

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 2

Agustus 2019

Prototipe Deteksi PEN dalam Tubuh Menggunakan B-Mode Ultrasonic Scanning

85-94

Chandra Edy Prianto, Agus Indra Gunawan, dan Ni'am Tamami

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

Prototipe Deteksi PEN dalam Tubuh Menggunakan B-Mode Ultrasonic Scanning

Chandra Edy Prianto, Agus Indra Gunawan, dan Ni'am Tamami
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
e-mail: chandraedyp@gmail.com

Abstrak—*Internal fixation* merupakan metode penyembuhan patah tulang dengan menyambung tulang tersebut menggunakan logam disebut pen. Logam pen di dalam tubuh tidak permanen, ketika tulang sudah tersambung kuat maka pen harus dilepas untuk menghindari infeksi/peradangan. Untuk mengetahui letak pen biasanya dilakukan *scanning* menggunakan X-Ray. Namun X-Ray memiliki efek samping yang kurang baik sehingga tidak semua orang diperbolehkan menggunakannya. Solusi yang diberikan adalah dengan pembuatan prototipe alat pendeteksi pen yang aman menggunakan metode B-Mode *ultrasonic scanning*, yaitu mendeteksi pen menggunakan *transducer* ultrasonik *single transducer* 5MHz. Dalam penelitian ini, objek berupa tulang hewan disambung dengan logam yang diletakkan di dalam agar-agar dengan tinggi yang berbeda. Dari dua *transducer* yang digunakan disimpulkan bahwa *transducer* permukaan cekung memiliki hasil yang lebih baik dengan persentase *error* lebih kecil daripada *transducer* permukaan datar. *Transducer* permukaan cekung memiliki *area focal length* yang terletak 1,94 cm di atas permukaan *transducer*. Sudut kemiringan maksimal dari objek adalah 20°, di mana lebih dari itu membuat sinyal *echo* objek tidak terbaca. Hasil pengukuran objek ditampilkan dalam tampilan B-Mode 1 dimensi pada PC yang menampilkan struktur permukaan bawah objek, berdasarkan perbandingan antara objek yang sebenarnya dengan tampilan B-Mode yang dibuat menghasilkan *error* kurang dari 6%, artinya B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan struktur permukaan bawah dari objek yang sebenarnya.

Kata kunci: *patah tulang, pen, ultrasonik, B-Mode*

Abstract—*Internal fixation* is a method of healing fractures by connecting them using metal called pen. Pen metal in the body isn't permanent, when the bone was strong the pen must be removed to avoid infection. In finding the pen, X-Ray are usually used. But X-Ray has bad effect, so not everyone is allowed to use it. The solution given by make prototype to detect pen location using B-Mode ultrasonic scanning method, it uses 5MHz single transducer ultrasonic. Objects measurement is the animal bones connected with metals placed in the jelly with different heights. From the two transducers, the concave surface transducer has a better result and smaller percentage error than the flat surface transducer. The concave surface transducer has a focal length area 1.94cm above the transducer surface. The maximum slope angle of the object is 20°, which more than that makes the echo signal unreadable the object. The measurement results of objects displayed in the B-Mode 1 dimensional on PC that displays the structure of the bottom surface of an object, based on comparison between the actual object and the B-Mode display an error less than 6%, meaning B-Mode can represent the surface structure bottom of the actual object.

Keywords: *fractures, pen, ultrasonic, B-Mode*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi telah memasuki di segala bidang kehidupan tidak terkecuali di bidang medis. Terdapat banyak teknologi yang digunakan untuk membantu para dokter guna menangani pasiennya, mulai dari teknologi untuk menganalisa kondisi pasien, hingga teknologi untuk pengambilan tindakan. Teknologi dalam bidang medis sangat bernilai positif, namun juga terdapat sisi negatif yang berpengaruh bagi penggunaannya seperti penggunaan X-Ray. Salah satu penggunaan X-ray adalah untuk mengetahui letak PEN di dalam tubuh pasien penderita patah tulang di mana salah satu penanganannya adalah dengan melakukan

internal fixation atau penyambungan tulang dengan logam yang dikenal dengan "PEN". Namun logam pen tersebut tidak permanen dan harus dikeluarkan dari dalam tubuh pasien untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Pengeluaran PEN juga dilakukan dengan tindakan operasi. Sebelum melakukan tindakan operasi, dokter harus tahu terlebih dahulu letak dari pen tersebut guna menentukan titik pembedahan agar lebar pembedahan dapat dibuat sekecil mungkin. Namun penggunaan X-Ray tidak direkomendasikan untuk digunakan pada anak-anak dan ibu hamil karena dapat mengganggu perkembangan janin dalam kandungannya[1]. David dkk dalam penelitiannya juga menyebutkan bahwa penggunaan X-Ray secara rutin

untuk patah tulang tidak dapat dibenarkan [2]. Selain pertimbangan bahaya radiasi yang ditimbulkan X-ray, pasien juga harus mengeluarkan biaya yang tidak sedikit untuk melakukan *scan* X-Ray tersebut. Metode lainnya yang dapat digunakan untuk mendeteksi PEN dalam tubuh adalah CT scan dan MRI, keduanya memiliki hasil *scan* yang lebih baik dibandingkan hasil X-ray[3], namun penggunaan CT scan dan MRI membutuhkan biaya yang cukup besar.

Pada penelitian ini, diberikan solusi untuk membuat sebuah prototype berupa alat untuk mendeksi letak pen dalam tubuh pasien penderita patah tulang yang aman dari radiasi sehingga dapat digunakan oleh semua kalangan serta dapat dilakukan dengan biaya yang terjangkau. Proses *scanning* pen dilakukan dengan memanfaatkan sinyal pantul suara yang dihasilkan oleh *transducer* ultrasonik 5MHz *single transducer*. *Transducer* ini menembakkan sinyal suara yang dapat menembus lapisan dalam jaringan tubuh dan mendapatkan informasi berdasarkan sinyal pantulan yang dihasilkan. Setiap benda dalam tubuh memiliki karakteristik yang berbeda, membuat profil sinyal pantul dari sinyal ultrasonik yang dihasilkan juga akan berbeda, perbedaan tersebut akan diproses untuk menentukan benda apakah yang terdeteksi. Pada prototipe ini hasil *scanning* akan ditampilkan pada PC dengan tampilan *B-Mode* sehingga mempermudah dokter untuk mengetahui letak dari pen tersebut. Dalam penelitian ini, terdapat 2 buah *transducer* ultrasonik yang akan digunakan untuk pendeteksian pen, kedua *transducer* tersebut akan dibandingkan untuk menentukan *transducer* yang paling baik untuk diterapkan pada kasus ini.

Dengan adanya prototype ini diharapkan dapat terciptanya alat pendeteksi pen dalam tubuh yang siap untuk digunakan para dokter, sehingga alat tersebut dapat digunakan oleh semua kalangan yang menderita patah tulang karena tidak memiliki risiko atau bahaya saat menggunakannya, serta dapat digunakan dengan biaya yang terjangkau.

II. STUDI PUSTAKA

A. Gelombang Ultrasonik

Dalam penelitian ini gelombang ultrasonik dihasilkan oleh sebuah *single transducer* ultrasonik dengan frekuensi 5MHz. Metode pengukuran dilakukan dengan mengukur sinyal pantul atau *echo* dari sinyal ultrasonik yang ditransmisikan oleh *transducer* ke objek yang di-*scanning*. Saat gelombang ultrasonik melewati objek, beberapa gelombang akan diteruskan, sebagian akan disebarkan dan sebagian yang lain akan dipantulkan kembali sebagai sinyal balik atau *echo*. *Echo* yang dipantulkan dari objek akan diterima kembali oleh transduser.

