

# Pengukuran Ketebalan serta Posisi Cacat pada Sampel *Carbon Steel* dan *Stainless Steel* dengan Metode *Ultrasonic Testing*

Fransisca Debora

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

Email : [fransisca.debora91@gmail.com](mailto:fransisca.debora91@gmail.com)

## ABSTRAK

Proses uji tak merusak dengan metode uji ultrasonik digunakan untuk mengukur ketebalan dan posisi cacat dari sampel *Carbon Steel* dan *Stainless Steel* dengan menggunakan *probe* normal dan *probe* sudut. Gelombang yang akan ditransmisikan dari *probe* ke benda uji sebelumnya harus dilapisi dengan kuplan supaya seluruh gelombang dapat diterima pada benda uji. Penggunaan *probe* juga digunakan pada bahan tertentu yaitu untuk bahan yang permukaannya datar akan menggunakan *probe* normal dan permukaan yang kasar digunakan *probe* sudut. Dengan metode ini dapat dihasilkan tebal bahan dan posisi retak pada bahan. Kesulitan dari penelitian ini lebih spesifik akan ditemukan saat mendeteksi posisi retak pada bahan, karena posisi retak bahan harus menghasilkan data yang akan direpresentasikan dalam bentuk dua dimensi (2D).

Kata Kunci : Uji Ultrasonik, Pesawat Ultrasonik, *Probe*, Kuplan, Gelombang Ultrasonik

## Pendahuluan

*Ultrasonic Testing* (UT) menggunakan media gelombang ultrasonik (gelombang suara) yang mempunyai frekuensi tinggi >20Khz. UT dapat digunakan untuk mendeteksi cacat, pengukuran dimensi, karakterisasi material, dan lainnya sesuai dengan perkembangan alat ultrasonik ke bentuk yang lebih modern dan multi fungsi.

Sebuah sistem UT terdiri dari beberapa unit fungsional seperti gelombang penerima, transduser, dan perangkat layar. Gelombang penerima adalah perangkat elektronik yang dapat menghasilkan energi listrik bertegangan tinggi yang membuat transduser berfrekuensi tinggi menghasilkan energi ultrasonik. Energi suara akan menyebarkan melalui bahan berupa gelombang. Ketika ada cacat yang dideteksi oleh gelombang, sebagian energi akan dipantulkan kembali dari permukaan cacat.

Gelombang ultrasonik dapat ditimbulkan oleh perubahan energi listrik ke energi mekanik dari suatu transduser yang disebut *probe*, melalui efek piezoelektrik. Efek piezoelektrik ini merupakan efek *reversible* artinya bila dapat terjadi perubahan energi listrik ke mekanik, maka perubahan energi mekanik ke energi listrikpun terjadi.

Untuk memeriksa tebal bahan dan adanya cacat di dalam suatu bahan dengan gelombang ultrasonik dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu teknik resonansi, teknik transmisi, dan teknik gema. Dari ketiga teknik tersebut,

teknik gema paling sering digunakan terutama pada pemeriksaan di lapangan.

Prinsip dasar dari ketiga teknik tersebut adalah :

### 1. Teknik Resonansi

Tebal bahan dapat diukur dengan cara mengukur frekuensi atau panjang gelombang ultrasonik yang dapat menimbulkan resonansi maksimum pada bahan tersebut. Adanya cacat dapat dideteksi dengan terjadinya perubahan resonansi karena jarak bahan yang beresonansi mengalami perubahan.

### 2. Teknik Transmisi

Adanya cacat di dalam bahan dapat diketahui dari adanya penurunan intensitas gelombang ultrasonik yang diterima oleh *probe* penerima sedangkan tebal bahan tidak bisa diukur dengan teknik transmisi.

### 3. Teknik Gema

Tebal bahan, lokasi dan besarnya cacat dapat diketahui dari waktu rambat dan amplitudo gelombang yang diterima oleh *probe*.

## Perambatan Getaran

Perambatan gelombang ultrasonik dapat terbagi menjadi beberapa mode perambatan :

### 1. Mode Gelombang *Longitudinal* (*Pressure Wave*)

Gelombang ini adalah getaran yang arah rambatnya sejajar dengan arah gerakan atom yang digetarkan. Kecepatan dan panjang gelombangnya tergantung bahan yang dilaluinya. Gelombang *longitudinal* dapat

merambat pada semua bahan, baik gas, cair, maupun padat.

