

Analisis Pengaruh Ketebalan *Nonconductive Coating* Terhadap Kemampuan Pendeteksian Panjang Dan Kedalaman Retak Pada *Fillet Joint* Bracket Kapal Aluminium Menggunakan Pengujian Ultrasonik

Akbar Rianiri Bakri¹, Wing Hendroprasetyo Akbar Putra²

Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wing@na.its.ac.id

Abstrak—Konstruksi kapal yang telah beroperasi seringkali terjadi cacat pada daerah lasnya. Cacat yang timbul seperti retak, sering terjadi tanpa disadari pada sambungan las yang telah dilapisi cat sebelumnya. Retak tersebut dapat diperiksa menggunakan metode *Ultrasonic testing* tanpa menghilangkan cat yang terdapat pada sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketebalan cat tersebut terhadap pendeteksian retak dengan metode *Ultrasonic testing* pada *fillet joint* di bracket kapal aluminium. *Scanning* dilakukan pada *face C* dari spesimen uji. Pada setiap spesimen diberikan beberapa variasi ketebalan *nonconductive coating* yaitu 100 mikron, 200 mikron, 250 mikron dan 300 mikron dimana sebelum diberikan variasi ketebalan *coating*, spesimen terlebih dahulu diberikan retak buatan pada daerah *toe* las dengan variasi ukuran panjang 70 mm, 30 mm, 20 mm, dan 10 mm, dengan kedalaman 2 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm. Setelah itu tiap spesimen dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan metode *Ultrasonic testing* (UT). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh ketebalan *nonconductive coating* terhadap pendeteksian panjang dan kedalaman retak, dimana kemampuan pembacaan UT terhadap panjang retak pada spesimen dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron rata-rata sebesar 95,814 %, 200 mikron sebesar 89,510 %, 250 mikron sebesar 87,140 % dan 300 mikron sebesar 85,629 % dari ukuran panjang retak sebenarnya. Sedangkan kemampuan pembacaan UT terhadap kedalaman retak pada spesimen dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron rata-rata sebesar 99,219 %, 200 mikron sebesar 98,167 %, 250 mikron sebesar 97,396 % dan 300 mikron sebesar 96,625 % dari ukuran kedalaman crack sebenarnya. Hal ini disebabkan adanya pelemahan gelombang ultrasonik (atenuasi) pada saat gelombang ultrasonik melewati batas permukaan antara *nonconductive coating* dengan pelat aluminium yang mempunyai impedansi akustik berbeda maka akan terjadi pemantulan dan pembiasan gelombang ultrasonik. Sebagian energi gelombang ultrasonik juga akan hilang saat gelombang melewati *interfaces* material.

Kata kunci: *Crack, Nonconductive coating, Ultrasonic testing.*

PENDAHULUAN

Konstruksi kapal yang telah beroperasi seringkali terjadi cacat pada daerah lasnya. Cacat las pada suatu konstruksi apabila tidak segera dilakukan perbaikan, maka pada area tersebut dapat menimbulkan retak yang diperparah dengan penjaralan retak yang lebih meluas sehingga dapat menyebabkan patah getas sehingga merugikan. Jurnal ini akan membahas mengenai sensitivitas pendeteksian panjang dan kedalaman cacat yang dipengaruhi oleh variasi ketebalan *nonconductive coating* pada sambungan *bracket*. Untuk itu dalam mendeteksi panjang dan kedalaman

cacat yang terjadi pada sambungan las dapat dilakukan dengan menggunakan *ultrasonic testing* (UT).

Prinsip dari pengujian ini adalah merambatkan suara pada material dan memantulkan kembali pada daerah yang terdeteksi adanya retak dan ditampilkan pada layar peratalan *Ultrasonic Testing*. Untuk mengetahui panjang cacat yang diinginkan maka dilakukan pemeriksaan dengan teknik *6dB drop*, sedangkan untuk mengetahui kedalaman cacat dapat digunakan teknik *20dB drop* sehingga dalam penelitian ini dapat diketahui efektifitas pemeriksaan ultrasonik tes pada daerah yang telah dilapisi *nonconductive coating*.

I. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Aluminium seri 5083

Aluminium seri 5083 banyak digunakan untuk *marine applications*[1]. Paduan tempa ini menawarkan kekuatan tertinggi diantara paduan *nonheat treatable* lain karena rata-rata mengandung 4,5 % Mg, 0,7 % Mn, dan 0,13 % Cr seperti yang disajikan dalam Tabel 1.[2]

Tabel 1.
Kandungan Aluminium 5083

Komposisi	%
Al	92,4-95,6
Mg	4-4,9
Mn	0,1-1
Si	Max 0,4
Cr	0,05 – 0,25
Ti	Max 0,15
Zn	Max 0,25
Cu	Max 0,1
Fe	Max 0,4
Lainnya masing-masing	Max 0,05
Lainnya, total	Max 0,15

Aluminium 5083 sendiri memiliki kecepatan rambat gelombang ultrasonik untuk gelombang longitudinal sebesar $6,320 \text{ ms}^{-1}$, sedangkan untuk gelombang transversal sebesar $3,130 \text{ ms}^{-1}$ [3]

B. Teori Dasar Gelombang Ultrasonik

Pada dasarnya dalam pengujian ultrasonik adalah dengan memasukkan getaran ultrasonik ke dalam spesimen. Spesimen kemudian mengubah getaran tersebut dengan beberapa cara. Hasil perubahannya dideteksi oleh sistem pengujian, dan melalui sebuah indikasi, diperoleh informasi mengenai spesimen [4]. Pekerjaan seorang *inspector* adalah mengaplikasikan sistem ke dalam spesimen dan menginterpretasi hasilnya melalui indikasi yang diperoleh.

C. Cepat Rambat (Velocity)

Pada dasarnya kecepatan rambat gelombang suara sangat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu kerapatan dan sifat elastis dari material. Kecepatan rambat gelombang suara juga dipengaruhi oleh satu faktor minor, yaitu poisson ratio [5]. Sehingga, kecepatan rambat suara dari suatu material dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \tag{1}$$

Dimana,
 V_L = Compression wave velocity (longitudinal wave)
 E = Young's modulus of elasticity
 ρ = Material density
 μ = poisson's ratio

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \tag{2}$$

Dimana,
 V_T = Compression wave velocity (longitudinal wave)
 E = Young's modulus of elasticity
 G = Modulus of rigidity or shear modulus
 ρ = Material density
 μ = poisson's ratio

D. Pembiasan (Reflection)

Batas antara satu media dengan media yang lain dinamakan *interface*. Pada *interface*, gelombang suara akan diteruskan pada media selanjutnya dan sisanya akan dipantulkan kembali menuju media pertama.[6]

Dua perbedaan yang mendasar antara media yang satu dengan yang lain adalah densitas dan elastisitas. Hal inilah yang menentukan seberapa besar energi gelombang suara yang diteruskan menuju *interface* dan seberapa besar pula energi gelombang suara yang dipantulkan kembali menuju media sebelumnya. Masing-masing media memiliki faktor yang dapat digunakan untuk menghitung pembiasan pada daerah *interface*[6]. Faktor inilah yang biasa disebut *acoustic impedance*. *Acoustic impedance* merupakan hasil kali antara densitas dengan elastisitas sehingga dalam matematika dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z = \rho \times V \tag{3}$$

Dimana,
 Z = Acoustic Impedance
 ρ = Material density
 V = Velocity

Sedangkan untuk menghitung prosentase dari energi yang dibiaskan pada *interface* antara dua material dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Reflected energy} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \times 100\% \tag{4}$$

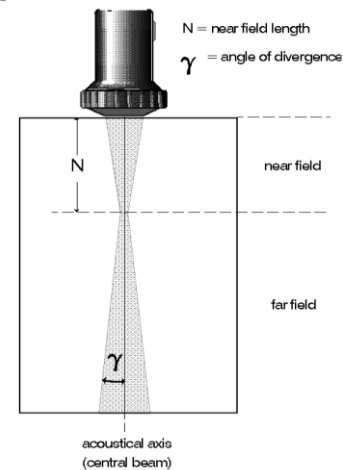
dimana,
 Z_1 = Acoustic Impedance material 1
 Z_2 = Acoustic Impedance material 2

E. Pelemahan (Atenuasi)

Enegi suara akan mengalami penyebaran (divergensi) selama merambat dalam media tertentu sehingga intensitas energi pada jarak yang semakin jauh dari sumber gelombang suara (*transducer*) akan menurun. Penurunan intensitas energi juga terjadi di daerah yang jaraknya semakin jauh dari pusat berkas. Pelemahan energi yang terjadi berbeda untuk setiap media, tergantung pada tingkat penyerapan dan hamburan energi suara.[5]

Gelombang energi yang merambat dalam suatu media tertentu dapat digambarkan sebagai berkas yang berbentuk kerucut yang terbagi menjadi dua zona. Yaitu, *Near (dead) Field* dan *Far field*. [5]

Intensitas energi suara pada *near field* bervariasi secara tidak teratur akibat interaksi gelombang suara di dekat transduser. Hal ini mengakibatkan pendeteksian diskontinuitas yang letaknya di dekat permukaan menjadi tidak akurat. Sedangkan di dalam *far field*, intensitas suara berkurang secara teratur secara terus menerus akibat adanya *atenuasi* dan *beam spread*. [6]



Gambar 1. Near dan far Zone.

