

DETEKSI CACAT PADA MATERIAL BAJA MENGGUNAKAN ULTRASONIK *NON-DESTRUCTIVE TESTING* DENGAN METODE *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM*

Lilik Subiyanto¹, Tri Arief Sardjono²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
E-mail : ¹llksubiyanto@gmail.com, ²t.a.sardjono@ee.its.ac.id

ABSTRAK

Ultrasonik *Non-Destructive Testing* (NDT) adalah salah satu teknik pengujian material tanpa merusak benda uji melalui pantulan gelombang ultrasonik. Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi adanya cacat (*flaw*) atau retak (*crack*) pada material secara dini, dan menghindari kegagalan saat digunakan. Propagasi gelombang ultrasonik didalam struktur baja mengalami pemantulan atau pembelokan pada saat mengenai medium dengan indek yang berbeda. Propagasi gelombang ultrasonik tersebut kemudian diekstrak menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) untuk merepresentasikan permukaan material yang didasarkan pada frekuensi dan waktu pantul/belok sebagai dasar jarak keberadaan rongga (cacat). CWT mempunyai keunggulan pada proses analisis sinyal yang lebih cepat dibandingkan dengan metode lain seperti transformasi *fourier* dan mempunyai kemampuan untuk mentransformasikan sinyal non-stasioner dalam domain waktu-frekuensi. Material uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja rendah karbon (*steel 1020*), sedangkan peralatan penunjang utama yang digunakan adalah probe ultrasonik tipe *pulse-echo single probe 4MHz*. Software utama yang digunakan untuk pengolahan sinyal pada penelitian ini adalah DELPHI. Dari hasil analisis sinyal diketahui bahwa NDT dengan metode CWT mampu merekonstruksi cacat material dengan baik.

Kata kunci : Ultrasonik NDT, Flaw, Crack, Pulse-echo, Continuous Wavelet Transform.

1. PENDAHULUAN

Inspeksi terhadap struktur material logam seperti baja sangat penting untuk mengetahui kondisi material dan melakukan tindakan preventif sebelum terjadinya kegagalan fungsi peralatan pada saat digunakan. Penurunan fungsi terjadi akibat keretakan, korosi, penyambungan, kelelahan penggunaan material dalam kurun waktu yang lama. Pengujian material dengan metode *Non Destructive Testing* (NDT) adalah pengujian material tanpa menyebabkan kerusakan pada material tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi dan menentukan lokasi, ukuran dan karakteristik cacat [1].

Ultrasonic NDT merupakan salah satu teknik yang digunakan secara luas dan lebih efektif untuk pengujian cacat dalam (*internal defect*) material dibandingkan dengan teknik yang lain seperti, *x-radiography* dan *eddy current* [3]. Gelombang ultrasonic dihasilkan oleh transduser *piezoelectric* dengan frekuensi antara 0.1 ~ 15 Mhz yang menembus material dan dipantulkan atau disebarkan oleh retakan (cacat) yang ada didalam material. Propagasi sinyal pantul tersebut memberikan informasi tentang lokasi cacat atau retakan yang ada di dalam material [2].

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi propagasi sinyal ultrasonik didalam material. Menurut teori propagasi akustik faktor utama yang mempengaruhi parameter pemantulan (*backscatter*) sinyal ultrasonik antara lain [1] :

- Frekuensi dan bandwidth sinyal ultrasonik
- Jarak inspeksi yang dilalui
- Posisi dan ukuran cacat
- Propertis dari material

Tingkat absorpsi material menyebabkan atenuasi dari sinyal pantul ultrasonik. Demikian pula struktur komponen mikro dari material sangat berpengaruh terhadap faktor kesulitan dalam pendeteksian lokasi cacat [4].

