
Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 2

Agustus 2019

Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik pada Tanah Liat dengan Memanfaatkan Sinyal Echo Ultrasonik 145-156

Lusiana, Agus Indra Gunawan, dan Bima Sena Bayu Dewantara

JRE	Vol. 15	No. 2	Hal 75-156	Banda Aceh, Agustus 2019	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik pada Tanah Liat dengan Memanfaatkan Sinyal Echo Ultrasonik

Lusiana, Agus Indra Gunawan, dan Bima Sena Bayu Dewantara
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)
Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
e-mail: lusianapens@gmail.com

Abstrak—Setiap material memiliki karakteristiknya masing-masing, yang direpresentasikan oleh nilai *speed* kecepatan propagasi gelombang ultrasonik (C) dan impedansi akustik/resistansi material (Z_{it}). Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan karakteristik tersebut adalah dengan mengaplikasikan *ultrasonic testing*. Teknik ini memanfaatkan dua buah sensor ultrasonik sebagai *transmitter* (UST) dan *receiver* (USR) untuk mendapatkan *property* sinyal dari setiap material. Adapun mekanisme pengukuran yang dilakukan adalah *non-destructive testing* (NDT) dimana material yang diuji tidak mengalami kerusakan sehingga tidak mengubah karakter dari sampel tersebut. Pada penelitian ini, karakteristik material direpresentasikan oleh sinyal pantul dari material (*echo*). Untuk mengolah data sinyal *echo* dan mendapatkan karakteristik sampel uji maka diperlukan sejumlah algoritma pemrosesan data seperti *Fast Fourier Transform* (FFT), *Peak Detection*, dan *Grid Search*. Dengan mengolah *echo* dari sinyal pantul maka dapat diperoleh nilai C . Dari hasil percobaan didapatkan, nilai C dan Z_{it} pada sampel uji 1 dengan *density* 1856,97573 g/m³ sebesar $C = 636$ m/s dan $Z_{it} = 474640$ Ns/m³, sampel uji 2 dengan *density* 1792,94208 g/m³ sebesar $C = 491$ m/s dan $Z_{it} = 408080$ Ns/m³, sedangkan sampel uji 3 dengan *density* 1663,85025 g/m³ sebesar $C = 434$ m/s dan $Z_{it} = 405639$ Ns/m³. Besarnya nilai karakterisasi material menunjukkan *density* berbanding lurus dengan besarnya nilai C dan Z_{it} .

Kata kunci: *ultrasonik, speed, impedansi akustik, echo*

Abstract—Each material has its own characteristics, which are represented by the value of speed/ultrasonic wave propagation speed (C) and acoustic impedance/material resistance (Z_{it}). One technique that can be used to obtain these characteristics is by applying ultrasonic testing. This technique utilizes two ultrasonic sensors as transmitter (UST) and receiver (USR) to get signal properties from each material. The measurement mechanism is non-destructive testing (NDT) where the material tested is not damaged so it does not change the character of the sample. In this research, material characteristics are represented by reflected signals from material (*echo*). To process the *echo* signal data and get the characteristics of the sample, we need a number of data processing algorithms such as Fast Fourier Transform (FFT), Peak Detection, and Grid Search. By processing *echo* from reflected signals, C and Z_{it} values can be obtained. From the experimental results obtained, the values of C and Z_{it} in sample 1 with a density of 1856.97573 g/m³ are $C = 636$ m/s and $Z_{it} = 474640$ Ns/m³, samples 2 with a density of 1792.94208 g/m³ of $C = 491$ m/s and $Z_{it} = 408080$ Ns/m³, while the sample 3 with a density of 1663.85025 g/m³ is $C = 434$ m/s and $Z_{it} = 405639$ Ns/m³. The value of material characterization shown that a dense clay also has higher C and Z_{it} .

Keywords: *ultrasonic, speed, acoustic impedance, echo*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Sistem monitoring impedansi akustik berfungsi untuk mendeteksi cacat dari suatu produk, serta memiliki peranan yang sangat penting untuk peningkatan kualitas suatu produk. Beberapa keuntungan dari sistem ini adalah harganya murah, cepat, akurat, *non-destructive testing*, bersih dan *non-invasive* [1].

Sistem evaluasi *Ultrasonic Testing* (UT) terdiri dari rangkaian pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), *transducer*, serta perangkat *display*. Sistem

ini memberikan informasi yang dibawa oleh sinyal, untuk mengetahui lokasi retak, dan ukuran cacat [2].

Dalam teknik pengujian *pulse echo ultrasonic* ini menggunakan efek piezoelektrik. Dimana pulsa listrik bertegangan tinggi (kurang dari 20 ns dan amplitudo 100–200 V) mengeksitasi kristal piezoelektrik untuk menghasilkan gelombang ultrasonik di permukaan spesimen. Kemudian gelombang tersebut bergerak melalui spesimen, sehingga *transducer* memantulkan gelombang ultrasonik dari sisi berlawanan spesimen [3].

Dalam pengaplikasiannya di dunia industri, yang

menjadi masalah utama yaitu bagaimana pengukuran dapat dilakukan tanpa menyentuh objek. Sensor ultrasonik merupakan kunci utama untuk menjawab permasalahan tersebut. Banyak contoh yang ditemukan dalam dunia teknik. Salah satunya *non-destructive testing materials*, dimana berbagai jenis sistem pengukuran dan sensor telah digunakan. Namun permasalahannya sangat berkaitan dengan deteksi *echo* [4].

Karakterisasi material merupakan teknik baru untuk memproses *backscattered* sinyal ultrasonik dan mengekstraksi fiturnya. Fitur-fiturnya menunjukkan potensi untuk pendeteksian karakterisasi material [5], salah satu karakteristik material direpresentasikan oleh propagasi gelombang suara dalam material (*speed*) dan resistansi material (impedansi akustik).

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis mengajukan penelitian dengan menggunakan teknik *non-destructive testing* pada sampel tanah liat dengan sistem evaluasi *ultrasonic testing* yang terdiri dari pemancar dan penerima *ultrasonic*. Berfokus pada teknik pengujian *pulse echo ultrasonic* yang memanfaatkan sinyal *echo* dari sampel tanah liat yang diuji. Setelah sinyal ultrasonik dari sampel tanah liat telah didapatkan, kemudian dilakukan analisa pendeteksian awal *echo* pada seluruh sampel uji. Kemudian dapat diketahui *speed* dan impedansi akustik pada seluruh sampel uji.

II. STUDI PUSTAKA

Pada [7], dilakukan penelitian tentang peningkatan kepresisian yang diterapkan untuk sistem *ultrasonic ranging* dengan menerapkan tiga jenis metode yang berbeda yaitu *simple threshold*, *double threshold* dan *correlation detection*. Keseluruhan nilai dalam penelitian ini direpresentasikan oleh perubahan bias, standar deviasi dan total error sebagai fungsi jarak. Hasil penelitian menunjukkan *double threshold* dapat menurunkan nilai bias dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Namun memiliki nilai standar deviasi yang sangat kecil jika dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Sedangkan *correlation method* dapat meningkatkan pengukuran *time of flight* jika dibandingkan dengan metode *threshold*.

Pada [8], dilakukan penelitian yang berfokus pada pengajuan metode *innovative* pengukuran *ultrasonic time of flight (TOF)* dengan *narrow-band* transduser dengan memperkenalkan gelombang *receiver ultrasonic peak time sequences (PTS)* pada dua jenis frekuensi yang berbeda. Pengukuran PTS TOF dapat dicapai dengan 2 tahap. Pertama, PTS dibentuk dari sinyal *receiver ultrasonic* dengan frekuensi yang berbeda berdasarkan dari *arrival time* setiap puncak sinyal dengan menghitung nilai rata-ratanya. Kedua, *arrival time* dari sinyal bagian depan dibangun dengan mengestimasi waktu inisiasi dari PTS untuk gelombang *receiver* dengan perbedaan frekuensi. Hasil dari penelitian ini yaitu metode *ultrasonic ranging* yang diajukan dapat diimplementasikan pada *low-cost digital system* dan beberapa rangkaian analog. Dengan mengkombinasikan TOF dan informasi *ultrasound phase*

shift pada kedua frekuensi yang berbeda, metode ini dapat mencapai akurasi 0,12 mm pada jarak 900 mm dengan percobaan pada suhu ruangan 25°C.