Pengukuran dengan menggunakan gelombang ultrasonik bergantung dari bentuk permukaan transduser yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan 2 jenis *transducer* yaitu *transducer* dengan bentuk permukaan cekung dan datar. Keduanya memiliki kekurangan dan

kelebihannya masing-masing sebagai berikut:

1. Kelebihan *transducer* permukaan cekung
 - Memiliki 1 titik fokus yang terarah pada objek
 - Dapat melakukan *scanning* objek dengan detail
2. Kekurangan *transducer* permukaan cekung
 - *Transducer* harus diberikan *coupling* berupa air
 - *Transducer* harus dalam kondisi tegak lurus dengan objek
 - Area *scanning* yang relatif kecil karena bergantung pada besar area *focal length*
3. Kelebihan *transducer* permukaan datar
 - Area *scanning* yang cukup besar sesuai dengan permukaan bidang *transducer*.
 - *Transducer* tanpa memerlukan *coupling* sehingga langsung dapat mengukur permukaan objek.
4. Kekurangan *transducer* permukaan datar
 - Area *scan* yang besar membuat objek yang di-*scanning* tidak detail
 - Tidak dapat mengetahui area yang di-*scanning* dengan pasti
 - *Transducer* harus tegak lurus dengan objek.

Untuk *transducer* permukaan cekung, *transducer* memiliki *focal length* yang terletak 2 cm (medium air saja) dari permukaan atas (cekungan) *transducer*[4]. *Focal length* merupakan titik di mana transduser dapat memaksimalkan transmisi gelombangnya.

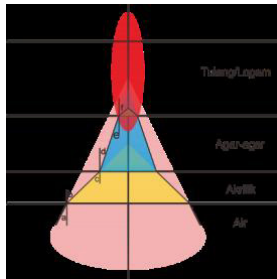
B. Propagasi Gelombang

Pada penelitian ini, objek yang akan di-*scanning* dengan ultrasonik adalah tulang hewan yang disambung dengan logam, di mana objek tersebut diletakkan di dalam medium agar-agar yang diwadahi dengan wadah yang terbuat dari akrilik.

Peletakan *transducer* dari tiap *transducer* yang digunakan memiliki perbedaan. Untuk *transducer* dengan fokus searah harus diletakkan menempel pada permukaan objek dalam hal ini adalah permukaan akrilik. Untuk meratakan penempelan permukaan *transducer* dengan objek maka digunakan gel pada permukaan *transducer*.

Sedangkan untuk *transducer* dengan fokus terpusat digunakan media *coupling* berupa air. Pada kondisi ini, air diletakkan pada permukaan *transducer* yang cekung dan dikondisikan agar air menyentuh permukaan objek yang akan di-*scanning*. Panjang *focal length* pada *transducer* ini sepanjang 2 cm dengan medium berupa air, untuk mengetahui panjang *focal length* untuk beberapa medium diperlukan untuk mengetahui sudut dari *focal length* terlebih dahulu. Berikut perhitungan sudut *focal length transducer*.

Dengan memanfaatkan sudut dari *focal length* yang diketahui, maka proses transmisi gelombang dari tiap medium juga akan diketahui. Dengan menggunakan hukum Snellius, akan diketahui pembiasan dan pemantulan sinyal dari tiap medium yang dilewati gelombang ultrasonik. Berdasarkan hukum Snellius, proses transmisi sinyal tiap medium digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk transmisi gelombang ultrasonik tiap medium

Tabel 1. Kecepatan suara material

No	Material	Kecepatan suara (m/s)	Ref
1.	Air	1.528	[5]
2.	Agar-agar	1.521,7	[5]
3.	Tulang (umum)	4080	[5]
4.	Akrilik	2730	[5]
5.	Logam Stainless	5740	[5]

$$\frac{c_a}{\sin a} = \frac{c_b}{\sin b} \quad (1)$$

Pada Persamaan 1, c_a adalah kecepatan suara medium air, c_b adalah a Kecepatan suara medium akrilik, b adalah sudut gelombang datang pada air, adalah sudut gelombang bias pada akrilik, c adalah sudut gelombang datang pada akrilik, dan d adalah sudut gelombang bias pada agar-agar.

Besar sudut a adalah 19° yang diperoleh dengan menggunakan hukum sinus pada segitiga dimana diketahui panjang sisi miringnya merupakan *focal length* dari *transducer* yaitu 2cm dan sisi bawahnya merupakan jari-jari dari permukaan atas *transducer* sebesar 0,65cm [4].

Dengan menggunakan hukum Snellius pada Persamaan (1), maka besar sudut b , c , d , e , dan f pada Gambar 1 dapat diketahui, dengan diketahui kecepatan suara setiap medium dapat dilihat pada Tabel 1.

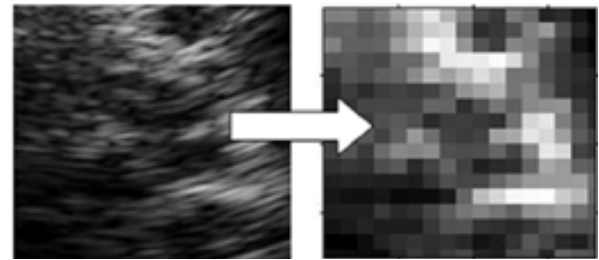
C. B-Mode

B-Mode merupakan sebuah tampilan gambar dua dimensi yang terdiri dari titik-titik cerah dan gelap yang menggambarkan struktur dari objek. titik-titik tersebut mewakili sinyal *echo* yang dihasilkan oleh pemantulan gelombang ultrasonik pada objek. Titik-titik memiliki berbagai tingkat *echogenicity* yang menggambarkan refleksi gelombang ultrasonik dari jaringan yang diperiksa. Sinyal *echo* dari setiap jaringan dalam B-Mode diwakili oleh intensitas grayscale[8] seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kecenderungan setiap titik ditentukan oleh besarnya amplitudo dari sinyal *echo* yang dipantulkan oleh objek.

III. METODE

A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada alat ini meliputi perancangan perangkat lunak dan perangkat keras secara keseluruhan.



Gambar 2. Contoh tampilan B-Mode [13]

Adapun desain dan blok diagram dari rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dijelaskan bahwa *function generator* digunakan untuk membangkitkan sinyal trigger 10 Vpp 5MHz pada *transducer* ultrasonik untuk mendeteksi objek yang di-scan.

Pemberian sinyal trigger disinkronkan dengan pergerakan *transducer* oleh motor *stepper* yang digerakkan menggunakan arduino. Sistem pengambilan data yang digunakan adalah dengan metode *sampling*, di mana *transducer* akan mengambil data objek sesuai dengan jumlah step (jumlah *sampling*) yang diberikan. Data hasil pengukuran objek kemudian akan diakuisisi menggunakan Analog Discovery 2 yang kemudian datanya diolah dalam software LabView untuk menghasilkan tampilan B-Mode yang diinginkan. Gambaran prototipe secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 5.

Proses pada LabView dimulai dengan memasukkan banyak data *sampling* yang akan digunakan. Data *sampling* ini merupakan banyaknya data yang akan diambil (sinyal *echo* dari objek) dalam sekali proses *scanning* dan dalam 1 area *scanning* yang telah ditentukan. Selanjutnya *stepper* akan berjalan secara otomatis dan berhenti sejenak untuk mengambil data *echo* dari objek kemudian berjalan kembali. Hasil *scanning* kemudian akan disimpan dalam bentuk *array*. Pemrosesan data diawali dengan menentukan jenis filter, selanjutnya sistem akan menemukan ToF dari sinyal hasil pengukuran untuk menentukan jarak kedalaman dari objek dilanjutkan dengan konversi sinyal menjadi gambar B-Mode. Alur proses ini digambarkan pada Gambar 4.

