances for hole diameter and depth with respect to the clad side of the block are $\pm \frac{1}{64}$ in. (0.4 mm).

Gambar 2.18. Alternatif BCB untuk teknik satu

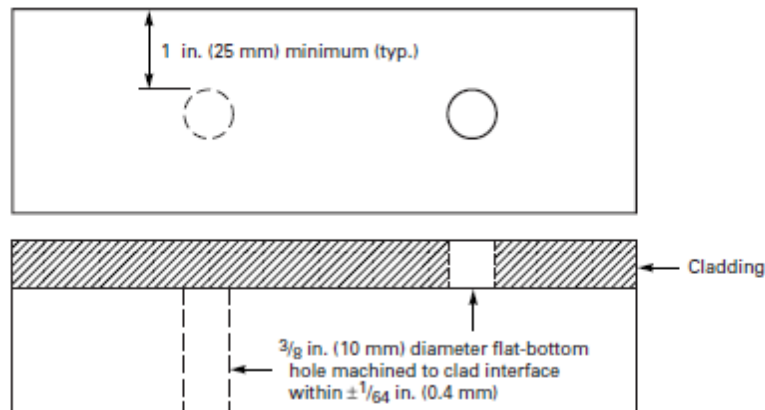
FIG. T-434.4.2.2 ALTERNATE CALIBRATION BLOCK FOR TECHNIQUE ONE



GENERAL NOTE: All side-drilled holes are $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm) diameter. Holes location tolerance is $\pm \frac{1}{64}$ in. (0.4 mm). All holes drilled to a minimum depth of 1.5 in. (38 mm).

Gambar 2.19. Alternative BCB untuk teknik satu

FIG. T-434.4.3 ALTERNATE CALIBRATION BLOCK FOR TECHNIQUE TWO



Gambar 2.20 BCB untuk teknik dua

II.3.3. ACCEPTANCE CRITERIA

Pada ASME, untuk menentukan suatu indikasi tersebut di *accept* atau *reject* adalah dengan menggunakan kurva DAC yang dibuat dari blok BCB. Kemudian, kurva DAC tersebut dibuat menjadi tiga bagian ketinggian pulsa, 100%, 50%, dan 20% kurva DAC dimana 100% DAC setara dengan 80% FSH (Full Screen Height). Ada 4 kondisi dalam menginterpretasi suatu pulsa indikasi

- Jika ketinggian pulsa $\leq 20\%$ DAC, maka indikasi tersebut dapat diabaikan, dengan kata lain di ACC.
- Jika ketinggian pulsa $> 20\%$ dan $\leq 50\%$, maka indikasi itu perlu dievaluasi apakah indikasi tersebut termasuk IP (*incomplete penetration*), IF (*incomplete fusion*), atau *crack*. Jika iya, maka harus di *repair* dan di *record*. Jika bukan, maka di ACC tanpa harus di *record*.
- Pada ketinggian pulsa $> 50\%$ dan $\leq 100\%$, jika indikasi tersebut termasuk IP, IF, atau *crack* maka harus *direpair* dan di *record*. Jika bukan, di ACC dan di *record*.
- Pada ketinggian pulsa $> 100\%$, jika indikasi tersebut termasuk IP, IF, atau *crack* maka harus *direpair* dan di *record*. Jika bukan, maka harus di evaluasi dengan panjang indikasi maksimum adalah sebagai berikut.

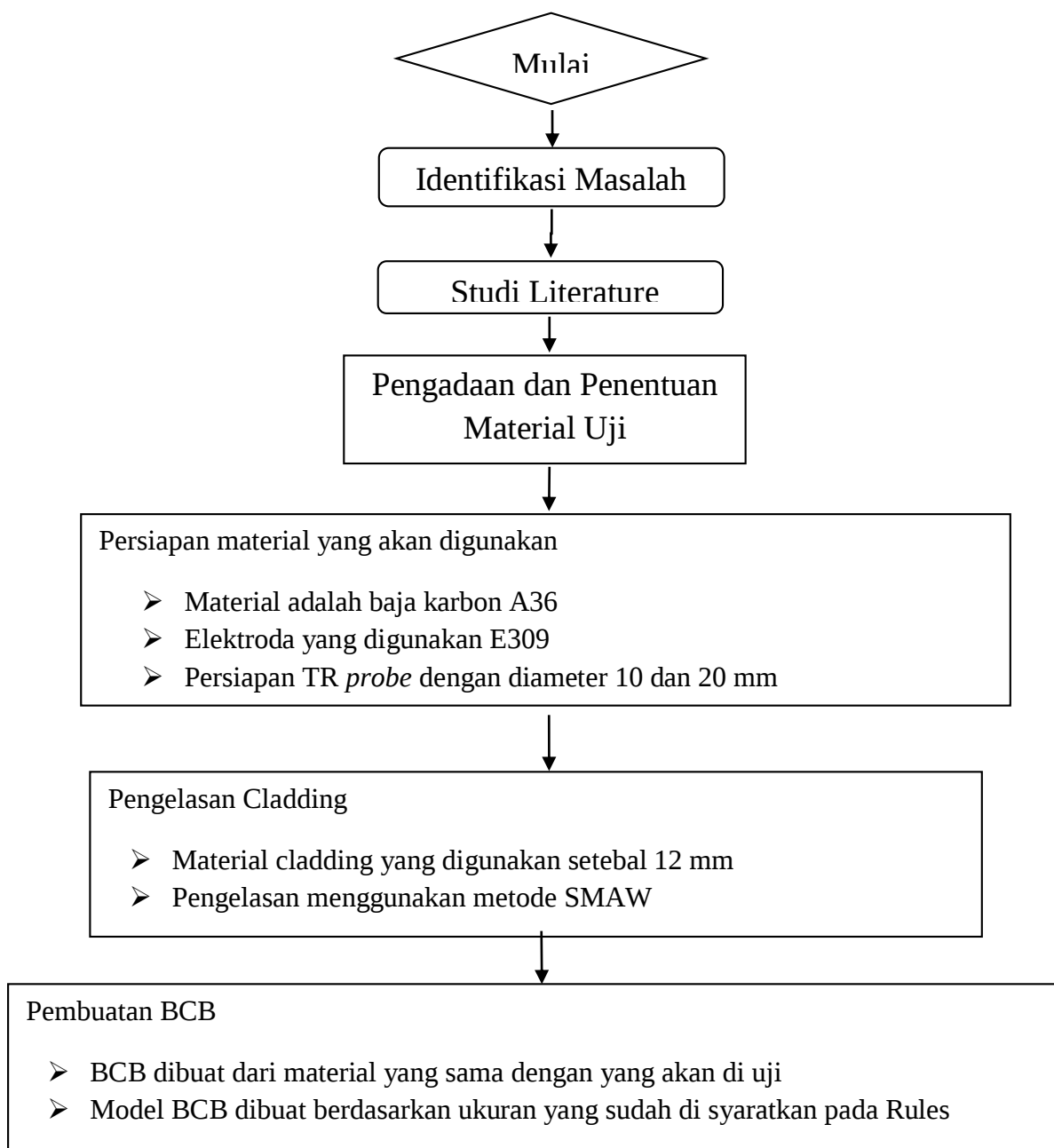
- $L_{\max} = 6 \text{ mm}$ ($t_m \leq 19 \text{ mm}$)
- $L_{\max} = \frac{1}{3} t_m$ ($19 < t_m \leq 57 \text{ mm}$)
- $L_{\max} = 19 \text{ mm}$ ($t_m > 57 \text{ mm}$)

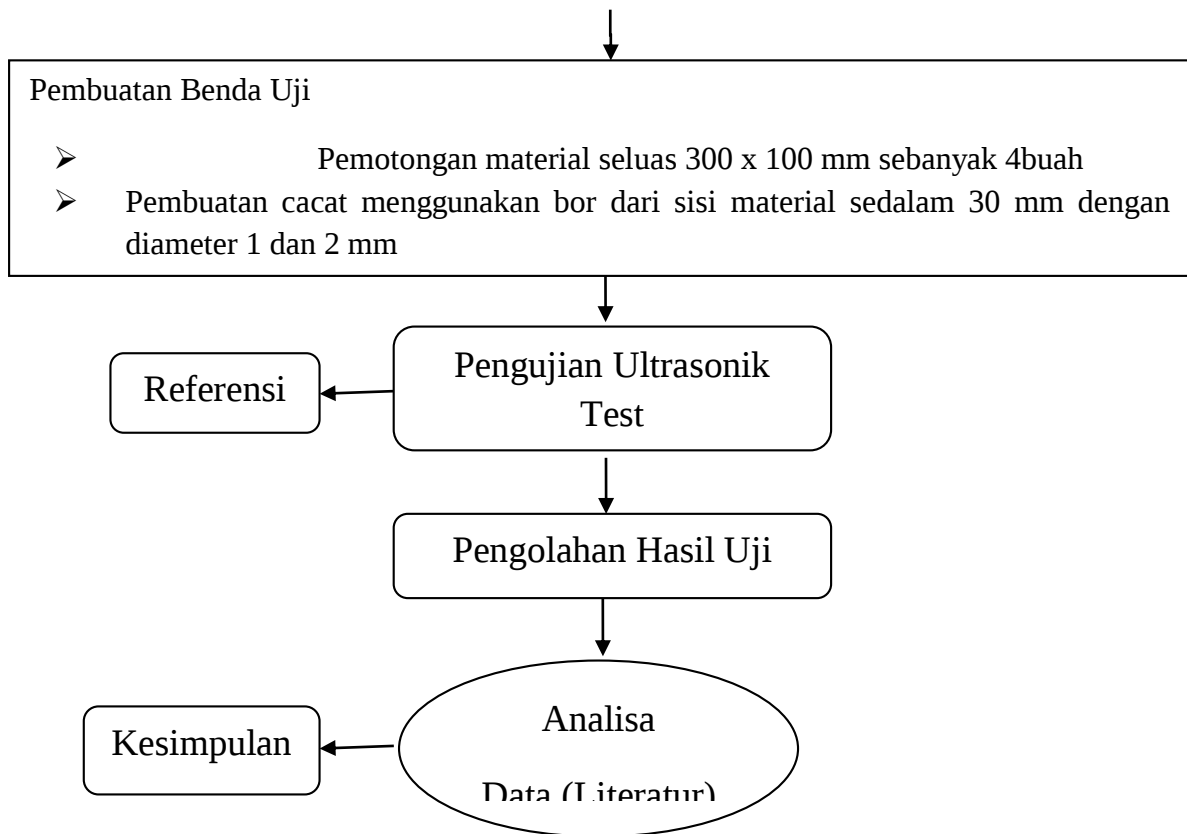
Note: t_m adalah tebal material.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 PERSIAPAN PENELITIAN

Pada proses awal pengerjaan tugas akhir ini, dilakukan persiapan-persiapan seperti, studi literatur, referensi pengadaan material, referensi bengkel, referensi pengujian dan lain-lain. Dimana kesemua hal tersebut memiliki peran vital dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Berikut adalah bagan pengerjaan penelitian ini.