Secara umum besarnya *near zone* selama merambat didalam material dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \tag{5}$$

Dimana,
 N = Panjang *near zone*
 D = Diameter *probe*
 λ = Panjang gelombang ultrasonik

F. *Beam Spreading*

Bentuk pancaran gelombang di dalam material akan mengalami penyebaran. Semakin jauh perambatan gelombang dari permukaan material maka penyebaran gelombang semakin besar pula. Hal ini akan berdampak pada penurunan intensitas energi suara. Penurunan intensitas energi juga terjadi didaerah yang jaraknya semakin jauh dari pusat berkas suara. Penyebaran gelombang atau *Beam sperading* utamanya dipengaruhi oleh perubahan *plane waves* menjadi gelombang silinder. Hal ini tergantung permukaan elemen transduser. Secara umum besarnya penyebaran gelombang selama merambat didalam material dapat dihitung dengan persamaan berikut :[5]

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Dimana,
 θ = Setengah sudut *beam spread*
 λ = Panjang gelombang ultrasonik
 D = Diameter *probe*

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. *Proses pengerjaan material uji*

Pada penelitian ini dilakukan tahapan identifikasi material/bahan pengujian agar dapat dilakukan penelitian dengan penggunaan pemeriksaan *nondestructive testing* yaitu metode *Ultrasonic testing (UT)*. Pada penelitian ini pemilihan jenis material yang akan dilakukan pemeriksaan yaitu *Aluminium Alloy 5083*. Material tersebut dilakukan suatu tahapan proses pemeriksaan dengan penggunaan Ultrasonik.

Spesimen atau material uji akan dipersiapkan pada penelitian ini berjumlah empatbuah yang dipotong dengan ukuran 300 x 300 x 12 mm sebanyak empat buah serta ukuran 300 x 200 x 12 mm sebanyak empat buah spesimen, dimana masing-masing pelat tersebut akan dilas dengan sambungan *fillet joint* kemudian diberikan *crack* (retak) buatan pada daerah *toe* las dengan ukuran bervariasi. Panjang retaknya yaitu 10 mm, 20 mm, 30 mm, 70 mm, sedangkan kedalaman retaknya yaitu 2 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm pada setiap material uji. Setelah material uji tersebut diberikan cacat buatan, maka langkah selanjutnya adalah material uji akan diberikan variasi ketebalan cat yang berbeda pada setiap material yaitu dengan ukuran ketebalan 100 mikron, 200 mikron, 250 mikron, 300 mikron, kemudian dilakukan pemeriksaan pada tiap variasi ketebalan dengan menggunakan metode *Ultrasonic testing*. Berikut adalah gambar material uji yang digunakan :



Gambar 2. Material uji.

B. *Metode Scanning*

Sesuai dengan panduan pada AWS D1.1/D1.1M Gambar S.8 tahun 2010, maka *scanning* pada material uji dilakukan pada *face* C seperti ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar 3. Metode *scanning* pada material uji.

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. *Analisis pengaruh ketebalan nonconductive coating terhadap pembacaan panjang retak.*

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan *nonconductive* terhadap pendeteksian panjang retak pada material uji. Berikut data hasil pengujian :

Tabel 2.
 Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron.

NO	<i>Actual Crack</i> Sebelum dicat (mm)	Indikasi <i>Crack</i> setelah di cat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	70	68,65	98,071
2	30	28,96	96,533
3	20	19,29	96,450
4	10	9,22	92,200
Rata-rata			95,814

Tabel 2. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 100 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 95,814 % dari panjang retak sebenarnya.

Tabel 3.
Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 200 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Crack setelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	70	67,87	96,957
2	30	27,94	93,133
3	20	17,79	88,950
4	10	7,9	79,000
Rata-rata			89,510

Tabel 3. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 200 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 89,510 % dari panjang retak sebenarnya.