Dengan tujuan pengamatan bahwa *transducer* dapat mendeteksi logam di dalam tubuh, maka dalam proses pengukuran kami menggunakan objek buatan yang merepresentasikan objek yang sesungguhnya yaitu pada manusia. Objek buatan tersebut terdiri dari logam *stainless* yang merepresentasikan logam pen, tulang hewan berupa tulang ayam, tulang kambing, dan tulang sapi. Tulang-tulang hewan tersebut merupakan tulang yang memiliki kesamaan atau kemiripan dengan tulang manusia. Dalam salah satu literatur yang disusun oleh Jeroen A dan timnya menyebutkan bahwa antara tulang manusia dengan tulang hewan berupa tulang ayam, kambing, dan sapi memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada beberapa parameter yang diteliti[9]. Hal serupa disampaikan oleh AI Pearce bersama temannya menyebutkan bahwa tulang hewan (kambing) cocok digunakan untuk permodelan implan pada tulang manusia [10].

Sementara logam yang digunakan merupakan

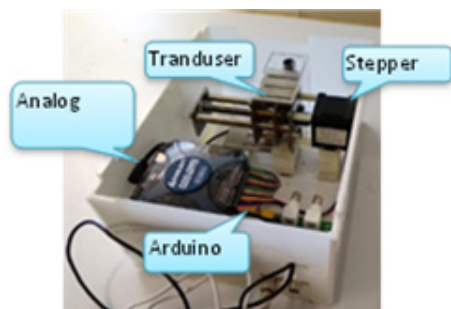


Gambar 4. Flowchart proses pengambilan echo hingga mendapatkan gambar B-Mode

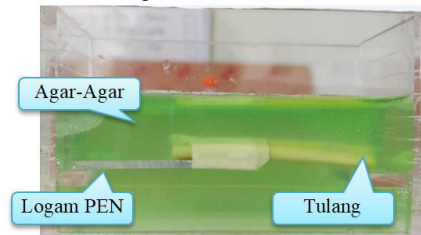
pelat logam *stainless* yang diibaratkan sebuah pen [11]. Sedangkan medium agar-agar digunakan untuk merepresentasikan bagian yang menyelimuti tulang (jaringan tubuh). Agar-agar merupakan sebuah material (makanan) yang tersusun dari air yang dicampur dengan bahan tertentu sehingga dapat tersusun padat, agar-agar digunakan karena memiliki kesamaan dengan tubuh manusia terdiri sel penyusun tubuh yang tersusun dari 70% air [12]. Agar-agar juga seringkali digunakan sebagai tiruan tubuh manusia untuk keperluan penelitian ataupun keperluan lainnya yang berkaitan dengan bahan pengganti tubuh manusia, seperti yang dilakukan oleh Alvin I dan timnya[13] serta Jason R bersama timnya[14]. Adapun gambaran objek pengukuran kami dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan gambar tulang kambing sebagai salah satu objek pengukuran yang disambung dengan pelat logam *stainless* menggunakan isolasi kertas. Objek tersebut kemudian diletakkan dalam wadah terbuat dari akrilik (0,3 cm) dan ditenggelamkan dalam agar-agar pada ketinggian tertentu dari permukaan wadah. Pada objek tersebut logam *stainless* memiliki dimensi 4 x 2 x 0,2 cm (P x L x T) sedangkan tulang kambing memiliki dimensi 4,5 x 2 x 0,4 cm (P x L x T).

B. Pengujian Transducer

Pengujian *transducer* ini bertujuan untuk memastikan bahwa *transducer* yang digunakan dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan melakukan *scanning* dengan objek air yang diletakkan dalam wadah akrilik



Gambar 5. Bagian-bagian dari prototipe sistem



Gambar 6. Objek pengukuran

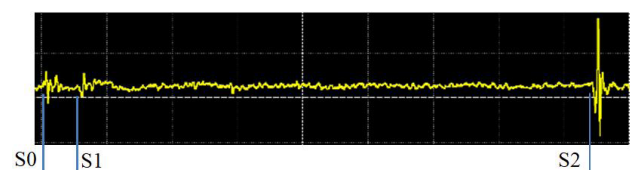
seperti yang telah dilakukan pada oleh literatur[15].

Gambar 7 menunjukkan terdapat 3 sinyal *echo* dengan besar amplitudo yang berbeda, menandakan bahwa terdapat 3 medium yang memantulkan kembali gelombang ultrasonik dari *transducer*. Sinyal *echo* merupakan sinyal pantul dari gelombang ultrasonik. Penerjemahan sinyal dilakukan dengan menentukan Time-of-Flight (ToF). Nilai dari ToF dijadikan pedoman untuk dapat menghitung jarak antar sinyal *echo* yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan jarak asli dari objeknya[16].

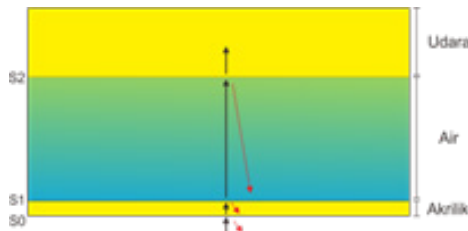
Gelombang ultrasonik akan melewati medium pertama yaitu lapisan bawah akrilik sehingga muncul sinyal *echo* S0, kemudian merambat menuju medium kedua yaitu lapisan atas akrilik yang bersentuhan dengan medium air sehingga muncul sinyal *echo* S2, kemudian merambat pada medium air yang bersentuhan dengan udara sehingga muncul sinyal *echo* S3. Besar amplitudo dari ketiga sinyal ini dipengaruhi oleh karakteristik *transducer* yang digambarkan pada Gambar 9. Besarnya amplitudo dari sinyal pengukuran akan mempengaruhi warna pada gambar B-Mode. Proses pemantulan gelombang ultrasonik diilustrasikan pada Gambar 8.

Terdapat perbedaan perlakuan untuk *transducer* dengan permukaan cekung, karena *transducer* ini memiliki fokus terpusat, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian letak dari *focal length* pada *transducer*. Pengujian dilakukan dengan meletakkan *transducer* di dalam air karena *transducer* membutuhkan coupling air. Kemudian di depan permukaan *transducer* diletakkan sebuah benda yang digerakkan menjauhi permukaan *transducer*, serta benda dimiringkan untuk mengetahui respons sinyal yang didapatkan berdasarkan semua kondisi tersebut (Gambar 8).