Gambar 3.1. Bagan Penyelesaian Tugas Akhir

III.2 PERSIAPAN MATERIAL

III.2.1. MATERIAL UJI

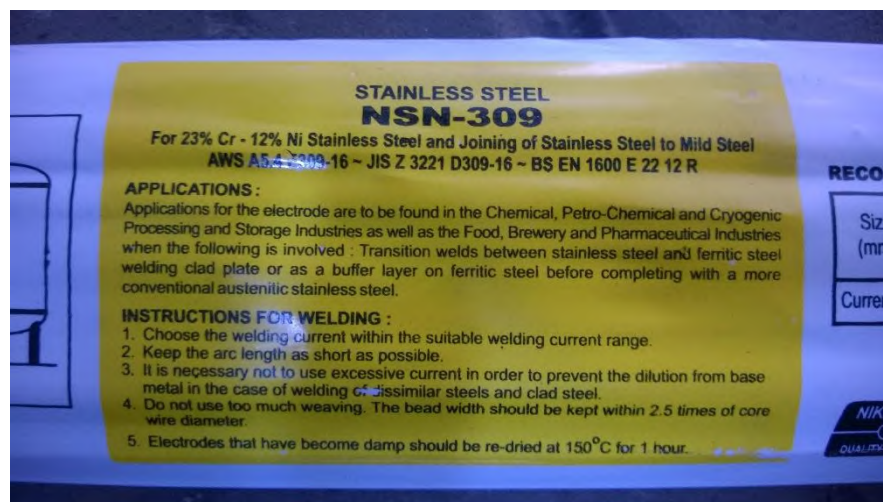
Pada tahap ini, dilakukan proses pengadaan material-material yang dibutuhkan dalam pengujian ultrasonik sehingga mencapai tujuan awal penelitian. Specimen atau material yang harus dipersiapkan pada penelitian ini adalah plat baja karbon A36 dan kawat las E-309 sebagai lapisan *cladding* untuk *testpiece* maupun blok BCB. *Testpiece* tersebut mempunyai panjang 300 mm dengan lebar 100 mm sebanyak 2 buah, dimana ketebalan setiap *testpiece* adalah 30mm dengan rincian *basemetal* (baja karbon) setebal 20 mm dan *cladding stainless steel* setebal 10 mm. Material akan diberi cacat buatan dengan mengebor material dari samping (*side drill hole*) sedalam 20 mm dengan variasi ukuran matabor 1 dan 2 mm dan variasi letak cacat yaitu di area *cladding* dan *bondline*. Kemudian untuk desain blok BCB yang digunakan mengacu kepada *rules* yang digunakan pada pengujian ini, yaitu ASME. Selanjutnya dapat

dilakukan pengujian pada material dengan menggunakan probe TR (*Transfer-Receiver*) dengan variasi diameter 20 dan 10 mm.

III.2.2. PROSES CLADDING

Basemetal yang telah dipotong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan, selanjutnya akan dilakukan aplikasi *cladding* dengan metode *weld overlay*. Metode *weld overlay* dapat diterapkan dengan proses pengelasan pada material dengan cara mengaplikasikan lelehan electrode kepermukaan material.

Pada proses *cladding* ini, digunakan proses pengelasan SMAW dengan elektroda E-309 (*stainless steel*). Pengelasan SMAW pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode DCEN dengan arus sesuai dengan saran dari produsen elektroda yaitu sekitar 110-130 A.



Gambar 3.2. Elektroda E-309

Pada proses pengelasan, material *basemetal* akan meleleh, sehingga akan mengurangi ketebalannya kira-kira sebanyak 2-3 mm, oleh karena itu aplikasi ketebalan *cladding* perlu ditambah. Aplikasi *cladding* perlu ditambah kira-kira sebanyak 5 mm. Hal ini perlu dilakukan karena berkurangnya ketebalan basemetal dan untuk proses perataan permukaan material sehingga memudahkan proses pengujian ultrasonic.



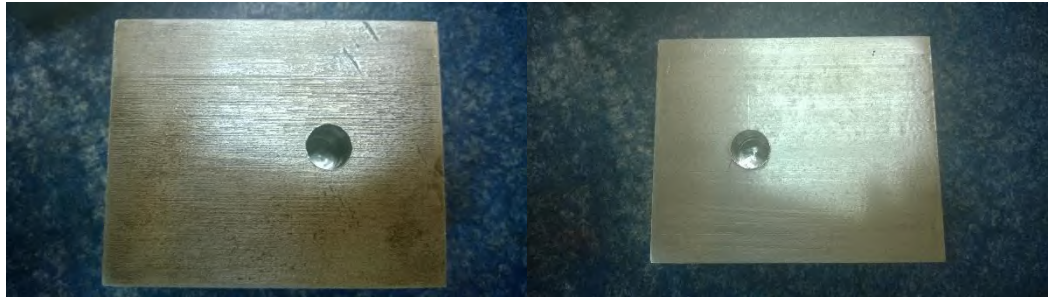
Gambar 3.3. Proses pengerjaan cladding overlay

III.2.3. PEMBUATAN DISKONTINUITAS BUATAN

Material yang telah di *cladding* selanjutnya akan dipotong sesuai dengan desain yang telah ditetapkan. Pemotongan dilakukan dengan mesin gergaji dengan ukuran 300 x 100 x 30 mm sebagai *testpiece* sebanyak 2 buah. Selain itu diperlukan pemotongan material untuk pembuatan BCB. BCB teknik 1 membutuhkan ukuran seluas 125 x 50 x 30 mm sedangkan teknik 2 membutuhkan material seluas 60 x 75 x 30.



Gambar 3.4. Side drill hole pada blok BCB teknik 1



Gambar 3.5. Pembuatan cacat buatan pada blok BCB teknik 2

Pembuatan diskontinuitas buatan berupa *side drillhole* dilakukan menggunakan bor duduk biasa. Ukuran dan posisi diskontinuitas telah didesain sesuai dengan rules ASME yang digunakan. Untuk pembuatan blok BCB teknik 1, menggunakan mata bor berdiameter 1,5mm. Sedangkan pada teknik 2, mata bor yang digunakan berdiameter 10 mm yang dimodifikasi ujungnya untuk memperoleh hasil permukaan bor yang rata. Pada *testpiece*, digunakan 2 ukuran matabor sebagai variasi dalam pembacaan scanning UT, yaitu 1 mm dan 2 mm yang ditempatkan pada *weld metal* atau *cladding* dan daerah *bond line*.



Gambar 3.6. Test piece pengujian teknik 1



Gambar 3.7. Test piece pengujian teknik 2

III.3. PROSES SCANNING

III.3.1. PERSIAPAN PERALATAN

Pada tahap scanning, ada beberapa peralatan penting yang dibutuhkan. Diantaranya sebagai berikut

III.3.1.1. *Ultrasonic Flaw Detector (UTFD)*

Spesifikasi UTFD yang digunakan adalah:

- *Brand* : SIUI
- *Type* : CTS-9005
- *Serial Number*: 549311110087



Gambar 3.8. UT *Flaw Detector*

III.3.1.2. DUAL ELEMEN PROBE (*TR Probe*)

Ada dua buah *TR probe* yang digunakan

TR Probe 1

Brand : SIUI
 Frekuensi : 4 M hz
 Diameter : 20 mm

TR probe 2

Brand : -
 Frekuensi : 4 M hz
 Diameter : 10 mm



Gambar 3.9. *TR Probe*

III.3.1.3. *Couplant*

Couplant yang digunakan adalah oli mesin yang terlihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. *Couplant*

III.3.1.4. Calibration Block

Blok yang digunakan untuk proses kalibrasi kali ini ada dua macam blok. Untuk kalibrasi pertama menggunakan blok ketebalan untuk material stainless steel dengan jenis material memiliki P-number yang sama dengan material *cladding* seperti pada gambar 3.11. Sedangkan untuk *scanning* yang dilakukan dari permukaan baja karbon, digunakan blok IIW V1 pada gambar 3.12.



Gambar 3.11. Blok kalibrasi *stainless steel*

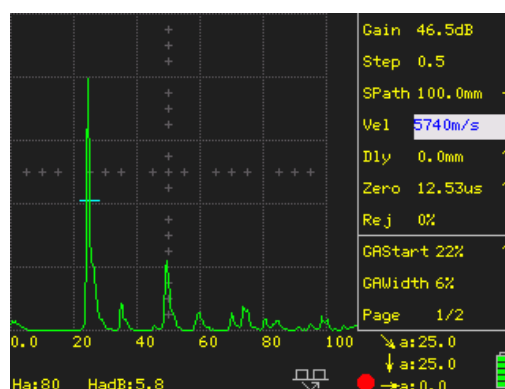


Gambar 3.12. IIW V1

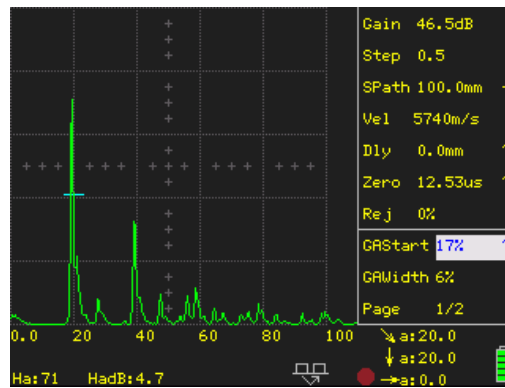
III.3.2. KALIBRASI PERALATAN

Kalibrasi peralatan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pembacaan indikasi pada layar mendekati kenyataan yang sebenarnya pada material. Langkah-langkah kalibrasi peralatan UT untuk scanning adalah:

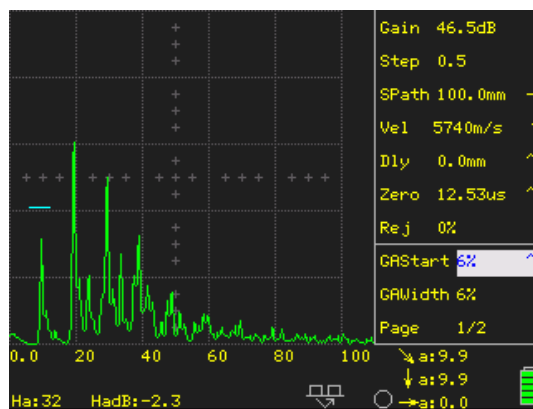
1. Atur *velocity* pada peralatan UT sesuai dengan kecepatan rambat gelombang longitudinal di stainless steel yaitu 5740 m/s dan untuk baja karbon sebesar 5920 m/s.
2. Atur fungsi *zero*, *angle*, dan *x value* pada angka 0 dan atur *range / Spath* pada angka 50
3. Taruh *dual probe* pada material dengan ketebalan 25 mm (untuk stainless steel) atau pada IIW V1, scan hingga mendapatkan pulsa yang stabil dan tertinggi.
4. Atur *gate* pada posisi pulsa pertama, kemudian tambahkan *zero* hingga pembacaan ketebalan pada alat UT menunjukkan angka tepat 25 mm
5. Untuk kalibrasi *scanning* pada material *stainless steel* perlu dilakukan verifikasi pada ketebalan ketebalan lainnya, yaitu 20, 10, dan 5 mm. Jika ketebalan yang ditunjukkan peralatan UT tidak sesuai, maka langkah 2-5 perlu diulangi.



