

Karakterisasi dari Properti Larutan Garam dengan Range Finder Ultrasonik Menggunakan Metode Transformasi Fourier

Ihwan Dwi Wicaksono, Agus Indra Gunawan, dan Bima Sena Bayu Dewantara
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS. Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111
e-mail: ihwanishida@gmail.com

Abstrak—Pada paper ini kami melakukan karakterisasi larutan garam dengan memanfaatkan *Range Finder Ultrasonic* (RFU). RFU merupakan salah satu jenis transduser ultrasonik yang memanfaatkan udara sebagai media transmisinya dan biasa digunakan untuk menentukan jarak. Kelebihan dari transduser ini adalah harganya yang murah dan mudah didapatkan di pasar. Karena menggunakan medium udara, sinyal yang dihasilkan oleh transduser ini mudah berubah bentuk dan memiliki ekor *noise* gelombang yang sangat panjang. Fenomena ini terlihat pada penelitian sebelumnya, ketika posisi transduser sedikit bergeser, bentuk sinyal *echo* yang dihasilkan menjadi sangat berbeda. Pada paper ini, kami melakukan modifikasi pada sinyal input dari teknik di paper sebelumnya untuk memperbaiki sinyal *echo*. Beberapa modifikasi sinyal *trigger* dari transmitter dilakukan, kemudian menghitung sinyal *echo* untuk memastikan sinyal *echo* memiliki Signal to Noise Ratio (SNR) dan ekor *noise* gelombang yang terkecil. Selanjutnya, dilakukan proses filtering dari sinyal *echo* dan dilakukan perhitungan menggunakan Transformasi *Fourier* untuk mendapatkan informasi *magnitude* FFT sinyal *echo* tepat pada frekuensi 40 KHz. Dari hasil percobaan ini didapatkan perbaikan kurva kalibrasi error rata-rata sebesar 0,1224221 (Vrms) dan 0,14383881 (Vpeak). Sedangkan error rata-rata dari hasil *normalized magnitude Transformasi Fourier* frekuensi 40 KHz adalah sebesar 0,096973114.

Kata kunci: *rfu, transformasi fourier, sinyal echo, kurva kalibrasi*

Abstract— In this paper we characterize the saline solution using Range Finder Ultrasonic (RFU). RFU is one kind of ultrasonic transducer that requires air as a transmission medium and commonly are used to determine distances. The advantages of this transducer are cheap and common in local market. Since it uses air as medium, the signal which is produced by transducer are easy to shape shift and has a very long noise tail wave. This phenomenon was seen in previous studies, when the transducer position was slightly shifted, the shape of the echo signal became very different. In this paper, we modified the input signal from the technique in the previous paper to improve the echo signal. Some modification of trigger signal from transmitter models were done, then calculate the echo signal to ensure the signal have smallest Signal to Noise Ratio (SNR) and noise tail wave. Furthermore, we did filtering process from echo signal and calculating using Fourier Transform which are performed to obtain accurate echo signal information of 40 KHz frequency. The results of this experiment is an improvement in the average error of calibration curve 0.1224221 (Vrms) and 0.14383881 (Vpeak). While the average error of the results of the normalization of the magnitude Fourier Transform of 40 KHz frequency is equal to 0.096973114.

Keywords: *rfu, fourier transform, echo signal, calibration curve, modulation*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya zaman, kebutuhan akan teknik pengukuran terus berkembang. Salah satunya adalah pengukuran dengan teknik *non-invasive* yaitu teknik pengukuran tanpa menyentuh, tanpa merusak, dan tanpa merubah bahan yang akan diukur. Salah satu teknik *non-invasive* ini dapat dilakukan dengan menggunakan ultrasonik. Perkembangan pengukuran dengan ultrasonik ini sangat berkembang akhir-akhir ini, diantaranya adalah penggunaan ultrasonik dalam bidang robotik yang berfungsi sebagai sensor untuk menghindari halangan

pada *intelligent mobile robot* [1] dan dibidang medis yang berfungsi untuk penggambaran 2D dari sel [2].

Pada penelitian ini digunakan *Range Finder Ultrasonic* (RFU) yang merupakan salah satu jenis transduser ultrasonik yang menggunakan medium udara sebagai media transmisinya dan digunakan untuk pengukuran jarak. Kelebihan dari ultrasonik jenis ini adalah sangat mudah didapatkan di pasar dan dengan harga yang sangat murah. Pada penelitian sebelumnya, pengukuran berbagai cairan sinyal *echo* yang didapatkan dari RFU ini memiliki sensitifitas yang sangat tinggi. Apabila ada pergeseran sedikit saja dalam proses pengukurannya,

akan menyebabkan hasil yang berubah dari sebelumnya dan sinyal *echo* yang dihasilkan memiliki banyak *noise* sehingga hasil pengukuran yang dihasilkan tidak akurat [3]. Pada pengukuran menggunakan transduser ultrasonik memerlukan faktor koreksi karena sangat sulit untuk dilakukan secara akurat [4]. Pada penelitian sebelumnya [3] juga dapat diketahui bahwa terdapat banyak *noise* yang terjadi pada sinyal *echo* yang diperoleh dari hasil pengukuran dan terdapat “*noise tail*” atau ekor *noise* yang terjadi pada sinyal *echo* tersebut karena panjangnya fibrasi yang terdeteksi oleh transduser *receiver* yang menyebabkan ketidakakuratan hasil pengukuran yang dilakukan.

Perbedaan kopling yang digunakan dapat merubah hasil dari pengukuran yang dilakukan. Hal ini dapat diketahui dari penelitian [3] yang terdapat perbedaan sangat signifikan pada proses pembuatan kurva kalibrasi larutan garam. Larutan garam digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai dari impedansi akustik dari berbagai jenis cairan sehingga, sangat penting untuk mendapatkan hasil kurva kalibrasi larutan garam yang sesuai. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode transformasi fourier maka dapat dicari nilai *magnitude* dari masing-masing frekuensi yang berada pada sinyal yang digunakan.

Pada penelitian ini dilakukan perbaikan sinyal *echo* dan membuat kurva kalibrasi impedansi akustik dari larutan garam. Untuk memperbaiki hal tersebut, dilakukan proses filtering pada sinyal *echo*, modifikasi sinyal *trigger* transmiter untuk mengurangi “*noise tail*” dan pada bagian analisa sinyal *echo* digunakan transformasi fourier untuk mendapatkan *magnitude* transformasi fourier dari frekuensi yang digunakan yaitu 40 KHz sehingga, menghasilkan kurva kalibrasi yang lebih baik dari hasil penelitian sebelumnya.