Pada [9], dilakukan penelitian yang berfokus pada pengukuran kecepatan gelombang permukaan dengan menggunakan material beton untuk mendeteksi cacat dan mengevaluasi kekuatan tekan dari beton. Dalam penelitian ini gelombang permukaan digunakan untuk memprediksi kekuatan *in situ* di dalam beton yang berada pada awal usia beton. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur macam-macam gelombang permukaan pada beton yang berumur satu hari. *Continuous wavelet transform* digunakan untuk mengkomputasi waktu tempuh dari propagasi gelombang permukaan. Spesimen yang digunakan berasal dari empat campuran dan lima suhu *curing*. Hasil dari penelitian ini yaitu kecepatan gelombang permukaan dapat diaplikasikan untuk mengestimasi kekuatan beton untuk umur beton yang berusia muda.

Pada [10], dilakukan penelitian dengan menggunakan teori propagasi gelombang *primary wave (PW)* dan *secondary wave (SW)*. Berfokus kepada kecepatan propagasi gelombang untuk menentukan *property* elastisitas pada medium. Pada percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, digunakan *function generator* untuk *generate* sinyal sebesar 500 V, T1 (*transmitter*) gelombang ultrasonik ke T2 (*receiver*). Kemudian T2 berfungsi untuk mengkonversi gelombang ultrasonik menjadi gelombang listrik. *Oscilloscope 1 (plotted excitation signal)* yang dikirimkan ke T1 melalui *channel 1*, kemudian diterima oleh T2 pada *channel 2*. Pada *channel 2 oscilloscope* ini dapat diamati gelombang tekan dan gelombang geser. *Oscilloscope 2* berfungsi untuk mengumpulkan data yang kemudian diolah dengan menggunakan *LabView* pada MAC.

Pada [11], dilakukan penelitian dengan mengukur kekuatan tekan dari berbagai macam campuran beton dengan metode *non-destructive ultrasonic pulse velocity*. Penelitian ini melibatkan sekitar 84 komposisi beton yang berbeda, yang diuji antara waktu 3 dan 180 hari dengan kekuatan tekan berkisar antara 30 sampai 80 MPa. Penelitian ini menguji hubungan antara *ultrasonic pulse velocity* dan kekuatan tekan. Selain itu juga memprediksi kekuatan tekan beton dengan menggunakan uji *ultrasonics pulse Velocity non-destructive*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PUNDIT (*portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester*). Hasil dari penelitian ini yaitu metode *non - destructive ultrasonic pulse velocity* dapat digunakan untuk *mechanical compressive strength* dari LWC (sampel).

III. METODE

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal dalam penelitian ini diantaranya metode pengukuran sampel tanah liat yang diuji. Metode pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan nilai C dan Z_{tl} . Penempatan sensor ultrasonik untuk mendapatkan nilai C dan Z_{tl} . Jenis sampel tanah liat dan sensor yang digunakan. Proses akuisisi sinyal. Metode

deteksi sinyal *echo*. Serta skema akuisisi dan pemrosesan sinyal.

A. Diagram Sistem

Metode pengukuran sampel tanah liat dijelaskan secara sederhana pada bagian diagram sistem. Diagram sistem ini menjelaskan bagaimana cara pengukuran sampel dan dengan menggunakan beberapa *instrument* lain.

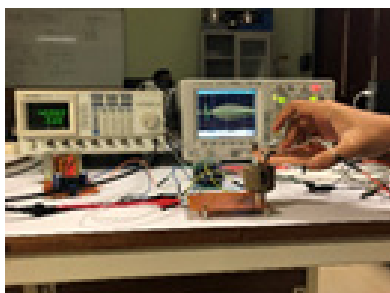
Gambar 1 menunjukkan metode pengukuran pada sampel tanah liat. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan 2 buah sensor ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sensor ultrasonik tersebut digunakan sebagai *ultrasonic transmitter* (UST) untuk menembakkan sinyal ultrasonik ke sampel tanah liat. Kemudian sinyal yang menembus sampel tanah liat diterima oleh *ultrasonic receiver* (USR). Dalam penelitian ini, digunakan sebuah *function generator* GW instek GFG-3015 untuk membangkitkan sinyal yang akan dikirimkan ke bagian UST (mengubah sinyal listrik menjadi sinyal mekanik). Serta digunakan pula *oscilloscope* agilent technologies MSO6054A yang dihubungkan ke bagian UST dan USR. *Oscilloscope* ini juga difungsikan untuk merekam sinyal ultrasonik yang didapatkan dari kedua sensor tersebut. Untuk memperjelas metode pengukuran tanah liat pada Gambar 2, dijelaskan pada blok akuisisi sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 6.

B. Teknik Pengukuran

Untuk pengukuran *speed* Gambar 2(a) disebut pengukuran transmisi dan impedansi akustik Gambar 2(b) disebut metode pengukuran sinyal pantul (*echo*). Impedansi akustik diukur dengan memasang UST dan USR pada sisi yang sama. Formula untuk mengetahui nilai *speed* digunakan Persamaan (1).

$$C = \frac{L}{t}, \quad (1)$$

dimana C merupakan *speed* (m/s), L merupakan panjang material (m), t merupakan waktu (s). Hasil perhitungan *speed* pada ketiga sampel uji tanah liat ditunjukkan pada Tabel 5. Gambar 2(a) menggambarkan teknik pengukuran *speed*/kecepatan propagasi gelombang suara dalam material (C) yang merupakan salah satu pengkarakterisasian material pada sampel tanah liat 1,2, dan 3, yang mana perubahan *speed* sesuai dengan tipe karakteristik pada tiap



Gambar 1. Metode pengukuran sampel tanah liat

material yang digunakan. Pengukuran C ini dengan menggunakan 2 buah sensor ultrasonik yang satu buah difungsikan sebagai *ultrasonic transmitter* (UST) dan satu lainnya sebagai *ultrasonic receiver* (USR). UST menembakkan sinyal terhadap sampel tanah liat, kemudian sinyal menembus sampel tanah liat, dan sinyal pantul ultrasonik (*echo*) diterima oleh USR. Dalam penelitian ini, tanah liat yang digunakan merupakan campuran dari kedua material lempung dan pasir. Referensi dari kecepatan propagasi gelombang pada beberapa material yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [12] ditunjukkan pada Tabel 1.

Gambar 2(b) menunjukkan pengukuran resistansi material/impedansi akustik (Z). Dengan menggunakan konsep pengukuran yang sama yaitu 2 buah sensor ultrasonik difungsikan sebagai UST dan USR. Peletakan sensornya yaitu sejajar, maka dari teknik pengukuran ini diperoleh nilai impedansi akustik (Z) dengan menggunakan Persamaan (2) dan (3) [13],

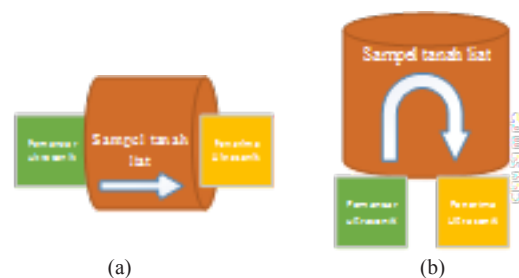
$$S_{ref} = \left[\frac{Z_{ref} - Z_{udara}}{Z_{ref} + Z_{udara}} \right] \cdot S_{in}, \quad (2)$$

$$S_{il} = \left[\frac{Z_{il} - Z_{udara}}{Z_{il} + Z_{udara}} \right] \cdot S_{in}, \quad (3)$$

dimana S_{ref} merupakan intensitas referensi (v_{rms} referensi), Z_{ref} merupakan impedansi referensi, Z_u merupakan impedansi udara, Z_{il} merupakan impedansi tanah liat dan, S_{in} merupakan intensitas input.

C. Sampel Tanah Liat

Dalam penelitian ini, digunakan sampel uji berupa tanah liat terkondisi. Keadaan terkondisi disini yaitu kita harus membuat sampel tanah liat tersebut untuk bisa diuji. Mekanisme pembuatan sampel tanah liat yaitu dengan cara tentukan/rencanakan *density* material



Gambar 2. Teknik pengukuran tanah liat; (a). pengukuran *speed* (C), (b). pengukuran impedansi akustik (Z)

Tabel 1. Kecepatan seismik gelombang P [12]

Nama Material		Vp (m/s)
Tanah	Alluvial	500-2100
	Lempung	1100-2500
	Loss	300-600
	Pasir	200-2000
	Napal Bongkah	400-1700

yang akan di-remoulded, kemudian lakukan pengecekan *dry density* material, yang terakhir lakukan remoulded tanah kering beserta air dan dicetak hingga *density* yang sudah ditetapkan/direncanakan. Gambar 3(a), Gambar 3(b), dan Gambar 3(c) menunjukkan sampel uji yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana setiap sampel tanah liat memiliki karakteristik masing-masing, seperti sampel tanah liat 1 (Gambar 3(a)) terlihat tidak begitu kering dan juga tidak begitu kasar yang memiliki *density* sebesar 1856,97573 g/m³, sampel tanah liat 2 (Gambar 3(b)) terlihat kering dan kasar memiliki *density* sebesar 1792,94208 g/m³, sedangkan sampel tanah liat 3 (Gambar 3(c)) tanah liat terlihat basah dan halus memiliki *density* sebesar 1663,85025 g/m³. Pengukuran panjang pada tiap sampel tanah liat ditunjukkan pada Tabel 2.