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, area *focal length* pada *transducer* ini berada sejauh 2 cm, hal tersebut terlihat ketika objek diletakkan 1 cm di atas permukaan *transducer* atau berada di luar area *focal length transducer* seperti pada Gambar 8 (a) mengakibatkan sinyal *echo* dari objek sangat kecil, berbeda ketika objek diletakkan 2 cm (Gambar 8 (b)) di atas permukaan *transducer* atau tepat di area *focal length*, maka sinyal *echo* yang dihasilkan adalah sinyal *echo* dengan kekuatan maksimumnya, artinya pada



Gambar 7. Hasil pegujian transducer dengan objek air



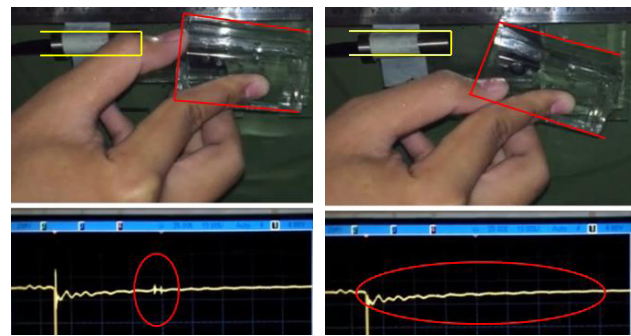
Gambar 8. Ilustrasi pantulan gelombang ultrasonik

posisi ini sinyal *echo* dari objek diterima secara maksimal oleh *transducer* sehingga sinyal yang didapatkan lebih besar dari pada Gambar 8 (a). Ketika objek diletakkan lebih jauh dari area *focal length* yaitu 3 cm (Gambar 8 (c)) di atas permukaan *transducer*, sinyal *echo* tetap ada namun besar sinyalnya tidak lebih besar daripada ketika objek diletakkan di area *focal length*.

Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, bahwa *transducer* harus ditempatkan tegak lurus terhadap objek yang akan discan sehingga sesuai dengan hukum Snellius, pembiasan dan pemantulan objek untuk kembali ke *transducer* dapat terjadi secara maksimal sehingga sinyal yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Ketika *transducer* ditempatkan tidak tegak lurus terhadap objek, maka pembiasan dan pemantulan sinyal *echo*-nya tidak akan terjadi secara maksimal sehingga sinyal yang dihasilkan akan kecil bahkan tidak terlihat, pada kondisi tersebut sinyal *echo* tidak banyak yang kembali ke *transducer* atau banyak sinyal *echo* yang dipantulkan keluar area dari permukaan *transducer*.

Gambar 10 adalah perbandingan antara sinyal yang



(a) (b)

Gambar 10. Perbandingan posisi objek tegak lurus (a) dengan objek tidak tegak lurus (b)

dihasilkan ketika *transducer* ditempatkan tegak lurus terhadap objek (a) dan ketika objek dan *transducer* tidak tegak lurus (b).

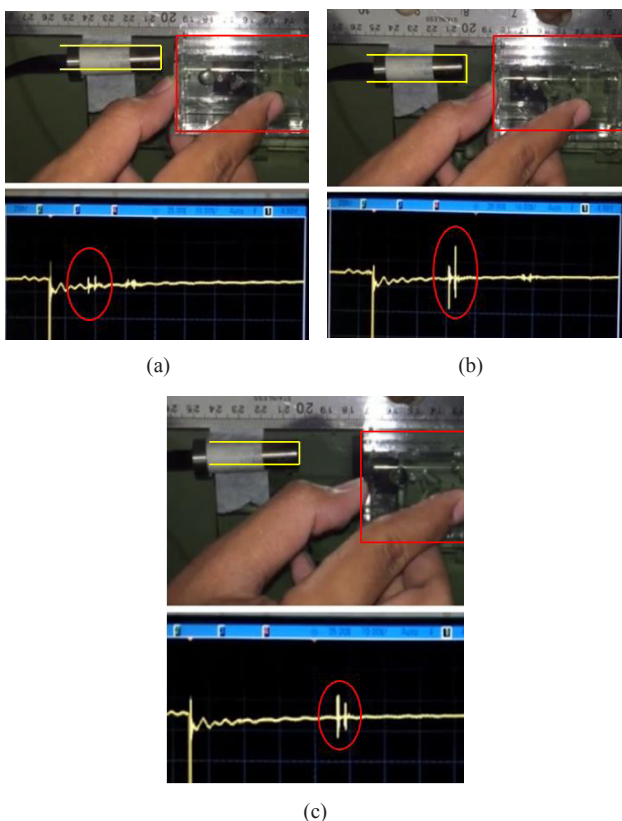
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan dengan membaca objek yang ditempatkan pada jarak tertentu. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa objek merupakan tulang hewan yang disambung dengan logam yang ditempatkan dalam medium agar-agar yang ditempatkan dalam wadah yang terbuat dari akrilik (Gambar 6). Akrilik yang digunakan memiliki tebal 3 mm, sedangkan tulang hewan yang digunakan adalah tulang kambing, tulang sapi, dan tulang ayam, sementara logam yang digunakan adalah jenis logam *stainless*. Agar-agar sebagai medium dari objek dibuat dengan kombinasi air 100 mL dan agar-agar bubuk 40 gram.

Pengukuran dilakukan dengan variabel jarak objek yang diubah-ubah dan kemiringan objek yang sudutnya juga diubah-ubah serta perbandingan hasil pengukuran oleh dua buah *transducer* yang digunakan. Evaluasi hasil pengukuran diperoleh dengan membandingkan hasil pembacaan oleh *transducer* dengan pengukuran secara manual menggunakan alat ukur. Terdapat 3 buah pengukuran dari setiap tulang yang digunakan berdasarkan jarak objek tegak lurus dari permukaan atas akrilik, yaitu 1 cm, 2 cm dan 3 cm ditunjukkan pada Gambar 11 samapai dengan Gambar 22. Untuk variabel pengukuran dengan parameter sudut kemiringan dari objek dilakukan dengan kondisi jarak objek dengan *transducer* sejauh 2 cm dengan hanya menggunakan objek logam *stainless*. Sudut kemiringan yang diukur adalah 10°, 20°, 30°, dan 40°.

Hasil pengukuran oleh *transducer* ditampilkan dalam bentuk sinyal dalam domain waktu, berdasarkan sinyal yang didapatkan tersebut kemudian dianalisa dengan menentukan sinyal yang menggambarkan objek yang di-scan. Untuk memastikan kebenaran dari sinyal tersebut maka dilakukan perhitungan jarak antar sinyal yang didapatkan kemudian hasilnya dibandingkan dengan jarak yang sebenarnya.

A. Hasil Pengukuran dengan Objek Tegak Lurus



(a) (b) (c)

Gambar 9. Perbandingan sinyal peletakan objek jarak 1cm (a), 2cm (b), dan 3cm (c) dari permukaan transducer

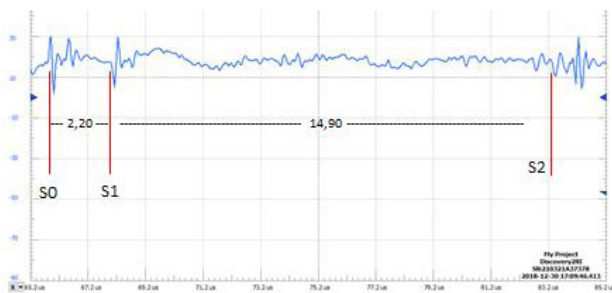
Berikut adalah hasil dari pengukuran yang didapatkan untuk objek tulang ayam, kambing, dan sapi serta objek logam *stainless* dengan ketinggian objek yang berbeda.

Pada gambar pengukuran di atas terdapat 3 buah sinyal yang menunjukkan sinyal *echo* pada objek tertentu. S0 merupakan sinyal *echo* permukaan bawah dari akrilik, S1 merupakan sinyal *echo* permukaan atas dari akrilik, dan S2 merupakan sinyal *echo* dari objek ukur baik berupa tulang maupun logam.