II. STUDI PUSTAKA

Pada [2] dilakukan penelitian tentang pembuatan metode baru pencitraan akustik untuk melakukan pengamatan mikroskopis terhadap lapisan *tissue* dari otak tikus dengan menggunakan ultrasonik dengan frekuensi 30-100 Mhz. Kurva kalibrasi yang telah di verifikasi secara eksperimental dengan larutan garam digunakan sebagai acuan nilai dari impedansi akustik dari material bagian *tissue* dari otak tikus. Pada tahun 2017 dilakukan penelitian [3] mengenai karakterisasi impedansi akustik dari berbagai jenis larutan garam dengan memanfaatkan *Range Finder Ultrasonic* (RFU). Impedansi akustik berhasil dipresentasikan korelasinya dengan intensitas dari sinyal *echo*, dengan cara membangun kurva kalibrasi. Namun demikian, eror yang dibangkitkan dari hasil penelitian tersebut masih terlalu tinggi.

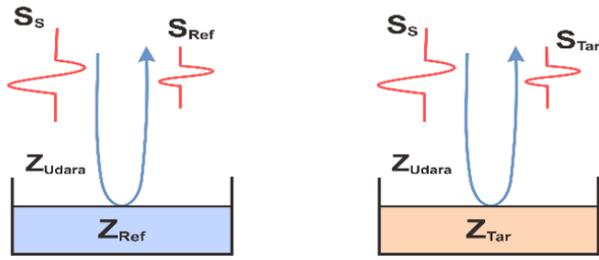
Sinyal *echo* pada ultrasonik perlu dilakukan proses filtering. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu, pada penelitian [4] tentang peningkatan pulsa *echo* dari sinyal ultrasonik menggunakan filter adaptif dengan algoritma adaptif *Normalized least-mean-squares*

(NLMS). Sinyal *echo* yang mengandung *noise* perlu dilakukan filtering. Filtering dengan menggunakan metode *bandpass* filter konvensional tidak dapat bekerja secara efektif karena frekuensi tengah dan *bandwidth* dari sinyal *echo* ultrasonik merupakan *time-varying*. Adaptif filter dengan menggunakan NLMS mampu meningkatkan SER (*Signal Error Ratio*) sekitar 8 dB. Kemudian, pada [6] dilakukan penelitian tentang pengukuran atenuasi gelombang menggunakan metode *pulse-echo* tidak bisa menghasilkan pengukuran yang akurat. Analisis model gelombang menggunakan sinyal *echo* dengan jelas menunjukkan bahwa konstanta atenuasi yang diperoleh dari eksponensial *fitting* dari ketinggian *echo* pada metode *pulse-echo* berbeda dari nilai pelemahan intrinsik atenuasi pada media yang digunakan bahkan pada saat kondisi ideal dari propagasi gelombang *plane* tanpa adanya difraksi dan dispersi atau hamburan.

Faktor yang mempengaruhi sinyal *echo* dari ultrasonik salah satunya adalah suhu. Pada [7] dilakukan penelitian tentang studi akustik tentang interaksi minyak kelapa berbasis tembaga oksida nanofluida. Pada penelitian ini didapatkan bahwa studi ultrasonik yang telah dilakukan untuk nanofluida pada suhu berbeda menghasilkan interaksi molekuler yang berbeda terhadap perubahan akustik. Dan pada [8] dilakukan penelitian tentang pengukuran distribusi suhu bahan padat dengan menggunakan ultrasonik sehingga dapat dilakukan pengukuran *non-invasive* pada suhu yang sangat tinggi. Dengan menggunakan pendekatan jalur propagasi gelombang ultrasonik dengan fitur ekogenik sehingga dapat menghasilkan gelombang *echo*. Waktu perambatan gelombang ultrasonik ini berbeda beda dalam setiap suhu bagian bahan padat sehingga dapat ditentukan besarnya distribusi suhu pada setiap bahan padat.

III. METODE

Pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian dalam pengerjaannya yaitu : ruang pengukuran, modifikasi sinyal *trigger* dan analisis sinyal *echo*. Skema diagram sistem penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Suhu dalam ruang pengukuran harus dalam kondisi yang stabil. Oleh karena itu, sensor suhu akan mengirimkan data suhu menuju *analog to digital converter* (ADC) yang ada didalam mikrokontroler. Kemudian, data suhu akan diteruskan menuju komputer. Komputer akan melakukan pengontrolan suhu dengan menggunakan metode kontrol PID. Dari hasil kontrol PID, didapatkan nilai *pulse width modulation* (PWM). Komputer akan memerintahkan mikrokontroler untuk mengeluarkan nilai PWM tadi. Selanjutnya, nilai PWM digunakan untuk sinyal masukan *driver* dan *driver* akan memerintahkan peltier untuk aktif. Komputer juga memberikan sinyal kepada *signal generator* untuk melakukan modifikasi sinyal *trigger* yang digunakan sebagai sinyal *input* transduser transmiter (Tx). Sinyal dari *signal generator* akan diambil oleh modul *data acquisition* yang diteruskan ke komputer untuk melihat sinyal *trigger* yang dihasilkan oleh *signal*



Gambar 5. Ilustrasi pengukuran *echo*

SNR sering dinyatakan dalam desibel. Sebuah rasio yang lebih tinggi dari 1:1 (lebih besar dari 0 dB) menunjukkan sinyal *noise*. SNR dapat digambarkan dengan (1).

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}}, \quad (1)$$

dimana, *SNR* adalah *signal to noise ratio* dari sinyal yang diukur, *P_{signal}* adalah daya rata-rata sinyal asli dan *P_{noise}* adalah daya rata-rata *noise*.

Jika sinyal dan *noise* diukur dengan impedansi yang sama, SNR dapat diperoleh dengan menghitung kuadrat dari rasio amplitude seperti pada (2).

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2, \quad (2)$$

dimana, *A_{signal}* adalah tegangan RMS dari sinyal asli dan *A_{noise}* adalah tegangan RMS dari *noise*.

Dengan menggunakan cara yang sama, SNR dapat dinyatakan dalam bentuk desibel seperti pada (3).

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right). \quad (3)$$

C. Metode Pembuatan Kurva Kalibrasi

Proses terakhir dari metode ini adalah membangun kurva kalibrasi untuk mengubah nilai intensitas gelombang ultrasonik kedalam impedansi akustik. Kurva kalibrasi ini dibangun dengan melakukan pengukuran terhadap beberapa larutan garam. Hasil dari pengukuran kemudian dibandingkan dengan nilai perhitungan secara teori.