Beberapa metode pemrosesan sinyal digital diterapkan untuk memperoleh karakteristik cacat dari sinyal pantul ultrasonik antara lain *Split Spectrum Processing* (SSP) [6], *Wavelet Transform* [5][7], metode yang diterapkan pada penelitian tersebut difungsikan untuk mereduksi struktur noise yang muncul menyertai pulsa pantul ultrasonik sehingga diperoleh sinyal orisinal dari cacat yang didapat.

pulse-echo single probe adalah salah satu probe ultrasonik NDT yang pada umumnya digunakan untuk pengukuran ketebalan material baja atau mendeteksi adanya diskontinuitas penyambungan pada proses pengelasan. Pengukuran menggunakan probe tersebut menghasilkan tampilan A-scan. Pada penelitian ini dengan menggunakan type probe ultrasonik tersebut diaplikasikan untuk pendeteksian cacat dalam pada material baja (steel 1020) dengan men-scan luasan sepanjang x dan y dan merekonstruksikan kembali profil cacat yang terdeteksi ke dalam tampilan C-scan 3 dimensi. Proses scanning menggunakan mekanis dengan mikrokontroler sebagai pengendali motor untuk melakukan gerakan x y. Pre-prosesing terhadap sinyal pemantulan ultrasonik menggunakan wavelet Morlet.

Kontribusi dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pekerjaan inspeksi terhadap material khususnya baja dengan presentasi 3D pada komputer dan untuk pelaporan dan analisis tindak lanjut pada penanganan material.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Propagasi Gelombang Ultrasonik

Sumber bunyi dihasilkan dari *pizzoelectric* yang diberi sinyal AC dengan frekuensi f. Gelombang ultrasonic yang dipancarkan didalam medium benda padat mengalami perambatan secara longitudinal [2]. Gelombang tersebut menjalar melalui material oleh getaran partikel.

Panjang gelombang yang merambat di dalam material padat tergantung dari cepat rambat bunyi (*velocity*) pada material dan frekuensi dari sumber bunyi. Tabel velocity pada beberapa material dapat dilihat pada table 1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{1}$$

λ : panjang gelombang

v : *velocity*

f : frekuensi

sedangkan impedansi akustik adalah produk dari kerapatan dengan kecepatan.

$$Z = \rho.v \tag{2}$$

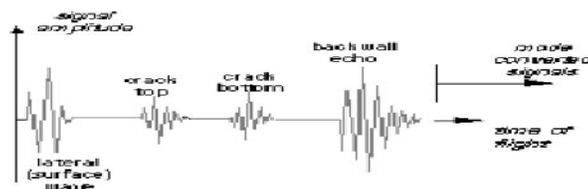
Tabel 1: Cepat rambat gelombang akustik pada beberapa medium [2].

Material	Impedance (gr/cm ² -sec)	Velocity (cm/sec)	Density (gr/cm ³)
Air	0.000033 x 10 ⁶	0.33 x 10 ³	0.001
Water	0.149 x 10 ⁶	1.49 x 10 ³	1.00
Aluminium	1.72 x 10 ⁶	6.35 x 10 ³	2.71
Steel	4.56 x 10 ⁶	5.85 x 10 ³	7.8

Gelombang ultrasonik yang dipantulkan ke permukaan membawa beberapa informasi dalam bentuk frekuensi resonansi. Sinyal yang dihasilkan ditampilkan dalam tampilan A-scan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

2.2. Continuous Wavelet Transform

Transformasi wavelet merupakan salah satu teknik terbaru yang muncul sebagai teknik pemrosesan sinyal non-stasioner. Analisis sinyal dengan menggunakan transformasi wavelet lebih cepat dari pada menggunakan analisis transformasi fourier [2]. Penggunaan transformasi wavelet sangat potensial untuk mengekstraksi fitur sinyal A-scan dari domain waktu kedalam domain waktu-frekuensi.



Gambar 1. Sinyal pantul ultrasonik (A-scan) [3]

Secara matematika CWT dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (3)$$

Dimana : $\gamma(s, \tau)$ adalah fungsi sinyal setelah transformasi, dengan variabel s (skala) dan τ (translasi) sebagai dimensi baru. $f(t)$ sinyal asli sebelum transformasi. Fungsi dasar $\psi_{s,\tau}^*(t)$ disebut sebagai wavelet, dengan * menunjukkan konjugasi kompleks. Dan invers dari CWT secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \psi_{s,\tau}(t) d\tau ds \quad (4)$$

Fungsi dasar wavelet $\psi_{s,\tau}(t)$ dapat didesain sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan hasil transformasi yang baik. Fungsi dasar wavelet secara matematika didefinisikan sebagai berikut :

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (5)$$

Faktor $\frac{1}{\sqrt{s}}$ digunakan untuk normalisasi energi pada skala yang berubah-ubah.