2. Mode Gelombang *Transversal (Shear Wave)*

Gelombang ini merupakan getaran yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah gerakan atom yang digetarkan. Pada getaran *transversal*, kecepatan dan panjang gelombangnya tergantung pada bahan yang dilaluinya. Gelombang *transversal* hanya dapat merambat pada benda padat.

3. Mode Permukaan

Mode permukaan terjadi bila gelombang *transversal* merambat pada permukaan. Gerakan atom yang bergetar berbentuk *elips*. Sesuai dengan namanya, gelombang permukaan (*surface/releigh wave*) hanya merambat pada permukaan bahan padat dengan kedalaman maksimum satu panjang gelombang.

4. Mode Pelat

Mode pelat terjadi bila gelombang transversal merambat pada bahan pelat tipis yang terbalnya kurang dari setengah panjang gelombang. Gerakan atom yang bergetar berbentuk *elips*. Gelombang pelat (*plate/lamb wave*) merambat pada seluruh benda uji tipis tersebut baik dalam bentuk gelombang simetris atau gelombang asimetris.

Gelombang ultrasonik yang merambat dalam suatu bahan dapat merubah mode dari satu mode ke satu mode lainnya. Perubahan mode ini terjadi misalnya karena pantulan atau pembiasan. Bila mode berubah maka kecepatan rambatnya juga berubah. Begitu juga dengan panjang gelombangnya akan ikut berubah. Akan tetapi frekuensi gelombang tidak ikut berubah.

Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang

Kecepatan rambat ( $v$ ) gelombang ultrasonik dalam suatu bahan tergantung pada jenis bahan yang dilalui oleh mode gelombang tersebut seperti yang dirumuskan pada persamaan 1.1 dan persamaan 1.2

Mode *Longitudinal* :

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \dots\dots\dots (1.1)$$

Mode *Transversal* :

$$V_T = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{2\rho(1+\sigma)}} \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana :  $E$  = Modulus Elastisitas

$\rho$  = Massa Jenis

$\sigma$  = Rasio *Poisson*

Untuk mode pelat, kecepatan rambat tidak hanya tergantung pada jenis bahan, tetapi bergantung juga pada tebal bahan dan frekuensinya.

Kuplan

Kuplan berfungsinya untuk memudahkan merambatnya gelombang dari *probe* ke dalam benda uji. Karena bila antara *probe* dan benda uji terdapat udara maka hampir 100% gelombang akan dipantulkan kembali kedalam *probe* dan gelombang di pantulkan akan lebih banyak menyebar dibandingkan fokus kepada cacat pada material.

Agar tebal kuplan yang terletak antara *probe* dan benda uji tetap, tekanan yang diberikan pada *probe* harus konstan sehingga tidak mempengaruhi amplitudo dari indikasi yang timbul pada layar.

Jenis-Jenis Kuplan

a. Kuplan untuk test celup (*immersion testing*) :

- Pada test celup air bersih dapat digunakan

b. Kuplan untuk pengujian kontak langsung :

- Permukaan halus mendatar : Gliserin
- Permukaan agak kasar dan mendatar : Oli
- Permukaan sangat kasar dan tegak : *Grease*
- Permukaan panas : *Grease*

Pesawat Ultrasonik

Pesawat ultrasonik mempunyai kesamaan dengan osiloskop dimana pengukuran yang dilakukan berdasarkan pengukuran waktu dan tegangan. Pengukuran waktu dipresentasikan pada skala *horizontal* sebagai pengukuran jarak tempuh gelombang ultrasonik. Pengukuran tegangan dipresentasikan pada skala vertikal sebagai pengukuran amplitudo untuk mengetahui koefisien attenuasi gelombang yang melalui medium tersebut. Skala horizontal dan vertikal ini harus linear agar dan menghasilkan nilai keluaran yang akurat.

## Jenis-Jenis Probe

Jenis-jenis probe ada 3 yaitu :

1. Probe Normal Tunggal
2. Probe Sudut Tunggal ( $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ )
3. Probe Normal dan Sudut Kembar

### Probe Normal

Probe normal digunakan untuk mengukur tebal bahan dan menentukan lokasi cacat yang sejajar dengan permukaan benda uji.

### Probe Sudut

Probe sudut hanya digunakan untuk menentukan lokasi dan besar cacat yang memiliki permukaan yang membentuk sudut terhadap permukaan benda uji. Probe sudut tidak biasa digunakan untuk mengukur tebal benda yang diuji. Hal yang memudahkan dalam pengukuran dengan probe sudut adalah bahwa dari satu cacat umumnya hanya menghasilkan satu indikasi, sehingga mudah dianalisa.

