

Pengukuran Kecepatan Suara dalam Media Air Menggunakan Sensor Ultrasonik

Miftakhul Khanan*¹, Ahmad Ashari²

¹Prodi Elektronika dan Instrumentasi, DIKE, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: *miftakhul.khanan@mail.ugm.ac.id, ashari@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Kecepatan suara dalam air berbeda-beda tergantung dengan kondisinya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan kecepatan suara dalam air, seperti kekentalan zat cair, suhu, tekanan, dll. Pada penelitian ini, dirancang sebuah alat untuk mengukur kecepatan suara dalam air dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik.

Sensor ultrasonik yang digunakan terdiri dari transmitter dan receiver. Sedangkan metode yang digunakan adalah metode indirect (tidak langsung) yakni dengan memanfaatkan pantulan suara. Gelombang ultrasonik 40kHz yang digunakan pada transmitter dihasilkan pembangkit sinyal AD9850. Sinyal yang diterima receiver masuk dan diolah pada mikrokontroler melalui sebuah komparator LM393 yang menjadikan sinyal HIGH dan LOW sehingga dapat dibaca secara langsung pada pin digital mikrokontroler.

Pengukuran dilakukan pada suhu air 27°C dengan media uji sepanjang 1 meter. Pengukuran dilakukan pada variasi jarak dari 5-90 cm dengan rentang 5 cm. Dengan mengetahui selisih waktu antara sinyal yang dipancarkan dan diterima serta dengan diketahui jarak tempuh gelombang, kecepatan suara dalam air yang didapatkan dalam penelitian sebesar (1394 ± 27) m/s dengan koefisien determinasi sebesar 0,998.

Kata kunci—Ultrasonik, Sensor Ultrasonik Tahan Air, Kecepatan Suara dalam Air, Metode Indirect

Abstract

The speed of sound in water varies depending on the condition. There are several factors that affect the difference in the speed of sound in water, such as the viscosity, temperature, pressure, etc. In this study, designed a tool to measure the speed of sound in water by utilizing ultrasonic waves.

The ultrasonic sensor used consists of transmitter and receiver. The method used is indirect method by using sound reflection. The 40kHz ultrasonic wave used on the transmitter is generated by the AD9850 signal generator. Signals received receiver in and processed on a microcontroller through an LM393 comparator that makes the signal HIGH and LOW so it can be read directly on the digital pins of microcontroller.

Measurements were made at a water temperature of 27°C with 1 meter test medium. The measurement is done on variation of distance from 5-90 cm with span of 5 cm. By knowing the time difference between the transmitted and received signal and the known wave range, the speed of sound in the water obtained in the study was (1394 ± 27) m / s with the determination coefficient of 0.998.

Keywords—Ultrasonic, Waterproof Ultrasonic Sensor, Speed of Sound in Water, Indirect Method

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini gelombang ultrasonik telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk membantu mempermudah pekerjaan manusia, seperti dalam bidang industri, kedokteran, geologi, robotika, dan bidang lainnya. Salah satu hal yang paling penting dalam pengukuran menggunakan gelombang ultrasonik adalah mengetahui kecepatan suara pada media rambat. Kecepatan suara sangat berguna untuk kalibrasi perangkat dan untuk memperoleh turunan-turunan yang dihitung melalui kecepatan suara[1].

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20kHz. Gelombang ini dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas[2]. Sensor ultrasonik banyak yang telah diimplementasikan dalam dunia otomasi dan robotika darat. Sensor ultrasonik pada saat ini pun tidak menutup kemungkinan untuk diaplikasikan dalam air, seperti robot otomatis di dalam air, kapal selam, dan lainnya. Namun, perbedaan kepadatan molekul suatu zat dapat mempengaruhi kecepatan suatu benda. Kecepatan gelombang ultrasonik bervariasi pada medium yang berbeda[3]. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sesuai dan akurat, perlu mengetahui kecepatan suara sesuai dengan media rambat yang digunakan pada objek uji. Tidak mungkin satu acuan kecepatan suara digunakan kondisi yang berbeda-beda. Di antara faktor yang mempengaruhi kecepatan suara dalam air adalah suhu, salinitas (jumlah zat yang terlarut), kekentalan, dan kedalaman/tekanan[1, 4].

Selain untuk mengukur jarak, saat ini sensor ultrasonik juga banyak digunakan hal lain seperti mengukur masa jenis zat cair, menentukan karakter dari zat cair dan lain-lain. Semua aplikasi tersebut menggunakan dasar penghitungan dengan mengetahui kecepatan suara pada media masing-masing yang diuji.

Metode untuk menghitung kecepatan suara dalam air yang telah ada seperti mengukur kecepatan suara dalam air dengan garpu tala terbilang cukup rumit. Adapun metode lain yang lebih canggih alat yang digunakan tidak sederhana dan tidak mudah didapat. Karena sulitnya mengukur kecepatan suara dalam air dan dengan tersedianya sensor ultrasonik yang dapat digunakan, maka perlu dilakukan pengukuran kecepatan suara dalam media air dengan cara yang lebih mudah dan sederhana menggunakan sensor ultrasonik agar mendapatkan hasil yang aktual dan tidak memakan banyak waktu dalam pengukurannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Analisis Sistem