Mexican Hat, yang merupakan normalisasi dari derivatif kedua fungsi Gaussian adalah salah satu contoh fungsi dasar dari CWT :

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2}\right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

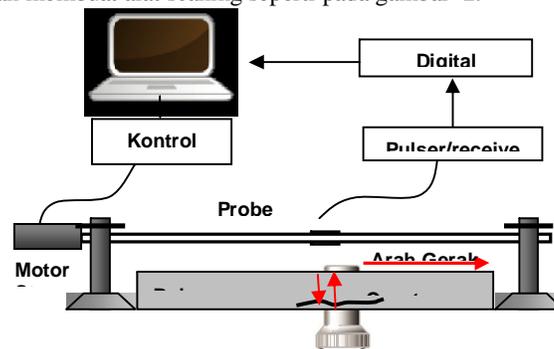
Contoh lain adalah fungsi dasar Morlet, yang merupakan fungsi bilangan kompleks

$$\psi_{\sigma}(t) = c_{\sigma} \pi^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{1}{2}t^2} (e^{i\sigma t} - k_{\sigma}) \quad (7)$$

Dengan $k_{\sigma} = e^{-\frac{1}{2}\sigma^2}$ dan $c_{\sigma} = \left(1 + e^{-\sigma^2} - 2e^{-\frac{3}{4}\sigma^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

3. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan membuat alat scanning seperti pada gambar 2.

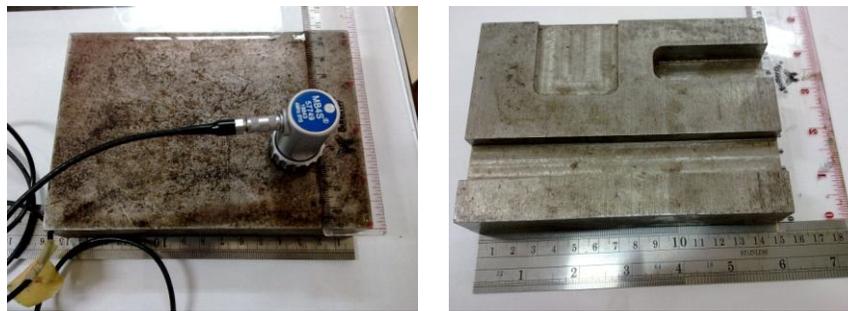


Gambar 2. Instalasi Pengujian
INFRM 468

Probe ultrasonik yang digunakan adalah *pulse-echo single element* dengan frekuensi 4MHz, dengan metode pengujian *direct contact*. Probe ultrasonik digerakkan oleh 2 motor untuk menghasilkan gerakan scanning arah x dan y terhadap luasan material uji. Motor dikendalikan oleh mikrokontroler melalui perintah dari komputer. Pulsa ultrasonik dibangkitkan dari *pulser-receiver* dengan PRF (*Pulse Repetition Frequency*) sebesar 1kHz dengan amplitudo -125V. Akuisisi data hasil pemantulan ultrasonik menggunakan osiloskop digital dengan kemampuan 250Sa/s, 8 bit. Data akuisisi dikirim ke komputer untuk diproses melalui komunikasi serial (USB) dengan protokol komunikasi standar IEEE488.2,1992.

Pre-prosesing sinyal digital hasil pemantulan seluruh sinyal scanning (x,y) menggunakan CWT dengan level penskalaan sebanyak 128 level. Hasil transformasi sinyal di-*threshold* untuk mendapatkan lokasi (dalam t) dari frekuensi sinyal pantul. Selanjutnya setiap titik-titik yang terdeteksi dikelompokkan dalam susunan posisi atau lokasi dengan tingkat warna yang bervariasi sebagai representasi dari pola cacat (rongga) material. Sebagai hasil akhir pengelompokan tersebut di petakan dalam grafik 3 dimensi.

Material yang diuji adalah baja rendah karbon steel 1020 dengan profil uji seperti pada gambar 3 (a) dan (b).