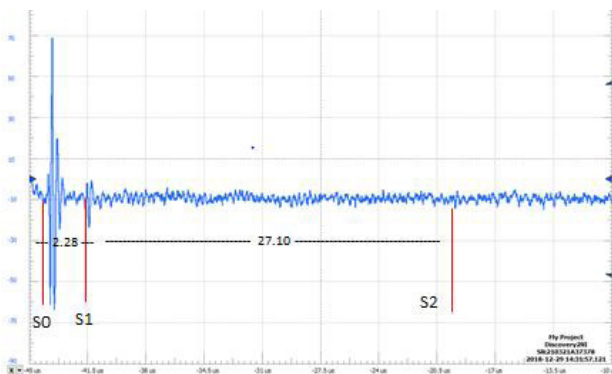
Untuk membuktikan penjelasan di atas maka dilakukan pendekatan dengan melakukan perhitungan jarak antar sinyal secara teori menggunakan Persamaan 2, kemudian dibandingkan dengan kondisi yang sebenarnya.

$$s = v \times t \quad (2)$$

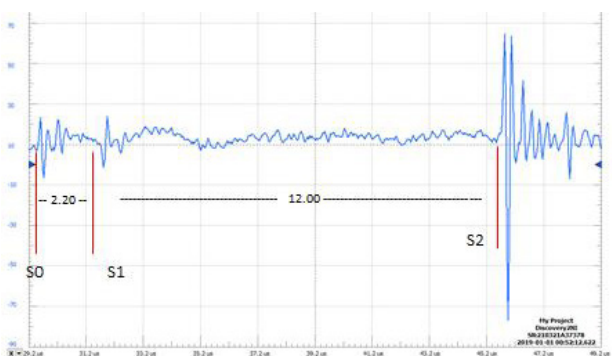
Di mana s merupakan jarak antara sinyal 1 dan sinyal 2, v merupakan kecepatan suara sesuai medium yang dilewati



Gambar 11. Hasil pengukuran tulang ayam 1 cm menggunakan transducer cekung

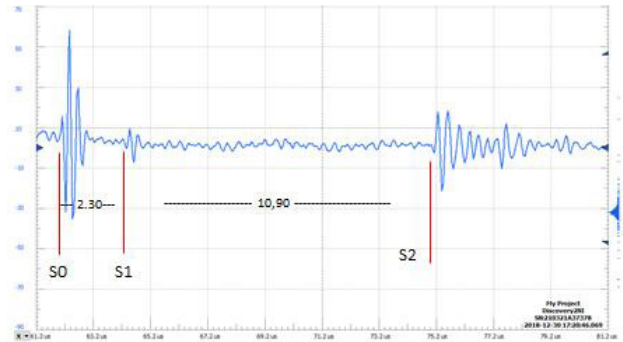


Gambar 12. Hasil pengukuran tulang ayam 1 cm menggunakan transducer datar

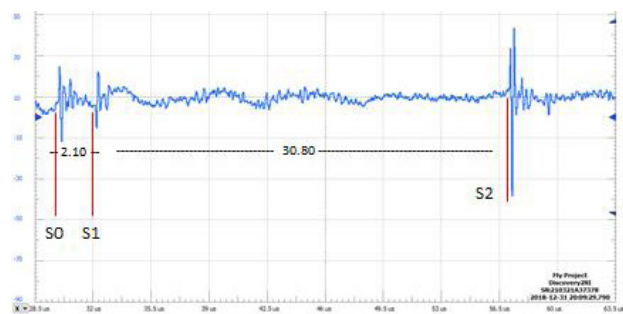


Gambar 13. Hasil pengukuran logam berjarak 1 cm menggunakan transducer cekung

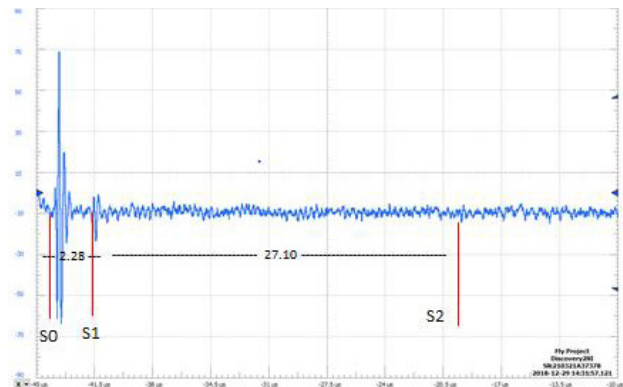
dan t merupakan delay waktu yang terjadi antara sinyal 1 dan sinyal 2.



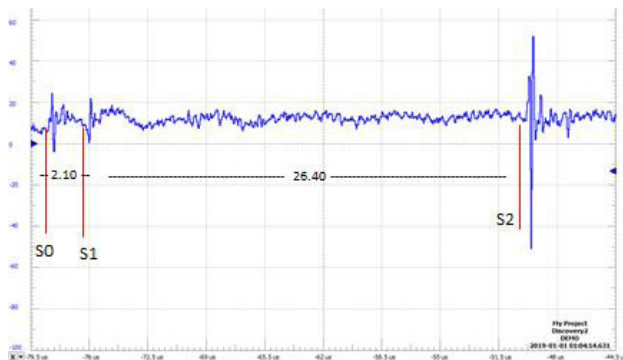
Gambar 14. Hasil pengukuran logam berjarak 1 cm menggunakan transducer datar



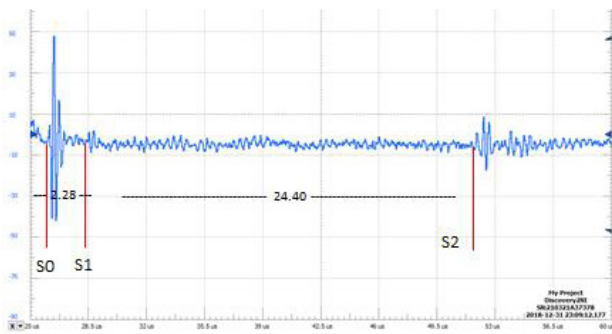
Gambar 15. Hasil pengukuran tulang kambing 2 cm menggunakan transducer cekung



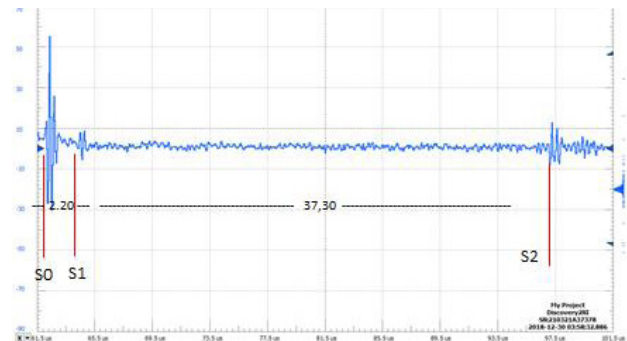
Gambar 16. Hasil pengukuran tulang kambing 2 cm menggunakan transducer datar



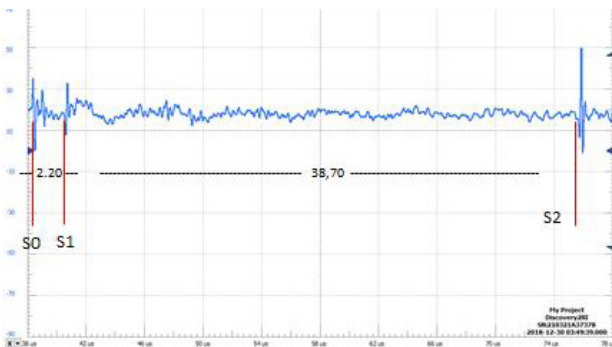
Gambar 17. Hasil pengukuran logam berjarak 2 cm menggunakan transducer cekung