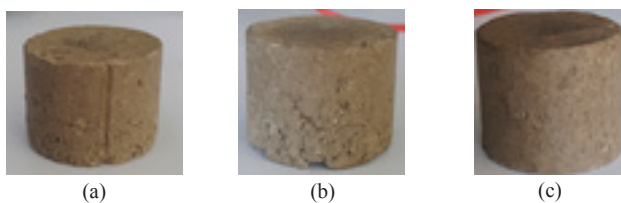
D. Proses Akuisisi Sinyal

Gambar 6 menunjukkan blok akuisisi sinyal pada pengukuran *speed* dan impedansi akustik, dimana untuk pengukuran *speed* letak UST dan USR berada pada posisi atas dan bawah sampel tanah liat. Sedangkan untuk pengukuran impedansi akustik, posisi UST dan USR berada di bawah sampel tanah liat yang diletakkan sejajar. Setelah didapatkan sinyal hasil pengukuran tanah liat, kemudian dilakukan proses transformasi sinyal yaitu FFT (*fast fourier transform*) untuk mendapatkan nilai frekuensi *echo*. Selanjutnya diterapkan dua metode pendeteksian awal *echo* yaitu *threshold* amplitudo dan metode yang diajukan oleh peneliti untuk dapat mengukur penentuan awal *echo*. Setelah dapat ditentukan awal sinyal *echo* maka dilakukan analisa sinyal untuk dapat menemukan nilai C dan Z pada seluruh sampel uji.

E. Deteksi Sinyal Echo

1. Threshold Amplitudo

Metode *threshold* ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7]. Dengan menggunakan konsep yang sama pada penelitian [7], maka metode *threshold* amplitudo yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada nilai sampel. Dari 1000 sampel data yang digunakan, masing-masing diberi nilai *threshold* sebesar 5 mV. Nilai dari 1000 data tersebut dicek satu persatu apakah memenuhi nilai 5 mV. Apabila nilai dari data tersebut >5 mV maka merupakan data *echo*. Setelah diimplementasikan dalam penelitian ini, metode ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mendeteksi sinyal *echo* pada sampel uji 2 dan 3 dengan teknik pengukuran impedansi akustik (Z), untuk



Gambar 3. Sampel uji yang digunakan, (a) Sampel uji 1, (b) Sampel uji 2, (c) Sampel uji 3

lebih jelasnya dapat dijelaskan pada bab IV. D. Untuk mengatasi permasalahan ini maka peneliti mengajukan metode deteksi awal *echo* seperti yang dijelaskan pada poin 2.

2. Metode Deteksi Awal Echo yang Diajukan

Pada penelitian ini, dikembangkan teknik *echo detection* untuk mendeteksi titik awal sinyal *echo* pada satu *sequence* data yang telah diakuisisi sebelumnya. Tahapan ini memegang peranan penting karena untuk membedakan sinyal *echo* dengan *noise*. Tahap awal dalam teknik ini adalah dengan mengaplikasikan FFT untuk mentransformasi data sinyal yang masih dalam domain waktu menjadi data sinyal dalam domain frekuensi. Dengan demikian, maka dapat diketahui frekuensi paling dominan pada data yang diakuisisi. Adapun fungsi FFT secara matematis dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{\frac{i2\pi kn}{N}}, k = 0, \dots, N-1, \quad (4)$$

Dimana X_k merupakan hasil transformasi sinyal FFT, x_n merupakan data pada domain waktu diskrit, N adalah jumlah data dan e adalah bilangan epsilon. Dengan mengubah domain suatu sinyal kedalam domain frekuensi maka kita bisa melihat frekuensi dominan dalam sinyal. Frekuensi paling dominan yang tidak lain adalah frekuensi *echo* ultrasonik dapat diperoleh dengan mengaplikasikan Algoritma 1 untuk mencari nilai maksimum dalam sebaran nilai frekuensi (X_k).

Algoritma 1: Pencarian frekuensi paling dominan (frek. Echo)	
1. Inisialisasi	Data sinyal dalam domain frekuensi (X_k)
2. For i in k	If $X[i] > X[i+1]$ Max = $X[i]$ frekuensi dominan = $f[i]$ Dimana i = indeks data, k = data-data dalam domain frekuensi f = frekuensi-frekuensi yang didapat dari FFT
3. Return	frekuensi dominan

Dengan mengetahui frekuensi *echo* (frekuensi



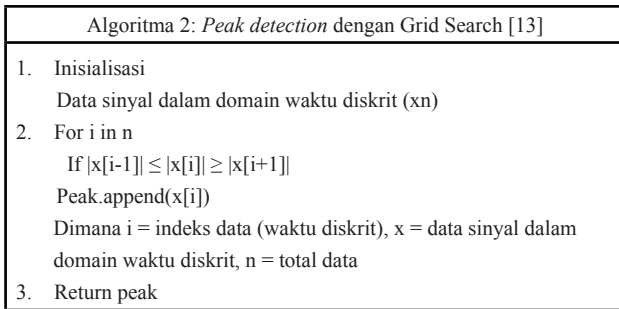
Gambar 4. Sensor ultrasonik

Tabel 2. Pengukuran panjang sampel tanah liat

Sampel	Panjang Sampel	
	P(cm)	P(m)
1	2,8	0,028
2	2,9	0,029
3	3	0,03

dominan), maka didapatkan periode sinyal *echo* yaitu $T = 1/f$. Periode inilah yang akan digunakan sebagai pembanding dalam pendeteksian titik awal sinyal *echo* pada tahap berikutnya.

Adapun langkah kedua dalam mendeteksi titik awal *echo* adalah dengan mendeteksi titik-titik puncak sinyal atau titik puncak sinyal. Untuk mendapatkan titik-titik puncak ini, pada penelitian ini digunakan algoritma *grid search* untuk mengecek titik-titik data satu persatu. Adapun algoritma *peak detection* dengan *grid search* ini dapat dilihat pada Algoritma 2.

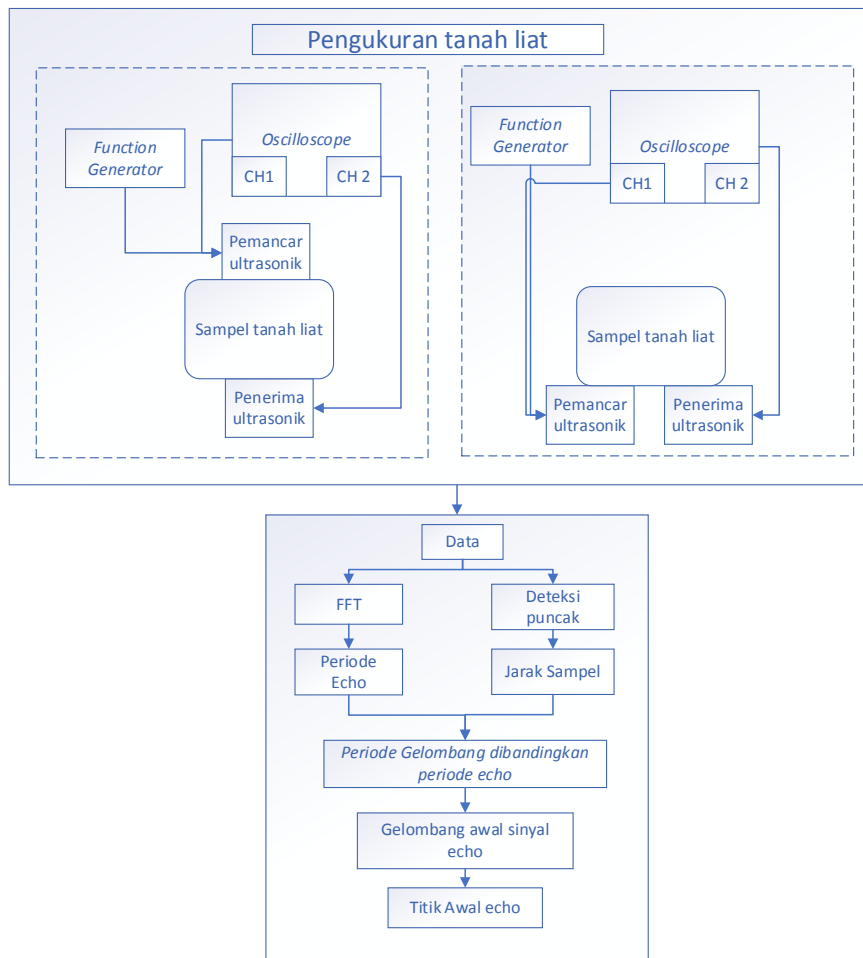
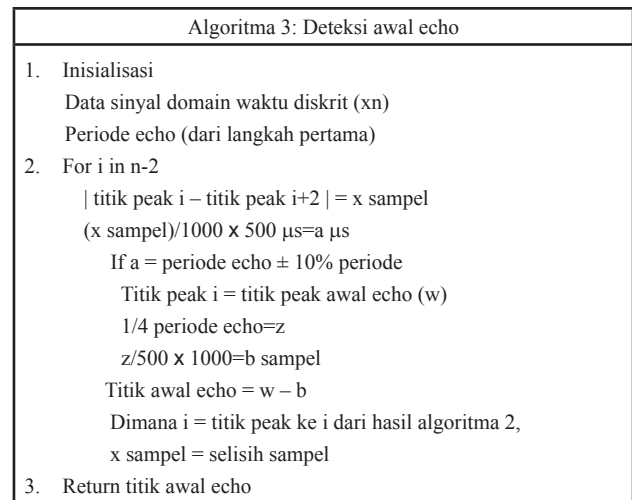