Penentuan lokasi cacat dengan probe sudut memerlukan ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan probe normal untuk itu probe harus digerakkan maju mundur sambil diputar ke kiri dan ke kanan agar diperoleh amplitudo maksimum dan dapat dibaca pada layar.

### Probe Normal dan Sudut Kembar

Pada probe ini bentuk dan ukuran memiliki kesamaan dengan probe sudut maupun probe normal tunggal. Perbedaannya terletak pada bagian alas dimana pada probe kembar bagian pemancar dan penerima dibuat menjadi bagian yang berbeda. Dimana kegunaan probe kembar berada pada saat pendeteksian ultrasonik pulsa berada pada daerah *dead zone* (daerah mati).

### Penentuan Dimensi Cacat

- Metode 6 dB drop  
Posisi probe di pinggir cacat dapat ditentukan yakni apabila 50% gelombang diteruskan sedangkan 50% lagi dipantulkan kembali ke probe. Maka dari itu probe dapat dikatakan tepat berada pada posisi pinggir cacat. Dengan menggeser probe diseluruh permukaan benda uji, maka batas pinggir

dari cacat tersebut akan dapat ditentukan sehingga diperoleh dimensinya. Dalam metode ini juga dilakukan penambahan 6 dB dari gain kalibrasi sebelumnya. Terjadi penambahan 6dB dikarenakan untuk mendeteksi cacat harusnya dicari pulsa yang berada pada posisi 50% amplitudonya. Saat posisi pulsa awal 100% berubah menjadi 50% terjadi pengurangan dB sebesar 6dB. Oleh karena itu didapatkan amplitudo maksimum untuk menentukan pinggir cacat. Untuk mendeteksi batas akhir dari pinggir panjang cacat maka probe harus digerakan kembali hingga menemukan pulsa dalam posisi yang sama yaitu 50%.

- Metode Ekualisasi

Metode ini menggunakan prinsip penyamaan pulsa cacat dengan pulsa pantulan cacat (*back wall*) dengan menggeser probe. Jika suatu material menghasilkan pulsa yang sama tinggi dengan pantulannya maka daerah tersebut adalah daerah pinggir cacat dan untuk mencari ujung cacat maka harus ditentukan lagi pulsa yang sama panjang dengan pantulannya. Sehingga dalam metoda ini diperlukan tiga gelombang yang sama besar.

- *Distance Amplitudo Correction* (DAC)

DAC adalah salah satu cara menentukan dimensi cacat relatif, artinya relatif terhadap suatu cacat tertentu. Untuk itu terlebih dahulu harus dibuat kurva DAC dari cacat referensi berupa lubang bor sisi atau berupa takikan segiempat (*notch*) dari blok kalibrasi dasar. Setelah kurva DAC diperoleh, amplitudo dari indikasi cacat dibandingkan dengan kurva DAC dan dapat dihitung berapa persen perbandingan antara amplitudo dari indikasi cacat terhadap amplitudo kurva DAC untuk jarak yang sama.

### Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 6 Januari 2013 sampai 31 Januari 2013 di Laboratorium Logam dan *Non Destructive Test* PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang. Alat yang digunakan dalam pengambilan data berupa Pesawat Ultrasonik DM4-DL dan *Parametric* NDT dan bahan yang terdiri dari *Carbon Steel* dan *Stainless Steel*. Hasil yang ditampilkan dapat berupa gambaran secara grafik dalam 2D. Horizontal direpresentasikan

sebagai ketinggian posisi cacat dan vertikal direpresentasikan sebagai penguat gelombang (*gain*).

Tahapan dalam pengukuran dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu pengukuran ketebalan dan penentuan posisi cacat. Pada pengukuran tebal bahan digunakan alat yaitu *Parametric* NDT, sedangkan untuk menentukan posisi cacat digunakan alat Pesawat Ultrasonic DM4-DL. Sebelum menggunakan kedua alat ini terlebih dahulu dilakukan pengkalibrasian.