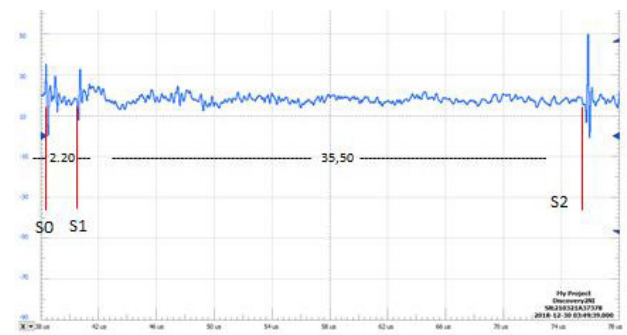
Gambar 18. Hasil pengukuran logam berjarak 2 cm menggunakan transducer datar



Gambar 20. Hasil pengukuran tulang sapi 3 cm menggunakan transducer datar



Gambar 19. Hasil pengukuran tulang sapi 3 cm menggunakan transducer cekung



Gambar 21. Hasil pengukuran logam berjarak 3 cm menggunakan transducer cekung

Dengan menggunakan persamaan (2), pada semua gambar percobaan yang telah dilakukan disimpulkan bahwa S0 dan S1 merupakan tebal dari akrilik, karena semua pengukuran menunjukkan delay waktu antara S0 dan S1 hampir sama sehingga nilai s yang didapatkan juga tidak jauh berbeda yaitu 3mm, hal ini sesuai dengan tebal

akrilik yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu akrilik dengan tebal 3mm. Sedangkan untuk S2 merupakan objek yang akan diukur juga sesuai dengan kondisi objek yang sebenarnya.

Dalam beberapa pengukuran terdapat *error*

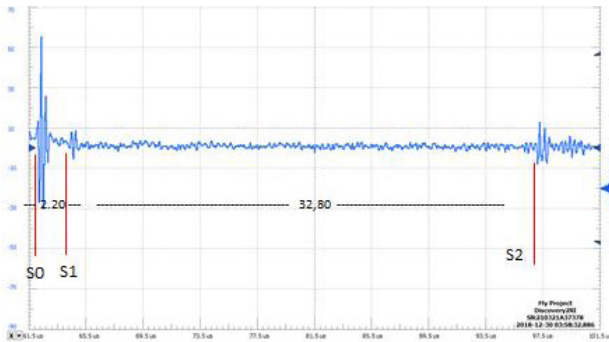
Tabel 2. Hasil pengukuran dengan objek tegak lurus

Sample	Kecepatan suara (m/s)	Time delay (μs)		Jarak hasil ukur (cm)		Jarak objek sebenarnya (cm)	Error (%)		Gambar
		Transducer Cekung	Transducer Datar	Transducer Cekung	Transducer Datar		Transducer Cekung	Transducer Datar	
a. Pengukuran tulang ayam									
Akrilik	2730	2,20	2,30	0,30	0,31	0,30	0,10	4,44	-
Akrilik – Tulang	1521	14,90	13,50	1,13	1,03	1,00	11,75	2,60	11,12
Akrilik – Logam	1521	12,80	10,90	0,97	0,83	0,70	28,09	15,56	13,14
b. Pengukuran tulang kambing									
Akrilik	2730	2,10	2,28	0,29	0,31	0,30	4,66	3,61	-
Akrilik – Tulang	1521	30,80	27,10	2,34	2,06	2,20	6,08	6,75	15,16
Akrilik – Logam	1521	26,40	24,40	2,01	1,86	2,00	0,38	7,78	17,18
c. Pengukuran tulang sapi									
Akrilik	2730	2,20	2,20	0,30	0,30	0,30	0,10	0,10	-
Akrilik – Tulang	1521	38,70	37,30	2,94	2,84	3,00	1,93	5,76	19,20
Akrilik – Logam	1521	35,50	32,80	2,70	2,49	2,70	0,01	8,24	21,22

* Akrilik = Jarak antara akrilik permukaan atas dan bawah (S0 dan S1)

Akrilik – tulang = Jarak antara akrilik permukaan atas dengan permukaan bawah tulang (S1 dan S2)

Akrilik – logam = Jarak antara akrilik permukaan atas dengan permukaan bawah logam (S1 dan S2)



Gambar 22. Hasil pengukuran logam berjarak 3 cm menggunakan transducer datar

pengukuran di mana sinyal S2 tidak terdeteksi, hal ini dikarenakan posisi objek yang tidak tegak lurus karena keterbatasan penulis dalam memposisikan objek tegak lurus dengan *transducer* serta beberapa tulang memiliki struktur yang membuatnya tidak tegak lurus dengan *transducer*. Kondisi tidak tegak lurusnya objek terhadap *transducer* membuat sinyal *echo* dari objek tidak sempurna kembali ke *transducer* sehingga sinyal yang dihasilkan sangat kecil bahkan tidak terbaca.

Kesimpulan pada pengukuran ini adalah pada pengukuran dengan menggunakan *transducer* permukaan datar menghasilkan pengukuran dengan sinyal *echo* pada objek tidak maksimal yaitu memiliki besar sinyal yang relatif lebih kecil dari pengukuran dengan menggunakan *transducer* permukaan cekung. Hal ini sesuai dengan kelebihan dan kekurangan kedua *transducer* ini yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

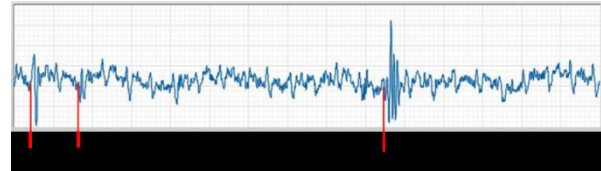
B. Hasil Pengukuran dengan Sudut Kemiringan Objek

Pada pengukuran ini objek yang digunakan adalah logam *stainless* saja dengan jarak antara objek dengan *transducer* sejauh 2 cm yang merupakan jarak terbaik sesuai dengan penjelasan sebelumnya serta menggunakan 1 *transducer* yaitu *transducer* dengan permukaan cekung. Hal ini dikarenakan logam *stainless* memiliki nilai kecepatan suara yang lebih besar daripada tulang sehingga sinyal yang dapat ditangkap oleh *transducer* akan lebih besar dibandingkan dengan tulang, untuk itu diasumsikan bahwa jika *transducer* dapat membaca sinyal *echo* dari logam *stainless* maka *transducer* juga dapat dipastikan dapat membaca sinyal *echo* dari tulang dan begitupun sebaliknya, jika *transducer* sudah tidak dapat lagi membaca sinyal *echo* dari logam *stainless* maka *transducer* juga dapat dipastikan tidak dapat membaca sinyal *echo* dari tulang. Serta dalam pengukuran ini digunakan 1 *transducer* karena pengukuran ini dilakukan setelah didapatkan kesimpulan bahwa *transducer* dengan permukaan cekung memiliki hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan *transducer* dengan permukaan datar. Berikut hasil pengukuran yang telah dilakukan.