Dapat dilihat pada Algoritma 2, suatu titik sampel dikatakan sebagai titik puncak bila titik tersebut lebih besar dari titik sebelumnya dan titik sesudahnya. Ilustrasi nilai *peak* ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Scanning data

Setelah periode *echo* ultrasonik dan titik-titik puncak dalam data diketahui, maka dapat dilakukan proses deteksi titik awal *echo* dengan menggunakan Algoritma 3.



Gambar 6. Blok akuisisi sinyal

Sesuai dengan Algoritma 3, panjang dari masing-masing sinyal pada data yang diakuisi diukur dengan mengukur jarak antara puncak ke puncak atau lembah ke lembah (jarak 1 gelombang).

Selanjutnya jarak (jumlah selisih sampel) ini dikonversi menjadi jarak waktu (a us). Selanjutnya setiap jarak waktu yang terukur dibandingkan dengan periode *echo* yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Jika jarak waktu berada dalam kisaran periode *echo* dengan rentang 10% dari periode *echo*, maka jarak waktu tersebut adalah periode *echo*. Dengan kata lain gelombang tersebut adalah gelombang awal pada sinyal *echo*. Kemudian, untuk menentukan titik awalnya maka titik awal *peak echo* dikurangi dengan 1/4 periode *echo* yang dikonversi menjadi jumlah sampel.

F. Skema Akuisisi dan Pemrosesan Data

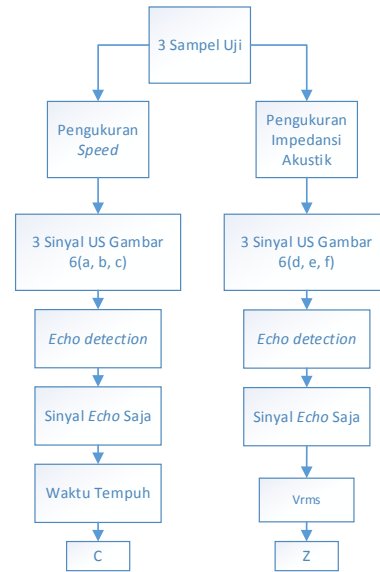
Pada skema akuisisi dan pemrosesan data yang ditunjukkan pada Gambar 7. menjelaskan bahwa dari 3 sampel uji yang digunakan, dilakukan dua teknik pengukuran *speed* (C) dan impedansi akustik (Z). Kemudian, dari hasil 2 teknik pengukuran masing-masing menghasilkan 3 buah sinyal *echo*. Kemudian, dilakukan teknik *echo detection* sehingga dapat terdeteksi yang mana sinyal *noise* dan yang mana sinyal *echo*. Setelah masing-masing teknik pengukuran didapatkan sinyal *echo*-nya, 3 sinyal *echo* untuk pengukuran *speed* tersebut dihitung waktu tempuhnya sehingga didapatkan nilai C sampel uji. Sedangkan untuk pengukuran impedansi akustik, 3 sinyal *echo* yang telah didapatkan kemudian dilakukan

perhitungan nilai V_{rms} sehingga didapatkan nilai Z pada setiap sampel uji.

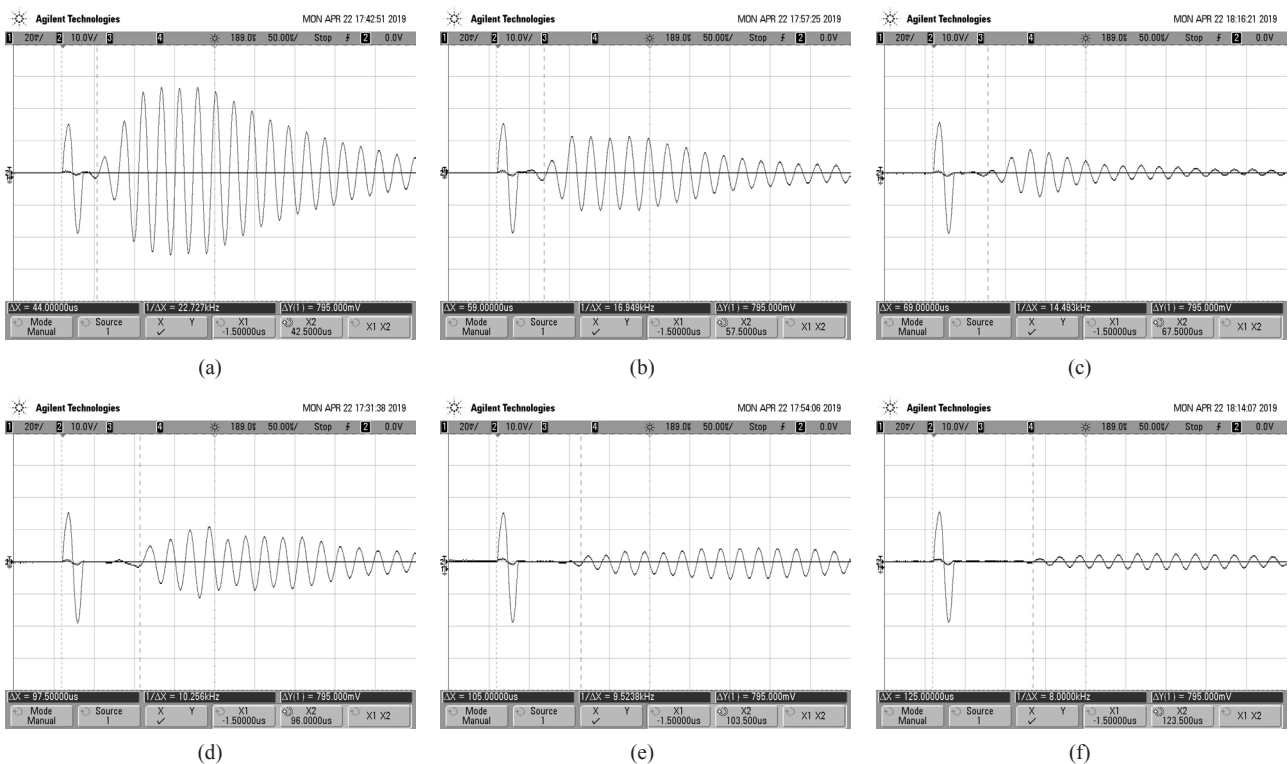
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik Seluruh Sampel Uji

Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik dengan menggunakan *oscilloscope* pada seluruh sampel uji ditunjukkan pada Gambar 8. Kemudian, dilakukan



Gambar 7. Skema akuisisi dan pemrosesan data



Gambar 8. Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik seluruh sampel uji (a). Pengukuran *speed* sampel uji 1 menggunakan *oscilloscope*, (b). Pengukuran *speed* sampel uji 2 menggunakan *oscilloscope*, (c). Pengukuran *speed* sampel uji 3 menggunakan *oscilloscope*. (d). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 1, (e). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 2, (f). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 3

pengolahan sinyal dengan menggunakan PC. Dimana hanya data sinyal *echo* saja yang diolah. Hasil pengolahan sinyal *echo* dengan menggunakan PC untuk pengukuran *speed* ditunjukkan pada Gambar 9(a), Gambar 9(b) dan Gambar 9(c), sedangkan pada hasil pengukuran impedansi akustik ditunjukkan pada Gambar 9(d), Gambar 9(e), dan Gambar 9(f). Dari pengolahan sinyal *echo* dengan menggunakan PC dapat diketahui tinggi maksimum amplitudo pada ketiga sampel uji dengan dua metode pengukuran menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Seperti pada pengukuran *speed* sampel uji 1 yang memiliki tinggi maksimum amplitudo paling tertinggi dibandingkan dengan pengukuran pada sampel uji lainnya yaitu sebesar 51,5 mV yang ditunjukkan pada Gambar 9(a).