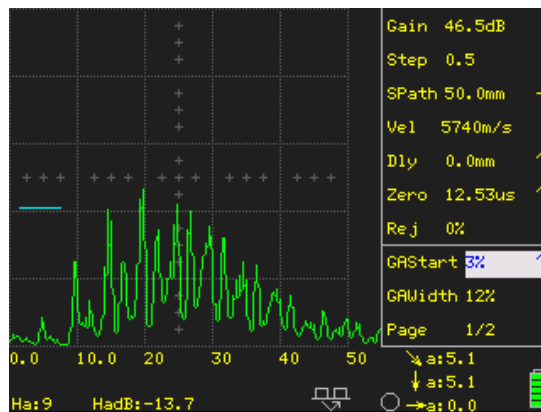
Gambar 3.13. Screenshot kalibrasi pada ketebalan 25 mm



Gambar 3.14. *Screenshot* kalibrasi pada ketebalan 20 mm



Gambar 3.15. *Screenshot* kalibrasi pada ketebalan 10 mm



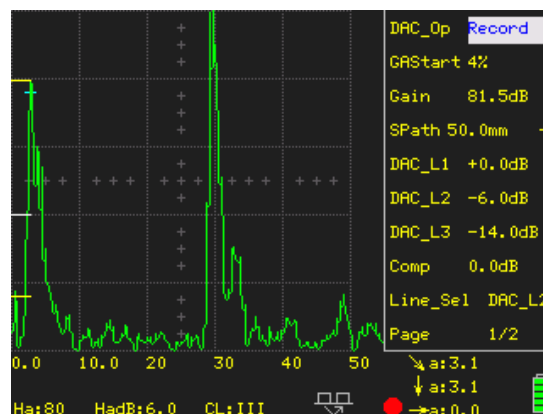
Gambar 3.16. *Screenshot* kalibrasi pada ketebalan 5 mm

III.3.3. PEMBUATAN KURVA DAC

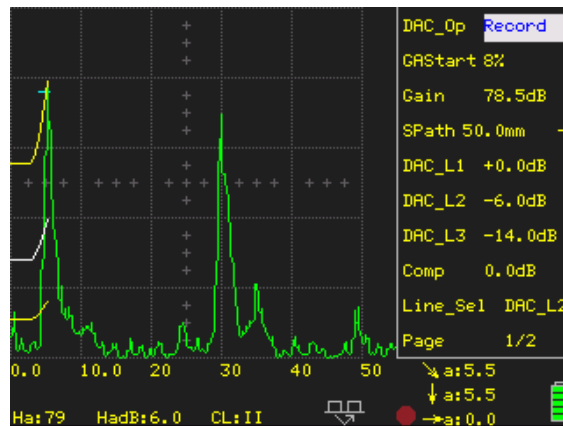
Proses *scanning* pada teknik 1 mewajibkan penggunaan kurva DAC yang dibuat dari blok BCB seperti yang telah dibahas sebelumnya. Langkah-langkah pembuatan kurva DAC adalah:

1. Kalibrasi *probe* terlebih dahulu sesuai dengan langkah pada III.3.2.
2. Ambil blok BCB sesuai pada gambar 2.18.
3. Tempatkan *probe* pada lubang dengan kedalaman $\frac{1}{4}$ T. Geser-geser probe hingga mendapatkan pulsa tertinggi, naikan pulsa pada ketinggian 80% FSH dan kemudian *record* itu sebagai titik awal kurva.
4. Ulangi langkah 2 untuk lubang dengan kedalaman $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, dan 1 T.
5. Kemudian hubungkan titik- titik yang sudah di dapat untuk membentuk suatu kurva.

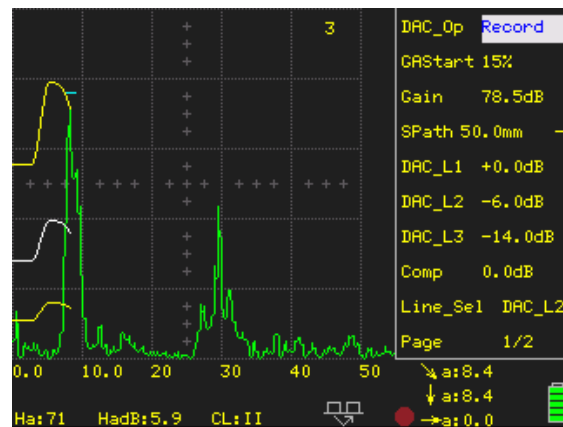
Note: *probe* TR tidak di desain untuk pembacaan pada pantulan kedua pulsa pada layar, sehingga tiak perlu dilakukan pencarian titik *scanning* pada $\frac{5}{4}$ T dan $\frac{6}{4}$ T.



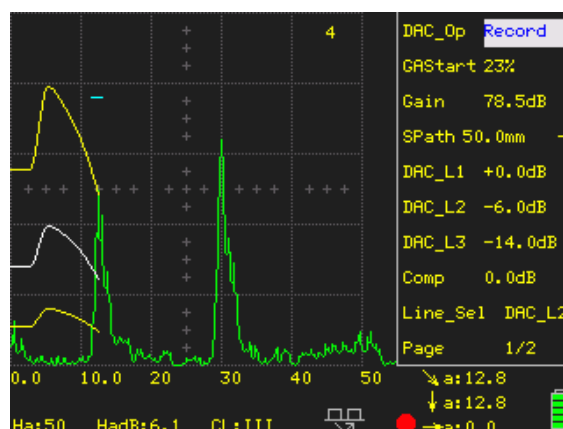
Gambar 3.17. Screenshot pembuatan kurva DAC pada lubang pertama



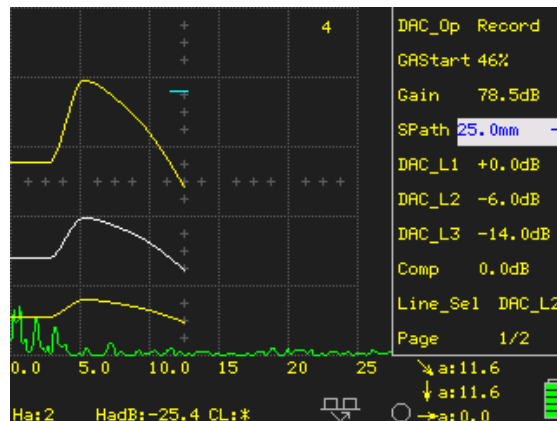
Gambar 3.18. *Screenshot* pembuatan kurva DAC pada lubang kedua



Gambar 3.19. *Screenshot* pembuatan kurva DAC pada lubang ketiga



Gambar 3.20. *Screenshot* pembuatan kurva DAC pada lubang keempat

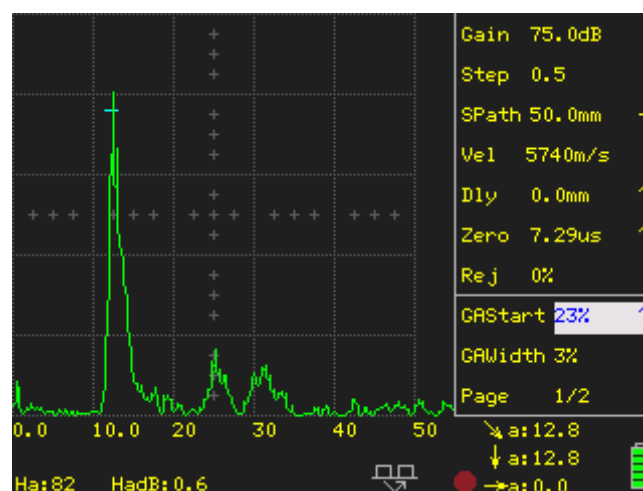


Gambar 3.21. *Screenshot* hasil akhir kurva DAC

III.3.4. KALIBRASI SCANNING TEKNIK 2

Tujuan scanning pada teknik 2 adalah menemukan diskontinuitas pada area bondline, yang mana interpretasi untuk itu adalah selalu repair, oleh karena itu teknik dua tidak membutuhkan kurva DAC. Langkah-langkah kalibrasi untuk teknik 2 adalah:

1. Kalibrasi *probe* terlebih dahulu sesuai dengan langkah pada III.3.2
2. Ambil blok kalibrasi teknik dua seperti pada gambar 2.19.
3. Scan lubang dari bagian dasarnya, gerakan probe hingga mencapai tinggi pulsa yang stabil dan maksimal
4. Kemudian atur gain sehingga tinggi pulsa menjadi $80\% \pm 5\%$ FSH.
5. Gain ini lah yang akan menjadi scanning level pada material.



Gambar 3.22. *Screenshot* pencarian scanning level untuk pengujian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1. PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas tentang analisa dan pembahasan dari pengujian ultrasonic yang telah dilakukan sebelumnya pada material cladding yang telah dibuat sesuai dengan apa yang telah dijelaskan pada Bab III. Dimana pengujian ultrasonik ini dilakukan pada material cladding dengan variasi sebagai berikut:

Variasi diameter cacat

- 1 mm
- 3 mm

Variasi diameter cacat diambil 1 dan 3 mm dikarenakan sebagai perwakilan dari cacat yang lebih kecil dan lebih besar dari acuan cacat buatan pada BCB untuk teknik scanning satu, yaitu 1.5 mm

Variasi posisi cacat

- Material cladding
- Bond line

Letak posisi cacat pada material cladding dan bondline diambil sebagai representasi dari dua jenis cacat pada pengujian ultrasonic yaitu elongation indication pada material cladding dengan kedalaman cacat 5 mm dan incomplete fusion pada daerah bondline dengan kedalaman 12 mm.

Variasi diameter transducer

- 20 mm
- 10 mm

Variasi diameter transducer diambil 10 dan 20 mm sebagai variabel pembanding tingkat akurasi maksimal yang dapat diperoleh dalam penelitian ini.

Variasi teknik pengujian

- Teknik 1
- Teknik 2

Variasi teknik pengujian 1 dan 2 diambil sebagai pedoman pengujian tugas akhir kali ini dan sebagai sarana pembanding kekurangan yang dapat di capai dari teknik pengujian ultrasonik.

IV.2. ANALISA DATA

Pada Sub Bab Analisa data ini akan dipaparkan hasil dari percobaan scanning ultrasonic yang telah dilakukan. Data-data pada sub bab kali ini meliputi diameter probe, kedalaman aktual cacat, diameter cacat, pembacaan kedalaman, serta eror dan akurasi yang dihasilkan probe tersebut untuk scanning dengan teknik 1. Pada teknik 1 juga di paparkan masalah acceptance criteria cacat menggunakan Rules dari ASME. Sedangkan pada teknik dua di berikan keterangan tambahan berupa permukaan scanning dan scanning level.

- **Teknik Pertama**

Table 4.1. Hasil pengujian probe diameter 10 mm untuk teknik satu

Diameter (mm)	Kedalaman aktual(mm)	Diameter cacat (mm)	Pembacaan kedalaman(mm)	Error	Akurasi	Rata-rata akurasi
10	5	1	5.30	6.00%	94.00%	95.00%
10	5	2	4.80	4.00%	96.00%	
10	12	1	14.20	18.33%	81.67%	84.17%
10	12	2	13.60	13.33%	86.67%	
rata-rata				10.42%	89.58%	

Tabel 4.2. Hasil pengujian probe diameter 20 mm untuk teknik satu

Diameter (mm)	Kedalaman aktual(mm)	Diameter cacat (mm)	Pembacaan kedalaman(mm)	Error	Akurasi	Rata-rata akurasi
20	5	1	4.90	2.00%	98.00%	97.00%
20	5	2	4.80	4.00%	96.00%	
20	12	1	14.10	17.50%	82.50%	83.33%
20	12	2	13.90	15.83%	84.17%	
			rata-rata	9.83%	90.17%	

Tabel 4.3. Hasil interpretasi menggunakan acceptance kriteria

Diameter (mm)	Kedalaman aktual (mm)	Diameter cacat (mm)	Tinggi pulsa (% DAC)	ACC / REP	Remarks
10	5	1	50-100	ACC	EI
10	5	2	>100	ACC	L = 2 mm
10	12	1	20-50	REP	IF
10	12	2	> 100	REP	IF
20	5	1	50-100	ACC	EI
20	5	2	>100	ACC	L = 2 mm
20	12	1	50-100	REP	IF
20	12	2	>100	REP	IF