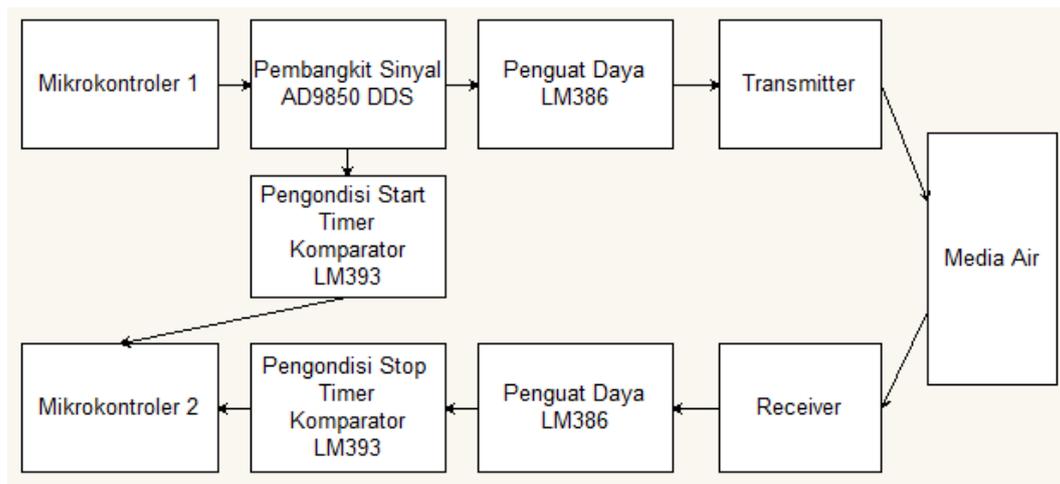
Terdapat beberapa teknik pengujian untuk memanfaatkan gelombang ultrasonik, teknik pertama adalah teknik *direct*, yaitu teknik dengan meletakkan kedua sensor di permukaan yang berbeda. Teknik kedua adalah teknik *semi direct*, yaitu dengan memposisikan kedua sensor di permukaan yang berbeda dengan sudut 90 derajat, dan teknik *indirect* yaitu teknik pengukuran dengan meletakkan kedua sensor di permukaan yang sama[5].

Sistem yang dirancang pada penelitian ini bertujuan untuk mengukur kecepatan suara di dalam air dengan menghitung waktu tempuh gelombang ultrasonik sejak dipancarkan oleh transmitter dan diterima oleh receiver yang diukur secara *indirect* (tidak langsung) dengan memanfaatkan pantulan gelombang. Agar sistem dapat diterapkan di dalam air, maka dalam rancangan ini digunakan transduser ultrasonik tahan air.

Air mempunyai kerapatan zat yang lebih tinggi dari udara, sehingga gelombang ultrasonik yang dipancarkan mengalami atenuasi (pelemahan)[6]. Proses ini disebabkan oleh penyebaran gelombang dan absorpsi (penyerapan) gelombang dan diragukan bisa mencapai receiver dengan baik[6]. Untuk itu diperlukan penguatan daya gelombang ultrasonik pada transmitter agar dapat diterima oleh receiver.

2.2 Perancangan Sistem

Sistem ini menggunakan dua mikrokontroler, mikrokontroler pertama digunakan untuk membangkitkan sinyal sebesar 40kHz dan mikrokontroler ke-dua digunakan untuk sinkronisasi waktu tempuh perambatan gelombang ultrasonik. Untuk membangkitkan sinyal 40kHz berbentuk gelombang sinusoidal, mikrokontroler pertama yaitu sebagai pembangkit sinyal menggunakan Arduino Uno dan modul *digital to analog converter* berupa AD9850[7]. Modul AD9850 memiliki V_{pp} (Tegangan puncak ke puncak) output dalam kisaran 1V yang terbilang kecil, maka dari itu sinyal yang dihasilkan oleh modul AD9850 DDS dikuatkan menggunakan op-amp LM386 sebelum sinyal 40kHz diteruskan ke *transmitter* transduser ultrasonik. Diagram keseluruhan sistem terdapat pada Gambar 1.



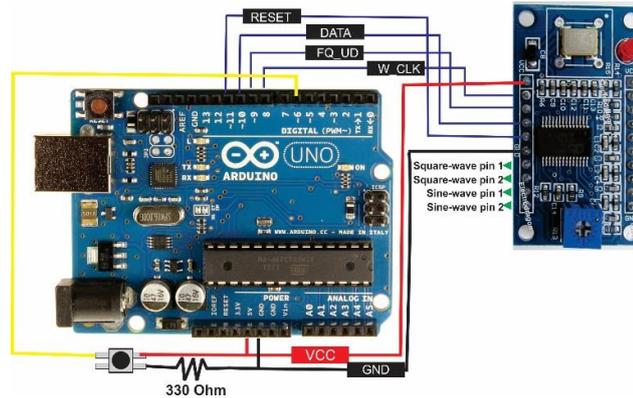
Gambar 1 Diagram blok sistem secara keseluruhan

Karena adanya atenuasi, amplitudo gelombang akan mengecil apabila jarak pantul semakin jauh, sebaliknya amplitudo semakin besar apabila jarak pantul semakin dekat[7]. Oleh karena itu gelombang dikuatkan kembali dengan penguat daya LM386.

Komparator menerima tegangan yang dihasilkan oleh penguatan *receiver*. Komparator berfungsi sebagai *Schmitt Trigger*, *Schmitt trigger* adalah rangkaian yang berfungsi menajamkan sudut gelombang agar gelombang analog bisa diterima pin digital mikrokontroler dengan lebih baik[8]. Rangkaian komparator juga sekaligus mengatur kembali tegangan agar berada pada rentang tegangan yang didukung oleh mikrokontroler.