B. Transformasi Sinyal FFT

Hasil transformasi sinyal FFT pada seluruh sampel uji ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil transformasi sinyal ini menunjukkan nilai dominasi frekuensi sinyal ultrasonik yang kemudian disebut sebagai frekuensi *echo*. Setelah diperoleh frekuensi *echo* kemudian didapatkan periode *echo* dengan menggunakan Persamaan (5). Hal ini dapat dilakukan karena sesuai dengan plot sinyal pada Gambar 9, sinyal *echo* merupakan sinyal yang periodik dimana sinyal tersebut memiliki pola yang sama dengan pola pada sinyal-sinyal berikutnya.

$$F = \frac{1}{T} \tag{5}$$

Nilai frekuensi *echo* pada pengukuran *speed* sampel

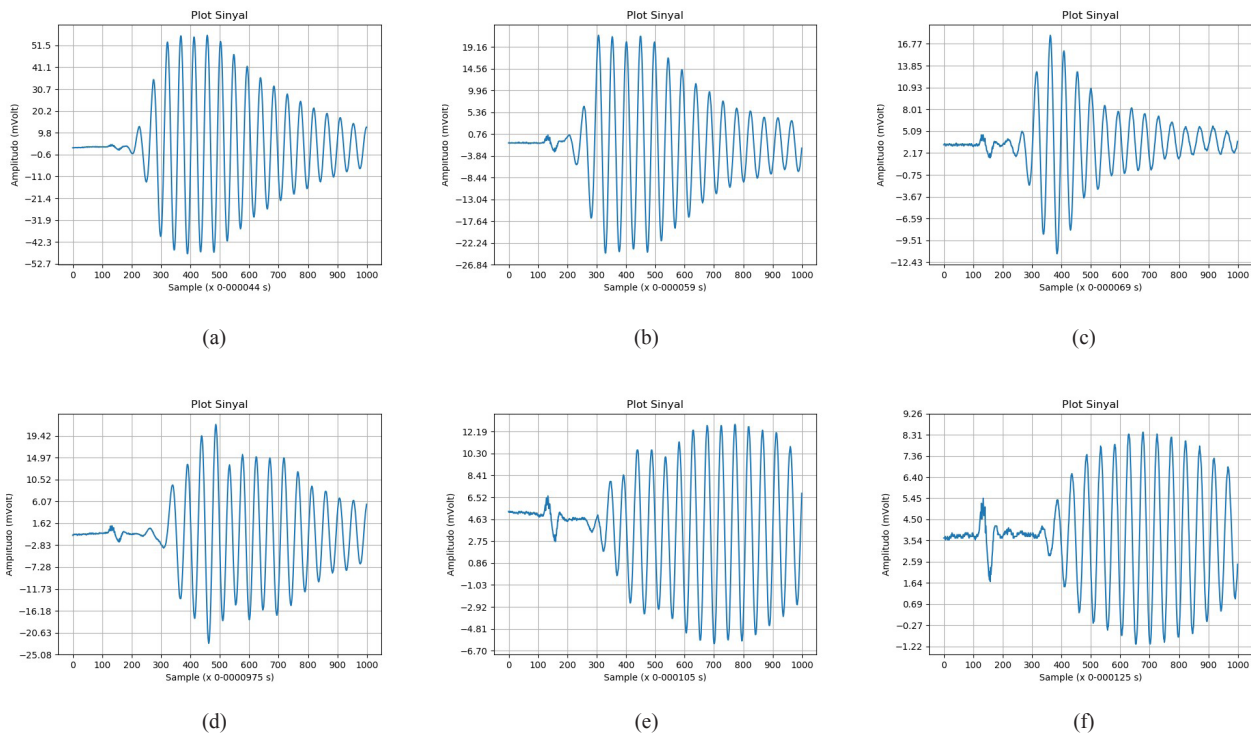
uji 1 dan 3 memiliki nilai yang sama yaitu 42,16 kHz dan periode *echo* sebesar 23,7 s. Sedangkan frekuensi *echo* pada sampel uji 2 yaitu 40,16 kHz dan $T = 24,9$ s. Nilai ketiganya ditunjukkan pada Gambar 10(a), Gambar 10(b), dan Gambar 10(c). Sedangkan frekuensi *echo* dan periode *echo* pada pengukuran impedansi akustik untuk seluruh sampel uji memiliki nilai yang sama yaitu $f = 40,16$ kHz dan $t = 24,9$ s yang ditunjukkan pada Gambar 10(d), Gambar 10(e), dan Gambar 10(f).

C. TOF (time of flight) Sinyal

Time of flight (TOF) sinyal pada penelitian ini menunjukkan saat dimulainya sinyal ultrasonik yang ditembakkan ke sampel uji hingga diterima oleh USR, dan sinyal ultrasonik kembali lagi ke bagian UST. Tinggi amplitudo sinyal TOF pada ketiga sampel uji memiliki nilai yang bervariasi. Seperti pada sampel uji 2 (Gambar 11(e)) dan 3 (Gambar 11(f)) pada metode pengukuran impedansi akustik memiliki amplitudo sinyal sebesar 6,5 mV dan 5,5 mV. Kedua nilai tersebut memiliki perbedaan nilai yang sangat signifikan dibandingkan dengan nilai pada sampel uji lainnya yang tidak mencapai 5 mV.

D. Threshold amplitudo

Threshold amplitudo merupakan salah satu metode penentuan awal *echo* yang diterapkan pada penelitian ini. Nilai *threshold* yang ditetapkan pada seluruh sampel uji yaitu 5 mV. Penetapan nilai ini didasari oleh nilai amplitudo pada seluruh sampel uji. Namun metode



Gambar 9. Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik seluruh sampel uji (a). Sinyal *speed echo* sampel uji 1, (b). Sinyal *speed echo* sampel uji 2, (c). Sinyal *speed echo* sampel uji 3, (d). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 1, (e). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 2, (f). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 3

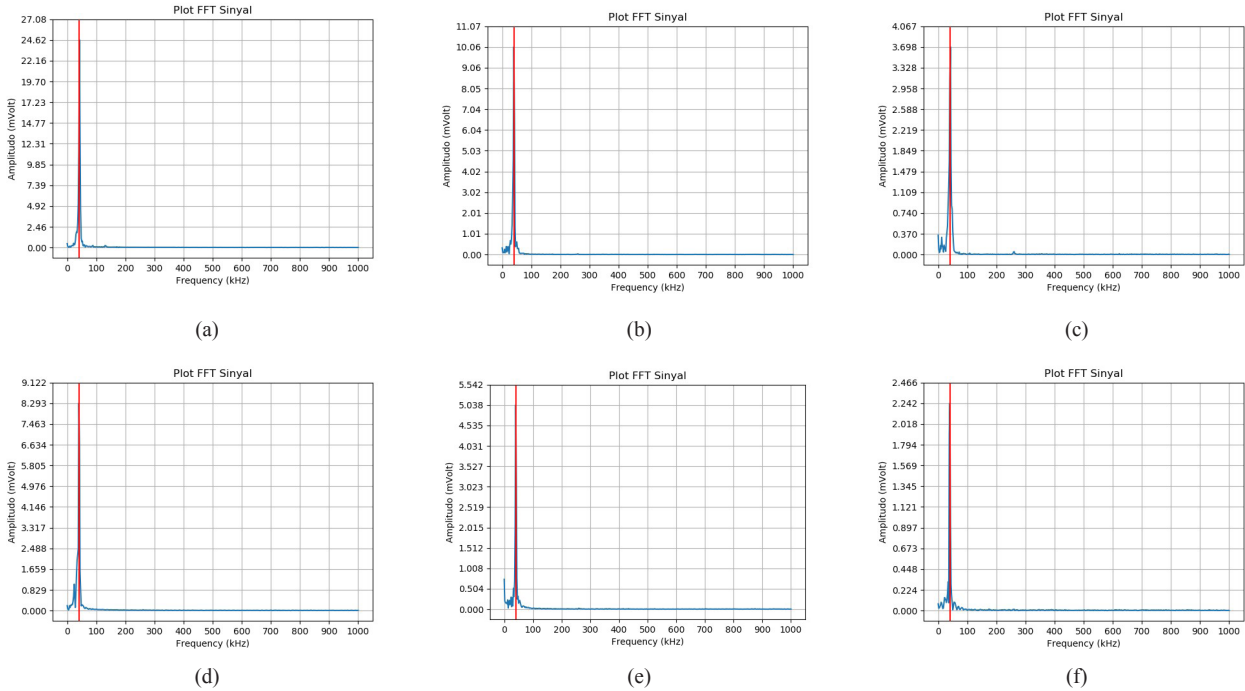
threshold amplitudo ini tidak dapat diterapkan terhadap sinyal *echo* pada sampel uji 2 dan 3 untuk pengukuran impedansi akustik.