Note: EI = Elongation Indication

IF = Incomplete Fusion

L = Panjang indikasi

Teknik 2 Kedua

Table 4.4. Hasil pengujian probe diameter 10 mm untuk teknik dua

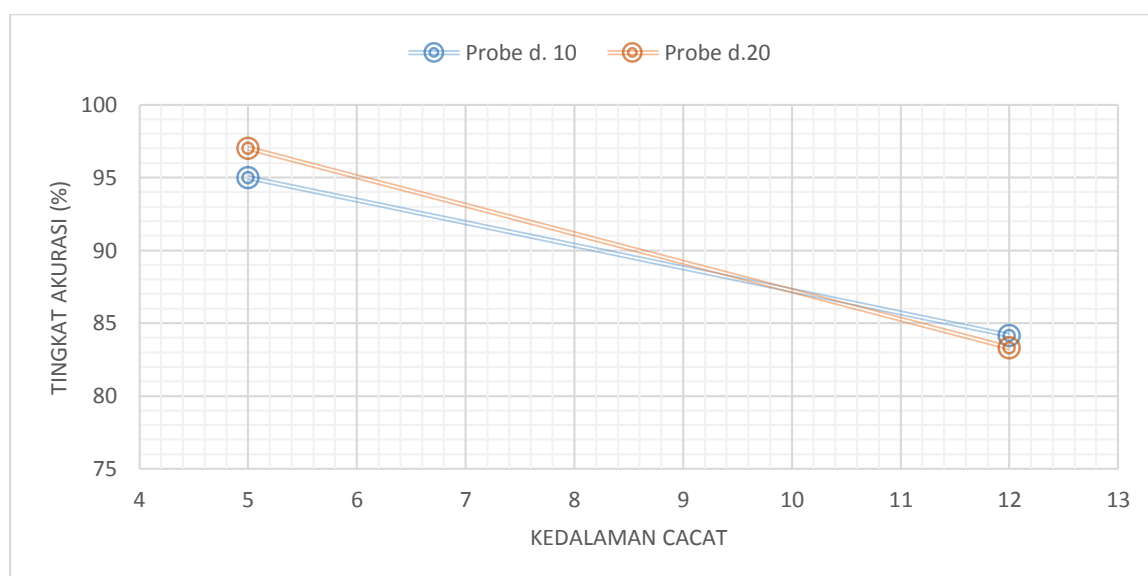
Diameter (mm)	Scanning surface	Kedalaman aktual(mm)	Diameter cacat (mm)	Scanning level	Pembacaan kedalaman (mm)	Error	Akurasi	Rata-rata akurasi
10	SS	12	1	75	12.30	2.50%	97.50%	98.33 %
10	SS	12	2	75	12.10	0.83%	99.17%	
10	CS	18	1	70	19.50	8.33%	91.67%	93.89 %
10	CS	18	2	70	17.30	3.89%	96.11%	
					rata-rata	3.89%	96.11%	

Table 4.5. Hasil pengujian probe diameter 20 mm untuk teknik dua

Diameter (mm)	Scanning surface	Kedalaman aktual(mm)	Diameter cacat (mm)	Scanning level	Pembacaan kedalaman (mm)	Error	Akurasi	Rata-rata akurasi
20	SS	12	1	75.5	12.30	2.50%	97.50%	98.75%
20	SS	12	2	75.5	12.00	0.00%	100.00%	
20	CS	18	1	69.5	19.20	6.67%	93.33%	95.00%
20	CS	18	2	69.5	17.40	3.33%	96.67%	
rata-rata						3.13%	96.88%	

IV.2.1. ANALISA TEKNIK 1 DENGAN VARIABEL DIAMETER PROBE

Pada analisa kali ini, akan dibandingkan mengenai tingkat akurasi antara probe berdiameter 10 mm dan probe berdiameter 20 mm menurut tabel rekap data diatas. Kurva yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Kurva perbandingan akurasi probe variasi diameter probe

Tingkat akurasi tertinggi scanning pada teknik 1 dengan probe berdiameter 10 mm dicapai pada scanning pada cacat berdiameter 2 mm dengan posisi kedalaman 5 mm dengan

akurasi sebesar 96%. Sedangkan tingkat akurasi terendah dicapai pada saat scanning pada kedalaman 12 mm dengan diameter cacat 1 mm dengan akurasi sebesar 81.67%.

Tingkat akurasi scanning tertinggi pada teknik 1 dengan probe berdiameter 20 mm dicapai pada scanning pada cacat berdiameter 2 mm dengan posisi kedalaman 5 mm dengan akurasi sebesar 98%. Sedangkan tingkat akurasi terendah dicapai pada saat scanning pada kedalaman 12 mm dengan diameter cacat 1 mm dengan akurasi sebesar 82.5%.

Sementara itu, untuk rata-rata akurasi scanning antara probe berdiameter 10 dan 20 mm, tingkat akurasi tertinggi dicapai oleh probe berdiameter 20 mm dengan rata-rata error sebesar 9.83% dan tingkat akurasi sebesar 90.17% dibandingkan dengan probe berdiameter 10 mm yang hanya mencapai akurasi sebesar 89.58%.

Hal ini bisa terjadi karena Semakin besar diameter suatu probe maka gelombang suara yang masuk ke dalam material akan semakin banyak, sehingga resolusi akan meningkat. Meningkatnya resolusi ini lah yang mengakibatkan pembacaan diskontinuitas menjadi semakin akurat. Hal ini dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$\sin \phi = 1.22 \frac{\lambda}{D} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2})$$

Dimana : Φ = separuh sudut beam spread

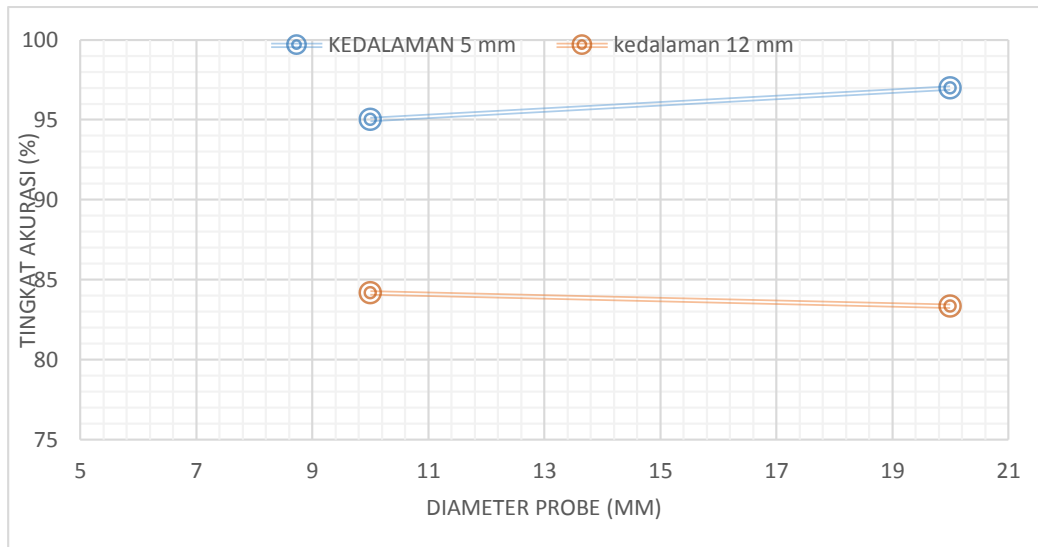
Λ = panjang gelombang ultrasonic

D = diameter transducer

Dapat dilihat pada persamaan diatas, bahwa semakin besar diameter suatu probe, akan berakibat semakin kecilnya hasil dari arc sin Φ . Arc sin Φ yang kecil memiliki arti bahwa beam spread yang masuk ke material tidak mengalami banyak penyebaran atau dengan kata lain pelemahan. Dengan ini maka sensitifitas dan resolusi menjadi bertambah baik.

IV.2.2. ANALISA TEKNIK 1 DENGAN VARIABEL KEDALAMAN CACAT

Pada analisa kali ini, akan dibandingkan mengenai tingkat akurasi cacat dengan variasi kedalaman 5 dan 12 mm menurut tabel rekap data diatas. Kurva yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2. Kurva perbandingan akurasi probe variasi kedalaman retak

Tingkat akurasi scanning tertinggi dengan variasi kedalaman lubang 5 mm, dicapai pada probe dengan diameter 20 mm dengan rata-rata akurasi 97%. Sedangkan tingkat akurasi pada probe dengan diameter 10 mm hanya mencapai 95%. Sementara itu tingkat akurasi scanning tertinggi dengan variasi kedalaman lubang 12 mm, dicapai pada probe dengan diameter 10 mm dengan rata-rata akurasi 84.17 %. Sedangkan tingkat akurasi pada probe dengan diameter 20 mm hanya mencapai 83,33%.

Menurunnya akurasi pada cacat dengan kedalaman lebih tebal diakibatkan karena pelemahan yang terjadi pada gelombang saat merambat dalam material. Selama gelombang berjalan dalam material energi suara dapat diserap oleh material tersebut, karena suara itu pada dasarnya adalah gelombang.

Penyebab lain yang mendasari terjadinya penurunan akurasi adalah karena gelombang yang berjalan pada material dipantulkan kesegala arah oleh struktur material. Material cladding

yang berupa las-las an memiliki struktur yang kasar dan heterogen, atau berbeda bentuk dan ukuran, sehingga gelombang suara memungkinkan untuk dipantulkan oleh gelombang tersebut kesegala arah.

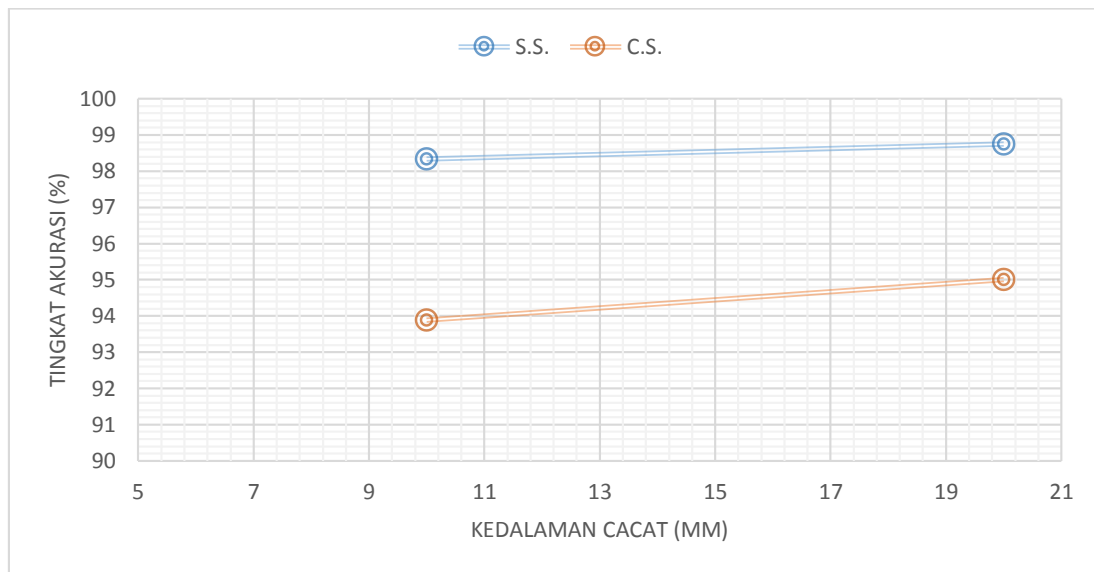
IV.2.3. ANALISA TEKNIK 2 DENGAN VARIABEL DIAMETER PROBE

Tingkat akurasi tertinggi scanning pada teknik 2 dengan probe berdiameter 10 mm dicapai pada scanning cacat berdiameter 2 mm dengan posisi scanning pada permukaan stainless steel (kedalaman 12 mm) dengan akurasi sebesar 99.17%. Sedangkan tingkat akurasi terendah dicapai pada saat scanning pada permukaan carbon steel (kedalaman 18 mm) dengan diameter cacat 1 mm dengan akurasi sebesar 91.67%.

Tingkat akurasi scanning tertinggi pada teknik 2 dengan probe berdiameter 20 mm dicapai pada scanning cacat berdiameter 2 mm dengan posisi scanning pada permukaan stainless steel (kedalaman 12 mm) dengan akurasi sebesar 100%. Sedangkan tingkat akurasi terendah dicapai pada saat scanning pada permukaan carbon steel (kedalaman 18 mm) dengan diameter cacat 1 mm dengan akurasi sebesar 93.33%.0

Sementara itu, untuk rata-rata akurasi scanning antara probe berdiameter 10 dan 20 mm, tingkat akurasi tertinggi dicapai oleh probe berdiameter 20 mm dengan rata-rata error sebesar 3.13 % dan tingkat akurasi sebesar 96.88% dibandingkan dengan probe berdiameter 10 mm yang hanya mencapai akurasi sebesar 96.11%.