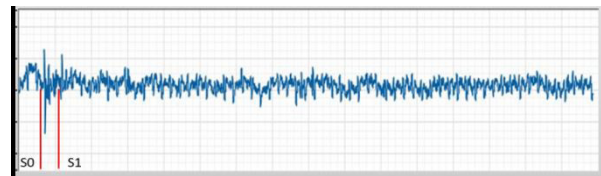
Hasil pengukuran pada objek dengan kemiringan 10° pada Gambar 23 menunjukkan bahwa objek berupa logam *stainless* masih dapat terlihat dengan baik. Sedangkan



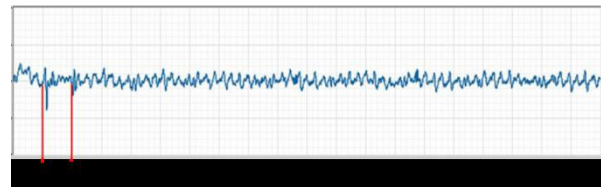
Gambar 23. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 10°



Gambar 24. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 20°



Gambar 25. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 30°



Gambar 26 Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 40°

untuk objek dengan kemiringan 20° pada Gambar 24 menunjukkan hasil yang kurang bagus, di mana objek ukur masih bisa terlihat namun sinyal yang didapatkan lebih kecil daripada hasil pengukuran sebelumnya. Pada gambar tersebut sinyal terlihat tidak stabil dan dipenuhi oleh *noise*, hal ini terjadi karena sinyal pada pengukuran ini dilakukan pembesaran pada tampilannya (*zoom*) yang mengakibatkan sinyal rusak dan terlihat penuh dengan *noise* serta tidak stabil.

Hasil pengukuran dengan kemiringan objek lebih besar yaitu 30° pada Gambar 25 menunjukkan hasil di mana sinyal objek berupa logam *stainless* sudah tidak terlihat, namun sinyal akrilik bagian atas dan bawah masih terlihat baik seperti yang ditunjukkan pada S0 dan S1. Hasil serupa juga terjadi pada hasil pengukuran dengan sudut kemiringan objek sebesar 40° pada Gambar 26. Sinyal objek berupa besi *stainless* tidak terlihat namun sinyal akrilik bagian atas dan bawah masih terlihat jelas.

Berdasarkan hasil semua pengukuran di atas, keempat hasil pengukuran menunjukkan bahwa sinyal pada akrilik bagian atas dan bawah sama-sama dapat terbaca dengan jelas seperti yang ditunjukkan pada S0 dan S1 pada gambar, sedangkan S2 yang merupakan objek pengamatan berupa besi *stainless* hanya dapat terlihat pada kemiringan 10° dan 20° saja dan tidak terlihat pada sudut di atasnya.

Berdasarkan hukum Snellius tentang pembiasan dan pemantulan suatu gelombang sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa besar sudut datang sama dengan besar sudut pantulnya dihitung dari

garis normalnya, artinya antara sudut garis gelombang datang dengan garis normal dan garis gelombang pantul dengan garis normal memiliki sudut yang sama.

Hal ini diilustrasikan pada Gambar 27 di mana pada point (a) objek diletakkan tegak lurus dengan *transducer* sehingga membuat sinyal datang yang ditunjukkan dengan area warna merah akan dipantulkan semua secara sempurna kembali ke *transducer* seperti yang ditunjukkan dengan area warna biru, berbeda jika objek dimiringkan dengan sudut tertentu, pada point (b) objek dimiringkan dengan kemiringan 10° yang membuat garis normal dari objeknya juga tidak miring dan tidak tegak lurus dengan permukaan *transducer*, hal ini membuat gelombang datang yang sama yang ditunjukkan dengan area berwarna merah akan menghasilkan sinyal pantul yang sedikit melenceng keluar dari permukaan *transducer*.

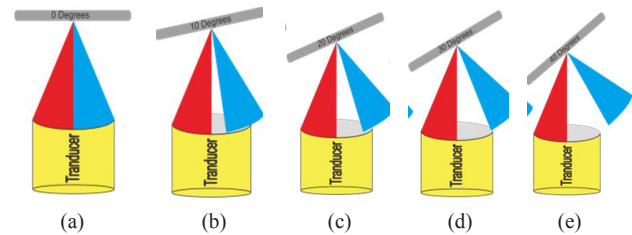
Hal ini menyebabkan sinyal *echo* yang kembali ke *transducer* tidak maksimal yang membuat pembacaan sinyal menjadi lebih kecil. Pada Gambar 23 hasil percobaan menunjukkan bahwa sinyal *echo* dari objek masih terbaca, namun tentu saja tidak sebagus pada hasil percobaan ketika objek diletakkan tegak lurus terhadap *transducer*.

Semakin besar sudut kemiringan dari objek terhadap *transducer* maka garis normal objek juga akan semakin jauh dari *transducer* yang tentunya akan membuat sinyal pantulnya akan semakin melenceng keluar jauh dari permukaan *transducer* yang membuat sedikit bahkan tidak satupun sinyal *echo* yang kembali ke *transducer* yang membuat pembacaan sinyal terhadap objek menjadi sangat kecil bahkan tidak ada. Gambar 27 (b) masih terdapat sedikit sinyal pantul yang kembali ke *transducer* di mana hal ini membuat hasil pengukuran terhadap objek yang dimiringkan 20° menghasilkan sinyal yang sangat kecil seperti yang ditampilkan pada Gambar 21. Namun semakin besar sudut kemiringan dari objek akan membuat sinyal pantul dari objek tidak kembali ke *transducer* yang menyebabkan hasil pengukuran terhadap objek tidak terbaca seperti yang ditampilkan pada Gambar 25 dan Gambar 26.

Namun, berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat kita lihat bahwa terdapat 2 sinyal di awal yaitu S0 dan S1 di setiap pengukuran selalu ada dan tempatnya tidak berubah. S0 merupakan sinyal dari permukaan bawah akrilik dan S1 adalah sinyal dari permukaan atas akrilik yang digunakan sebagai wadah dalam pengukuran ini. Akrilik ini diletakkan tegak lurus dengan *transducer* sehingga di setiap pengukuran kedua sinyal ini selalu ada dan tempatnya tidak berubah, perbedaan hanya terlihat jelas pada objek S2 yang merupakan variabel dari pengukuran ini

C. Hasil Pengukuran Akhir

Tampilan B-Mode ini menunjukkan struktur permukaan dari objek yang telah dilakukan *scanning* dengan perbedaan warna. Dalam penelitian ini kami menggunakan warna dengan amplitudo sinyal tertinggi berwarna putih dan sinyal dengan amplitudo terendah



Gambar 27. Perbandingan hasil hukum Snellius berdasarkan sudut (a) 0° , (b) 10° , (c) 20° , (d) 30° , dan (e) 40°

berwarna biru.

Pada Gambar 28 menunjukkan tampilan B-Mode dari objek yang diukur. Tampilan B-Mode yang dibuat pada penelitian ini menitikberatkan pada tampilan struktur permukaan bawah dari objek tidak untuk menampilkan ketebalan dari objek yang diukur dikarenakan keterbatasan kemampuan dari hardware yang digunakan yang tidak mampu menampilkan sinyal permukaan atas dari objek yang diukur.

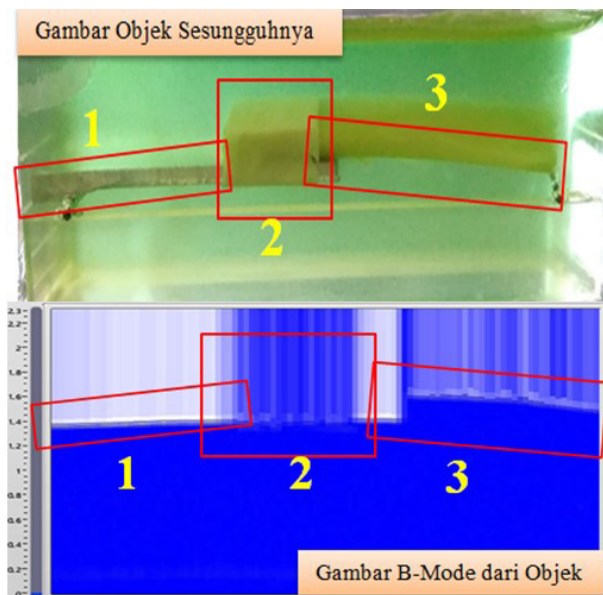
Secara garis besar terdapat 3 poin analisis dalam hasil pengukuran yang telah dilakukan sesuai pada Gambar 28. Poin 1 adalah objek logam *stainless*. Berdasarkan objek aslinya, logam *stainless* ini diletakkan dengan sedikit miring di bagian sisi kirinya sehingga membuat hasil tampilan di B-Mode-nya juga miring.

