

DETEKSI TARGET 2D MENGGUNAKAN ARRAY TRANSDUSER UNTUK APLIKASI SONAR

2D TARGET DETECTION USING TRANSDUCER ARRAY FOR SONAR APPLICATION

Miftahul Firdaus¹, Dharu Arseno, S.T., M.T.², Edwar, S.T., M.T.³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹firdausmiftahul@student.telkomuniversity.ac.id, ²darseno@yahoo.com, ³eduatgugel@gmail.com

Abstrak

SONAR (*Sound Navigation And Ranging*) adalah sistem yang mendeteksi suatu benda atau objek dengan mengirimkan sinyal suara dan menunggu gelombang pantulan atau *echo* untuk mendeteksi suatu target. SONAR (*Sound Navigation and Ranging*) sering digunakan di dunia kelautan sebagai alat navigasi kapal militer dan untuk mendeteksi suatu target yang berada didalam laut. Pada tugas akhir ini telah dirancang purwarupa sistem SONAR menggunakan transduser sensor HC-SR-04 dengan mikrokontroler *Arduino Mega 2560*. Pada perancangan sistem tersebut penulis menggunakan tiga skenario percobaan yang dilakukan pada medium udara atau diruangan terhadap target buatan. Percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan satu sensor di mana didapatkan posisi target dan tingkat akurasi dari sensor adalah 97% hingga 99,99% dan jarak maksimum sensor HC-SR04 untuk mendeteksi target adalah 397 cm. Percobaan kedua menggunakan dua sensor yang tersusun secara horisontal dengan arah dari sensor kedua dibuat miring kearah sensor pertama dan target digerakkan kearah sensor pertama, dari percobaan kedua diketahui sudut yang dibentuk oleh sensor kedua sekitar 21° sampai 44° dan jangkauan jarak maksimal yang bisa didapatkan oleh sensor ke-2 adalah pada saat target berada pada jarak 17 cm dari sensor ke-1 dengan sudut kemiringan sensor ke-2 adalah 44°. Pada percobaan ketiga penulis menggunakan tiga sensor yang tersusun secara vertikal yang digerakkan secara horisontal terhadap target buatan, hasil dari percobaan ketiga adalah dapat diperkirakan tinggi dari target buatan tersebut.

Kata kunci : SONAR, transduser, sensor HC-SR04, *Arduino Mega 2560*

Abstract

SONAR (*Sound Navigation And Ranging*) is a system that detects a target. The workings of SONAR is transmit a sound signal and wait for a reflective wave or echo to detect a target. SONAR (*Sound Navigation and Ranging*) is often used in the marine world as a military ship navigation tool and to detect a target within the sea. In this final project has been designed prototype SONAR system using transducer in HC-SR-04 sensor with *Arduino Mega 2560* as microcontroller. In designing the system, writer use three scenario experiment conducted on air medium to detect the dummy target The first experiment was conducted using one sensor where the dummy target position was obtained and the accuracy of the sensor was 97% to 99,99% and the maximum distance of the HC-SR04 sensor to detect the target is 397 cm. The second experiment uses two horizontally arranged sensors with the direction of the second sensor made tilted towards the first sensor and the target is moved towards the first sensor, from the second experiment it is known that the angle formed by the second sensor is around 21° to 44° and the range of maximum distance that can be obtained by the 2nd sensor is when the target is at a distance of 17 cm from the 1st sensor with the angle of the 2nd sensor is 44°. In the third experiment the authors used three vertically arranged sensors that were moved horizontally to detect the dummy target, the results of the third experiment were predictably high from the dummy targets.