1. Perhitungan Analisa Gelombang *Echo*

Gelombang ditransmisikan dari transduser ke target melalui udara dan terpantul kembali dan diterima oleh *receiver*. Diasumsikan gelombang yang terpantul tegak lurus dari transduser [5].

Ketika gelombang ini di transmisikan tegak lurus dengan target, maka kita dapat memanfaatkan persamaan 4 untuk menghitung sinyal *echo* dari target. Namun, beberapa sudut defleksi terjadi ketika sinyal *echo* diterima oleh transduser. Pada penelitian ini, kita abaikan efek dari sudut defleksi ini karena nilai dari sudut defleksi yang dihasilkan kecil. Dengan cara yang sama, sinyal *echo* dari bahan referensi dapat diperoleh dengan menggunakan (5).

Tabel 1. Hasil perhitungan rasio akustik impedan larutan garam dengan asumsi sinyal yang di transmisikan =1

Salinity (w%)	SS	Z _{Udara}	Z _{Tar}	S _{Tar}	Normalisasi
0	1	0,00043	1,480000	0,999419	1,000000000
2	1	0,00043	1,530958	0,999438	1,000019342
4	1	0,00043	1,575329	0,999454	1,000035164
6	1	0,00043	1,621331	0,999470	1,000050654
8	1	0,00043	1,668880	0,999485	1,000065768
10	1	0,00043	1,711649	0,999498	1,000078645

$$S_{Ref} = \frac{Z_{Ref} - Z_{Udara}}{Z_{Ref} + Z_{Udara}} S_S, \quad (4)$$

$$S_{Tar} = \frac{Z_{Tar} - Z_{Udara}}{Z_{Tar} + Z_{Udara}} S_S, \quad (5)$$

Dengan *S_S* adalah intensitas sinyal yang dipancarkan oleh transduser transmitter, *S_{Ref}* adalah intensitas gelombang sinyal *echo* dari referensi, *S_{Tar}* adalah Intensitas gelombang sinyal *echo* dari target (larutan garam), *Z_{Udara}* adalah impedansi akustik dari udara dan *Z_{Tar}* adalah impedansi akustik dari target. Dengan menggabungkan Persamaan 4 dan Persamaan 5, kita dapat menghitung nilai dari impedansi akustik dari target yang di tunjukkan pada (6).

$$Z_{Tar} = \frac{1 + \frac{S_{Tar}}{S_S}}{1 - \frac{S_{Tar}}{S_S}} Z_{Udara} = \frac{1 - \frac{S_{Tar}}{S_S} \frac{Z_{Udara} - Z_{Ref}}{Z_{Udara} + Z_{Ref}}}{1 + \frac{S_{Tar}}{S_S} \frac{Z_{Udara} - Z_{Ref}}{Z_{Udara} + Z_{Ref}}} Z_{Udara}. \quad (6)$$

Untuk menghitung nilai dari impedansi akustik target, beberapa parameter harus diketahui, yaitu impedansi akustik dari udara (= 4.3x10⁻⁴ MNs/m³), nilai impedansi akustik dari referensi (*pure water*, *Z_{ref}* = 1.49 MNs/m³), dengan sinyal *echo* dari referensi dan sinyal *echo* dari target. Dengan satuan m adalah meter dan N adalah Newton dan s adalah waktu. Gambar 5 menunjukkan teknik pengukuran *echo*. Target dan referensi diletakkan dalam wadah. Level ketinggian target dan referensi dipertahankan sama, sehingga jarak antara target-transduser dan referensi-transduser tetap sama.

Saat perhitungan nilai impedansi akustik dari target referensi sudah didapatkan maka, kita dapat membuat sebuah kurva kalibrasi dengan memanfaatkan tabel hasil perhitungan akustik impedan dari referensi yang berupa kandungan air garam dengan konsentrasi tertentu yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dengan menggunakan perbandingan rasio dari perhitungan dan pengukuran, maka diperoleh kurva kalibrasi dari larutan garam.

2. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan metode yang digunakan untuk melakukan transformasi sinyal dalam domain waktu menuju dalam domain frekuensi. Transformasi fourier mendeskripsikan spektrum kontinyu dari sinyal non periodik. Transformasi Fourier dari sinyal

waktu kontinyu dapat diperoleh dengan menggunakan (7).

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i2\pi ft} dt$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{i2\pi ft} du. \quad (7)$$

Agar Transformasi Fourier dapat digunakan untuk mengolah operasi digital, maka harus digunakan sampel-sampel pada domain frekuensi dan waktu. Sampel-sampel sinyal kontinyu pada domain waktu akan menggambarkan keseluruhan dari sinyal kontinyu tersebut. Sampel-sampel ini dapat merubah sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit sehingga dibutuhkan *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang dapat dicari dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dapat di rumuskan pada (8).

$$F(u) = \sum_{n=0}^{N-1} f(x) e^{-\frac{i2\pi un}{N}} dt, \quad u = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

Transformasi fourier memberitahu kita informasi *magnitude* dari frekuensi yang diinginkan. Pada penelitian ini digunakan *magnitude* pada frekuensi 40 KHz. Nilai N yang digunakan adalah 1000 dengan frekuensi sampling 500 KHz sesuai dengan panjang sinyal *echo* yang didapatkan.

3. Analisa Transmisi dan Refleksi antara Dua Bidang Perambatan

Ketika terdapat dua buah bidang perambatan yang dilalui oleh gelombang, maka akan terdapat bidang batas diantara kopling yang digunakan dan substrat. Pada saat gelombang melalui kedua buah bidang tersebut maka akan terjadi perubahan arah propagasi gelombang yang dipancarkan sesuai dengan hukum Snellius yang dapat dilihat pada (9).

$$\frac{v_i}{v_t} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t}, \quad (9)$$

dimana, v_i adalah cepat rambat gelombang pada media kopling atau pada insiden dan v_t adalah cepat rambat gelombang pada media substrat. Kemudian, θ_i adalah sudut dari insiden dan θ_t adalah sudut dari gelombang yang di transmisikan dalam substrat.

