

Aplikasi Transduser Ultrasonik Jenis *Immersion Transducer* Untuk Karakteristik Media Cair Dan Pengukuran Tingkat Kekasaran Permukaan Beton

Heri Sugito, Suryono, Diana Layla

heri_fisika_undip@yahoo.co.id

Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UNDIP Semarang

Abstract

Research of the application of ultrasonics for liquid medium characteristic and measurement of level of surface roughness of concrete have been done using immersion transducer. This purpose of research is to know characteristic some dilutions based on the atenuasi coefficients and measure surface roughness of concretes based on time of flight. In this research applied by ultrasonic transducer with frequency of 1 MHz.

At attenuation method, awakened ultrasonic signal through pulse generator and connected at transmitter transducer. Ultrasonic wave which transmitted through liquid medium will experience received finite attenuation of receiver. Media liquid which applied is oil and cooking oil. At method time-of-flight, measurement done with object scan which turned around counted 200 rotation apply motor stepper. Object which applied as component of test that is concrete. Reason of selec,choose it this specimen is to minimize attenuation so that will enlarge the bound. Transducer will transmit modulation to object through modulation transmitter and receiver. Result from scanner is presented at CRO (Cathode Ray Oscillosco).

Research result to liquid medium sample showing existence of tendency of increase of attenuation value for ex-oil- and ex-cooking oil if each compared with oil was new and new cooking oil. From measurement of level of surface roughness, obtained by is surface roughness average yield of concrete A (Radium of a minimum of 10%, and Ra maximum 16%), and concrete B (Radium of a minimum of 8%, and Ra maximum 17%). This research result give hope that this method can be developed for inspection innocuous at solid and liquid medium.

keyword : Ultrasonic, attenuation coefficient, level of crudity, Time of Flight

Abstrak

Telah dilakukan penelitian aplikasi ultrasonik untuk karakteristik media cair dan pengukuran tingkat kekasaran permukaan beton menggunakan transduser jenis immersion transducer. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik beberapa cairan berdasarkan koefisien atenuasinya dan mengukur kekasaran permukaan beton berdasarkan time of flight. Dalam penelitian ini digunakan transduser ultrasonik dengan frekuensi 1 MHz.

Pada metode atenuasi, sinyal ultrasonik dibangkitkan melalui generator pulsa dan dihubungkan pada transduser pemancar. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan melalui media cair akan mengalami atenuasi hingga diterima oleh penerima. Media cair yang digunakan adalah oli dan minyak goreng. Pada metode time-of-flight, pengukuran dilakukan dengan memayar benda yang diputar sebanyak 200 putaran menggunakan motor stepper. Benda yang digunakan sebagai bahan uji yaitu beton. Alasan dipilihnya benda uji ini adalah untuk memperkecil atenuasi sehingga akan memperbesar pantulannya. Transduser akan memancarkan pulsa ke benda melalui pulsa transmitter dan receiver. Hasil dari pemyaran ditampilkan pada CRO (Cathode Ray Oscilloscop).

Hasil penelitian terhadap sampel media cair menunjukkan kecenderungan kenaikan nilai atenuasi untuk oli bekas dan minyak goreng bekas jika dibandingkan masing-masing dengan oli baru dan minyak goreng baru. Dari pengukuran tingkat kekasaran permukaan, diperoleh hasil rata-rata kekasaran permukaan beton A (Ra minimum 10%, dan Ra maksimum 16%), dan beton B (Ra minimum 8%, dan Ra maksimum 17%). Hasil penelitian ini memberi harapan bahwa metode ini dapat dikembangkan untuk inspeksi tak merusak pada media cair dan padat.

Kata Kunci : ultrasonik, koefisien atenuasi, tingkat kekasaran, Time of Flight

PENDAHULUAN

Kecepatan dan atenuasi gelombang ultrasonik menjadi dasar dari teknik *Non-Destructive Testing* (NDT), penaksiran sistem mekanis berguna untuk menyelidiki informasi seperti sifat fisika kimia, perubahan struktur, perubahan fasa, perpindahan muatan, perubahan mikrostruktur [1].