Pengkalibrasian *Parametric* NDT dilakukan dengan menekan tombol ON, MEAS kemudian ZERO. Setelah *Parametric* NDT sudah dikalibrasi pengambilan data dapat dilakukan dengan melumuri bahan dengan kuplan dan hasil dan pengamatan ketebalan dapat terlihat dilayar. Sedangkan untuk pengkalibrasian pada Pesawat Ultrasonic DM4-DL dilakukan dengan berbagai tahap. Dimulai dari pengkalibrasian *probe*, layar pengamat dan jarak pengamatan. Kalibrasi *probe* dibedakan menjadi dua bagian yaitu kalibrasi *probe* normal dan *probe* sudut.

#### Kalibrasi *Probe* Normal Tunggal

Tujuannya adalah menyesuaikan skala 0 sampai 50 pada layar dengan jangkauan dari gelombang ultrasonik dalam benda uji. Jarak yang dikalibrasi adalah jarak tempuh yaitu jarak yang dilalui oleh gelombang-gelombang dalam benda uji.

Caranya adalah :

Letakkan *probe* pada standar blok "V1" pada ketebalan 25 mm dengan range 100 mm dengan demikian indikasi yang timbul pada layar ( $n$ ) =  $R/d = 100/25 = 4$  indikasi, dimana indikasi pertama berada pada skala 12.5; 25; 37.5; 50. Bila seluruh indikasi telah menempati skala tersebut secara tepat, maka kalibrasi telah selesai. Untuk memeriksa keakuratan pengkalibrasian sebelum digunakan maka diharuskan untuk mengukur jarak benda uji terhadap standar ketebalan yang sudah ada sebelumnya.

#### Kalibrasi *Probe* Sudut

Proses kalibrasi *probe* sudut lebih sukar dibandingkan dengan kalibrasi *probe* normal. Hal ini disebabkan karena posisi *probe* harus

tepat diketahui dari amplitudo indikasi yang timbul pada layar. Posisi *probe* yang tepat akan menghasilkan indikasi yang amplitudonya maksimum. Bila amplitudo belum maksimum maka posisi *probe* benda, hasil kalibrasi dan pengukurannya juga tidak akurat.

Titik indeks dan sudutnya juga perlu diperiksa karena kesalahan dalam menentukan titik indeks maupun sudut akan menyebabkan kesalahan hasil pengukuran. Titik indeks perlu diketahui karena titik ini merupakan titik nol dari setiap pengukuran jarak. Penentuan titik indeks dapat dilakukan dengan cara meletakkan *probe* sudut pada blok kalibrasi.

#### Kalibrasi Layar Pengamat

Pengkalibrasian layar pengamat dilakukan pada :

##### 1. Skala *horizontal*.

Tujuan dari pemeriksaan skala *horizontal* untuk meyakinkan skala horizontal linear.

##### 2. Skala *vertical* : a. Linearitas tombol gain b. Linearitas layar

##### a. Linearitas Tombol *Gain*

Tujuan dari pada pemeriksaan linearitas tombol *gain* untuk meyakinkan bahwa *step* tombol *gain* dari pesawat ultrasonik adalah linear. Jika % dari amplitudo terlalu tinggi maka *gain* harus diturunkan.

##### b. Linearitas Layar Skala Vertikal

Pemeriksaan untuk meyakinkan bahwa skala vertikal layar adalah linear. Diupayakan pada layar ditimbulkan dua buah indikasi yang amplitudonya memiliki perbandingan 2:1. Pada saat amplitudo indikasi pertama mencapai 80% indikasi tertinggi diatur agar amplitudo mencapai 100%, kemudian diturunkan dengan *step* 10% sampai amplitudonya menjadi 20%. Skala vertikal layar disebut linear bila setiap kali amplitudo indikasi kedua tingginya  $50 \pm 5\%$  dari amplitudo indikasi pertama.

#### Kalibrasi Jarak Pengamatan

Kalibrasi jarak pengamatan dilakukan dengan memungkinkan 3 macam jarak yakni :

1. Jarak Tempuh (s)
2. Jarak Proyeksi diukur dari titik indeks (p)
3. Jarak Proyeksi diukur dari ujung *probe* (a)

Bila salah satu jarak telah diketahui maka jarak yang lain dapat ditentukan melalui rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{a. } \sin \alpha &= p/s = 2d/s & \text{b. } p &= 2d \\ \text{tg } \alpha & & & \\ \text{b. } s &= 2d/\cos \alpha = p/\sin \alpha & \text{d. } \text{tg } \alpha &= p/d \end{aligned}$$

### Hasil dan Pembahasan

Pengukuran ketebalan dengan *Ultrasonic Testing* dapat dihasilkan dengan menggunakan Parametric NDT pada bahan Logam dan *Stainless Steel* seperti Gambar 1.