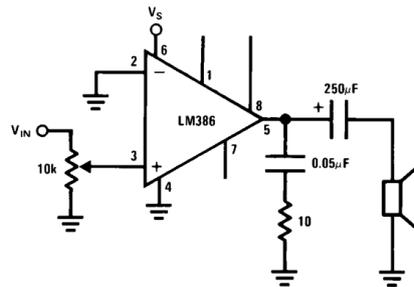
2.3 Rancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini berupa mikrokontroler, pembangkit sinyal AD9850, rangkaian penguat, rangkaian komparator, dan transduser ultrasonik tahan air. Sensor ultrasonik yang digunakan pada penelitian ini berupa dua transduser ultrasonik tahan air yang berfungsi sebagai bagian *transmitter* dan *receiver* dan bekerja pada frekuensi 40kHz. Pada bagian transmitter, pembangkit pulsa 40 kHz yang digunakan adalah modul AD9850 yang diatur dengan mikrokontroler Arduino Uno. Mikrokontroler akan mengirimkan instruksi-instruksi kepada modul AD9850 agar mengubah nilai yang telah dimasukkan oleh pengguna menjadi sebuah bentuk gelombang sinus[7]. Konfigurasi pin untuk AD9850 dengan Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 2.



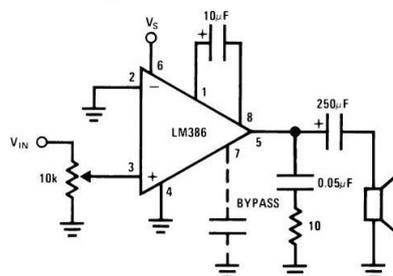
Gambar 2 Konfigurasi pin modul AD9850 dengan Arduino Uno

Pulsa 40 kHz dikuatkan oleh rangkaian audio amplifier LM386. Rangkaian *audio amplifier* LM 386 mendapatkan sumber 12 V dari baterai. Rangkaian *audio amplifier* tersebut dapat menguatkan daya gelombang. Dengan menggunakan LM386 beserta konfigurasi menurut datasheet yang ditunjukkan pada Gambar 3 tegangan input berupa sinyal 40kHz dapat dikuatkan hingga 20 kali. Penguatan akan menjadi 20 kali apabila kaki IC satu dan delapan dalam keadaan terbuka[9]. Dengan menggunakan tegangan referensi sebesar 12V maka sinyal input yang dihasilkan oleh modul AD9850 yang kecil dapat dikuatkan hingga 12V serta diatur resolusi penguatannya menggunakan trimmer potensiometer 10k Ω .



Gambar 3 Rangkaian LM386 penguatan 20 kali

Sinyal 40kHz yang dipancarkan oleh transmitter sebesar 12V mengalami pelemahan daya saat melalui zat cair yang berbanding lurus dengan jarak antara receiver dan transducer ultrasonik, sehingga semakin jauh jarak antar transducer maka sinyal 40kHz akan semakin mengalami pelemahan daya. Agar memenuhi kebutuhan, maka sinyal yang diterima oleh receiver transducer ultrasonik akan dikuatkan kembali dengan penguatan 200 kali dengan rangkaian LM386 pada Gambar 4.

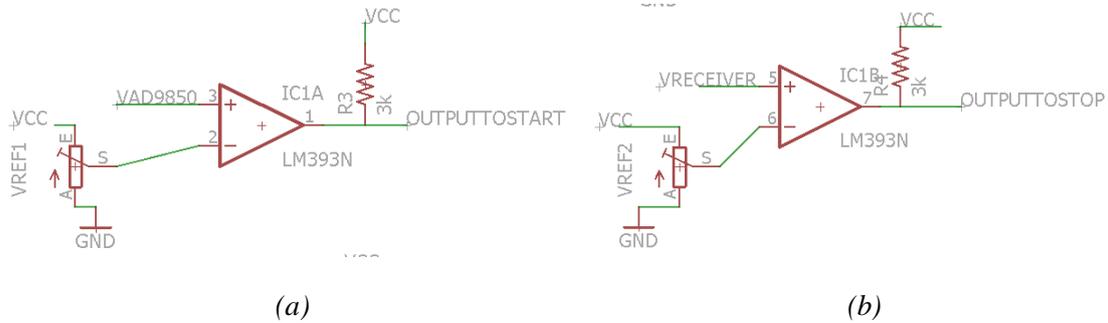


Gambar 4 Rangkaian LM386 penguatan 200 kali

Komparator bekerja dengan membandingkan dua tegangan, yaitu pada input negatif (-) dan input positif (+). Pada implementasi ini input negatif (-) dijadikan sebagai Vref (tegangan referensi) dan input positif (+) disambungkan dengan Vin (tegangan input) sebagai sinyal masukan. Apabila Vin lebih besar dari Vref, maka tegangan output adalah mendekati tegangan

VCC yang digunakan yaitu 5V dan apabila V_{in} lebih kecil dari V_{ref} , maka tegangan output adalah 0V. Maka komparator berfungsi untuk membandingkan sinyal masukan dengan tegangan referensi dan mengubahnya ke dalam biner digital [10,11].

Gambar 5 (a) menunjukkan konfigurasi pada komparator untuk *start time*. Output dari komparator pada Gambar 5 (a) menjadi input pin digital Arduino Uno yang akan mengaktifkan fungsi `micros()` untuk mencatat waktu awal sinyal ultrasonik dipancarkan.