Gelombang yang dipancarkan dari suatu medium menuju medium yang berbeda akan dipantulkan dan diteruskan. Dimana, gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan memiliki amplitudo R dan T. Pada setiap gelombang yang dihasilkan masing-masing memiliki potensial cepat rambat gelombang yang dapat dilihat pada (10).

$$\varphi^i = e^{j(\omega t - k_x^i x + k_z^i z)}$$

$$\varphi^r = R e^{j(\omega t - k_x^r x - k_z^r z)} \quad (10)$$

$$\varphi^t = T e^{j(\omega t - k_x^t x + k_z^t z)},$$

dimana, i untuk gelombang datang, r untuk gelombang yang direfleksikan dan t untuk gelombang yang di teruskan. Gelombang *pressure* dapat dicari dengan (11).

$$p^i = -j\omega\rho_1 e^{j(\omega t - k_x^i x + k_z^i z)}$$

$$p^r = -j\omega\rho_1 R e^{j(\omega t - k_x^r x - k_z^r z)} \quad (11)$$

$$p^t = -j\omega\rho_1 T e^{j(\omega t - k_x^t x + k_z^t z)},$$

dan kecepatan gelombang normal (normal *velocity*) dapat dicari dengan (12).

$$v_z^i = jk_z^i \varphi^i$$

$$v_z^r = -jk_z^r \varphi^r \quad (12)$$

$$v_z^t = jk_z^t \varphi^t.$$

Pada saat *interface* $z = 0$ terjadi kesinambungan antara *pressure wave* dan normal *velocity* pada (13) dan hubungan yang terjadi antar keduanya dapat dilihat pada (14).

$$p^i + p^r = p^t$$

$$v_z^i + v_z^r = v_z^t, \quad (13)$$

sehingga,

$$\rho_1 (1 + R) = \rho_2 T$$

$$k_z^i (1 - R) = k_z^t T. \quad (14)$$

Berdasarkan (13) dan (14), magnitudo dari R dan T dapat diperoleh dengan menggunakan (15).

$$R = \frac{\frac{\rho_2 V_2}{\cos \theta_2} - \frac{\rho_1 V_1}{\cos \theta_1}}{\frac{\rho_2 V_2}{\cos \theta_2} + \frac{\rho_1 V_1}{\cos \theta_1}}$$

$$T = \frac{\frac{2\rho_1 V_2}{\cos \theta_2}}{\frac{\rho_2 V_2}{\cos \theta_2} + \frac{\rho_1 V_1}{\cos \theta_1}}, \quad (15)$$

dimana, $\theta_1 = 1$ dan $\theta_t = \theta_2$.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sinyal Echo Processing dan Modifikasi Sinyal Trigger Transmitter

1. Hardware Filter Analog

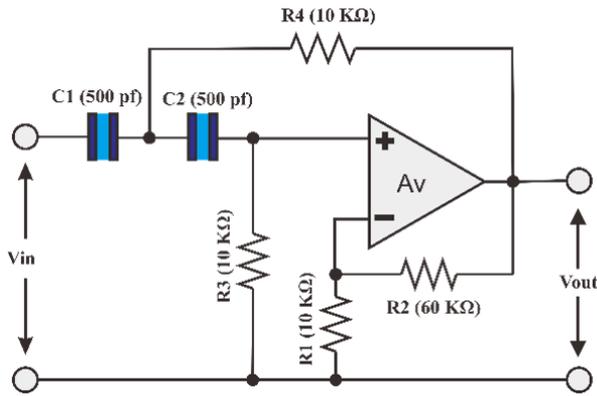
Pada penelitian ini, digunakan filter analog *High Pass Filter* (HPF). Gambar rangkaian filter ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Filter *high pass* yang digunakan merupakan filter aktif dikarenakan penggunaan op-amp dalam filter. Frekuensi *cut-off* dari rangkaian filter ini adalah 31 KHz yang didapatkan dengan menggunakan rumus:

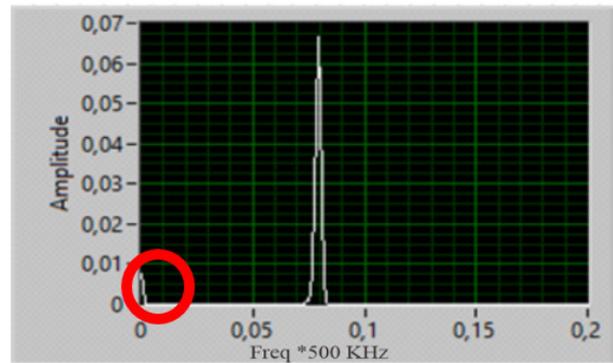
$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R3R4C1C2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{10k\Omega \times 10k\Omega \times 500pf \times 500pf}} = 31.847 \text{ KHz}$$

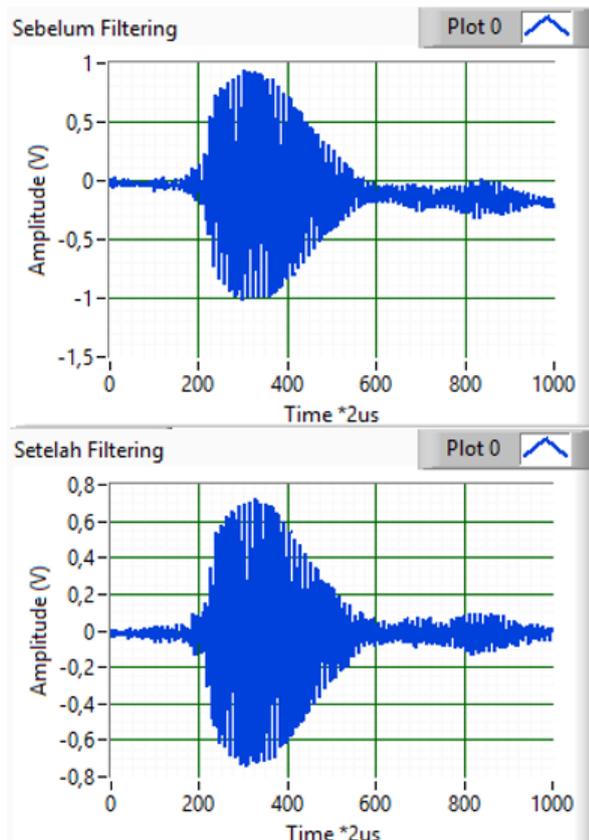
Pada proses selanjutnya, sinyal dikuatkan 7 kali dengan menggunakan op-amp dengan perhitungan seperti berikut ini:



Gambar 6. Rangkaian filter aktif *high pass filter*



Gambar 8. Hasil FFT dari sinyal tanpa filter



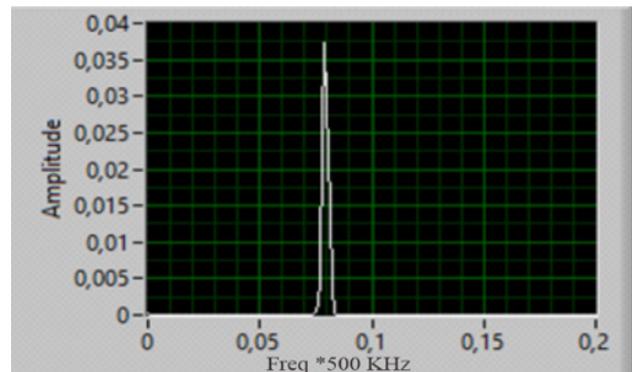
Gambar 7. Sinyal *echo* sebelum dan setelah dilakukan *filtering*

$$gain = 1 + \frac{R2}{R1} = 1 + \frac{60k\Omega}{10k\Omega} = 7.$$

Data pengukuran sebelum dilakukan *filtering* dengan frekuensi sampling 500 KHz dapat dilihat pada Gambar 7. Disini terlihat bahwa terdapat sinyal dengan frekuensi rendah yang tercampur dalam sinyal *echo*. Filter yang telah dibuat mampu menghilangkan *noise* frekuensi rendah dari sinyal *echo*, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7.

Dari hasil FFT yang telah dibuat dari kedua sinyal diatas dapat diketahui sinyal tanpa proses *filtering* memiliki *noise* pada frekuensi rendah hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.

Setelah dilakukan proses *filtering*, didapatkan hasil frekuensi rendah yang berada pada sinyal *echo* sudah



Gambar 9. Hasil FFT dari sinyal setelah filter

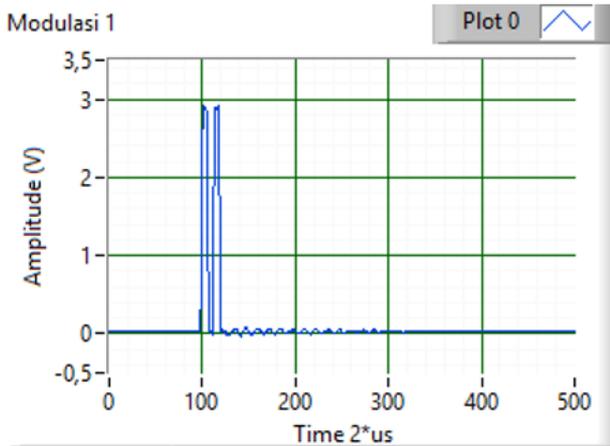
berkurang dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai *signal to noise ratio* (SNR) sebelum dilakukan *filtering* adalah 10,06 dB dan setelah dilakukan *filtering* nilai SNR sinyal *echo* sebesar 20,10 dB sehingga, dapat dikatakan filter *high pass* berjalan dengan baik.

2. Modifikasi Sinyal Trigger Transmitter

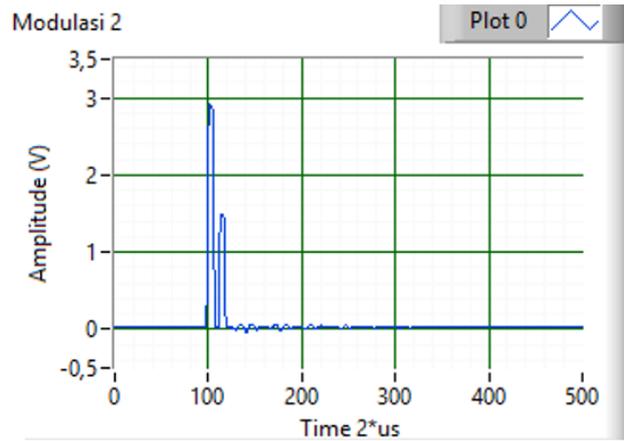
Pada bagian modifikasi sinyal *trigger* transmitter, disini digunakan mikrokontroler STM32F4 DISCOVERY untuk membangkitkan sinyal *trigger* tersebut. Selanjutnya, dilakukan proses pengujian data dengan membangkitkan beberapa variasi modifikasi sinyal *trigger* yaitu, menggunakan 2 buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V dan gabungan antara 1 buah sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 buah sinyal kotak 1,5 V dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Pada penggunaan dua sinyal kotak penuh dengan amplitudo yang sama 3 V, didapatkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan sinyal *echo* dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [3]. Pada penelitian sebelumnya [3] dengan menggunakan larutan 0 persen garam, tanpa penggunaan penguatan sinyal didapatkan hasil V_{peak} sebesar 0,0547 V, namun dalam percobaan ini dengan menggunakan larutan yang sama, telah didapatkan nilai V_{peak} sebesar 1,38 V dengan penguatan sebesar 7 kali.

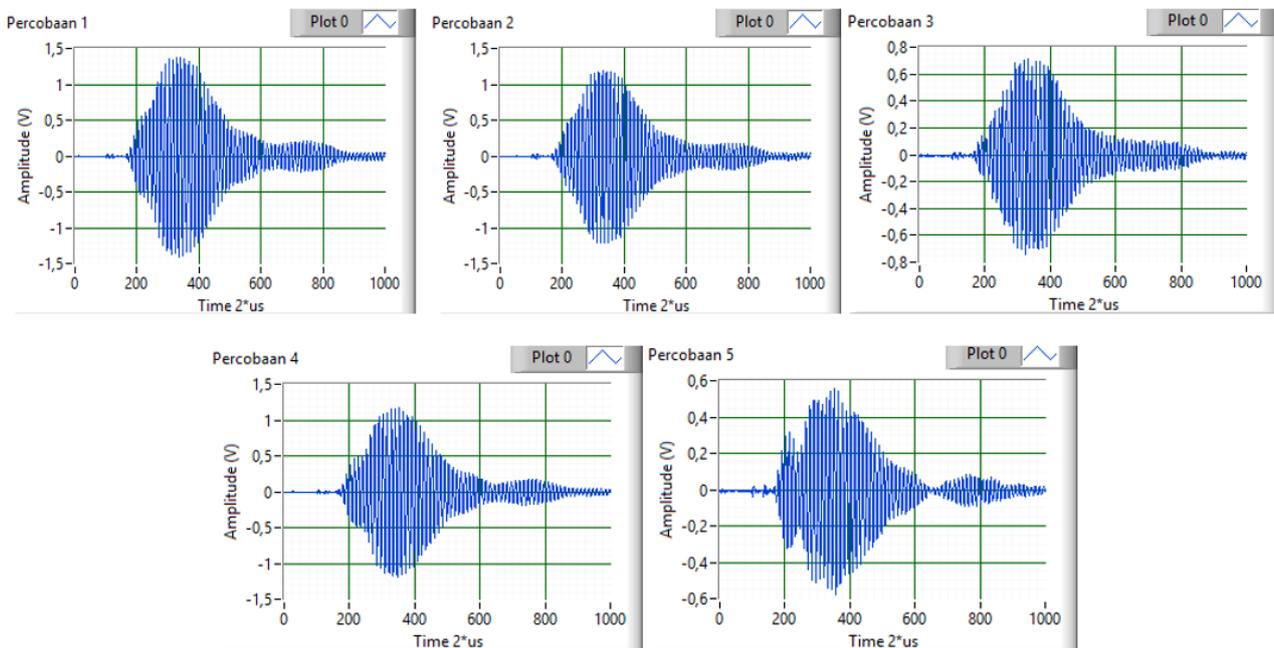
Selain menggunakan kedua buah modifikasi amplitudo diatas, dilakukan juga modifikasi pergeseran waktu (t) yang merupakan waktu *delay* ditambahkan kedalam sinyal modifikasi diatas. Hasil modifikasi sinyal *trigger*