Keywords: SONAR, transducer, HC-SR04 sensor, *Arduino Mega 2560*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan panjang pantai lebih dari 81.000 km, dimana 2/3 wilayah kedaulatannya berupa perairan laut. Oleh karena itu Indonesia disebut negara maritim. Luasnya wilayah perairan Indonesia membuat Indonesia memiliki keanekaragaman hayati laut. Pertahanan laut di Indonesia juga masih rawan terhadap kapal-kapal ilegal yang masuk wilayah Indonesia. Sehingga perlu teknologi yang berfungsi di dalam air untuk mengetahui kondisi laut Indonesia dan sebagai pertahanan

dalam laut yaitu berupa teknologi SONAR. Fungsi utama dari SONAR adalah mendeteksi estimasi posisi, kecepatan, dan identitas suatu benda [1]. Cara kerja dari SONAR adalah mengirimkan sinyal suara dan menunggu gelombang pantulan atau *echo* untuk mendeteksi suatu target. Dari pantulan sinyal suara tersebut atau *echo* yang diterima kita dapat mendeteksi keberadaan suatu target [2].

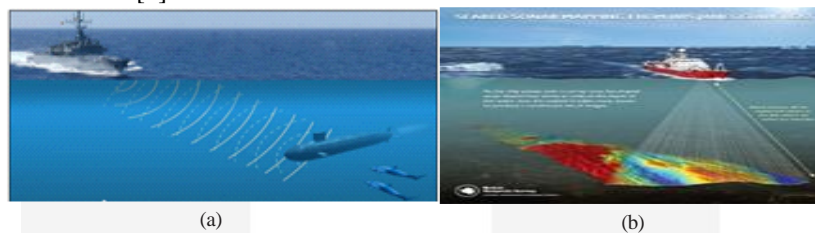
Pada tugas akhir ini penulis merancang sistem SONAR menggunakan transduser berupa sensor HC-SR04. Sensor HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang dapat mengukur posisi suatu objek. Untuk mengaktifkan sensor tersebut agar mendapatkan nilai jarak suatu objek maka perlu diprogram menggunakan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Arduino Mega 2560*. Data yang didapatkan dari sensor tersebut berupa jarak target terhadap sensor yang ditampilkan pada serial monitor.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat purwarupa suatu sistem SONAR menggunakan sensor HC-SR04 yang dapat digunakan untuk mendeteksi posisi suatu target dan mengetahui dimensi suatu objek dalam bentuk 2D yang dilakukan pada medium udara. Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa skenario percobaan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dan juga untuk mengetahui dimensi dari target yang dideteksi dengan menggunakan sensor yang disusun secara horisontal maupun vertikal.

2. Dasar Teori

2.1 SONAR

Kata SONAR adalah akronim dari *sound navigation and ranging*. Tujuan utama dari SONAR adalah mendeteksi atau karakterisasi dari posisi, kecepatan, dan identitas dari suatu target. SONAR pertama kali dikembangkan pada abad 20, yaitu awalnya dimotivasi oleh pencarian kapal Titanic serta pada saat Perang Dunia untuk melakukan navigasi pada suatu kapal dan mendeteksi kapal yang lain [1]. Penerapan dari teknologi SONAR sudah sangat bervariasi. Beberapa fungsi dari SONAR adalah untuk mendeteksi ikan, pemetaan dasar laut, pendeteksian kondisi dasar laut apakah batuan atau pasir, untuk mendeteksi kapal selam, dan navigasi bawah air [2].



Gambar 1 Aplikasi dari penggunaan SONAR (a) untuk mendeteksi kapal selam (b) untuk melakukan pemetaan dasar laut

Prinsip kerja dari SONAR adalah mengirimkan sinyal suara dan ada *delay* waktu sebelum gelombang pantul diterima. *Delay* waktu ini yang akan menjadi variabel utama untuk mengetahui jarak suatu target:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

di mana d adalah jarak (m), t adalah waktu total gelombang suara kembali lagi ke receiver (s), dan v adalah kecepatan suara (m/s) [2]. Kecepatan gelombang suara mengacu pada gerakan longitudinal permukaan gelombang di medium dan berhubungan dengan panjang gelombang dan frekuensi dengan rumus sebagai berikut:

$$v = f \cdot \lambda \quad (2)$$

Kecepatan suara didalam laut tergantung dari suhu, kedalaman, dan tingkat kadar garam. Terdapat rumus empiris untuk melakukan perhitungan kecepatan suara yaitu oleh Leroy sebagai berikut