Tabel 4.
Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 250 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Crack setelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	70	67,23	96,043
2	30	27,71	92,367
3	20	17,27	86,350
4	10	7,38	73,800
Rata-rata			87,140

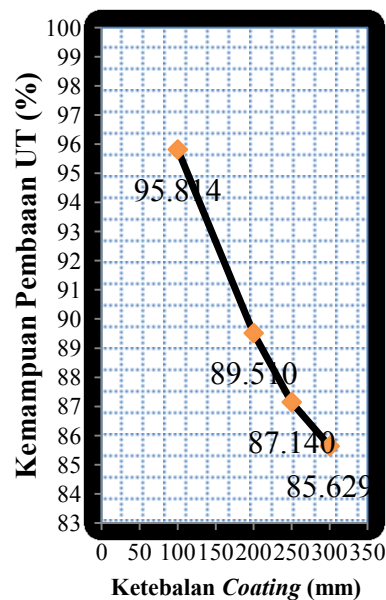
Tabel 4. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 250 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 87,140 % dari panjang retak sebenarnya.

Tabel 5.
Ketebalan *nonconductive coating* 300 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Crack setelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	70	66,86	95,514
2	30	27,48	91,600
3	20	16,86	84,300
4	10	7,11	71,100
Rata-rata			85,629

Tabel 5. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 300 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 85,629% dari panjang retak sebenarnya.

Selanjutnya adalah membuat grafik perbandingan antara indikasi dan ukuran retak sebenarnya. Grafik perbandingan tersebut dibuat untuk tiap-tiap variasi ketebalan *nonconductive coating*.



Gambar 4. Grafik hubungan ketebalan *nonconductive coating* terhadap pembacaan panjang retak menggunakan UT.

Dari Gambar 4. dapat diketahui bahwa dengan semakin bertambahnya ketebalan *nonconductive coating*, maka kemampuan pembacaan panjang retak juga akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan adanya pelemahan gelombang ultrasonik (atenuasi) pada saat gelombang ultrasonik melewati batas permukaan antara *nonconductive coating* dengan pelat

aluminium yang mempunyai impedansi akustik berbeda maka akan terjadi pemantulan dan pembiasan gelombang ultrasonik. Sebagian energi gelombang ultrasonik juga akan hilang saat gelombang melewati *interfaces* material.

Untuk *aluminium alloy* 5083 :

$$Z = 17,64 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

Untuk *nonconductive coating*

$$Z = 3,22 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$\text{Maka impedansi akustiknya} = \left(\frac{17,64 \cdot 3,22}{17,64 + 3,22}\right)^2 \times 100 \% = 47,78\%$$

B. Analisis pengaruh ketebalan nonconductive coating terhadap pembacaan kedalaman retak.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan *nonconductive* terhadap pendeteksian panjang retak pada material uji. Berikut data hasil pengujian :

Tabel 6.

Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Cracksetelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	8	7.97	99.625
2	6	5.97	99.500
3	4	3.95	98.750
4	2	1.98	99.000
Rata-rata			99.219

Tabel 6. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 100 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 99,219% dari kedalaman retak sebenarnya.

Tabel 7.

Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 200 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Cracksetelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	8	7.9	98.750
2	6	5.92	98.667
3	4	3.91	97.750
4	2	1.95	97.500
Rata-rata			98,167

Tabel 7. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 200 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 98,167 % dari kedalaman retak sebenarnya.

Tabel 8.

Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 250 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Cracksetelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	8	7.86	98.250
2	6	5.85	97.500
3	4	3.85	96.250
4	2	1.89	94.500
Rata-rata			96,625

Tabel 8. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 250 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 97,396% dari kedalaman retak sebenarnya.

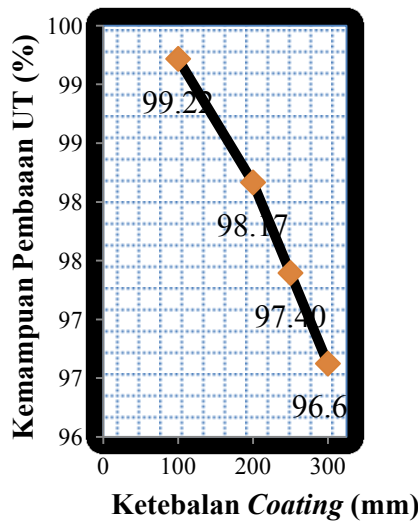
Tabel 9.

Hasil *scanning* dengan ketebalan *nonconductive coating* 300 mikron.

NO	Actual Crack Sebelum dicat (mm)	Indikasi Cracksetelah dicat (mm)	Kemampuan Pembacaan UT (%)
1	8	7.88	98.500
2	6	5.87	97.833
3	4	3.89	97.250
4	2	1.92	96.000
Rata-rata			97,396

Tabel 9. menjelaskan pada pengujian Ultrasonik dengan kondisi retak dilapisi ketebalan cat 250 mikron akan menghasilkan rata-rata persentase kemampuan hasil pembacaan *Ultrasonic testing* sebesar 96,625 % dari kedalaman retak sebenarnya.