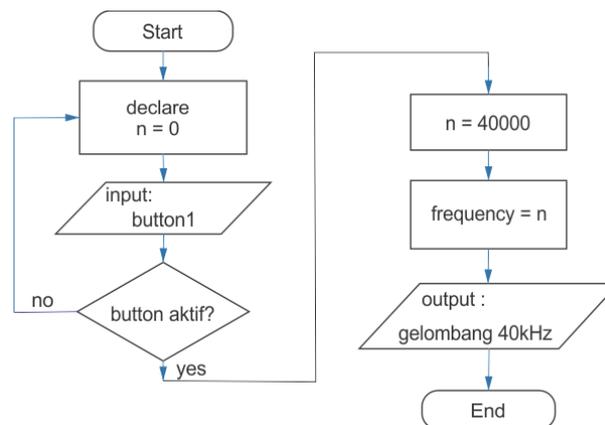
Gambar 5 Rangkaian komparator LM393

Gambar 5 (b) merupakan rangkaian komparator untuk menentukan *stop time*. Output dari komparator pada Gambar 5 (b) menjadi input interrupt pin 3 Arduino Uno yang akan mengaktifkan fungsi `micros()` untuk mencatat waktu ketika gelombang ultrasonik mencapai receiver.

2.4 Rancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak diprogram dengan menggunakan Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ dan ditanamkan ke modul Arduino dengan perintah *upload*. Program pada sistem ini terdiri dari *transmitter* dan *receiver*.

Program untuk *transmitter* terdiri dari fungsi yang bertugas sebagai pembangkit pulsa yaitu bagian yang memproduksi gelombang ultrasonik berfrekuensi 40kHz.

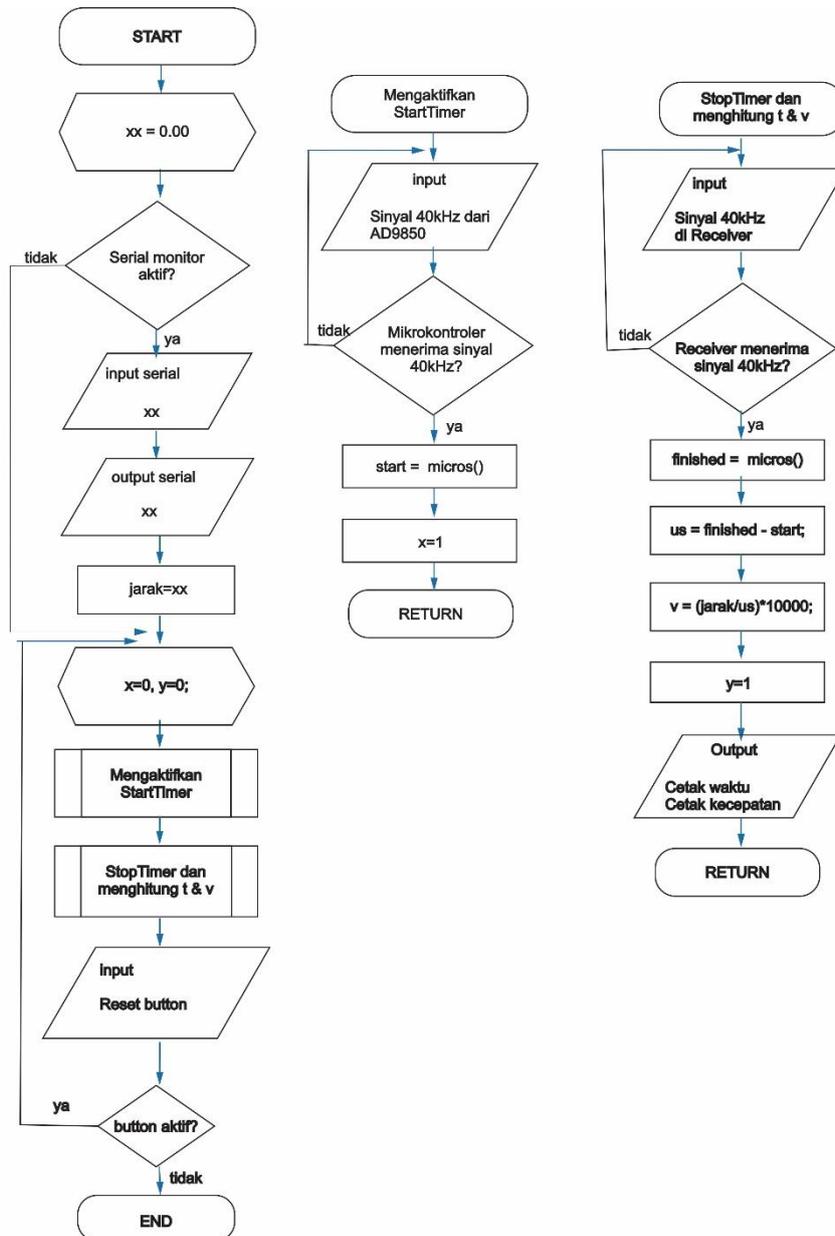


Gambar 6 Diagram alir pembangkit pulsa pada *transmitter*

Diagram alir pada Gambar 6 menunjukkan berfungsi untuk mengaktifkan AD9850 sebagai pembangkit sinyal. Push button digunakan untuk memicu AD9850 menghasilkan gelombang 40kHz. Apabila push button tidak aktif, tidak ada sinyal yang dipancarkan.