Hal ini menunjukkan bahwa tampilan B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan objek yang sebenarnya. Untuk posisi kedalaman dari logam *stainless* diukur dari posisi ujung kiri menggunakan alat ukur penggaris menghasilkan 1,43 cm sedangkan hasil pada B-Mode terbaca 1,35 cm dengan demikian didapatkan *error* pembacaan sebesar 5,92%.

Untuk poin nomor 2 pada Gambar 28 menunjukkan gambar sambungan antara tulang dengan logam *stainless*. Penyambungan ini dilakukan dengan menindihkan tulang di atas logam *stainless* lalu ditempel menggunakan isolasi kertas.

Pada tampilan B-Mode gambar mengalami kerusakan di mana objek tidak terlihat jelas bentuknya. Hal ini wajar terjadi, karena terdapat benda asing yang terdapat pada objek pengukuran yaitu isolasi kertas. Isolasi kertas memiliki kecepatan suara yang berbeda dari tulang dan juga logam *stainless* yang membuat pembacaan sinyal dari objek mengalami kekacauan, sehingga masalah ini dianggap wajar terjadi.

Untuk poin 3 pada Gambar 28 merupakan objek tulang. Pada gambar objek yang sesungguhnya, struktur permukaan dari tulang adalah sedikit melengkung dan menurun di mana sisi tengahnya lebih tinggi dari pada sisi bagian samping kanan. Hal ini juga sesuai seperti yang ditampilkan pada gambar hasil B-Mode yang dibuat yang menunjukkan tampilan B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan objek yang sebenarnya. Pengukuran kedalaman dilakukan sama dengan pengukuran kedalaman pada sisi logam *stainless*, di mana sisi samping kanan dari tulang diukur menggunakan alat ukur berupa penggaris dan menghasilkan 1,58 cm dan pada tampilan B-Mode terbaca 1,50 cm, sehingga diperoleh nilai *error* sebesar 5,33%.



Gambar 28. Hasil tampilan B-Mode pada pengukuran objek

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini *transducer* yang terbaik untuk digunakan adalah jenis *transducer* ultrasonik *single transducer* dengan permukaan cekung daripada *transducer* yang sama dengan permukaan datar. *Transducer* dengan permukaan cekung memiliki hasil pengukuran yang lebih detail dengan persentase *error* yang lebih kecil daripada *transducer* pembandingnya. *Transducer* ultrasonik dengan permukaan cekung memiliki area *focal length* yang merupakan titik dimana *transducer* dapat memaksimalkan transmisi gelombangnya. Posisi objek mempengaruhi hasil pengukuran, objek yang diletakkan tegak lurus membuat sinyal *echo* yang didapatkan semakin baik karena sinyal pantul dari objek dapat kembali ke *transducer* secara maksimal. Sudut kemiringan maksimal agar sinyal *echo* terbaca sebesar 20°, lebih dari itu akan membuat sinyal *echo* dari objek tidak dapat terbaca. Kesesuaian antara hasil pengukuran dalam tampilan B-Mode dengan kondisi sebenarnya pada objek menghasilkan *error* kurang dari 6% yang membuat sistem yang dibuat merepresentasikan objek yang sebenarnya.

REFERENSI

- [1] <https://www.klikdokter.com/tanya-dokter/read/2708883/pengaruh-x-ray>, Diakses pada 2 Agustus 2018.
- [2] D. Segal, E. Palmanovich, A. Faour, E. Marom, V. Feldman, E. Yaacobi, O. Slevin, B. K. dan Y. S. Brin, "Routine early post-operative X-ray following internal fixation of intertrochanteric femoral fractures is unjustified: a quality improvement study", *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-6, Juli 2018.
- [3] O. Lubovsky, M. Liebergall, Y. Mattan, Y. Weil, R. Mosheiff, "Early diagnosis of occult hip fractures MRI versus CT scan", *Injury*, Vol. 36, No. 6, pp. 788-792, Juni 2005.
- [4] <http://siui-ndt.ru/assets/files/UT-Probe.pdf>, Diakses pada 25 Juli 2018.
- [5] L. R. Galván, R. R. Ruiz, dan E. S. Gómez, "C-Mode Ultrasonic System Based in Piezoelectric Ceramics and PVDF Polymers for Several Acoustic Impedances", *Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1-4, Desember 2006.
- [6] <http://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1983/7/83.07.05.x.html>, Diakses pada 30 Juli 2018.
- [7] <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>, Diakses pada 2 Agustus 2018
- [8] J. Blahuta, T. Soukup, P. Čermák, dan M. Večerek, "Computer analysis and evaluation of ultrasound B-images universally usable due to principle of B-MODE and its displaying in grayscale", *Communications, Signal Processing, and their Applications*, pp. 1-6, April 2015.
- [9] J. Aerssens, S. Boonen, G. Lowet, dan J. Dequeker, "Interspecies Differences in Bone Composition, Density, and Quality: Potential Implications for in Vivo Bone Research", *Endocrinology*, Vol. 139, No. 2, pp. 663-670, Februari 1998.
- [10] A. Pearce, R. Richards, S. Milz, E. Schneider dan S. Pearce, "Animal Models For Implant Biomaterial Research In Bone: A Review", *European Cells and Materials*, Vol. 13, pp. 1-10, Maret 2007.
- [11] M. S. Taljanovic, M. D. Jones, J. T. Ruth, J. B. Benjamin, J. E. Sheppard, dan T. B. Hunter, "Fracture Fixation", *RadioGraphic*, Vol. 23, No. 6, pp. 1569-1590, November 2003.
- [12] A. I. Gunawan, N. Hozumia, K. Takahashia, S. Yoshidab, Y. Saijoc, K. Kobayashid, dan S. Yamamotoe, "Numerical analysis of acoustic impedance microscope utilizing acoustic lens transducer to examine cultured cells", *Ultrasonics*, Vol. 63, pp. 102-110, Desember 2015.
- [13] A. I. Chen, M. L. Balter, M. I. Chen, D. Gross, S. K. Alam, T. J. Maguire, dan M. L. Yarmush, "Multilayered tissue mimicking skin and vessel phantoms with tunable mechanical, optical, and acoustic properties", *Medical Physics*, Vol. 43, No. 6, pp. 3117-3131, Juni 2016.
- [14] J. R. Cook, R. R. Bouchard, dan S. Y. Emelianov, "Tissue-mimicking phantoms for photoacoustic and ultrasonic imaging", *Biomedical Optics Express*, Vol. 2, No. 11, pp. 3193-3206, November 2011.
- [15] E. B. Prastika, A. I. Gunawan, B. S. B. Dewantara, C. E. Prianto, dan N. Hozumi, "The Enhancement of 3 MHz Ultrasonic Echo Signal for Conversion Curve Development for Acoustic Impedance Estimation by Using Wavelet Transform," *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, Vol. 6, No. 1, pp. 105-123, June 2018.
- [16] T. Namas, dan M. Dogruel, "A Feasible and Accurate Technique for Determining the Time-of-Flight in Ultrasonic Distance Measurements", *Electronics in Marine*, Vol. 2, pp. 337-340, September 2008.

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