IV.2.4. ANALISA TEKNIK 2 DENGAN VARIABEL PERMUKAAN SCANNING



Gambar 4.3. Kurva perbandingan akurasi probe variasi kedalaman retak untuk teknik 2

Tingkat akurasi scanning tertinggi dengan variasi permukaan scanning pada stainless steel (kedalaman 12 mm), dicapai pada probe dengan diameter 20 mm dengan rata-rata akurasi 98.75%. Sedangkan tingkat akurasi pada probe dengan diameter 10 mm hanya mencapai 98.33%. Sementara itu tingkat akurasi scanning tertinggi dengan variasi permukaan scanning pada carbon steel (kedalaman lubang 18) mm, dicapai pada probe dengan diameter 20 mm dengan rata-rata akurasi 95 %. Sedangkan tingkat akurasi pada probe dengan diameter 10 mm hanya mencapai 93.89%.

Sesuai yang telah dibahas sebelumnya, penurunan akurasi pada kali ini juga diakibatkan oleh pelemahan (penyerapan dan hamburan) yang dialami oleh gelombang saat berjalan pada suatu material. Semakin tebal suatu material yang dilewati gelombang suara, maka terjadinya pelemahan akan semakin lama dan besar, sehingga akurasi akan semakin menurun.

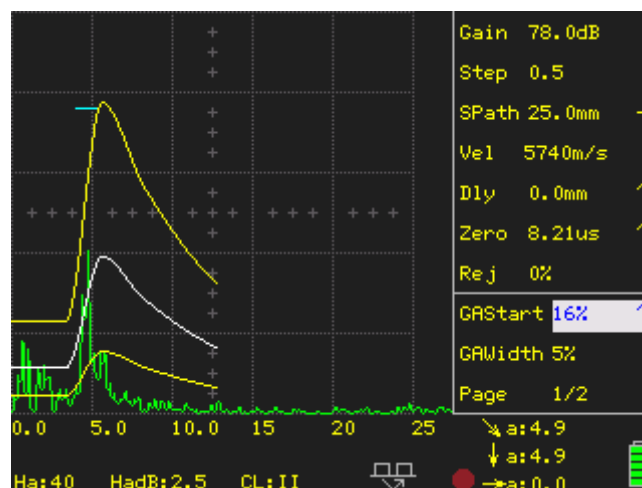
IV.2.5. ANALISA HASIL SCANNING UNTUK CACAT PADA BONDLINE

Tingkat akurasi scanning tertinggi untuk daerah bond line pada teknik 1 (scanning dari permukaan stainless steel) dicapai probe dengan diameter 10 mm dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 84.17%. Sedangkan untuk probe berdiameter 20 mm, hanya mencapai tingkat akurasi rata-rata sebesar 83.33%. Pada teknik 2 tingkat akurasi yang dicapai untuk scanning pada permukaan yang sama dengan teknik 1 mencapai 96.88% untuk probe berdiameter 20 mm dan 96.11% untuk probe berdiameter 10 mm.

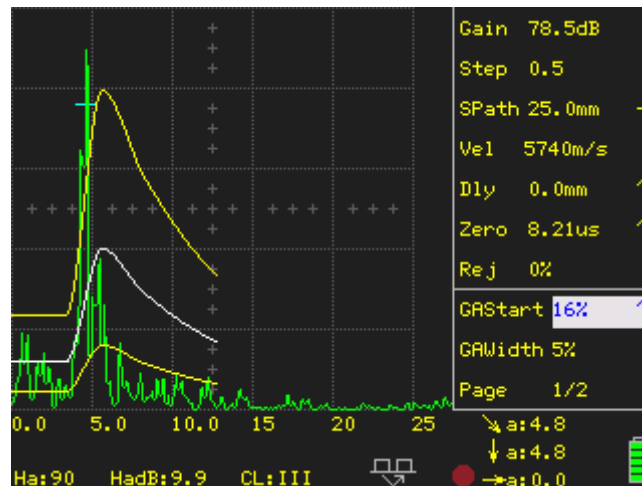
IV.3. PEMBAHASAN

IV.3.1. PENGARUH CACAT TERHADAP PEMBACAAN INDIKASI

Pada teori pengujian ultrasonik, pulsa pada layar adalah pantulan energi suara dari reflector yang kembali ke transducer. Semakin banyak energi suara yang kembali, maka tampilan pulsa pada layar akan semakin tinggi. Dengan kata lain, semakin luas permukaan reflector, maka energi yang terpantulkan akan semakin besar. Tetapi, bukan hanya factor luas permukaan reflector saja yang berpengaruh terhadap pembacaan indikasi atau ketinggian pulsa. kedalaman nya juga berpengaruh besar.



Gambar 4.4. Pembacaan indikasi pada probe 20 mm untuk cacat berdiameter 1 mm pada kedalaman 5 mm



Gambar 4.5. Pembacaan indikasi pada probe 20 mm untuk cacat berdiameter 2 mm pada kedalaman 5 mm

Pada teknik 1 dapat terlihat pada gambar 4.1 dan 4.2, pantulan reflector dengan diameter lebih besar, akan menghasilkan ketinggian pulsa yang besar juga. Hal ini berdampak pada kemungkinan di tolak nya sebuah las-lasan akan semakin tinggi, karena ketinggian pulsa dapat melebihi kurva DAC yang telah dibuat sebelumnya.

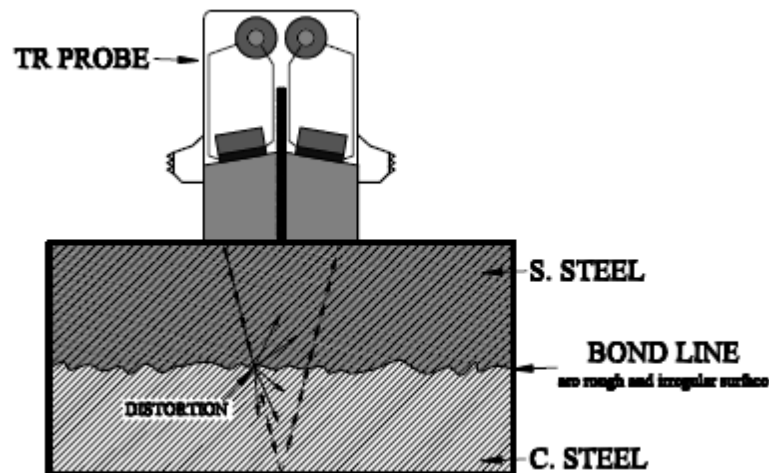
IV.3.2. PENGARUH BONDLINE TERHADAP PEMBACAAN INDIKASI

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab II tentang cladding overlay pada percobaan ini, permukaan batas antara material cladding di base metal atau bondline tidak berbentuk garis yang lurus. Hal ini dikarenakan elektroda stainless steel yang leleh juga ikut melelehkan base metal.

Pada tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi miss kalkulasi yang signifikan dari peralatan UT untuk kedalaman 12 mm atau daerah bondline. Gelombang yang merambat pada material mengenai daerah bondline yang tidak rata, sehingga hamburan yang dialami oleh gelombang terjadi secara berlebihan. Hamburan ini lah yang dapat mengakibatkan gelombang memantul kesegala arah secara acak sehingga terjadi kesalahan pembacaan indikasi.

Hal ini bisa dikurangi dengan mengganti probe yang memiliki resolusi yang lebih baik, atau memiliki penetrasi yang kuat / dalam atau dengan kata lain probe dengan frekuensi rendah.

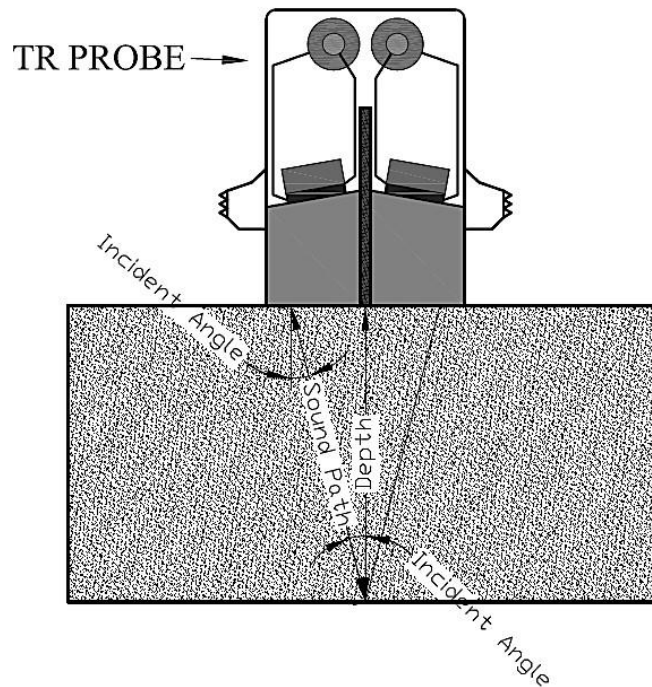
Sesuai dengan persamaan 1, probe dengan frekuensi rendah akan menghasilkan panjang gelombang yang besar sebagai indikasi bahwa probe tersebut memiliki penetrasi yang lebih baik.



Gambar 4.6. Ilustrasi hamburan pada bondline

IV.3.3 PENGARUH JENIS PROBE TERHADAP PEMBACAAN INDIKASI

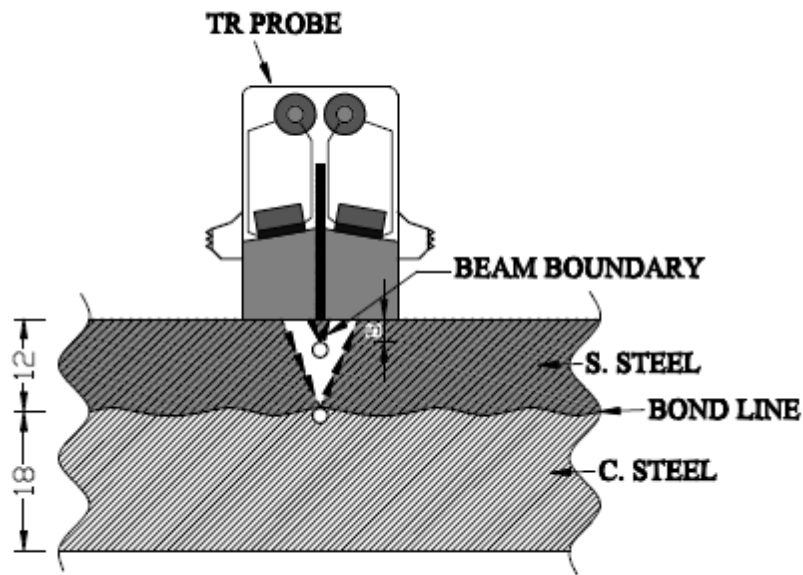
TR probe memiliki sebuah karakteristik khusus, yaitu memiliki focus. Jika scanning diskontinuitas berada tepat pada titik fokus TR probe tersebut, maka sensitifitas pembacaannya akan bertambah. Focus TR probe yang digunakan pada percobaan kali ini adalah sepanjang 10 mm. Hal ini dapat terjadi karena sebenarnya TR probe memiliki sudut masuk sehingga gelombang yang keluar dari probe membentuk sudut untuk kembali ke Kristal receiver probe.