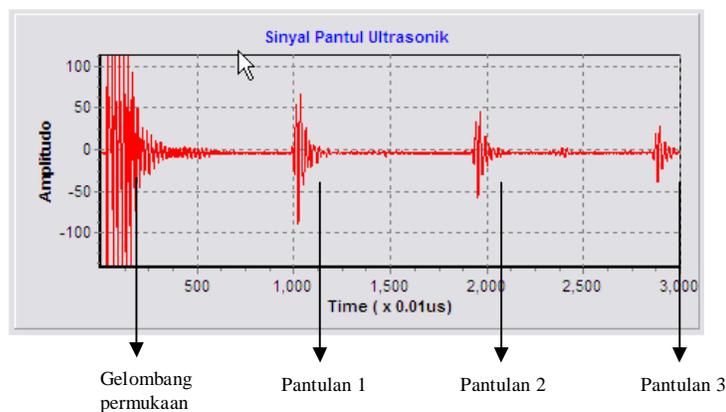
(a)

(b)

Gambar 3 (a) Material uji (steel 1020), (b) Material uji tampak bawah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

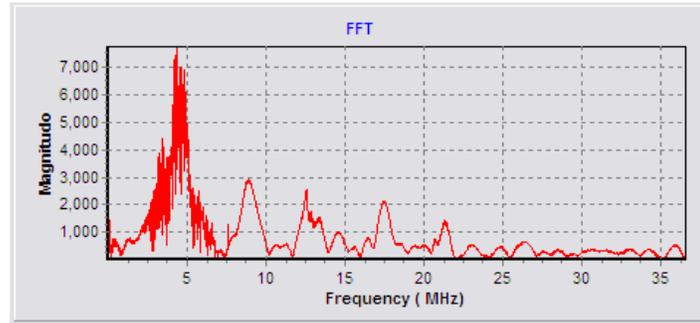
Data akuisisi hasil pembacaan dari osiloskop mempunyai panjang data 4000 dengan frekuensi sampling 100MHz. Data tersebut dibaca dan dilakukan pemrosesan sinyal digital dengan menggunakan pemrograman delphi . 1000 data pertama digunakan sebagai inisialisasi sehingga data orisinal dari pemantulan dimulai dari data ke 1001 sampai 3000. Sinyal pantul hasil pembacaan dapat dilihat seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Sinyal pantul hasil pembacaan ultrasonik

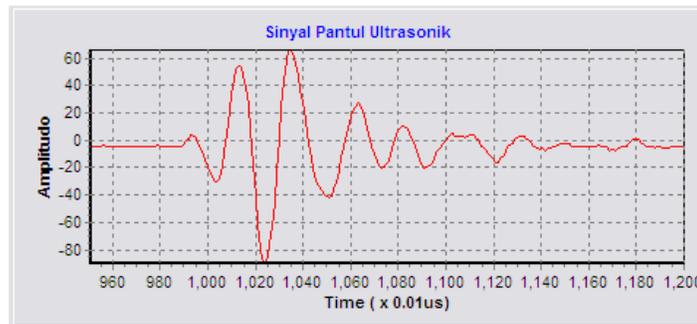
Gelombang pertama yang muncul adalah getaran ultrasonik pada permukaan benda. Berikutnya disusul gelombang pantul 1, 2 dan 3. Dari gelombang pantul pertama ke pantulan ke-2 dan ke-3 gelombang mengalami atenuasi sebesar 20%. Dari

sinyal tersebut distribusi frekuensi yang muncul dapat dilihat pada gambar 5. Energi frekuensi tertinggi muncul pada frekuensi 4.42MHz.

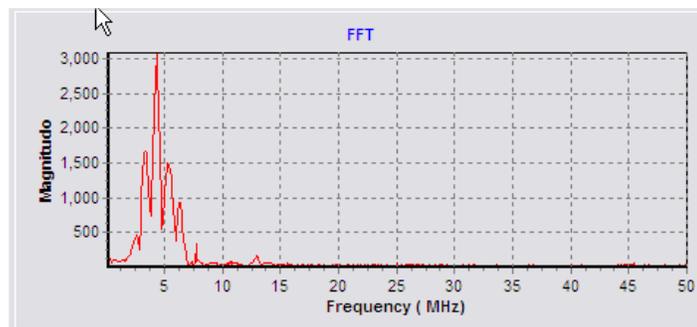


Gambar 5. Distribusi frekuensi sinyal pantul ultrasonik

Jika diambil gelombang pantulnya saja untuk pemantulan pertama antara $t = 9.5 \mu\text{s}$ sampai dengan $12 \mu\text{s}$, frekuensi yang muncul adalah 4.30MHz. Sinyal dan distribusinya dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Sinyal pantul ultrasonik pertama ($t= 9.5 - 12\mu\text{s}$)