Hal ini dikarenakan pada sampel uji 2 dan 3 dengan metode pengukuran impedansi akustik nilai *threshold* terlebih dahulu sudah menyentuh sinyal *noise*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12(e) dan Gambar 12(f). Untuk menangani masalah ini dikembangkanlah metode

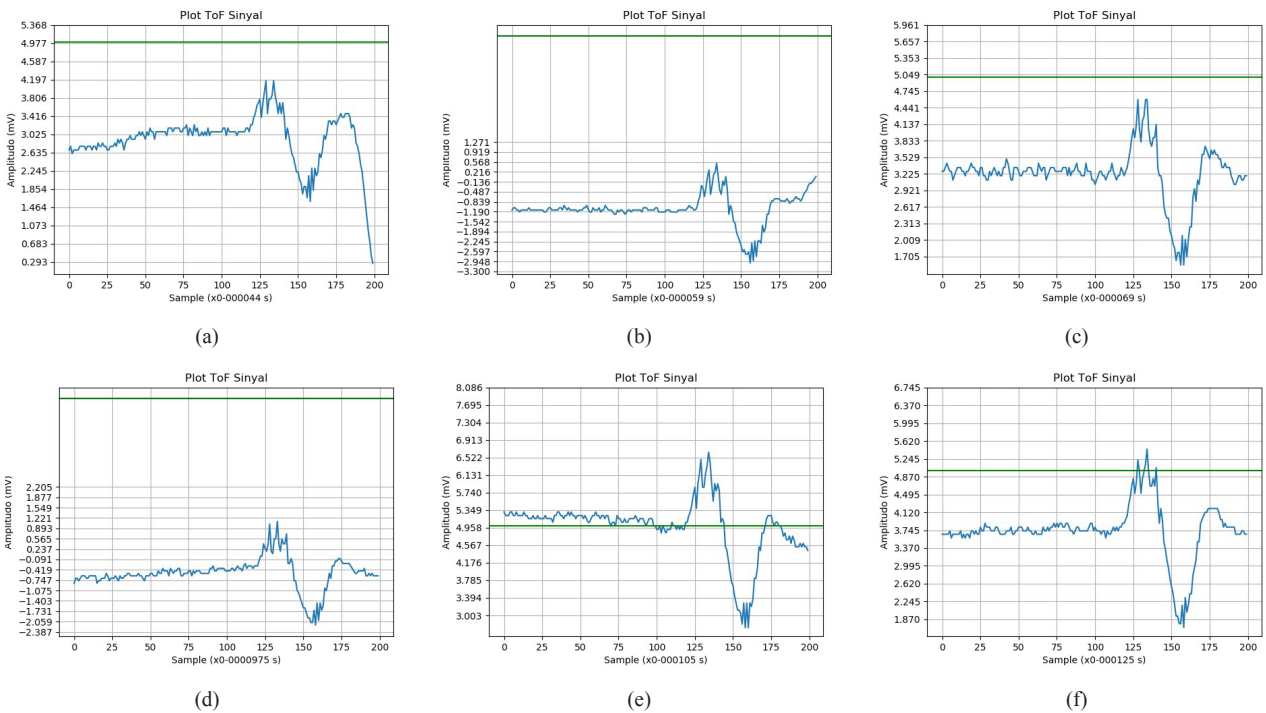
deteksi awal *echo* yang telah dijelaskan pada bagian III. E.

E. Deteksi Puncak Sinyal Echo

Deteksi puncak sinyal *echo* merupakan tahap awal dalam pendeteksian awal *echo* dengan metode yang diajukan oleh peneliti. Dalam deteksi puncak ini didapatkan nilai titik-titik puncak pada tiap sampel data



Gambar 10. Hasil transformasi sinyal FFT seluruh sampel Uji (a). FFT *speed* sampel uji 1, (b). FFT *speed* sampel uji 2, (c). FFT *speed* sampel uji 3. (d). FFT impedansi akustik sampel uji 1, (e). FFT impedansi akustik sampel uji 2, (f). FFT impedansi akustik sampel uji 3

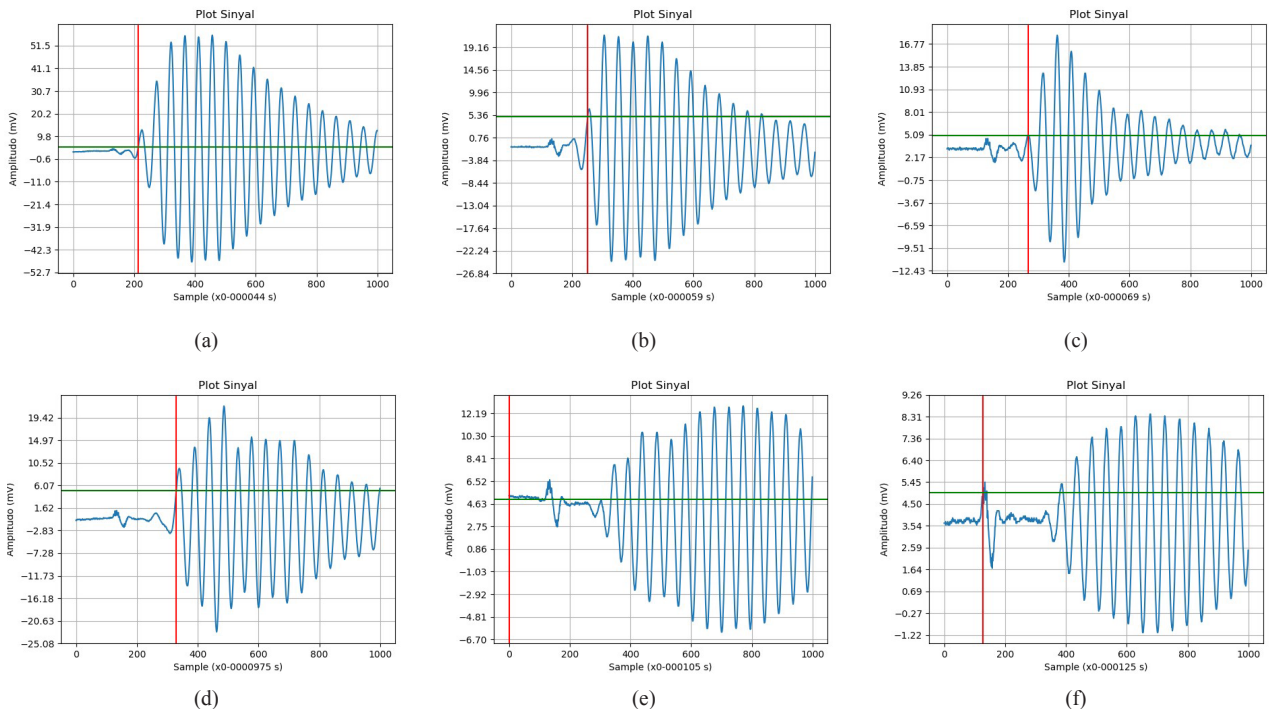


Gambar 11. Hasil TOF sinyal seluruh sampel uji (a). TOF *speed* sampel uji 1, (b). TOF *speed* sampel uji 2, (c). TOF *speed* sampel uji 3. (d). TOF impedansi akustik sampel Uji 1, (e). TOF impedansi akustik sampel uji 2, (f). TOF impedansi akustik sampel uji 3