Gambar 4.7. Ilustrasi sudut masuk TR probe

Pada saat scanning, peralatan UT yang digunakan tidak di atur masalah sudut masuk dari probe. Hal ini bisa menjadi salah satu factor yang menyebabkan kesalahan dalam pembacaan indikasi pada material menjadi begitu besar.

Terdapat salah satu hal yang berbeda pada pengujian TR probe ini dibandingkan dengan pengujian menggunakan probe lain. Hal ini adalah menurunnya ketinggian pulsa saat dilakukan scanning pada indikasi yang dekat permukaan, sehingga pada proses pembuatan kurva DAC pada saat scanning untuk kedalaman 5 mm, grafik mengalami penurunan ketinggian. Hal ini bisa diakibatkan arah gelombang yang membentuk sudut dan indikasi yang dekat dengan permukaan. Kombinasi kedua hal tersebut menyebabkan energi yang terpantulkan dari probe hanya sedikit, sehingga tinggi pulsa yang dihasilkan mengalami penurunan.



Gambar 4.8. Ilustrasi cacat dekat dengan permukaan

IV.3.4. ACCEPTANCE CRITERIA

Sesuai pada tabel 4.3, tinggi pulsa terhadap kurva DAC yang dihasilkan dalam scanning bervariasi. Terdapat 1 indikasi yang berada pada (20-50)% kurva DAC, 3 indikasi pada (50-100) % kurva DAC dan 4 indikasi yang melebihi 100% kurva DAC

Pada ketinggian pulsa (20-50) % indikasi terletak pada kedalaman 12 mm atau di daerah bondline, sesuai bahasan pada Bab II.3.3 indikasi ini termasuk incomplete fusion sehingga dinyatakan repair.

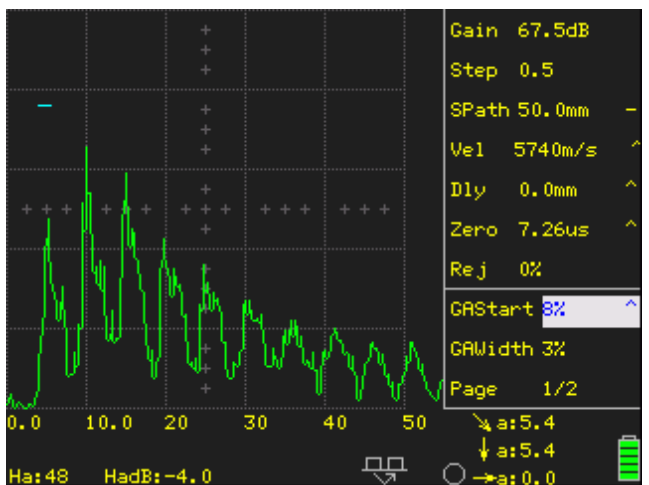
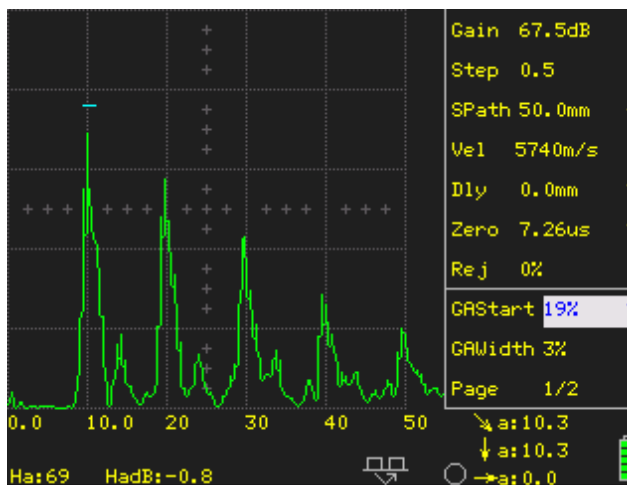
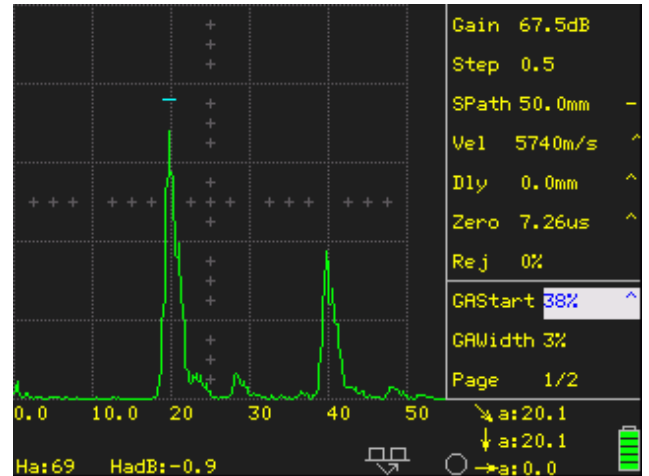
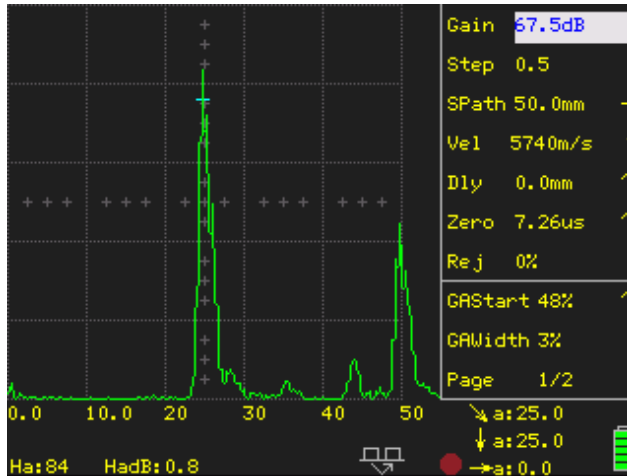
Sesuai bahasan pada Bab II.3.3 , untuk indikasi (50-100)% kita tidak perlu mengetahui ukuran nya, yang harus diketahui hanyalah posisi dari indikasi tersebut. Tiga indikasi pada ketinggian pulsa (50-100) % terbagi menjadi 2 indikasi pada kedalaman 5 mm dan 1 pada kedalaman 12 mm. Indikasi pada kedalaman 12 mm dapat dikategorikan sebagai incomplete fusion, sehingga harus di *repair*. Sedangkan untuk indikasi pada kedalaman 5 mm, Rules masih memperbolehkan adanya indikasi tersebut, sehingga masuk kategori accepted.

Untuk 4 indikasi >100% ketinggian kurva DAC, perlu diadakan verifikasi tentang ukura indikasi. Dikarenakan 2 indikasi berada pada posisi *bondline*, maka indikasi tersebut dinyatakan *repair*. Dua indikasi lainnya berada ada kedalaman cacat 5 mm, maka perlu ada perhitungan lebih lanjut.

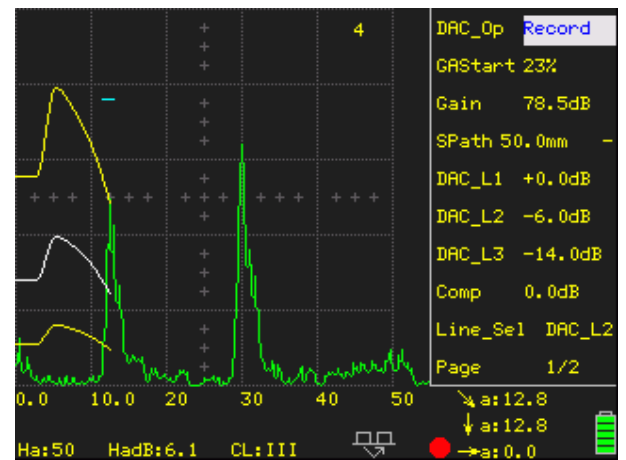
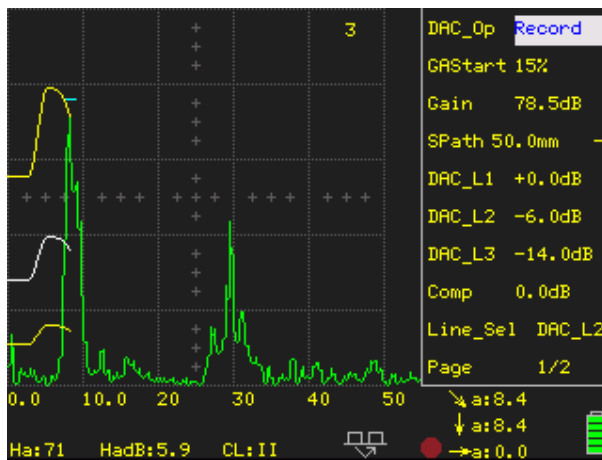
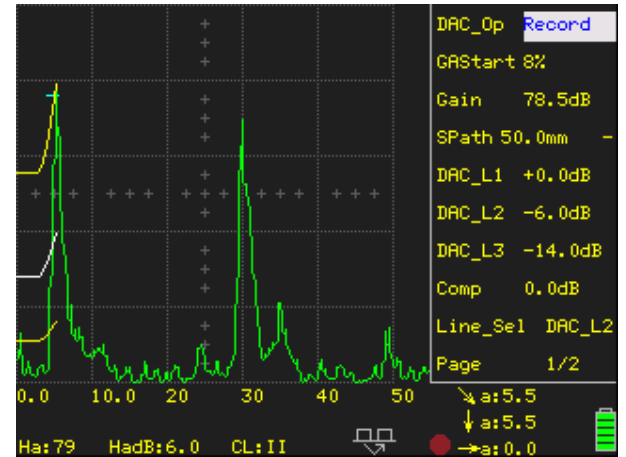
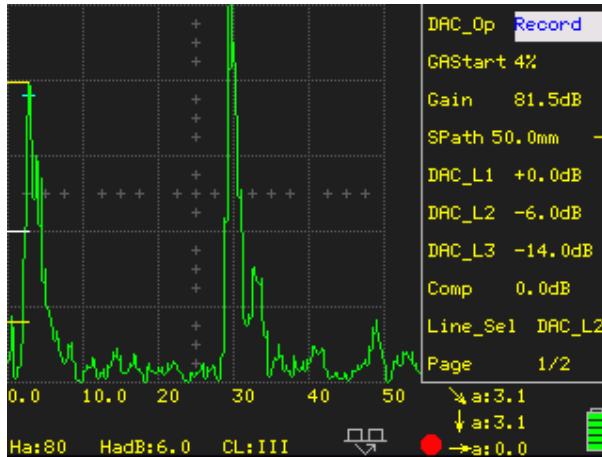
Untuk $t_{cladding} = 12 \text{ mm}$, digunakan batasan $t \leq 19 \text{ mm}$ dengan panjang indikasi $\max = 6 \text{ mm}$. Kedua indikasi tersebut memiliki panjang indikasi yang diambil dari diameter actual indikasi yaitu 2 mm, sehingga indikasi-indikasi tersebut dapat dikategorikan *accepted*.