Prinsip atenuasi ultrasonik telah dilakukan Chen dkk (2003). Dalam penelitiannya dilakukan pengukuran kecepatan dan atenuasi untuk karakterisasi kaolin dengan konsentrasi yang berbeda dalam air. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika konsentrasi kaolin dinaikkan, terjadi kecuraman terhadap kenaikan gradien. Hal ini menunjukkan bukti bahwa metode yang digunakan untuk pengukuran kandungan material padat dalam cairan dapat dipercaya meskipun tidak berdasarkan pada nilai yang telah diketahui [2]. Gradien koefisien atenuasi akan selalu konsisten untuk hasil pengukuran yang sama. Dukhin dkk (2008) melakukan pengukuran atenuasi dengan ultrasonik untuk mengkarakterisasi produk makanan cair. Perbedaan kerapatan dari bahan menyebabkan atenuasi yang berbeda. Dukhin dkk menyimpulkan bahwa untuk cairan yang memiliki kerapatan lebih besar maka atenuasinya akan semakin besar [3].

Metode pengukuran kekasaran dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik terjadi melalui interaksi antara besaran gelombang ultrasonik (*Time-of-Flight*) dengan suatu medium. Metode semacam ini dikenal dengan nama *ultrasonic ranging*. Prinsip pengukuran jarak menggunakan *ultrasonic ranging* adalah dengan menghitung tundaan waktu antara pengiriman pulsa ultrasonik dengan diterimanya kembali pantulan gelombang ultrasonik tersebut [4].

Pada penelitian, menggunakan transduser ultrasonik jenis *immersion transducer* yang memiliki frekuensi 1

MHz. Metode yang digunakan untuk karakteristik cairan adalah berdasarkan koefisien atenuasi, sedangkan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan digunakan metode *Time of Flight*.

DASAR TEORI

Atenuasi Gelombang Ultrasonik

Secara umum atenuasi menyatukan kerangka dengan definisi bilangan kompleks gelombang \tilde{k} yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan [5] :

$$\tilde{k} = \frac{\omega}{c} + i\alpha \quad (1)$$

dengan α merupakan koefisien atenuasi gelombang.

Secara umum, koefisien atenuasi merupakan fungsi frekuensi ω . Koefisien atenuasi dapat digunakan untuk karakterisasi material. Kesimpulannya,

$$\alpha = \alpha(\omega) = \text{Im}\{\tilde{k}\} \quad (2)$$

Perubahan amplitudo pada peluruhan gelombang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$A = A_0 e^{-\alpha \Delta x} \quad (3)$$

dan atenuasinya adalah :

$$\alpha = \frac{1}{\Delta x} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (4)$$

dengan A_0 merupakan amplitudo awal sebelum mengalami atenuasi, A amplitudo yang meluruh setelah gelombang melalui jarak Δx dari lokasi awalnya.

Kuantitas lain yang sering digunakan dalam pengukuran koefisien atenuasi yaitu *decibel* (dB) yang dinyatakan sebagai perbandingan dari dua amplitudo pada skala *logaritmik*

$$\text{Rasio}(dB) = 20 \log_{10} \left[\frac{A_0}{A} \right] \quad (5)$$

Dari persamaan 4 dan 5, dan konversi dari logaritma natural ke logaritma dengan bilangan dasar sepuluh ($\ln(x) = 2,303 \log(x)$) didapat persamaan [5] :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{\Delta x} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \\ &= \frac{1}{\Delta x} \cdot \frac{20}{2,303} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (6) \\ &= \frac{1}{\Delta x} \cdot 20 \log_{10}\left(\frac{A_0}{A}\right) \end{aligned}$$

Profil Kekasaran Permukaan

Konsep kekasaran saat ini mempertimbangkan faktor seperti contoh interval ukuran dan benda uji [6].

Parameter tingkat kekasaran permukaan adalah tingkat kekasaran rata-rata (R_a), parameter ini paling sering digunakan sebagai parameter akhir oleh para peneliti dan di dalam industri. Berikut ini merupakan rumus nilai absolut rata-rata dari tingkat kekasaran rata-rata :

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad (7)$$

Dengan y_i adalah tingkat kekasaran dari tiap tingkat kekasaran rata-rata, dan n adalah jumlah pengambilan data. Keistimewaan bentuk permukaan yang disebut rata-rata tingkat keabuan G_a , digunakan untuk memprediksi ketajaman tingkat kekasaran. Rumus rata-rata dari tingkat kekasaran G_a , dituliskan sebagai berikut :

$$G_a = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - g_m)}{n} \quad (8)$$