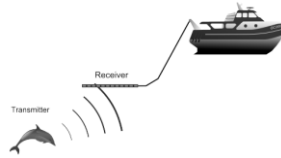
$$v = 1492.9 + 3(t - 10) - 6 \times 10^{-3}(t - 10)^2 - 4 \times 10^{-2}(t - 18)^2 + 1.2(s - 35) - 10^{-2}(t - 18)(s - 35) + h / 61 \quad (3)$$

di mana v merupakan kecepatan suara (m/s), t merupakan suhu ($^{\circ}\text{C}$), s merupakan tingkat kadar garam (ppt), dan h merupakan kedalaman (m) [5]. Sedangkan kecepatan suara di medium udara juga terpengaruhi oleh suhu udara dan kondisi atmosfer. Pada saat suhu udara sekitar 20°C dan kondisi atmosfer normal, kecepatan suara adalah 343 m/s. Pada umumnya, SONAR dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu sonar pasif dan aktif.

2.1.1. SONAR Pasif

SONAR pasif hanya menggunakan *receiver*, sehingga sinyal yang akan dideteksi adalah sinyal suara yang dipancarkan oleh target saja [1]. Sistem SONAR pasif biasanya digunakan untuk mendengarkan sinyal

suara yang diperoleh dari sekitar, misalnya suara dari kapal selam yang memancarkan SONAR kemudian sinyal tersebut diterima oleh kapal yang ada di permukaan atau kapal selam yang dapat menerima sinyal SONAR tersebut dan sumber suara lain yang ada di bawah laut seperti ikan yang mengeluarkan gelombang suara ultrasonik sehingga dapat digunakan untuk mengetahui posisi atau menentukan darimana suatu target berasal [2].

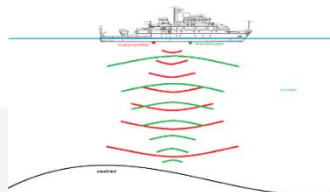


Gambar 2 Contoh dari aplikasi SONAR pasif

2.1.2. SONAR Aktif

SONAR aktif memiliki dua perangkat yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* sinyal suara. Di mana SONAR aktif dapat mengirimkan sinyal suara, saat sinyal suara tersebut mengenai suatu target maka sinyal suara tersebut akan dipantulkan [1]. Sehingga posisi target dapat diperkirakan dari waktu tunda sinyal suara tersebut diterima kembali. Oleh karena itu dari rentang yang diberikan dapat ditentukan jarak suatu target dengan persamaan (2.1) [2].

Sistem SONAR aktif biasanya digunakan pada kapal pencari ikan, kapal militer, dan kapal selam, serta untuk survey permukaan dasar laut [5][6]. Gambar 2.3 merupakan salah satu contoh aplikasi SONAR yang dipakai oleh kapal untuk melakukan pemetaan dasar laut di mana gelombang suara yang dikirim ke permukaan laut kembali lagi ke kapal.



Gambar 3 Contoh aplikasi SONAR aktif

Frekuensi gelombang suara dibagi menjadi tiga jenis yaitu infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik. Teknologi SONAR menggunakan frekuensi gelombang suara berupa ultrasonik.