Gambar 10. Modifikasi sinyal trigger dengan gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V



Gambar 11. Modifikasi sinyal *trigger* dengan gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V dan 1,5 V



Gambar 12. Hasil sinyal *echo* dengan modifikasi sinyal trigger transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V

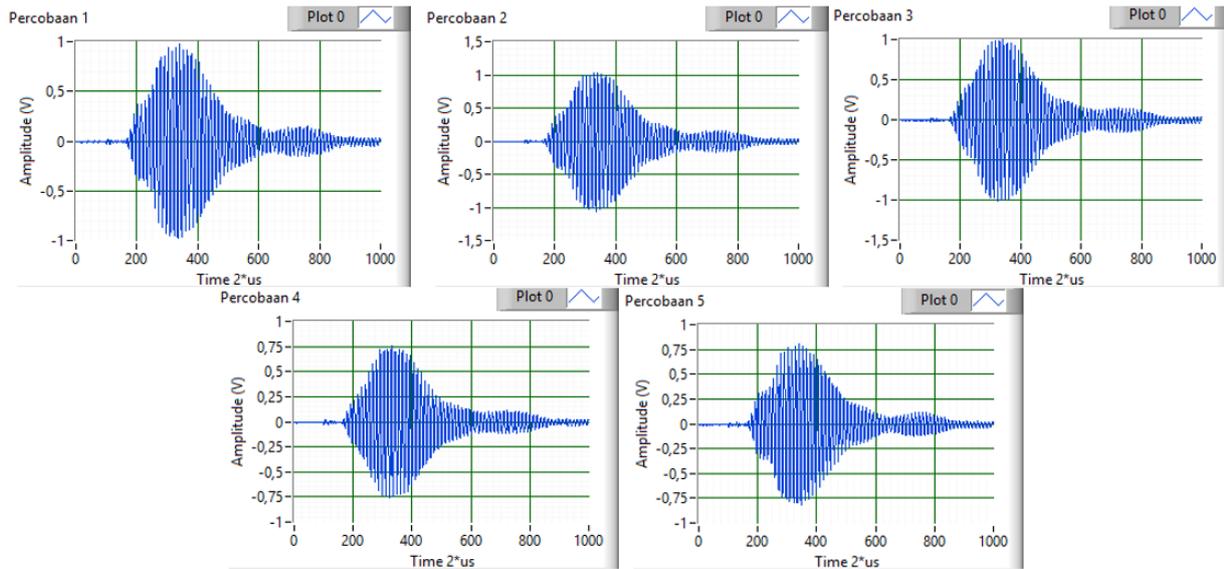
transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3V menghasilkan sinyal *echo* seperti pada Gambar 12 dan hasil modifikasi sinyal *trigger* transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V dan 1,5 V menghasilkan sinyal *echo* seperti pada Gambar 13.

Semakin kecil sinyal *trigger* yang ditambahkan kedalam sinyal *input* dari transduser transmiter maka, sinyal *echo* yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Hal ini dapat diperoleh dari hasil percobaan dengan penambahan dua sinyal kotak dengan V_{peak} sebesar 3 V menghasilkan sinyal *echo* sebesar 1,38 V untuk V_{peak} , 420,91 mV untuk V_{rms} , dan 31,31 dB untuk nilai SNRnya dibandingkan dengan satu sinyal amplitudo 3 V dan sinyal kotak dengan amplitudo 1,5 V menghasilkan sinyal *echo* sebesar 0,974 V untuk V_{peak} , 314,57 mV untuk V_{rms} , dan 28,27 untuk nilai SNRnya. Untuk hasil selengkapnya dari percobaan yang telah dilakukan dengan merubah *delay* dari masing-masing *trigger input* untuk transduser transmiter dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

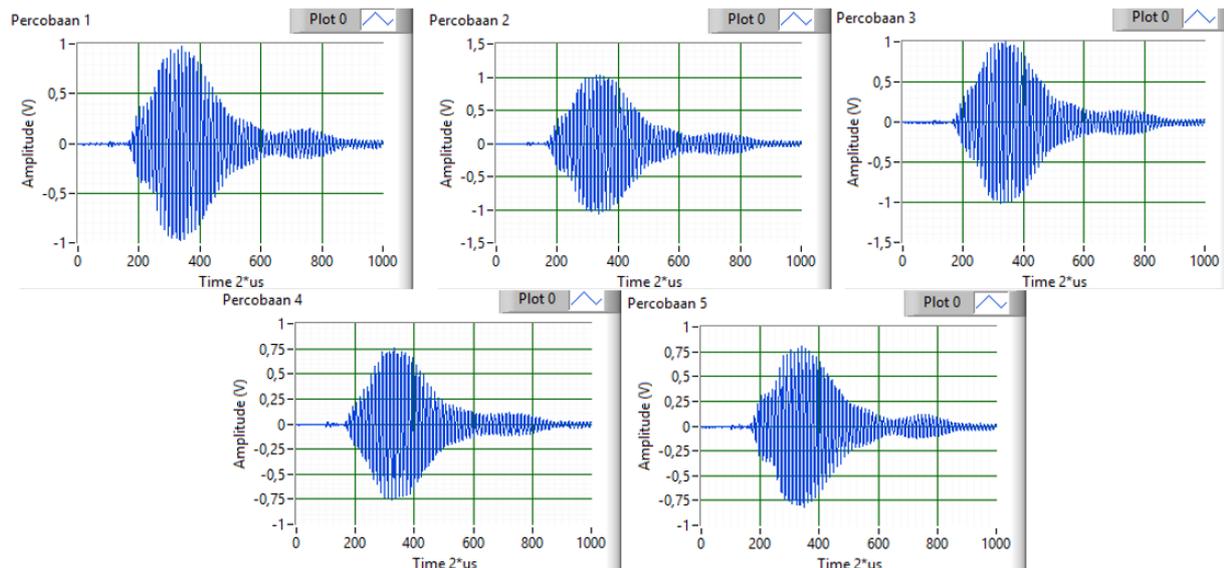
Tabel 2. Pengukuran V_{peak} dan V_{RMS} dari sinyal *echo* dengan variasi modifikasi sinyal trigger transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V