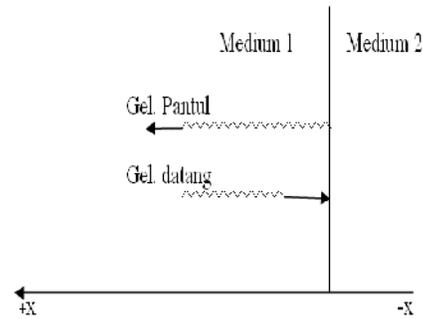
Dengan $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ adalah nilai tingkat keabuan dari suatu bentuk permukaan disepanjang satu garis lurus, dan g_m , merupakan rata-rata nilai tingkat kekasaran yang dirumuskan sebagai berikut :

$$g_m = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i)}{n} \quad (9)$$

Tingkat kekasaran rata-rata G_a dihitung pada seluruh permukaan setelah gambar bentuk permukaannya didapat [7].

Refleksi

Pada ultrasonik, citra dihasilkan melalui berkas suara yang direfleksikan. Presentase suara yang direfleksikan di antara muka jaringan yang tergantung pada impedansi.



Gambar 1 Refleksi gelombang dari pembatas [8]

Impedansi adalah hasil kali kerapatan dan kecepatan suara dalam materi. Impedansi akustik merupakan sifat dasar materi atau zat, dalam satuan cgs didefinisikan sebagai gram/cm²det x 10⁻⁵ [9] :

$$Z = \rho c \quad (10)$$

dengan Z adalah impedansi akustik, ρ adalah densitas, dan c adalah kecepatan suara pada medium.

Proses refleksi ditunjukkan pada gambar 2.3 jika berkas suara membentur permukaan medium, besar koefisien refleksinya yang diberikan [8].

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (11)$$

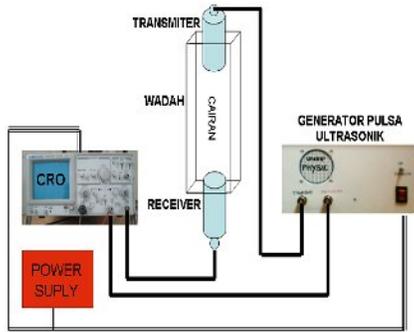
dengan R adalah reflektifitas, Z_1 adalah impedansi akustik medium 1 ($\rho_1 c_1$), Z_2 adalah impedansi akustik medium 2 ($\rho_2 c_2$) sehingga persamaan menjadi:

$$R = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (12)$$

METODE PENELITIAN

Pengukuran Atenuasi

Gambar 2 merupakan skema alat yang digunakan untuk mengukur atenuasi.



Gambar 2 Skema alat untuk mengukur atenuasi

Dalam penelitian ini digunakan sepasang transduser jenis *immersion transducer* yang memiliki frekuensi 1 MHz yang diletakkan saling berhadapan pada wadah cairan yang diamati. Sinyal ultrasonik dibangkitkan oleh generator pulsa ultrasonik dan dihubungkan menuju transduser pemancar.

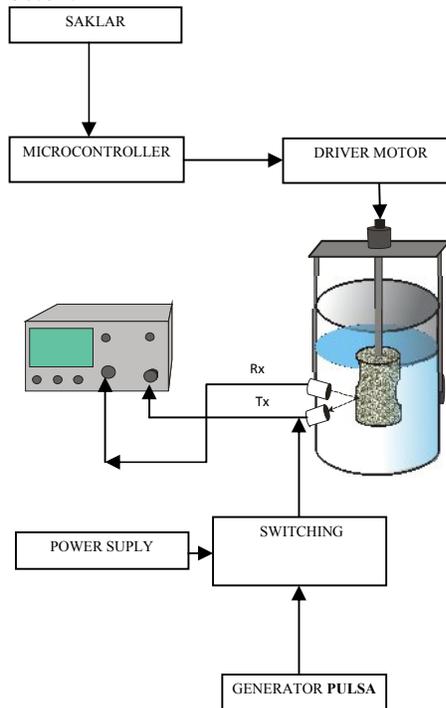
Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data yang tercatat langsung dari hasil pengukuran. Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu jarak antar transduser dan sampel bahan yaitu cairan yang divariasi. Dari pengukuran tersebut data yang diperoleh yaitu amplitudo awal sebelum mengalami atenuasi (A_0), data amplitudo setelah mengalami atenuasi (A). Untuk data amplitudo setelah mengalami atenuasi merupakan data yang diterima oleh transduser penerima yang diukur atau diperoleh setelah sinyal masukan dari transduser pemancar menembus atau melalui cairan di dalam wadah pengamatan dalam jarak tertentu.