LAMPIRAN

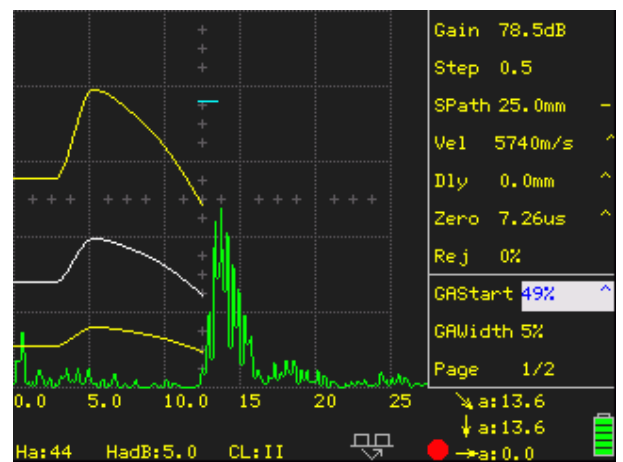
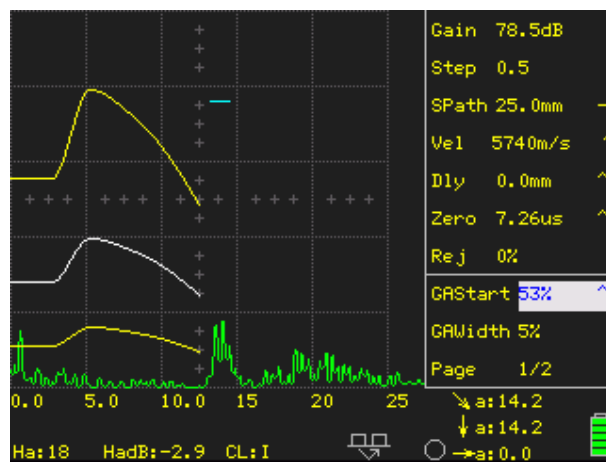
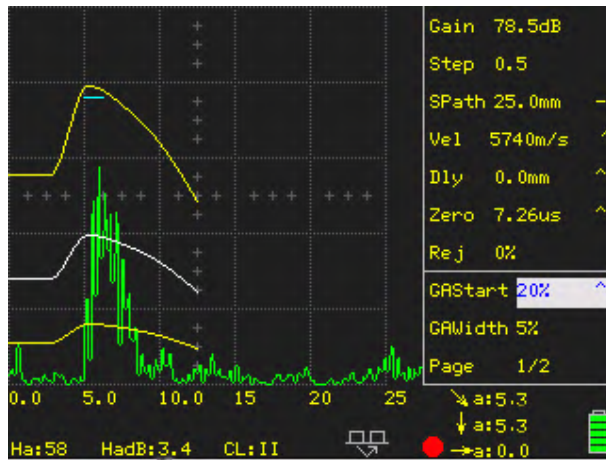
Screenshot Kalibrasi Probe 10 mm



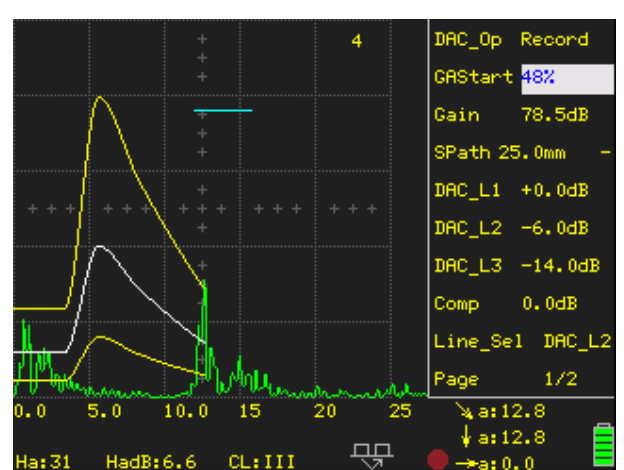
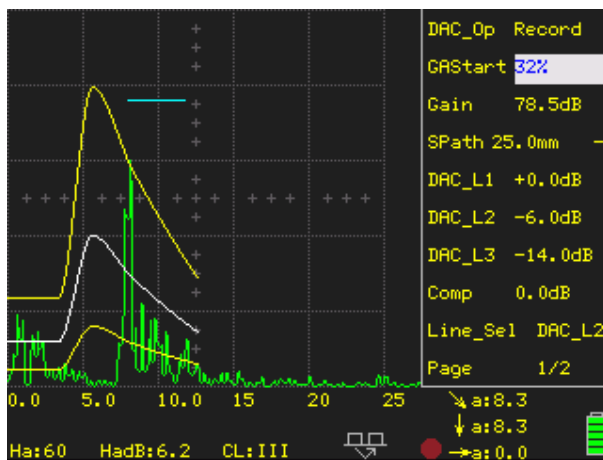
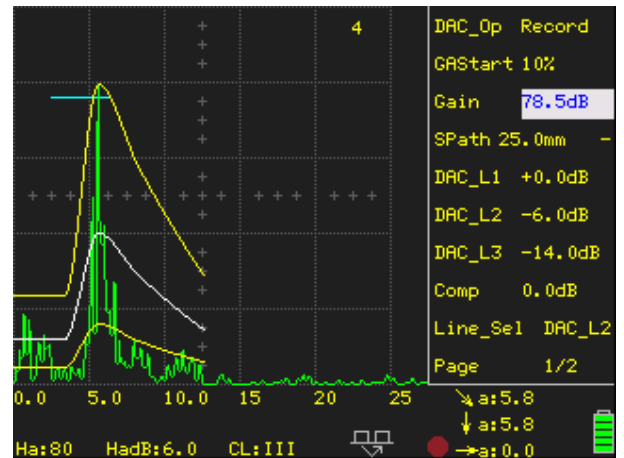
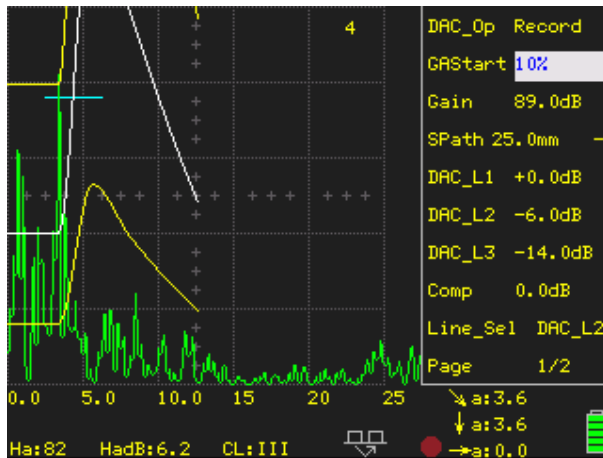
Screenshot Pembuatan Kurva DAC Teknik 1 Probe Diameter 10 mm



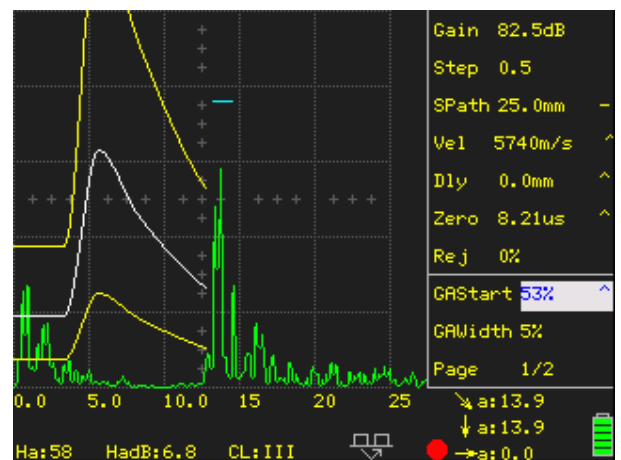
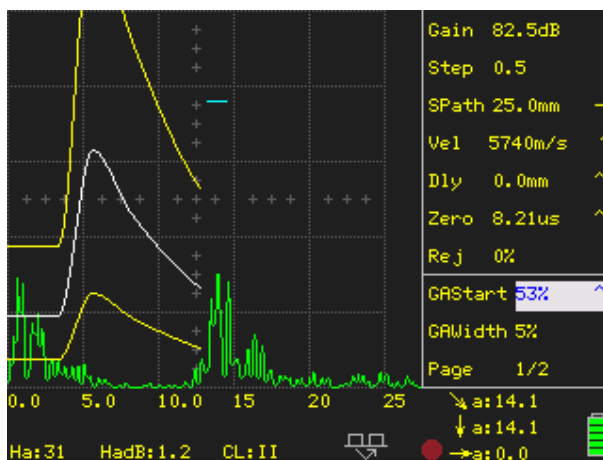
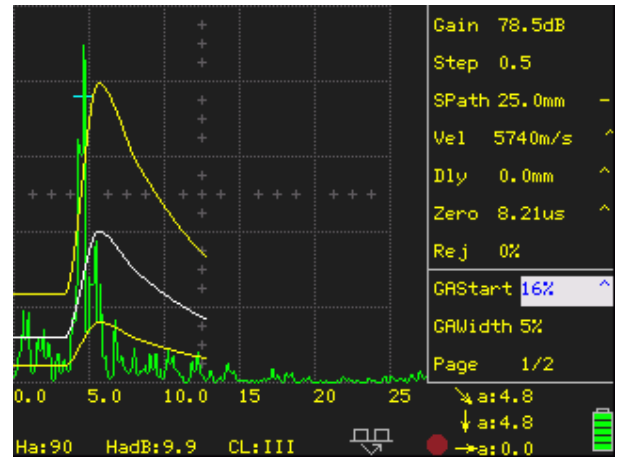
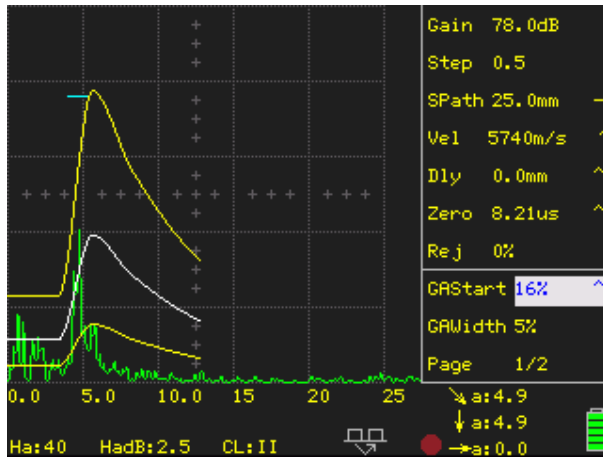
Screenshot Proses Scanning Teknik 1 Diameter Probe 10 mm



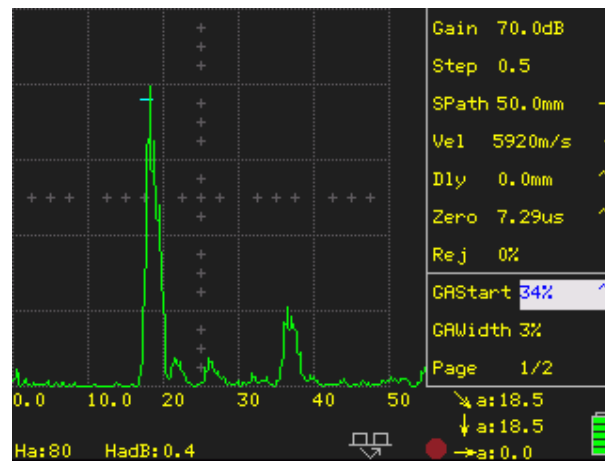
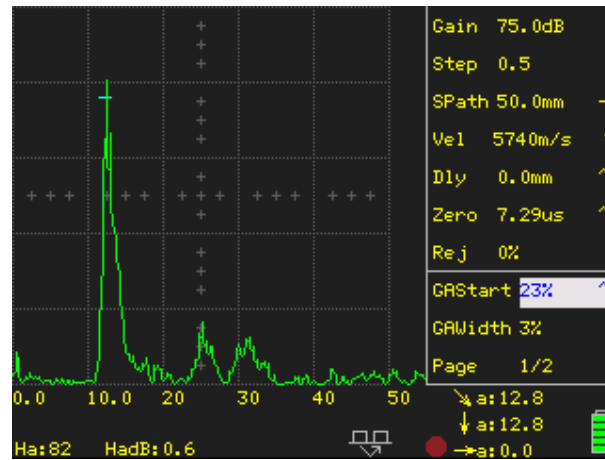
Screenshot Pembuatan Kurva DAC Teknik 1 Probe Diameter 20 mm