Gambar 1. Parametric NDT (UT NDT)

Hasil pengukurannya ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Tebal pada Logram	
Pengukuran dengan Jangka Sorong (m)	Pengukuran dengan UT NDT (m)
0.64	0.65
0.54	0.54
0.44	0.44

Tabel 2. Tebal pada Stainless Steel	
Pengukuran dengan Jangka Sorong (m)	Pengukuran dengan UT NDT (m)
0.71	0.72
0.61	0.61
0.51	0.51

Pada pengambilan data untuk mendeteksi tebal bahan terjadi pengujian pada bahan yang berbeda yaitu bahan logam dan *Stainless Steel*. Tabel 1 merupakan hasil pada pendeteksian tebal bahan logam dengan menggunakan perbandingan penilaian menggunakan Jangka Sorong. Sedangkan pada Tabel 2 menggunakan metode yang sama dengan Tabel 1 tetapi dengan bahan yang berbeda yaitu *Stainless Steel*.

Mendeteksi Tinggi dan Lebar Cacat Pada Bahan Specimen dengan *Probe Normal*

Perumusan mencari tinggi cacat ( $t_c$ ) :

$$t_c = \frac{l}{s} \times R$$

$t_c$  = tinggi cacat

$l$  = lebar cacat

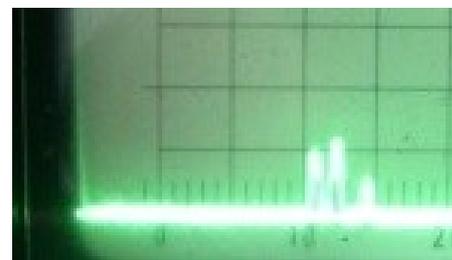
$s$  = skala pengukuran pada alat

$R$  = range pengukuran pada alat

Pada sampel diketahui tebal bahan uji sebesar 22 mm, tinggi bahan uji sebesar 70 mm, skala pada layar 50 dan range yang digunakan sebesar 100 mm. Indikasi pulsa cacat yang terbaca pada ultrasonik berada pada skala 11, 14 dan 15



Gambar 2. Bahan *Stainless Steel*



Gambar 3. Grafik Kalibrasi pada Bahan

Gambar 2 merupakan sebuah *specimen* yang mempunyai 3 lubang yang dikatakan daerah 1. Lubang tersebut dideteksi oleh probe normal dan terdeteksi cacat yang

ditampilkan pada Gambar 3. Pulsa grafik mendeteksi cacat dengan metode ekualisasi yaitu saat dimana gelombang ultrasonik yang dipancarkan dan diterima menampilkan gelombang yang sama panjang pada layar. Pulsa yang tampil pada layar ada tiga indikasi pulsa yaitu pada skala 11, 14 dan 15.

Sehingga jika direpresentasikan ke dalam perumusan menjadi :

$$t_{c1} = \frac{l}{S} \times R = \frac{11}{50} \times 100 = 22 \text{ Lebar cacat}$$

: 2 mm

$$t_{c2} = \frac{l}{S} \times R = \frac{14}{50} \times 100 = 28 \text{ Lebar cacat}$$

: 2 mm

$$t_{c3} = \frac{l}{S} \times R = \frac{15}{50} \times 100 = 30 \text{ Lebar cacat}$$

: 2 mm

Mencari Tinggi dan Lebar Lasan dengan Probe Sudut

Perumusan mencari tinggi cacat ( $t_c$ ) :

$$t_{c_{leg1}} = sc \cos \alpha$$

$$t_{c_{leg2}} = 2t - sc \cos \alpha$$

$$pc = sc \sin \alpha$$

sc =

$$\frac{\text{indikasi pulsa yang terbaca di layar}}{\text{skala layar}}$$

x range

Dimana :

pc = titik puncak cacat dengan probe

tc = tinggi cacat

sc = jarak dari titik cacat ke ujung probe

$\alpha$  = sudut yang terbaca pada probe

Pada sampel diketahui mempunyai sudut

$\alpha$  sebesar  $45^\circ$  tebal bahan uji sebesar 22

mm, indikasi pulsa cacat pada layar sebesar 5 mm dan lebar cacat sebesar 2 mm yang digambarkan seperti Gambar 4 sebagai bahan lasan