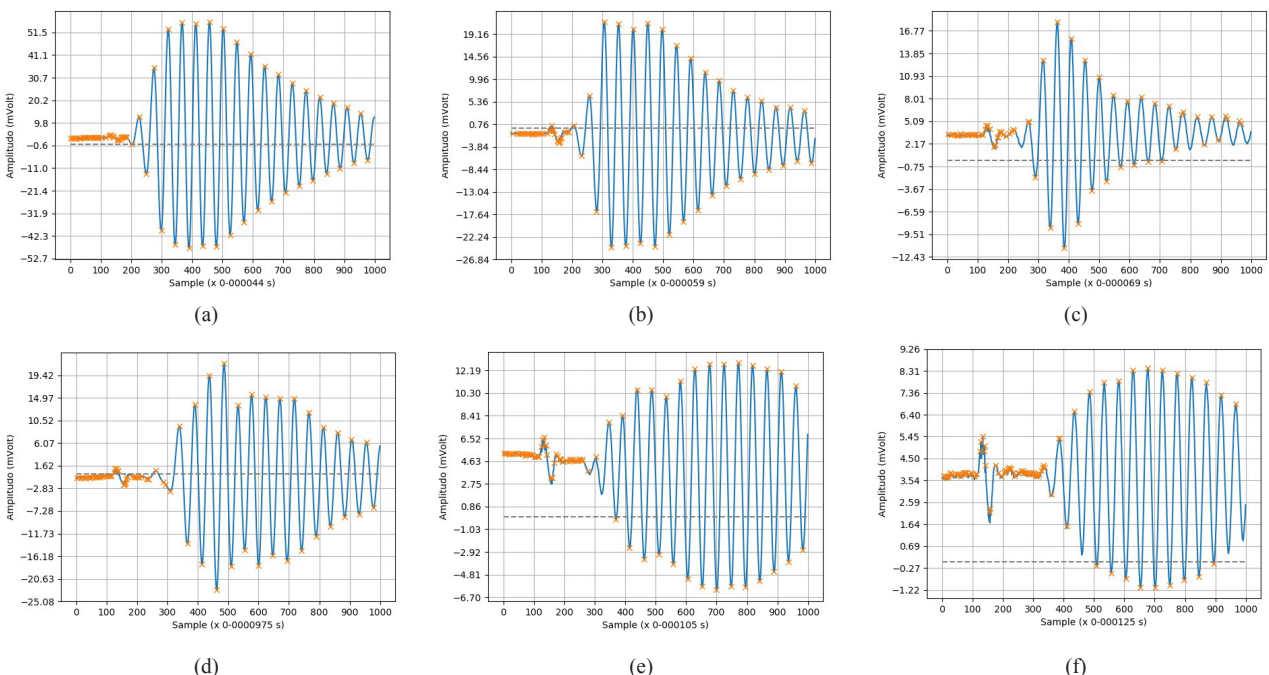
echo. Berikut data titik-titik puncak *echo* yang didapatkan pada metode pengukuran *speed* untuk sampel uji 1: [1 8 13 16 19... 886 909 931 954 976] ditunjukkan pada Gambar 13(a).

Nilai titik-titik puncak tersebut menggambarkan nilai dari setiap puncak sampel sinyal ultrasonik. Dari nilai titik-titik puncak tersebut, dapat dibedakan dimana sinyal *noise* dan sinyal *echo*-nya. Cara untuk membedakan

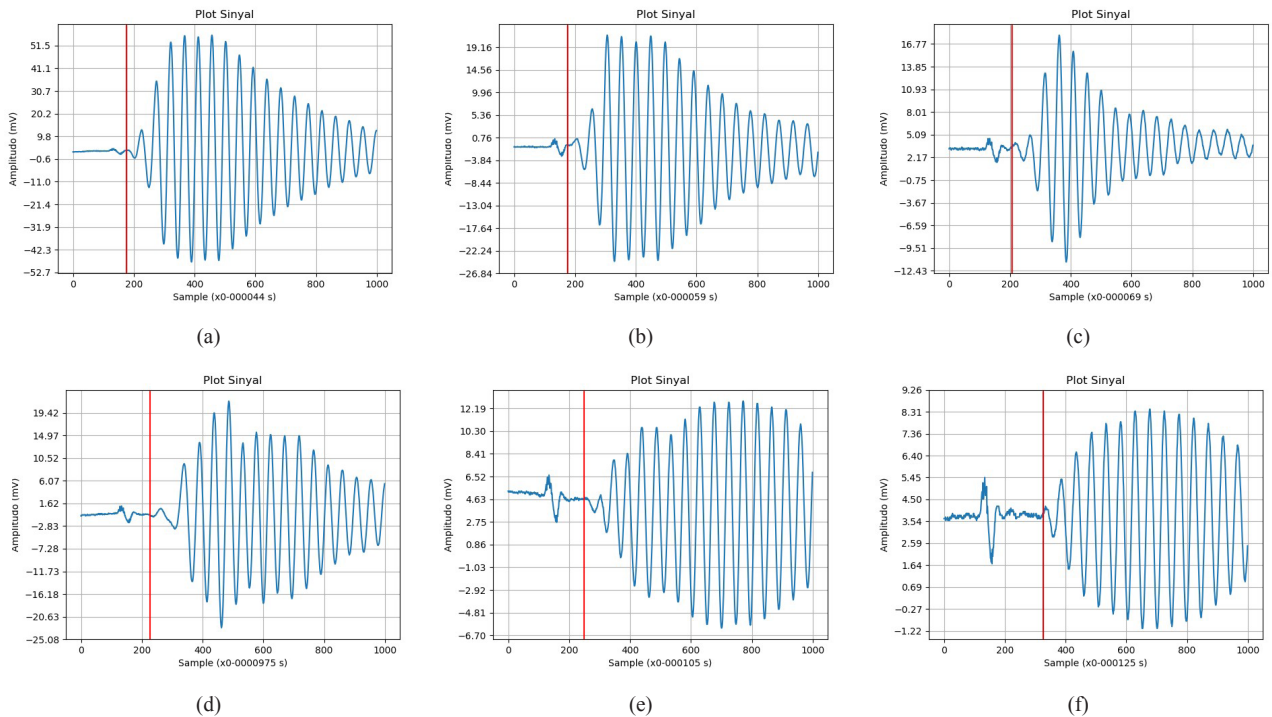
sinyal *noise* dan sinyal *echo*, yaitu dengan menghitung jarak setiap puncak sinyal. Jarak sinyal yang antar titik puncaknya sangat berdekatan merupakan sinyal *noise*. Sedangkan sinyal *echo* merupakan sinyal yang antar titik puncaknya terdapat jarak yang nilainya setara dengan nilai periode *echo*-nya. Seperti contoh pada Gambar 13(f), diketahui bahwa nilai puncak pertama *echo* berada pada titik sampel 261, ini menandakan bahwa di bawah sampel



Gambar 12. *Threshold* amplitudo seluruh sampel uji (a). *Threshold speed* sampel uji 1, (b). *Threshold speed* sampel uji 2, (c). FFT *speed* sampel uji 3. (d). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 1, (e). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 2, (f). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 3



Gambar 13. Deteksi puncak seluruh sampel uji (a). Deteksi puncak *speed* sampel uji 1, (b). Deteksi puncak *speed* sampel uji 2, (c). Deteksi puncak *speed* sampel uji 3. (d). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 1, (e). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 2, (f). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 3



Gambar 14. Metode deteksi awal echo yang diajukan, (a). *Echo speed* sampel uji 1, (b). *Echo speed* sampel uji 2, (c). *Echo speed* sampel uji 3. (d). *Echo impedansi akustik* sampel uji 1, (e). *Echo impedansi akustik* sampel uji 2, (f). *Echo impedansi akustik* sampel uji 3

Tabel 3. Pengukuran waktu tempuh *speed* sampel tanah liat

Waktu Tempuh (s)		
Jenis Gelombang	Sampel	Hasil
Pressure wave	1	0,000044
	2	0,000059
	3	0,000069

Tabel 4. Pengukuran waktu tempuh impedansi akustik (Z_{ii}) sampel tanah liat

Waktu tempuh (s)		
Jenis gelombang	Sampel	Hasil
Pressure wave	1	0,0000975
	2	0,000105
	3	0,000125

data 261 merupakan data sinyal *noise*. Dapat dilihat secara kasat mata pada Gambar 13 terdapat titik-titik oranye yang jaraknya berdekatan yang merupakan representasi dari sinyal *noise*.