Pengukuran Tingkat Kekasaran Permukaan

Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu tinggi benda dan

variasi dari sampel bahan. Dari pengukuran tersebut, data yang diperoleh adalah *Time-of-Flight* yang merupakan jarak sejak di pancarkan *transmitter* ultrasonik hingga diterima *receiver* ultrasonik. Nilai kekasaran dihitung dari *Time-of-Flight* (ToF) data pengukuran.

Gambar 3 merupakan skema alat untuk mengukur *Time of Flight* pada beton.



Gambar 3 Skema alat pengukuran *Time of Flight*

Gelombang ultrasonik yang dibangkitkan menjalar pada medium yang dilalui, memantul pada benda pembatas dan mengaktifkan transduser penerima. Pengukuran dilakukan dengan memayari benda yang diputar sebanyak 200 putaran menggunakan motor stepper dengan memanfaatkan transduser ultrasonik. Benda yang digunakan sebagai bahan uji yaitu beton. Alasan dipilihnya benda uji ini adalah untuk memperkecil atenuasi sehingga akan memperbesar pantulannya. Transduser akan memancarkan pulsa ke benda

melalui pulsa transmiter dan receiver. Hasil dari pemaparan ditampilkan pada CRO (Cathode Ray Osciloscop) yang digunakan untuk menghitung ToF (Time-of-Flight).

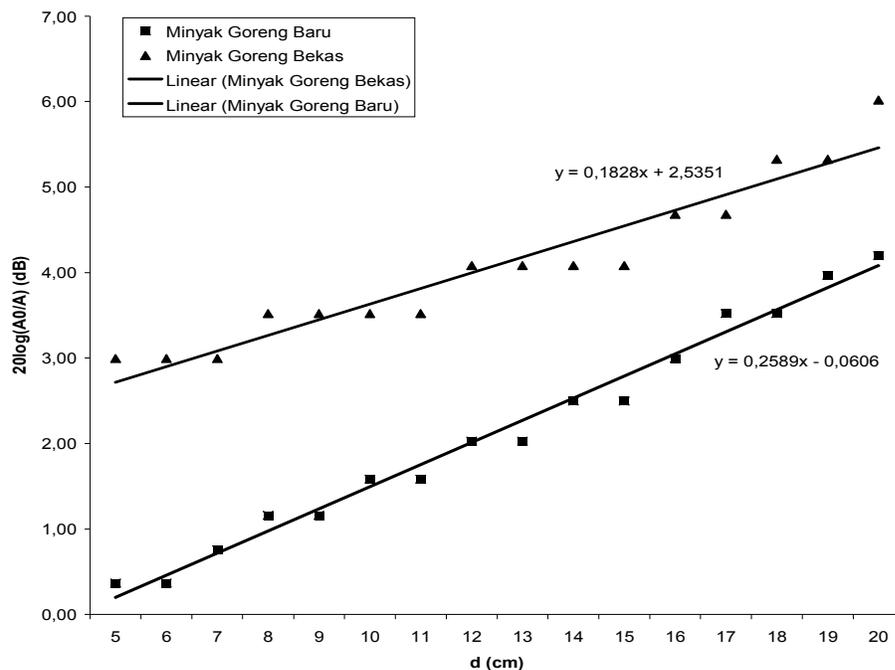
HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien Atenuasi Minyak Goreng Baru dan Minyak Goreng yang Telah Dipanaskan

Gambar 4 merupakan hubungan antara jarak transduser dengan intensitas yaitu antara minyak goreng baru dengan minyak goreng yang telah dipanaskan beberapa menit. Intensitas gelombang ultrasonik akan lebih teratenuasi pada medium yang mempunyai kerapatan lebih besar sehingga intensitas yang

akan diteruskan akan menjadi lebih sedikit.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa minyak goreng yang belum digunakan atau terpakai, memiliki koefisien atenuasi yang lebih kecil daripada minyak goreng yang telah dipanaskan. Koefisien atenuasi pada minyak goreng baru bernilai lebih kecil daripada minyak goreng yang telah dipanaskan tersebut, disebabkan karena kerapatan pada minyak goreng yang telah dipanaskan (55 cP) lebih besar daripada minyak goreng baru (53 cP). Semakin rapat cairan tersebut maka sinyal masukan yang akan diteruskan akan menjadi semakin sedikit.