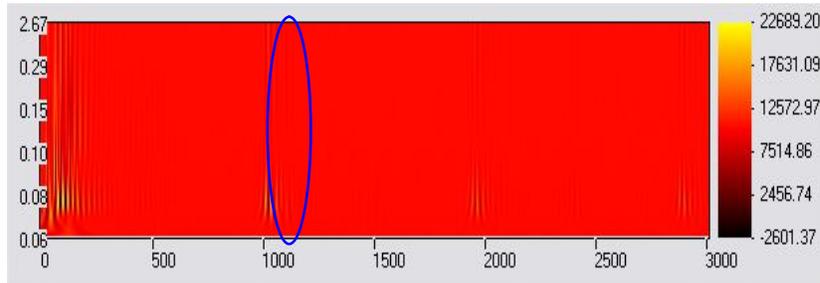
Gambar 7. Distribusi frekuensi sinyal pantul pertama ($f= 4.30\text{MHz}$)

Dari sinyal diatas terlihat bahwa frekuensi dari sinyal pantul berkisar pada frekuensi 4.30MHz

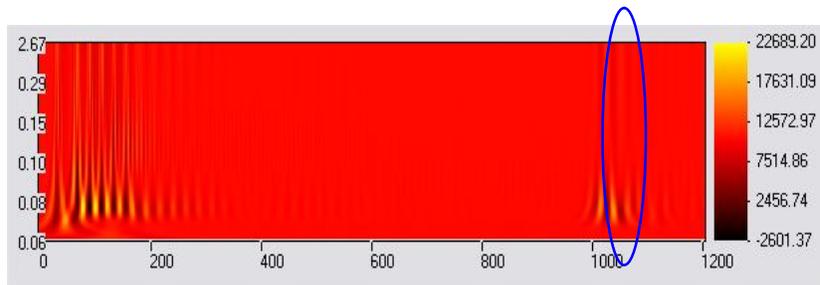
Sinyal pantul ultrasonic dibaca setiap 5mm sepanjang luasan material uji 100 x 150 mm, sehingga terdapat 500 sampel sinyal. Setiap sinyal dilakukan pemrosesan dengan menggunakan transformasi wavelet. Dengan menggunakan mother wavelet Morlet dengan penskalaan sebanyak 128, diperoleh hasil seperti pada gambar 8 dan 9.

Pre-prosesing dari transformasi wavelet selanjutnya dilakukan normalisasi sinyal untuk mendapatkan sinyal dengan amplitude minimal 0 dan maksimal 1. Proses berikutnya dilakukan thresholding untuk mendapatkan lokasi pulsa pantul pertama yang muncul sebagai skala-waktu, seperti pada gambar 10. Keseluruhan hasil dari thresholding dikelompokkan terhadap fungsi jarak pada posisi x dan posisi y dengan amplitude sebagai fungsi kedalaman rongga (cacat) yang ada di

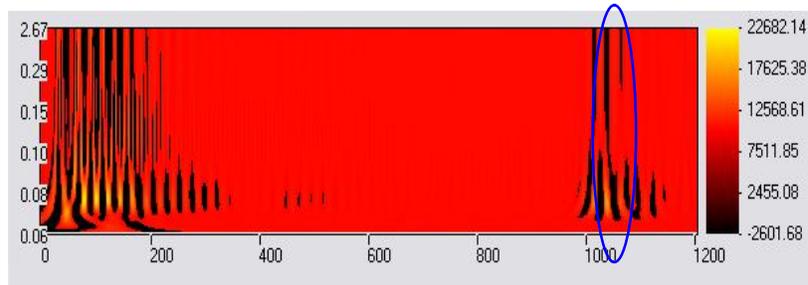
dalam baja. Representasi dari amplitude (kedalaman) dinyatakan dalam gradasi warna gelap (minimum) sampai terang (maksimum) seperti pada gambar 11.