Receiver bertugas untuk mencatat waktu diterimanya gelombang dan melakukan penghitungan waktu tempuh sekaligus kecepatan suara dalam air. Menggunakan fungsi `micros()` waktu penerimaan gelombang dapat dicatat dan dengan mengurangi kedua waktu yang didapat dapat diperoleh berapa lama gelombang merambat di air. Waktu yang didapatkan

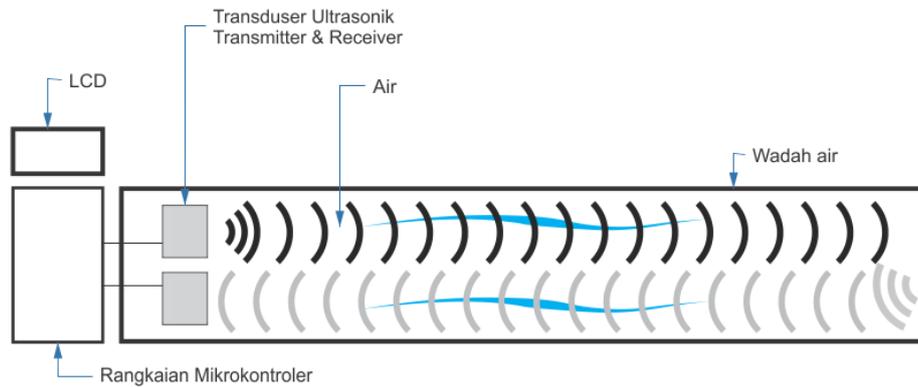
kemudian ditampilkan di *serial monitor* yang disediakan Arduino IDE. Diagram alur program pada receiver ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram alur program receiver

2.5 Rancangan Pengujian

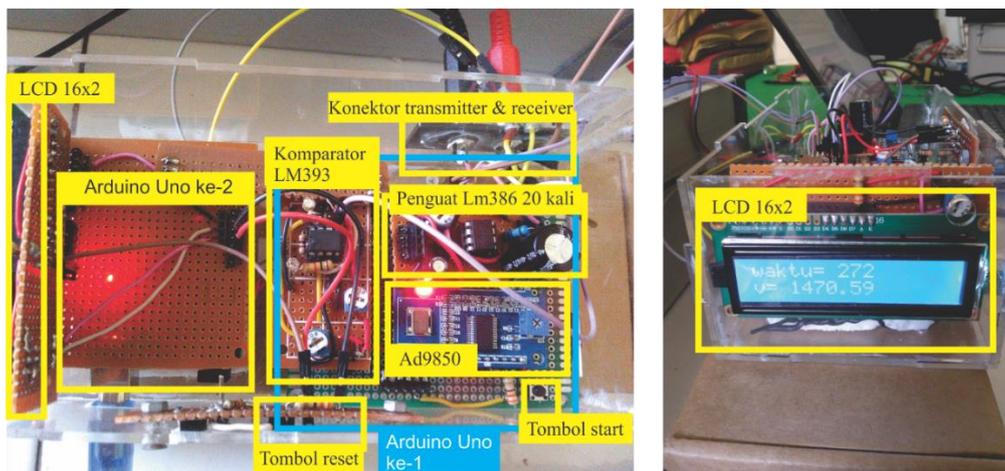
Pengujian dilakukan pada media horizontal sepanjang 1 meter berisi air dengan meletakkan sensor pada satu tempat yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sensor ultrasonik diletakkan dalam sebuah wadah dengan panjang 1 meter berisi air yang dilabeli ukuran sentimeter (cm) yang dikalibrasikan dengan mistar untuk mengetahui pada jarak berapa pengukuran dilakukan. Pengukuran dilakukan dengan variasi jarak dari 5-90 cm dengan rentang jarak setiap 5cm dengan jumlah pengambilan data pada masing-masing variabel sebanyak 10 kali. Suhu dan tekanan tidak divariasikan dalam pengujian ini. Tekanan dianggap normal yakni sekitar 1 atm atau 0,1 MPa dan suhu air diukur menggunakan termometer.



Gambar 8 Sistem pengujian sensor ultrasonik dalam air dengan metode *indirect*

2.6 Implementasi

Gambar 9 merupakan gambar alat yang telah diimplementasikan. Alat terdiri dari komponen-komponen penyusun yang telah disebut dalam rancangan, yakni 2 Arduino Uno, sensor, pembangkit pulsa AD9850, komparator, penguat daya, tombol serta LCD untuk menampilkan data yang diukur.



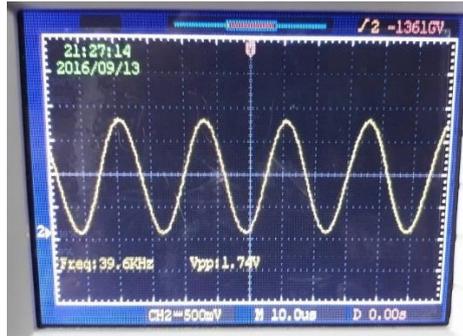
Gambar 9 Implementasi alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilakukan pengujian supaya diketahui bahwa alat bekerja dengan baik secara keseluruhan, pengujian dilakukan kepada masing-masing bagian alat. Pengujian meliputi pengujian pembangkit pulsa, pengujian penguat penguat daya, pengujian penguat tegangan *receiver* dan pengujian komparator. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop, setelah keseluruhan penyusun alat selesai diuji, alat kemudian diaplikasikan ke objek uji.

3.1 Pengujian Pembangkit Pulsa

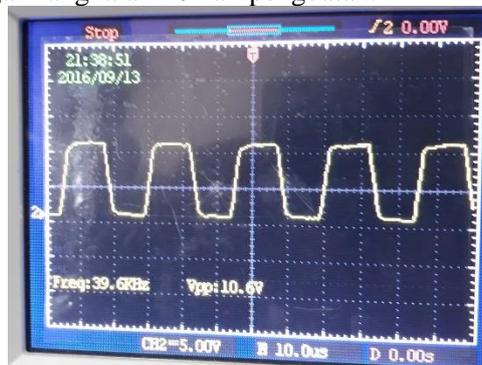
Modul AD9850 yang mendapat input clock bernilai 1 dari push button yang masuk melalui Arduino Uno akan menghasilkan pecahan gelombang 40kHz dengan bentuk sinyal sinusoidal. Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian modul AD9850 yang ditampilkan pada osiloskop.