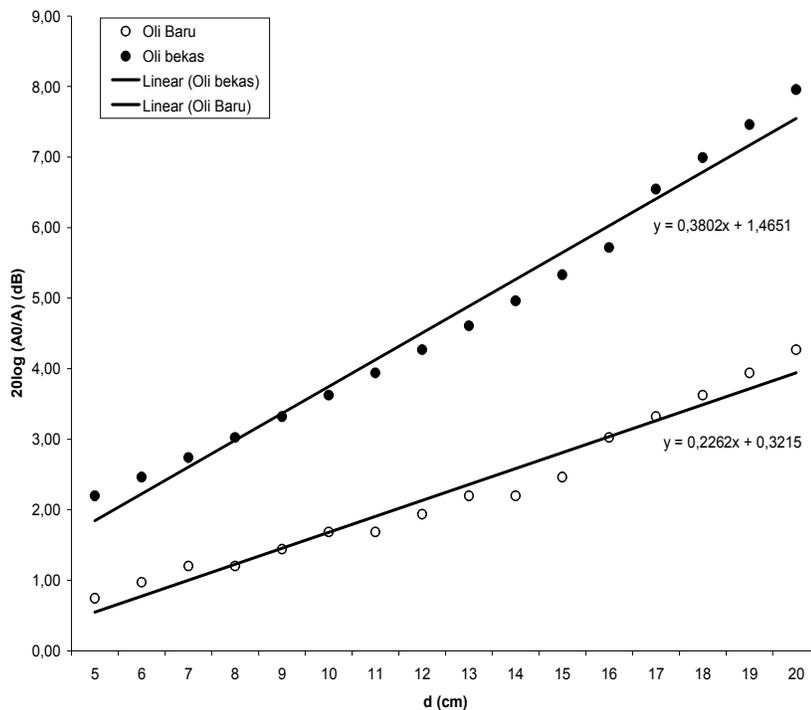
Gambar 4 Hubungan antara jarak transduser dengan intensitas yang dihasilkan pada minyak goreng baru dengan minyak goreng yang telah digunakan

Koefisien Atenuasi Oli Baru dan Oli Bekas

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara jarak transduser (d dalam cm) dengan intensitas (dB) antara oli yang belum digunakan oleh kendaraan (oli baru) dengan oli yang sudah digunakan oleh kendaraan (oli bekas). Intensitas yang dimaksud merupakan perbandingan antara intensitas awal sebelum melewati cairan dengan intensitas yang dihasilkan setelah melewati cairan. Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 5 menyatakan bahwa semakin besar jarak transduser maka intensitas yang dihasilkan pada sampel juga akan semakin besar.

Jika dilihat dari segi kekentalannya, semakin kental oli maka unsur-unsur penyusunnya juga akan semakin rapat. Kerapatan dari unsur-unsur penyusun bahan tersebut akan

berpengaruh terhadap nilai koefisien atenuasi yang akan dihasilkan dari bahan yang diamati tersebut. Ketika gelombang ultrasonik dilewatkan pada suatu medium, maka sinyal masukan setelah melalui atau melewati medium tersebut akan mengalami pelemahan atau pengurangan. Apabila bahan yang dilalui oleh gelombang ultrasonik tersebut unsur-unsur penyusunnya rapat, maka sinyal masukan yang diberikan akan lebih banyak diserap oleh bahan yang dilaluinya sehingga sinyal yang akan diteruskan ke transduser penerima akan menjadi berkurang. Dan sebaliknya apabila bahan yang dilalui oleh gelombang ultrasonik unsur-unsur penyusunnya tidak rapat atau dapat dikatakan encer, maka sinyal masukan yang dilewatkan pada bahan akan lebih banyak yang diteruskan atau diterima oleh transduser penerima.