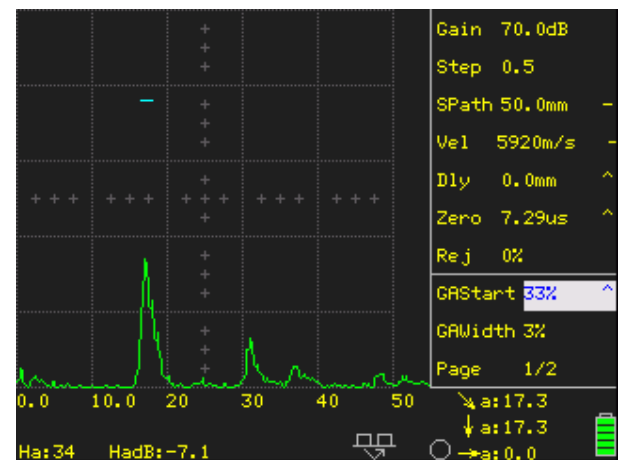
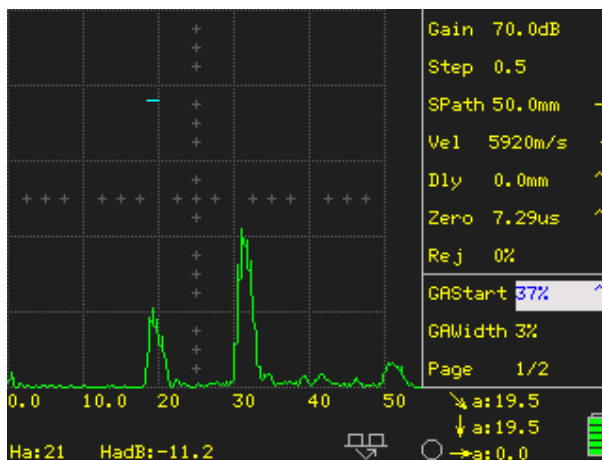
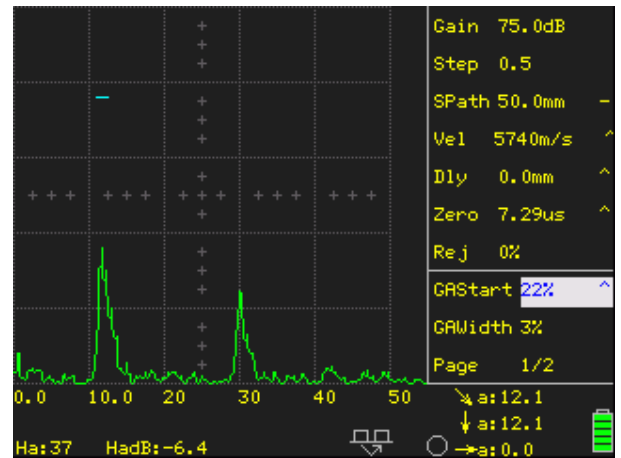
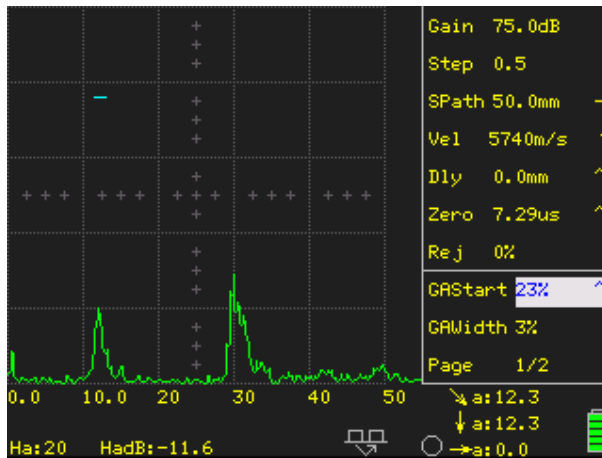
Screenshot Proses Scanning Teknik 1 Diameter Probe 20 mm



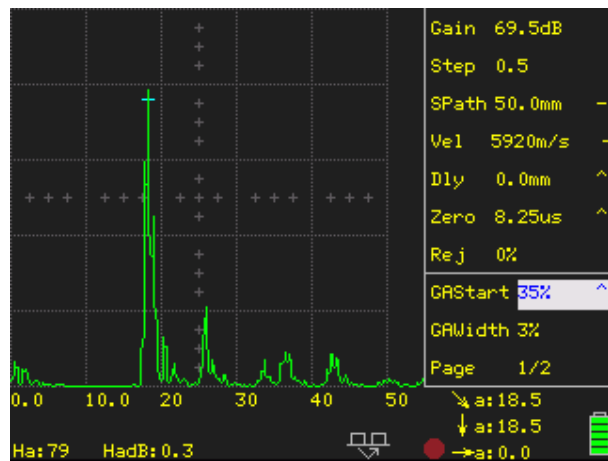
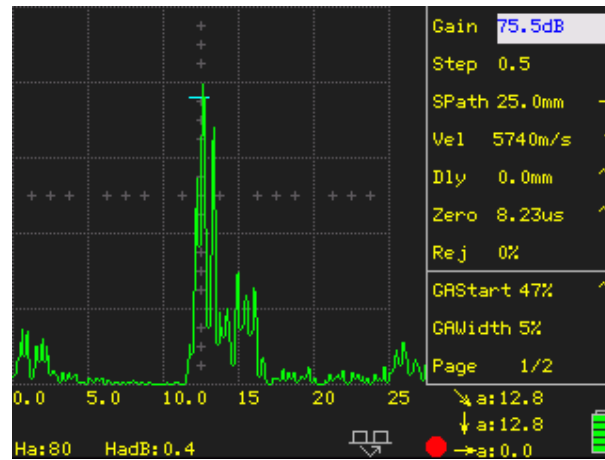
Proses Penentuan Scanning Level Probe 10 mm



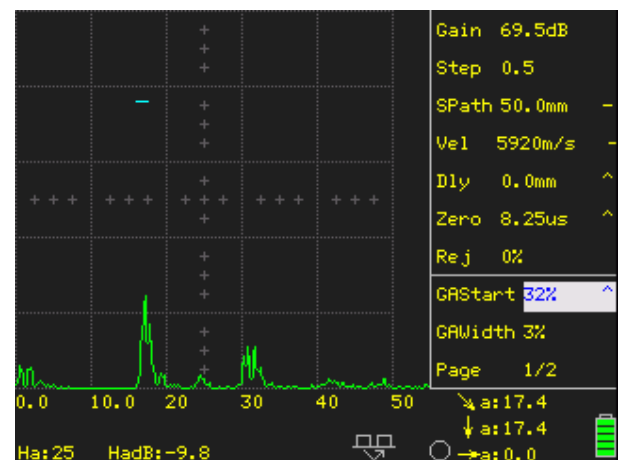
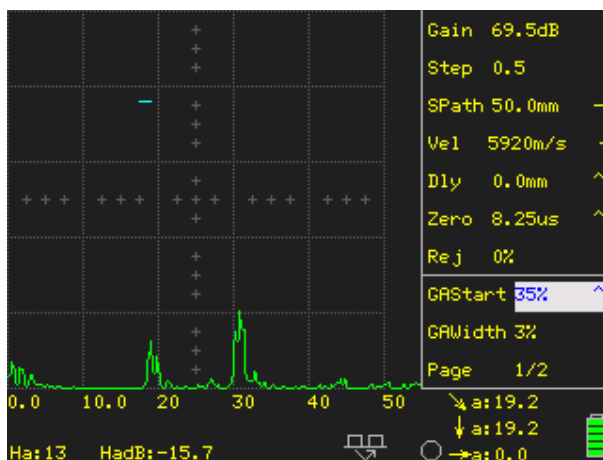
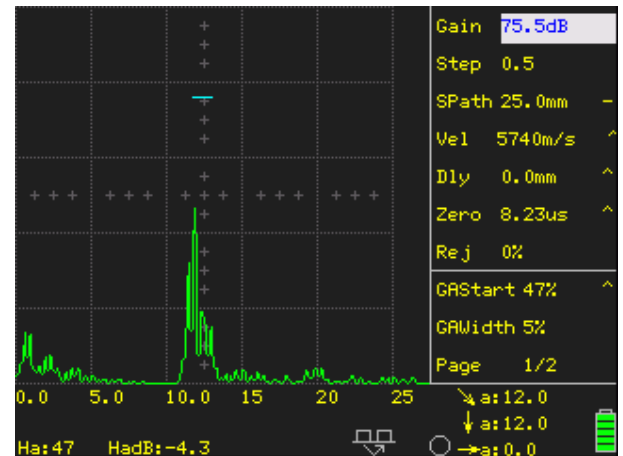
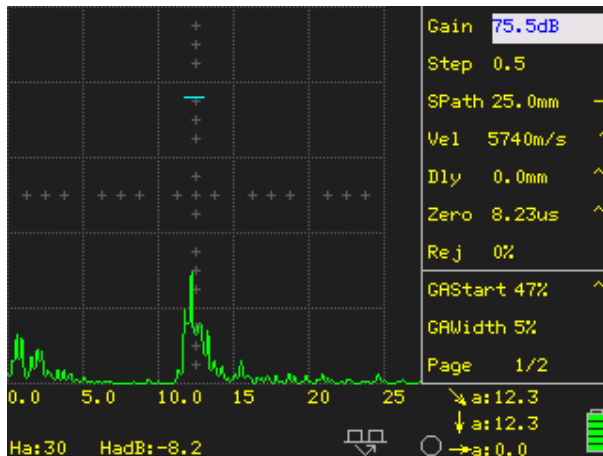
Proses Scanning Teknik 2 Probe Diameter 10 mm



Proses Penentuan Scanning Level Probe 20 mm



Proses Scanning Teknik 2 Probe Diameter 20 mm



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian ultrasonik dan analisa yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan, diantara lain:

1. Untuk scanning dengan kedalaman 5 mm atau material *cladding*, terdapat perbedaan akurasi yang tidak begitu signifikan, untuk *probe* berdiameter 10 mm memiliki akurasi rata-rata sebesar 95.00% dan probe berdiameter 20 mm sebesar 97.00%. Ini dikarenakan pengurangan sensitifitas pada probe berdiameter kecil.
2. Untuk scanning dengan kedalaman 12 mm atau *bondline*, rata-rata akurasi mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan kedalaman 5 mm. akurasi rata-rata pada probe 20 mm untuk kedalaman 5 mm adalah 97.00% sedangkan untuk kedalaman 12 mm sebesar 83.33%. Hal ini dikarenakan terjadinya pelemahan yang berbanding lurus dengan kedalaman indikasi.
3. Semakin besar diameter suatu probe maka gelombang suara yang masuk ke dalam material akan semakin banyak, sehingga resolusi akan meningkat. Meningkatnya resolusi ini lah yang mengakibatkan pembacaan diskontinuitas menjadi semakin akurat.
4. Keadaan *bondline* yang tidak rata menyebabkan gelombang suara dapat memantul ke segala arah, alih-alih ke indikasi yang akan di cari. Hal ini berakibat, ketidak-akurasian dari pembacaan indikasi akan meningkat sehingga perlu adanya koreksi lebih lanjut tentang ketebalan *bondline* untuk situasi di lapangan.
5. Pengaruh pengaturan alat *UT flaw detector* dengan situasi probe yang sebenarnya juga dapat berpengaruh besar terhadap pembacaan indikasi, terutama letak atau kedalaman indikasi tersebut. Hal ini dikarenakan, kondisi probe TR sebenarnya membentuk sebuah sudut, sudut ini berfungsi agar gelombang suara memantul dan tertangkap oleh kristal *receiver probe*. Tetapi sudut aktual ini tidak diketahui sehingga pembacaan *sound path* pada alat disamakan dengan pembacaan *depth*, padahal dua hal itu sangatlah berbeda.

V.2. SARAN

Saran untuk pengembangan tugas akhir ini adalah, perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang masalah sudut masuk dari sebuah TR probe untuk dimasukkan pada pengaturan peralatan UT. Hal ini dilakukan agar pembacaan indikasi menjadi semakin akurat.