Gambar 4. Bahan Lasan

Sebelum melakukan pengujian dilakukan penghitungan range pulsa pada skala

$$R \geq \frac{2 \times \text{tebal bahan uji}}{\cos \alpha (\text{sudut probe})}$$

$$R \geq \frac{2 \times 22}{\cos 45} \text{ maka } R = 62,22$$

$$\approx 100$$

Ketika range pulsa sudah ditentukan maka dapat dilakukan proses penghitungan selanjutnya yaitu,

$$sc = \frac{\text{indikasi pulsa yang terbaca di layar}}{\text{skala layar}} \times$$

range

$$sc = \frac{5}{50} \times 100 = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Di Leg 1 maka } sc < \frac{t}{\cos \alpha} = \frac{22}{\cos 45} =$$

$$30,98 \text{ mm}$$

$$\text{Di Leg 2 maka } sc < \frac{2t}{\cos \alpha} = \frac{2 \times 22}{\cos 45} =$$

$$61,97 \text{ mm}$$

Pembagian Leg menjadi dua bagian yaitu Leg 1 dan Leg 2 digunakan untuk membagi daerah lasan menjadi daerah terdekat dengan lasan (Leg 1) dan daerah yang jaraknya jauh dari daerah lasan (Leg 2).

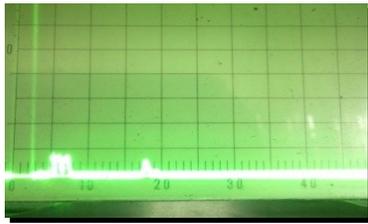
Karena pulsa cacat berada pada Leg 1, maka tinggi cacat adalah :

$$t_{c_{leg1}} = sc \cos \alpha$$

$$t_{c_{leg1}} = 10 \cos 45 = 7,1 \text{ mm}$$

$$pc = sc \sin \alpha$$

$$pc = 10 \sin 45 = 2.1 \text{ mm}$$



Gambar 5. Grafik Kalibrasi

Dari gambar 5 terlihat bahwa posisi pulsa terletak pada skala layar 5. Maka didapatkan jarak dari titik cacat yang dideteksi ke ujung probe berada pada jarak 10 mm. Posisi pulsa cacat ini terletak kurang dari 30.98 mm yang berarti indikasi pulsa ini dapat dikatakan cacat pada bahan. Karena jika indikasi cacat berada pada 30.98 mm maka bagian tersebut bukan cacat melainkan bagian bawah permukaan lasan (*root*) sedangkan jika indikasi pulsa pada layar berada pada 61.97 mm bagian ini merupakan bagian atas permukaan dari lasan bukan cacat.

Metode yang digunakan yaitu ekualisasi yang mencari bentuk gelombang saat ditransmisikan dan saat diterima sama panjang amplitudonya. Untuk menentukan pinggiran cacat maka probe harus di geser ke kiri dan kanan. Saat mendekati cacat gambar pulsa dilayar akan menampilkan banyak pulsa maka pada bagian tersebut harus lebih hati-hati dalam menggeserkan *probe* hingga menemukan bentuk pulsa yang sama panjang amplitudonya pada bagian transmisi dan bagian gelombang penerimanya.

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat memberikan beberapa kesimpulan diantaranya :

- Pengujian dengan menggunakan *probe* sudut lebih sulit dibandingkan dengan *probe* normal.
- Penggunaan *probe* sudut tidak digunakan dalam pendeteksian penentuan tebal bahan, sedangkan *probe* normal tidak diperuntukkan pada bahan lasan.
- Pengujian dengan menggunakan Pesawat Ultrasonic DM4-DL tidak memungkinkan untuk materi yang sangat besar bahannya baik dalam panjang, lebar, maupun tinggi.
- Skala yang digunakan saat penelitian adalah skala 0 sampai 50, seharusnya semakin kecil skala pada layar maka alat akan semakin menampilkan hasil yang lebih teliti.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giancoli, Douglas C, , *Fisika Edisi 5*, (Prentice-Hall International, Inc, 2005)
- [2] Ansyah, Fredi, *Menentukan Tebal Bahan Serta Ukuran Cacat Pada Carbon Steel Type 08L-89 Dan Stainless Steel Type 304 L Dengan Uji Ultrasonik*, Skripsi, (Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Inderalaya, 2006)

- [3] Debora, Fransisca, *Mendeteksi Kondisi Alat Pabrik Dengan Metode Uji Tak Merusak (Non Destructive Test) di PT PUSRI PALEMBANG*, Laporan Kerja Praktek, (Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Inderalaya, 2013)