Gambar 5 Hubungan antara jarak transduser dengan intensitas yang dihasilkan pada oli baru dan oli bekas

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari gambar 5, menunjukkan bahwa oli bekas memiliki nilai koefisien atenuasi yang lebih besar ($\alpha = 0,4$ dB/cm) jika dibandingkan dengan nilai koefisien atenuasi oli baru ($\alpha = 0,2$ dB/cm). Hal ini dapat disebabkan karena oli bekas sudah tercemar atau bercampur dengan zat-zat lain atau pengotor. Nilai viskositas oli baru yang didapatkan berdasarkan uji viskositas sebesar 62,5 cP, sedangkan nilai viskositas oli besar adalah 120 cP. Semakin besar nilai viskositas cairan, maka gelombang ultrasonik yang dilewatkan akan lebih teratenuasi.

Penghitungan Kekasaran pada Beton A untuk 1 Line

Hasil penghitungan kekasaran pada beton A untuk 1 *line* pengukuran ditunjukkan pada gambar 6. Hasil penyamaran (*scanner*) tidak rata. Pada sudut 36° teridentifikasi sebagai permukaan objek yang paling kasar yang ditunjukkan oleh puncak grafik yang tajam. Pada sudut 50° sampai 250° menunjukkan permukaan yang kurang kasar, pada grafik terlihat lonjakan yang tidak signifikan. Sedangkan, 250° - 360° terlihat lonjakan yang sedikit sehingga permukaan dianggap licin.

Hasil Penghitungan Kekasaran pada Beton B untuk Line 1

Hasil penghitungan kekasaran pada beton B untuk 1 *line* pengukuran ditunjukkan pada gambar 7 bahwa hasil penyamaran (*scanner*) tidak rata atau sangat kasar. Pada setiap kenaikan derajatnya terjadi perubahan lonjakan yang hampir sama dan tidak terlalu jauh. Sedangkan saat sudut 0° - 60° benda (profil) menunjukkan perubahan yang tidak signifikan sehingga permukaan ini dianggap rata.

KESIMPULAN

1. Semakin rapat medium, maka koefisien atenuasi akan semakin besar. Hasil penelitian terhadap sampel media cair yang diuji menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan nilai atenuasi untuk oli bekas dan minyak goreng bekas jika dibandingkan masing-masing dengan oli baru dan minyak goreng baru.
2. Pengukuran tiap masing benda (*profile*) yaitu:
 - a. Beton A dengan tingkat kekasaran rata-rata 2,5 mm dengan Ra minimal pada 0,6 mm dan Ra maksimum pada 5,6 mm.
 - b. Beton B dengan tingkat kekasaran rata-rata 2,3 mm dengan Ra minimal pada 0,1 mm dan Ra maksimum pada 7,7 mm.
3. Tingkat kekasaran relatif yang paling tinggi pada eksperimen ini adalah sampel beton B yaitu 2,3 mm.

Hasil penelitian ini memberi harapan bahwa dua metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk inspeksi tak merusak pada media cair dan media padat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Rajendran V., Muthu Kumaran S., 2002, *Measurement of Ultrasonic Velocity and Attenuation at Elevated Temperatures*, National Seminar of ISNT, Chennai.
- [2]. Chen, A. Q., Freear, S., Cowell, D. M. J., 2003, *Measurement of Solid in Liquid Content Using Ultrasound Attenuation*, 5th World Congress on Industrial Process Tomography, Bergen, Norway.

- [3]. Dukhin, A. S., Goetz, P. J., 2008, *Ultrasound for Characterizing Liquid Based Food Products*, Dispersion Technology, Inc., Mount Kisco, NY 10549 USA.
- [4]. Schreiber, Robert., 2002, *Implementing Ultrasonic Ranging*, <http://www.microchip.com/AN597.html>.
- [5]. Treiber Martin, 2008, *Characterization of Cement-Based Multiphase Materials Using Ultrasonics Wave Attenuation*, Tesis Master of Science in Engineering Science and Mechanics, Georgia Institute of Technology.
- [6]. Amaral, Ron dan Chong, Ho, 2002, *Surface Roughness*, <http://www.sjsu.edu/surface.pdf>
- [7]. Kumar, Rajneesh. et all, 2004, *Application of digital image magnification for surface roughness evaluation using machine vision*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45 (2005) page 228–234
- [8]. Aston, R, 1990, *Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement*, Merrill, an imprint of Macmillan Publishing Company, New York.
- [9]. Curry, Thomas S, 1984, *Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology*, Third Edition Lea & Febiger, Philadelphia USA.