Selanjutnya adalah membuat grafik perbandingan antara indikasi dan ukuran retak sebenarnya. Grafik perbandingan tersebut dibuat untuk tiap-tiap variasi ketebalan *nonconductive coating*.



Gambar 5. Grafik hubungan ketebalan *nonconductive coating* terhadap pembacaan kedalaman retak menggunakan UT.

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa dengan semakin bertambahnya ketebalan *nonconductive coating*, maka kemampuan pembacaan kedalaman retak juga akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan pelemahan gelombang ultrasonik (atenuasi) pada saat gelombang ultrasonik melewati batas permukaan antara *nonconductive coating* dengan pelat aluminium yang mempunyai impedansi akustik berbeda maka akan terjadi pemantulan dan pembiasan gelombang ultrasonik. Sebagian energi gelombang ultrasonik juga akan hilang saat gelombang melewati *interfaces material*.

Untuk *aluminium alloy 5083* :

$$Z = 17,64 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

Untuk *nonconductive coating*

$$Z = 3,22 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$\text{Maka impedansi akustiknya} = \left(\frac{17,64 - 3,22}{17,64 + 3,22} \right)^2 \times 100 \% = 47,78\%$$

Near field juga turut mempengaruhi pengurangan kemampuan pembacaan kedalaman retak. Intensitas energi suara pada *near field* bervariasi secara tidak teratur akibat interaksi gelombang suara di dekat transduser. Hal ini mengakibatkan pendeteksian diskontinuitas yang letaknya di dekat permukaan menjadi tidak akurat. Karena semua retak pada penelitian ini terletak pada *near field*, maka dapat disimpulkan *near field* ikut berpengaruh dalam pengurangan kemampuan pembacaan kedalaman retak menggunakan *Ultrasonic testing*. Dengan menggunakan Persamaan (5), dapat dihitung *near field* dari probe yang digunakan :

$$N = \frac{D^2 \times f}{4 V}$$

$$D = 1,204 \text{ cm}$$

$$V = 0,313 \text{ cms}^{-1}$$

$$f = 4 \text{ Mhz}$$

$$N = \frac{12,04^2 \times 4}{4 \times 0,313} = 4,6 \text{ cm} = 46 \text{ mm}$$

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan proses pengujian Ultrasonik dan melakukan analisis dari hasil pengujian dengan variasi ketebalan *nonconductive coating* maka dapat di peroleh kesimpulan. Keakuratan pembacaan panjang dan kedalaman retak menggunakan pengujian Ultrasonik akan menurun seiring dengan penambahan ketebalan dari *nonconductive coating*, dimana kemampuan pembacaan UT terhadap panjang retak pada spesimen dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron rata-rata sebesar 95,814 %, 200 mikron sebesar 89,510 %, 250 mikron sebesar 87,140 % dan 300 mikron sebesar 85,629 % dari ukuran panjang retak sebenarnya. Sedangkan kemampuan pembacaan UT terhadap kedalaman retak pada spesimen dengan ketebalan *nonconductive coating* 100 mikron rata-rata sebesar 99,219 %, 200 mikron sebesar 98,167 %, 250 mikron sebesar 97,396 % dan 300 mikron sebesar 96,625 % dari ukuran kedalaman crack sebenarnya. Hal ini disebabkan adanya pelemahan energi (atenuasi) dan pengaruh dari *near field*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.R.B mengucapkan terima kasih kepada Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing sekaligus motivator yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan penelitian ini. Tidak lupa kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmu bagi penulis selama masa perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alumatter. Alumatter Inc. *Alumatter*. [Online] 2010. [Cited: November 21, 2012.] <http://www.aluminium.matter.org.uk>.
- [2]. Wiryasumarto. *Paduan aluminium*. Jakarta : s.n., 2008.
- [3]. Alcoa. Alcoa Inc. *Alumina*. [Online] January 3, 2000. [Cited: November 20, 2012.] <http://www.alcoa.com>.
- [4]. Berke, Michael. *Thickness measurement with*. New York : Springer-Verlag, 1992.
- [5]. Krautkrämer. *Ultrasonic testing of materials*. New York : Springer-Verlag, 1990.
- [6]. Hellier, Charles. *Handbook of Non destructive Evaluation*. New York : MacGrow-Hill companies Inc, 2003.