Gambar 10 Sinyal 40kHz dari modul AD9850

3.2 Pengujian Penguat Daya Transmitter

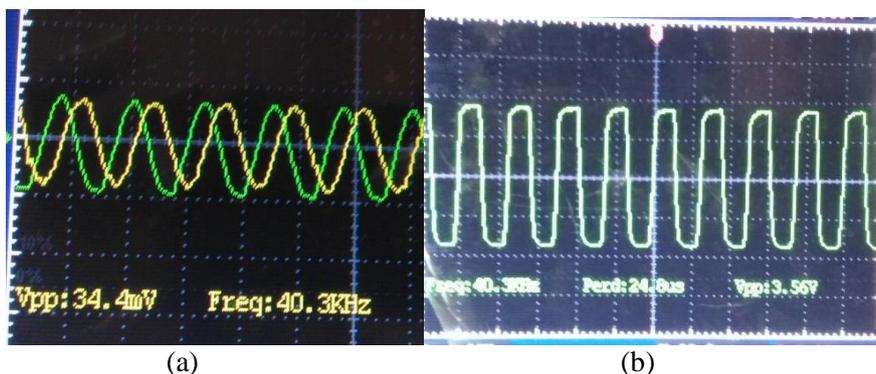
LM386 berfungsi menguatkan daya yang bertujuan agar gelombang yang dipancarkan oleh *transmitter* mampu untuk merambat dalam air dan mencapai transduser ultrasonik yang digunakan sebagai receiver. Rangkaian yang diimplementasikan pada LM386 di bagian transmitter adalah rangkaian dengan penguatan sebesar 20 kali. Gambar 11 menunjukkan sinyal yang sudah dikuatkan dengan rangkaian 20 kali penguatan.



Gambar 11 Penguatan daya transmitter

3.3 Pengujian Penguatan Daya Receiver

Tegangan yang diterima *receiver* dari *transmitter* melemah dari 10V menjadi kisaran 34.4mV ditunjukkan pada Gambar 12 (a), kemudian dikuatkan kembali oleh rangkaian penguat daya 200 kali pada *receiver* ditunjukkan pada Gambar 12 (b).

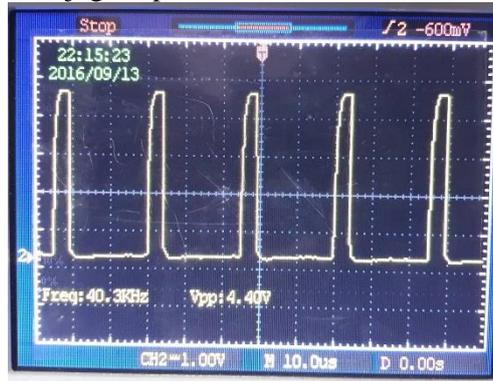


Gambar 12 Sinyal receiver yang dikuatkan

3.4 Pengujian Komparator

Dengan tegangan referensi sebesar 5V, tegangan masukan 1,74V dari AD9850 dikeluarkan oleh komparator ini ditunjukkan oleh Gambar 13 dengan tegangan sebesar 4.40V

sehingga *start timer* dapat diaktifkan. Keluaran dari *receiver* juga disambungkan dengan komparator sehingga *stop timer* juga dapat aktif.



Gambar 13 Pengujian komparator

3.5 Pengujian pada Air

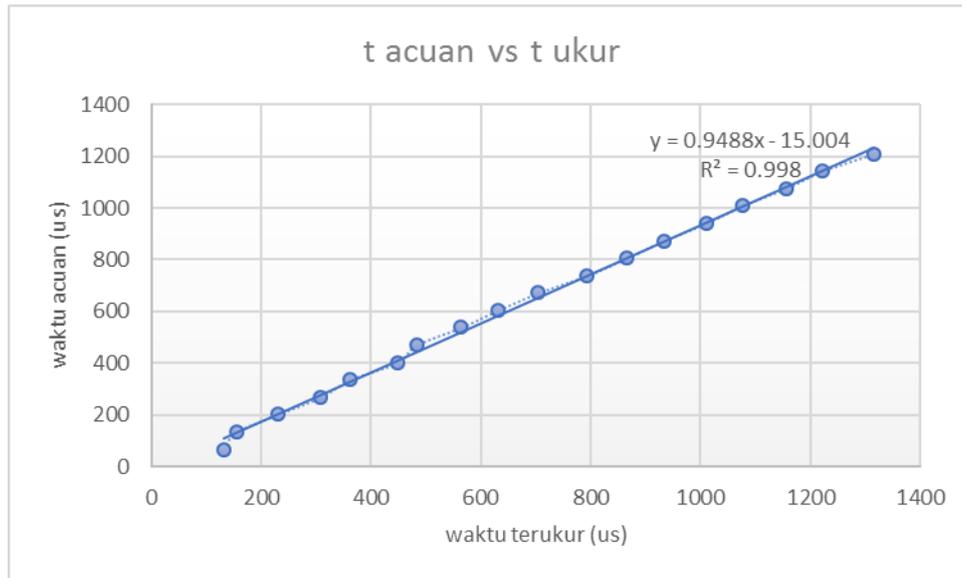
Pengujian dilakukan pada air dengan suhu dan tekanan yang tidak dimanipulasi yakni suhu air 27°C dan tekanan dianggap normal pada 1 atm atau 0,1 MPa. Tabel 1 menyajikan data ringkas berupa rata-rata pengukuran waktu tempuh dari 10 data yang diukur dari jarak 5cm sampai 90cm dengan rentang sebesar 5cm di setiap pengukurannya.