Percobaan	Jenis Modifikasi Sinyal Trigger Transmiter	Peak (V)	RMS (mV)	SNR (dB)
1	2 Sinyal kotak amplitudo sama 3 V dengan delay 0 μs	1,380	420,91	31,31
2	2 Sinyal kotak amplitudo sama 3 V dengan delay 4 μs	1,200	365,02	30,27
3	2 Sinyal kotak amplitudo sama 3 V dengan delay 8 μs	0,712	217,11	24,79
4	2 Sinyal kotak amplitudo sama 3 V dengan delay 20 μs	1,180	353,29	28,87
5	2 Sinyal kotak amplitudo sama 3 V dengan delay 40 μs	0,553	168,70	23,21

Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas dapat dilakukan analisa berupa, penggunaan sinyal kotak penuh dengan tegangan transmiter sebesar 3 V dan dengan frekuensi 40 KHz dapat digunakan untuk melakukan *trigger*



Gambar 13. Hasil sinyal *echo* dengan modifikasi sinyal trigger transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V dan 1,5 V

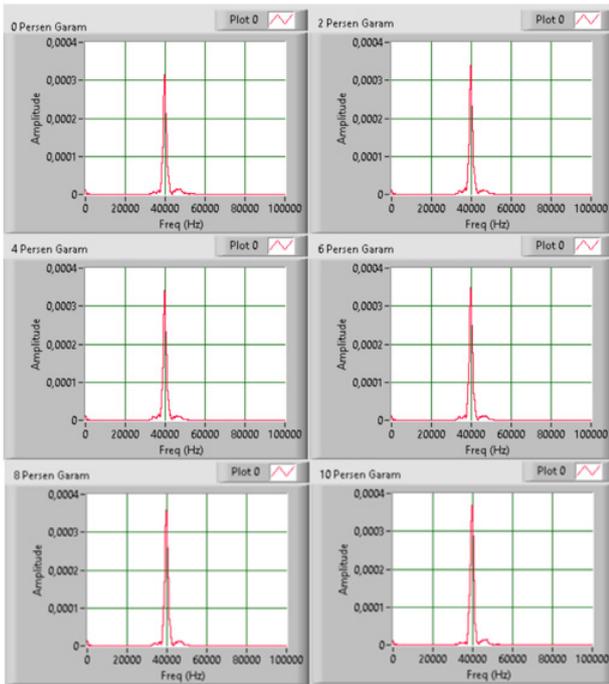


Gambar 14. Hasil pengukuran sinyal *echo* dari larutan garam

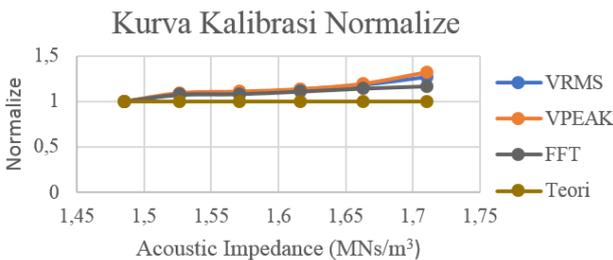
Tabel 3. Pengukuran V_{peak} dan V_{rms} dari sinyal *echo* dengan variasi modifikasi sinyal trigger transmiter gabungan dua buah sinyal kotak dengan amplitudo 3 V dan 1,5 V

Percobaan	Jenis Modifikasi Sinyal Trigger Transmiter	Peak (V)	RMS (mV)	SNR (dB)
1	1 Sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 sinyal kotak amplitudo 1,5 V dengan delay 0 μ s	0,974	314,57	28,27
2	1 Sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 sinyal kotak amplitudo 1,5 V dengan delay 4 μ s	1,030	289,70	27,12
3	1 Sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 sinyal kotak amplitudo 1,5 V dengan delay 8 μ s	0,999	303,75	29,72
4	1 Sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 sinyal kotak amplitudo 1,5 V dengan delay 20 μ s	0,757	225,41	27,21
5	1 Sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 sinyal kotak amplitudo 1,5 V dengan delay 40 μ s	0,810	241,91	25,80

terhadap transduser transmiter sehingga, diperoleh sinyal *echo* yang diterima oleh transduser *receiver*. Penggunaan dua sinyal kotak penuh menyebabkan pembesaran sinyal *echo*. Hal ini dikarenakan adanya penambahan sinyal yang terjadi. Namun penambahan sinyal ini tergantung dari waktu sinyal *trigger*. Hal ini dikarenakan, rumus sinyal yaitu, apabila sinyal kedua memiliki beda fase yang berbeda, yang menyebabkan nilai dari amplitude sinyal kedua menjadi negatif maka, kedua sinyal *echo* yang diperoleh akan saling meniadakan. Namun, apabila kedua sinyal memiliki nilai yang sama-sama positif maka, sinyal tadi akan dikuatkan. V_{peak} dan V_{rms} dari sinyal *echo* menjadi semakin besar dengan penambahan sinyal. Hal ini ditunjukkan pada hasil percobaan dengan menggabungkan dua buah sinyal kotak amplitudo 3 V dengan 1 buah sinyal kotak amplitudo 3 V dan 1 buah sinyal kotak amplitudo 1,5 V terdapat perbedaan sebesar 0,406 V untuk V_{peak} dan 106,34 mV untuk V_{rms} dan 3,04 dB untuk SNRnya.