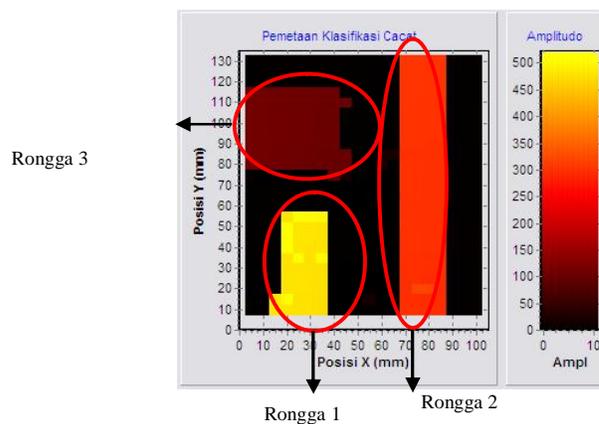
Gambar 8. Hasil transformasi wavelet dan posisi sinyal pantul.



Gambar 9. Hasil transformasi wavelet pada sinyal pantul pertama

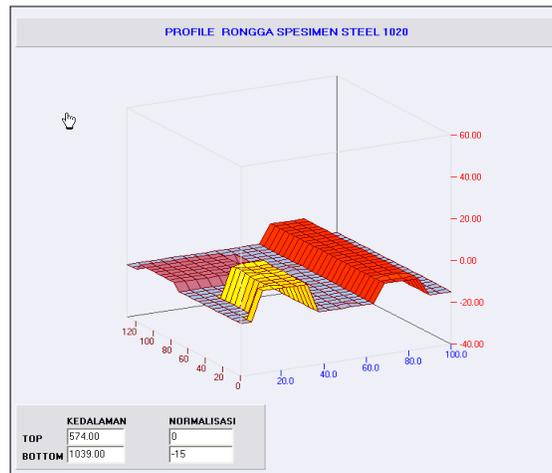


Gambar 10. Hasil tresholding pada pulsa pantul pertama



Gambar 11. Peta pengelompokan prediksi rongga (cacat)

Pola yang dibentuk dari gambar 11 dibuat rekonstruksi 3 dimensi seperti ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Rekonstruksi rongga (cacat) baja dalam bentuk 3 dimensi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada analisis data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa NDT dengan metode CWT mampu merekonstruksi cacat material dengan sempurna. Cacat material pada penelitian ini sengaja dimodelkan dalam lekukan sederhana yang beraturan untuk memudahkan proses analisis data. Kesuksesan rekonstruksi pada cacat material beraturan pada penelitian ini, akan digunakan sebagai dasar rekonstruksi cacat material yang tidak beraturan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Non-Destructive Testing Inspector's Handbook*. American Society for Nondestructive Testing, USA, 2002
- [2] Michael, B. (2002), *Basic Principles of Ultrasonic Testing* Krautkramer Ultrasonic System, Agfa NDT GmbH, Hürth, Germany.
- [3] Thouraya M., Bachir B., Malika B.(2009), *Defect Clustering using Kohonen Network during Ultrasonic Inspection*, IAENG International Journal of Computer Science, 36:3, IJCS_36_3_04.
- [4] Pagodinas, D. (2002), *Ultrasonic Signal Processing Methods for Detection of Defect in Composite Materials*, Ultragarsas, No. 1392-2114, hal. 47-54.
- [5] Zagan, R., Petculescu, P., Peride, N., Prodan, G.C., (2003), *Comparison Between Ultrasonic and Wavelet Analisis for Characterization Stainlees Alloys*, WCU Paris, September 7-10.
- [6] Redouane, D. dan Abdesselem, B. (2006), *Ultrasonic Signal Processing in the Detection of Defect in Composite*, ECNDT, No. 148, hal. 1-9.
- [7] Tumsys, O dan Raisutis, R (2007), *Reduction of a Structural Noise by Application of the Wavelet Transform with Level-dependent Thresholds* Ultragarsas, No. 1392-2114, hal. 18-23