Tabel 1 Waktu tempuh rata-rata pengujian

Jarak (cm)	Waktu tempuh seharusnya (us)	Waktu tempuh rata-rata uji (us)	Selisih (us)
5	67	132	61
10	134	155	12
15	202	231	17
20	269	309	24
25	336	367	5
30	403	449	21
35	470	481	16
40	538	564	7
45	605	632	10
50	672	705	8
55	739	794	9
60	806	866	10
65	874	934	7
70	941	1011	12
75	1008	1076	6
80	1075	1155	14
85	1142	1222	9
90	1210	1316	32

Waktu tempuh rata-rata dari pengujian dan waktu tempuh menurut acuan pada Tabel 1 selanjutnya diplot untuk menentukan regresi linearnya. Perbandingan antara waktu menurut acuan dan waktu yang terukur ditunjukkan pada Gambar 14.

Berdasarkan grafik pada Gambar 14 diperoleh persamaan regresi linear yang berlaku untuk pengujian pada air dengan suhu 27°C yaitu, $Y = 0.9488x - 15.004$ dan nilai koefisien determinasinya adalah sebesar 0,998. Koefisien determinasi pada intinya mengukur seberapa jauh kemampuan sebuah model dalam menerangkan variabel dependen. Nilai yang mendekati 1 (satu) berarti variabel-variabel independen sudah dapat memberi semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen.



Gambar 14 Grafik perbandingan waktu acuan dengan waktu terukur

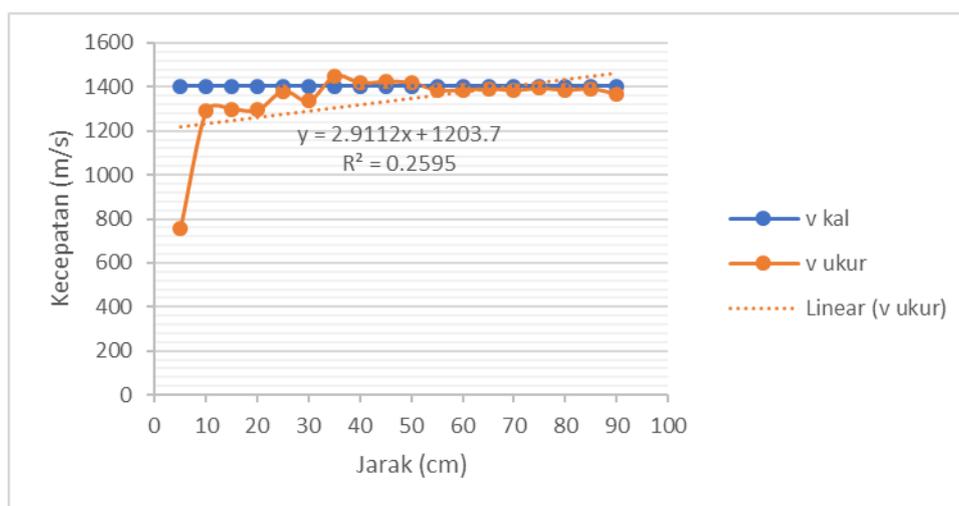
Dengan mengetahui waktu dan jarak tempuhnya, kecepatan suara dalam air dengan pada pengujian ini ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada jarak 5cm hasil pengukuran kecepatan suara yang didapat jauh berbeda pada jarak yang lain. Hal ini mengindikasikan bahwa pada jarak 5cm sensor ultrasonik yang digunakan tidak dapat bekerja secara maksimal. Pada jarak 10cm sampai 20cm walaupun selisihnya tidak terlalu jauh dengan kecepatan suara ketika diukur pada jarak 25cm atau lebih, tetapi mulai pada angka 1200 sedangkan pada jarak 25cm lebih di atas angka 1300.

Tabel 2 Kecepatan suara hasil pengujian

Jarak (cm)	V Pengujian 5-90cm (m/s)	V Pengujian 10-90cm (m/s)	V Pengujian 25-90cm (m/s)
5	758		
10	1290	1290	
15	1299	1299	
20	1295	1295	
25	1381	1381	1381
30	1336	1336	1336
35	1449	1449	1449
40	1418	1418	1418
45	1424	1424	1424
50	1418	1418	1418
55	1385	1385	1385
60	1386	1386	1386
65	1392	1392	1392
70	1385	1385	1385
75	1394	1394	1394
80	1385	1385	1385
85	1391	1391	1391
90	1368	1368	1368
Rata-rata	1342	1376	1394
Standar Deviasi	152	46	27

Sesuai dengan spesifikasi yang terdapat dalam datasheet sensor bahwa jarak minimal untuk menggunakan sensor adalah 25cm. Pada jarak 10-20cm sensor tetap dapat digunakan, tetapi hasilnya kurang optimal. Sedangkan pada jarak 5cm tidak dianjurkan untuk melakukan pengukuran karena waktu tempuh yang didapat yaitu 132us merupakan batas minimal selama pengukuran dan tidak bisa lebih kecil dari itu.