Gambar 15. Hasil FFT sinyal *echo* dari larutan garam



Gambar 16. Kurva kalibrasi sinyal *echo*

Tabel 4. Hasil perhitungan RMS sinyal *echo*

Salinity	Data (mv)	Pembagi (mv)	Normalized RMS
0%	352,57	352,57	1
2%	377,59	352,57	1,070965
4%	381,60	352,57	1,082338
6%	399,26	352,57	1,132428
8%	416,28	352,57	1,180702
10%	447,17	352,57	1,268316

Tabel 5. Hasil perhitungan Vpeak sinyal *echo*

Salinity	Vpeak (V)	Pembagi (V)	Normalized Vpeak
0%	1,17	1,17	1
2%	1,28	1,17	1,070965
4%	1,30	1,17	1,082338
6%	1,33	1,17	1,132428
8%	1,40	1,17	1,180702
10%	1,55	1,17	1,268316

Tabel 6. Hasil perhitungan *magnitude* FFT pada frekuensi 40 KHz sinyal *echo*

Salinity	Magnitude FFT	Pembagi FFT	Normalized Magnitude FFT
0%	0,00031512	0,00031512	1
2%	0,00034103	0,00031512	1,082217
4%	0,00034250	0,00031512	1,086868
6%	0,00034912	0,00031512	1,107885
8%	0,00035893	0,00031512	1,139028
10%	0,00037061	0,00031512	1,176070

Tabel 7. Perbedaan hasil *Normalized* Vrms, Vpeak, dan *Magnitude* FFT pada frekuensi 40 KHz sinyal *echo* terhadap *Normalized* Teori

Normalized Vrms (Nr)	Normalized Vpeak (Np)	Normalized Magnitude FFT (NFFT)	Normalized Teori (Nt)	Nr-Nt	Np-Nt	Nfft-Nt
1	1	1	1	0	0	0
1,070965	1,070965	1,082217	1,000014	0,070951	0,094003	0,076921
1,082338	1,082338	1,086868	1,000029	0,082309	0,111082	0,081864
1,132428	1,132428	1,107885	1,000044	0,132384	0,136708	0,110128
1,180702	1,180702	1,139028	1,000057	0,180645	0,196524	0,143813
1,268316	1,268316	1,17607	1,000071	0,268245	0,324715	0,169112

Sehingga, dapat dikatakan sinyal dengan dua *trigger* kotak penuh menghasilkan sinyal *echo* yang lebih baik.

B. Hasil Pengukuran Sinyal Echo

Hasil dari pengukuran sinyal *echo* dari larutan garam yang telah dilakukan proses *filtering* dapat dilihat pada Gambar 14. Kemudian, didapatkan hasil Vpeak dan Vrms dari sinyal *echo* dan hasil FFT sinyal *echo* tersebut dapat dilihat pada Gambar 15 dan nilainya dapat dilihat pada

Tabel 4 untuk RMS, Tabel 5 untuk Vpeak dan Tabel 6 untuk hasil *magnitude* FFT pada frekuensi 40 KHz. FFT dapat mengubah sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi maka, dapat diperoleh *magnitude* dari frekuensi 40 KHz yang merupakan frekuensi transduser ultrasonik yang digunakan. Dengan menggunakan *magnitude* hasil FFT pada frekuensi tersebut dapat diperoleh nilai intensitas yang lebih akurat dan sehingga, dapat digunakan untuk memperbaiki kurva kalibrasi.

Berdasarkan hasil penelitian diatas didapatkan kurva

kalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 16 dan hasil perbedaan *normalized Vrms*, *Vpeak*, *magnitude FFT* pada frekuensi 40 KHz dan *normalized teori* dari Tabel 1 di Tabel 7, dapat dikatakan bahwa penggunaan metode transformasi fourier dapat memperbaiki hasil dari kurva kalibrasi dikarenakan eror rata-rata dari *Vrms* sebesar 0,1224221 dan eror *Vpeak* sebesar 0,14383881 sedangkan untuk eror rata-rata dari hasil *normalized magnitude FFT* pada frekuensi 40 KHz sebesar 0,096973114.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, filter HPF dapat memperbaiki sinyal *echo* yang didapat sebesar 49,95 %. Penggunaan perbedaan modifikasi sinyal *trigger* transmitter dapat berpengaruh terhadap *Vrms*, *Vpeak*, dan amplitudo dari hasil transformasi fourier gelombang. Penggunaan 2 buah gelombang kotak penuh (*2 full square wave signal*) didapatkan hasil gelombang *echo* yang terbaik dengan nilai *Vpeak* sebesar 1,38 V, *Vrms* sebesar 420,91 mV dan SNR sebesar 31,31 dB. Penggunaan metode transformasi fourier dapat memperbaiki perbedaan antara percobaan dengan teori yang dihasilkan hal ini dikarenakan eror rata-rata dari *Vrms* sebesar 0,1224221 dan eror *Vpeak* sebesar 0,14383881 yang digunakan pada penelitian [3] sedangkan untuk eror rata-rata dari hasil *normalized magnitude FFT* pada frekuensi 40 KHz yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,096973114.

REFERENSI

- [1] D. Yang, J. Xia and L. Xi'ang, "The Research on Intelligent Mobile Robot's Avoiding Obstacle by Ultrasound," in International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, Sanya, vol. 1, pp. 77-79, 2010.
- [2] A. I. Gunawan, N. Hozumi, S. Yoshida, Y. Saijo, K. Kobayashi, and S. Yamamoto, "Numerical analysis of ultrasound propagation and reflection intensity for biological acoustic impedance microscope," *Ultrasonics*, vol. 61, pp. 79-87, 2015.
- [3] 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 IES International Electronics Symposium, vol. 64. 2017.
- [4] D. Li, H. Wang, J. Deng, Z. Zheng, and Z. Bu, "The enhancement of pulse-echo ultrasound signal using adaptive filter with NLMS," *Proc. - 2010 3rd Int. Conf. Biomed. Eng. Informatics, BMEI 2010*, vol. 3, no. Bmei, pp. 1050-1053, 2010.
- [5] K. Kobayashi, S. Yoshida, Y. Saijo, N. Hozumi, "Acoustic impedance microscopy for biological tissue characterization," *Ultrasonics Journal*, vol. 54, pp. 1922-1928, 2014.
- [6] B. Pal, "Pulse-echo method cannot measure wave attenuation accurately," *Ultrasonics*, vol. 61, pp. 6-9, 2015.
- [7] M. N. Rashin and J. Hemalatha, "Acoustic Study on the Interactions of Coconut Oil Based Copper Oxide Nanofluid," *Int. J. Math. Comput. Phys. Electr. Comput. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 386-390, 2012.
- [8] Y. Jia, V. Chernyshev, and M. Skliar, "Ultrasound measurements of segmental temperature distribution in solids: Method and its high-temperature validation," *Ultrasonics*, vol. 66, pp. 91-102, 2016.