F. Deteksi Awal Echo

Setelah ditemukannya titik-titik puncak pada tiap sampel sinyal, kemudian didapatkan nilai titik awal *echo*. Titik awal *echo* ini dijadikan sebagai metode deteksi awal *echo*. Seperti yang dicontohkan pada Gambar 14(b), dimana titik awal *echo* berada pada sampel 177 dari 1000 sampel data yang diolah. Sinyal yang dideteksi sebagai awal mulainya *echo* ditunjukkan dengan garis berwarna merah.

Metode deteksi awal *echo* ini dapat menutupi kekurangan pada metode sebelumnya. Sehingga metode ini digunakan sebagai acuan dalam pendeteksian sinyal *echo*.

G. Waktu Tempuh

Setelah dilakukan pendeteksian titik awal *echo*, selanjutnya dapat diketahui waktu tempuh dari tiap sampel uji. Waktu tempuh menunjukkan waktu yang

dibutuhkan sinyal ultrasonik dimulai saat sinyal ultrasonik ditembakkan ke sampel uji hingga diterima oleh USR. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa waktu tempuh untuk pengukuran impedansi akustik memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan waktu tempuh *speed*. Hal ini dikarenakan penempatan UST dan USR yang sejajar, menyebabkan pergerakan sinyal *echo* harus bergerak seperti pada arah panah pada Gambar 2(b). Hasil perhitungan waktu tempuh dapat ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

H. Nilai Speed (C)

Setelah mendapatkan nilai waktu tempuh, kemudian peneliti menghitung nilai *speed*. Nilai *speed* ini merepresentasikan nilai kecepatan propagasi gelombang suara dalam material. Dengan implementasi Persamaan (1), dapat diketahui bahwa sampel uji 1 memiliki nilai *speed* yang paling besar diantara sampel uji lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel uji 1 memiliki tingkat kepadatan yang terbesar di antara sampel uji lainnya. Hasilnya perhitungan nilai *speed* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengukuran *speed* tanah liat

Speed (m/s)		
Jenis Gelombang	Sampel	Hasil
Pressure wave	1	636
	2	491
	3	434

Tabel 6. Pengukuran V_{rms} sampel tanah liat

V_{rms} (v)		
Jenis Gelombang	Sampel	Hasil
Pressure wave	1	0,008
	2	0,006
	3	0,004

I. Nilai V_{rms}

Setelah didapatkan awal mulai sinyal *echo*, kemudian sinyal *echo* dilakukan perhitungan V_{rms} . Perhitungan nilai V_{rms} ini untuk mengetahui besar tegangan puncak sinyal *echo*. Dalam penelitian ini, gelombang yang digunakan merupakan gelombang sinusoidal. Maka nilai V_{rms} dapat dihitung melalui Persamaan (6). Data sinyal *echo* yang dilakukan perhitungan V_{rms} hanya untuk data sinyal *echo* dengan pengukuran impedansi akustik saja.

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}, \quad (6)$$

dimana V_p adalah tegangan puncak dari sinyal. Hasil perhitungan nilai V_{rms} ditunjukkan pada Tabel 6.

J. Nilai Impedansi Akustik ()

Setelah didapatkan nilai V_{rms} , kemudian nilai V_{rms} ini diimplementasikan terhadap Persamaan (2) dan (3) untuk di dapatkan nilai resistansi material dari gelombang ultrasonik yang disebut sebagai impedansi akustik (Z_{tl}) pada setiap sampel uji. Adapun hasil perhitungan Z_{tl} ditunjukkan pada Tabel 7.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada ketiga sampel uji yang berupa tanah liat, dengan menggunakan dua buah sensor ultrasonik dapat disimpulkan bahwa frekuensi *echo* dan periode *echo* pada teknik pengukuran *speed* untuk sampel uji 1 dan 3 memiliki nilai yang sama yaitu sebesar $f = 42,16$ kHz dan $T = 23,7$ s, untuk sampel uji 2 sebesar $f = 40,16$ kHz dan $T = 24,9$ s. Sedangkan dengan teknik pengukuran impedansi akustik pada ketiga sampel uji memiliki frekuensi *echo* dan periode *echo* yang sama yaitu sebesar $f = 40,16$ kHz dan $T = 24,9$ s. Metode pendeteksian awal mulai *echo* dengan metode *threshold* amplitudo tidak dapat diterapkan pada sampel uji 2 dan 3 untuk teknik pengukuran impedansi akustik dikarenakan garis *threshold* terlebih dahulu menyentuh

Tabel 7. Pengukuran impedansi akustik (Z_{tl}) sampel tanah liat

Z_{tl} (Ns/m ³)		
Jenis Gelombang	Sampel	Hasil
Pressure wave	1	474640
	2	408080
	3	405639

sinyal *noise*. Sedangkan dengan metode yang diajukan peneliti dapat diterapkan kepada seluruh sampel uji tanpa menyentuh sinyal *noise*. Hasil pengkarakterisasian sampel tanah liat yaitu pada sampel uji 1 yang memiliki *density* sebesar $1856,97573$ g/m³ memiliki nilai $C = 636$ m/s serta nilai $Z_{tl} = 474640$ Ns/m³. Sedangkan sampel uji 2 yang memiliki *density* sebesar $1792,94208$ g/m³ memiliki nilai $C = 491$ m/s serta nilai $Z_{tl} = 408080$ Ns/m³, dan untuk sampel uji 3 yang memiliki *density* sebesar $1663,85025$ g/m³ memiliki nilai $C = 434$ m/s serta nilai $Z_{tl} = 405639$ Ns/m³. Berdasarkan hal ini pengkarakterisasian tanah liat terkondisi menunjukkan dengan besarnya nilai *density* mengindikasikan nilai *speed* dan impedansi akustik yang juga besar.

REFERENSI

- [1] J. J. G. España, J. A. J. Builes, and A. F. J. Tabares, "Ultrasonic sensor for industrial inspection based on the acoustic impedance," In Proc. 2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA), 2015, pp. 1-6.
- [2] Lu, Youyuan. T. "Non-destructive Evaluation on Concrete Materials and Structures using Cement-based Piezoelectric Sensor," Ph.D THESIS, Civil and Environmental Engineering, 2010.
- [3] J. Krautkrämer and H. Krautkrämer, *Ultrasonic testing of materials*. Berlin Heidelberg: Springer, 2013.
- [4] G. Andria, F. Attivissimo, N. Giaquinto, and P. Bari, "Digital signal processing techniques for accurate ultrasonic sensor measurement," *Measurement*, vol. 30, no. 2, Sep., pp. 105-114, 2001.
- [5] Yoon, Myung-Hyun, "New ultrasonic signal processing techniques for NDE applications," (1994). Retrospective Theses and Dissertations. 10527.
- [6] A. Hammad, A. Hafez, and M. T. Elewa, "A LabVIEW Based Experimental Platform for Ultrasonic Range Measurements," *DSP Journal*, vol. 6, no. 2, Feb., pp. 1-8, 2007.
- [7] S. Jiang, C. Yang, R. Huang, C. Fang and T. Yeh, "An Innovative Ultrasonic Time-of-Flight Measurement Method Using Peak Time Sequences of Different Frequencies: Part I," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 3, Mar., pp. 735-744, 2011.
- [8] H. Yoon, Y. J. Kim, H. S. Kim, J. W. Kang, and H. Koh, "Evaluation of Early-Age Concrete Compressive Strength with Ultrasonic Sensors," *Sensors (Basel)*, vol. 17, no. 8, Aug., pp. 1-15, 2017.
- [9] D. J. Hart, *Ultrasonic Velocities in Unconsolidated Sand / Clay Mixtures at Low Pressures*, American Geophysical Union 1999 Fall Meeting, San Francisco, CA (US), 15 Oct 1999.
- [10] J. A. Bogas, M. G. Gomes, and A. Gomes, "Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method," *Ultrasonics*, vol. 53, no. 5, pp. 962-972, 2013.

- [11] A. I. Gunawan, B. S. B. Dewantara, T. B. Santoso, I. D. Wicaksono, E. B. Prastika, and C. E. Prianto, "Characterizing acoustic impedance of several saline solution utilizing range finder acoustic sensor," In Proc. *2017 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, 2017, pp. 212-216.
- [12] P. N. W. Verhoef, *Geologi untuk Teknik Sipil*, Erlangga, 1989.
- [13] J. Bergstra and Y. Bengio, "Random Search for Hyper-Parameter Optimization," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 13, no. 1, Jan., pp. 281–305, 2012.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