Karena pertimbangan jarak 5cm tidak dianjurkan untuk dilakukan pengukuran, maka dalam penghitungan rata-rata kecepatan suara pada Tabel 2, v Pengujian pada jarak 5cm diabaikan, sehingga didapatkan rata-rata kecepatan suara adalah 1376m/s dengan SD (Standar Deviasi) atau nilai ralat terhitung 46. Dengan demikian pengukuran kecepatan suara yang didapatkan melalui pengujian pada jarak 10-90cm adalah (1376 ± 46) m/s. Namun, apabila jarak yang digunakan adalah jarak terbaik yang disarankan yaitu mulai dari 25cm kecepatan suara dalam air yang diperoleh adalah (1394 ± 27) m/s.



Gambar 15 Grafik perbandingan v kalibrasi dengan v terukur

Setelah mendapatkan hasil pengukuran kecepatan suara dalam air, kecepatan suara yang terukur dibandingkan dengan kecepatan suara yang menjadi acuan, lebih khusus lagi pada suhu yang digunakan yakni 27°C . Perbandingan antara kecepatan suara acuan dan yang terukur ditampilkan dalam grafik pada Gambar 15. Grafik menunjukkan bahwa sensor mulai bekerja pada jarak ukur 10cm. dan pengukuran menjadi lebih baik mendekati nilai acuan pada jarak 25cm.

4. KESIMPULAN

Alat yang dirancang berhasil mengukur kecepatan suara dalam air dengan metode *indirect* (pantulan suara) memanfaatkan sensor ultrasonik. Alat dapat mengukur kecepatan suara dengan baik pada jarak di atas 20cm. Kecepatan suara dalam air terbaik yang diperoleh alat adalah 1394 ± 27 m/s pada suhu 27°C .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. H. Baltasar, M. Taravillo, V. G. Baonza, P. D. Sanz, and B. Guignon, "Speed of Sound in Liquid Water from (253.15 to 348.15) K and Pressures from (0.1 to 700) MPa" *J. Chem. Eng. Data*, vol. 56, no. 12, pp 4800–4807, Nov. 2011 [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/je200668a>. [Accessed: 20-Mar-2018]

- [2] V. Susilo, V.C. Poekoel, and P.D.K. Manembu, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kedalaman Sungai" *e-J. Tek. Elek. dan Komp.*, vol. 4, no. 4, pp. 1-6, 2015 [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/viewFile/8466/8044> [Accessed: 4-Apr-2018]
- [3] S. Suryono, B. Surarso, and R. Saputra, "Sistem Akuisis Data Komputer Pada Sensor Ultrasonic Ranger Untuk Pengukuran Level Muka Air" *Berkala Fisika E. J. Undip.*, vol. 16, no. 4, pp. 1-14, Okt. 2016 [Online]. Available: https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/viewFile/6181/5237 [Accessed: 4-Apr-2018]
- [4] Supiyati and N. Romauli S., "Perambatan Suara dalam Air di Perairan Laut Bengkulu Menggunakan Model ODE (Ordinary Differential Equation)" *SIMETRI, J. Fisika Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 63-67, Jan. 2016 [Online]. Available: <https://jsimetri.files.wordpress.com/2016/07/j-simetri-v2-no2-2016-11-supiyatiunib-63-67.pdf> [Accessed: 28-Mar-2018]
- [5] H. Khoeri, "Non-Destructive Test Terhadap Semi Destructive Test Pada Shear Wall Beton Bertulang" *J. Konstruksia*, vol. 7, no. 2, pp. 1-12, Apr. 2016, Available: <https://doi.org/10.24853/jk.7.2.%25p> [Accessed: 4-Apr-2018]
- [6] A. Syafrudin, Suryono, and J. E. Suseno., "Rancang Bangun Generator Pulsa Gelombang Ultrasonik dan Implementasinya untuk Pengukuran Jarak Antara Dua Obyek", *Berkala Fisika E. J. Undip*, vol. 11, no. 2, pp. 29-37, Apr. 2008 [Online]. Available: https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/viewFile/2976/2661 [Accessed: 24-Feb-2018]
- [7] S. Swasoko, A. Rouf., "Rancang Bangun Pembangkit Pulsa Tiga Sensor Ultrasonik Untuk Pendeteksi Kecacatan Beton Berbasis Mikrokontroler", *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst., Vol.7, No.2, pp. 197-208, Oct. 2017.* [Online]. Available: <https://jurnal.ugm.ac.id/ijeis/article/view/24276/17908>. [Accessed: 21-nov-2017]
- [8] J. Blum and S. Fitzgerald, *Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry*. Indianapolis, Ind.: John Wiley & Sons, 2013, pp. 265 [E-book] Available: <https://www.wiley.com/>. [Accessed: 20-Feb-2018]
- [9] I. Dwicahyo Pratomo, A. Rouf, and T. Wahyu Supardi, "Pengukuran Jarak Lubang Pada Benda Padat Menggunakan Sensor Ultrasonik," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst., vol. 6, no. 1, p. 81, Apr. 2016* [Online]. Available: <https://jurnal.ugm.ac.id/ijeis/article/view/10774>. [Accessed: 11-Jan-2018]
- [10] Matalangi, "Pengendalian Parabola Bergerak Menggunakan Mikrokontroler", *ILKOM J. Ilmiah*, vol.9, no.1, pp. Apr. 2017 [Online] Available: <http://jurnal.fikom.umi.ac.id/index.php/ILKOM/article/viewFile/113/70> [Accessed: 4-Apr-2018]
- [11] A.K. Yapie, D. Nur'ainingsih, S.B. Kembaren, and H. Afandi, "Disain Komparator Presisi Teknologi Cmos Ams-o,35um Untuk Adc-pipeline80 Msps" *Universitas Gunadharma*, Feb. 2014 [Online]. Available: <http://repository.gunadarma.ac.id/323>. [Accessed: 29-Mar-2018]