Tabel 1 Tabel frekuensi gelombang suara

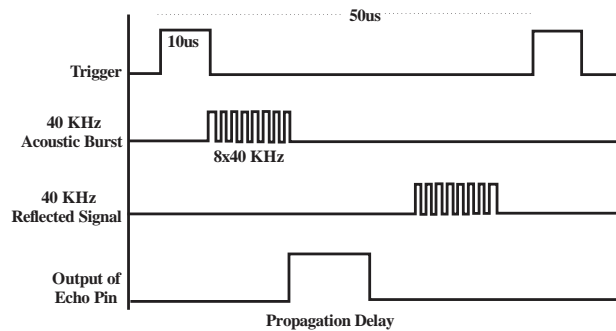
| No | Nama | Frekuensi | Keterangan |
|----|------------|-------------|--|
| 1 | Infrasonik | < 20 Hz | Dihasilkan oleh gempa bumi, gunung meletus, dan hanya dapat didengar oleh hewan seperti jangkrik dan anjing. |
| 2 | Audiosonik | 20 - 20 KHz | Frekuensi suara yang dapat didengar manusia. |
| 3 | Ultrasonik | > 20 KHz | Dapat didengar oleh hewan kelelawar dan lumba-lumba, pada bidang kesehatan digunakan pada USG, dapat digunakan dibidang pertahanan seperti pada kapal selam, untuk mengukur kedalaman laut, dll. |

2.2 Sensor HC-SR04



Gambar 4 Tampilan depan sensor HC-SR04

Sensor HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik pengukur jarak menggunakan sinyal akustik atau suara. Pada bagian depan sensor HC-SR04 terdapat dua bentuk silinder, di mana silinder tersebut merupakan transduser. Transduser tersebut berfungsi untuk mengubah sinyal gelombang mekanik ke sinyal elektrik. Pada sensor HC-SR04 terdapat transduser pengirim dan penerima. Sensor HC-SR04 memiliki frekuensi kerja 40 KHz.[7]



Gambar 5 Diagram waktu sinyal pada modul sensor HC-SR04

Gambar 4 menjelaskan diagram waktu keluaran gelombang ultrasonic pada sensor HC-SR04. Sensor tersebut memiliki sinyal keluaran berupa *pulse wave* sebesar 10µS TTL *pulse*. Di mana sensor HC-SR04 membutuhkan satu kali transmisi sinyal pulsa melalui pin Trig selama 10 mikrodetik untuk mengirimkan 8 siklus gelombang ultrasonic pada frekuensi 40 KHz untuk membangkitkan sinyal *echo*[8]. Sinyal *echo* tersebut merupakan jarak objek yang memiliki sinyal pulsa yang lebar. Untuk menghitung jarak objek berasal dari rentang waktu antara pengiriman sinyal *trigger* dan penerimaan sinyal *echo*. [7]

Berdasarkan dasar teori terkait SONAR bahwa gelombang suara akan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban udara. Berikut rumus untuk menghitung kecepatan suara pada medium udara dengan faktor yang mempengaruhi seperti suhu dan kelembaban:

$$v = 331.4 + (0.606 \times T) + (0.0124 \times H) \tag{4}$$

di mana v merupakan kecepatan suara (m/s) kecepatan, 331.4 merupakan kecepatan suara pada suhu 0 °C dan kelembaban pada 0%, T merupakan suhu (°C), dan H merupakan % kelembaban udara [9].

2.3 Arduino Mega 2560



Gambar 6 Tampilan Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah mikrokontroler *board based* yang menggunakan ATmega2560. Arduino Mega ini memiliki 54 pin digital *input/output* yang di mana terdapat 15 pin sebagai *output* PWM, 16 pin *input* analog, 4 pin untuk komunikasi UART, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack untuk daya, header ICSP, dan tombol reset[10]. *Arduino Mega 2560* ini digunakan pada tugas akhir ini sebagai mikrokontroler untuk memprogram sistem sensor HC-SR04 untuk mendapatkan jarak atau posisi suatu target. Pada kode program yang digunakan dimasukan persamaan (2.1) dengan menggunakan nilai kecepatan suara 0,343 cm/s suhu ruangan sekitar 20 °C dan kelembaban udara 0%.

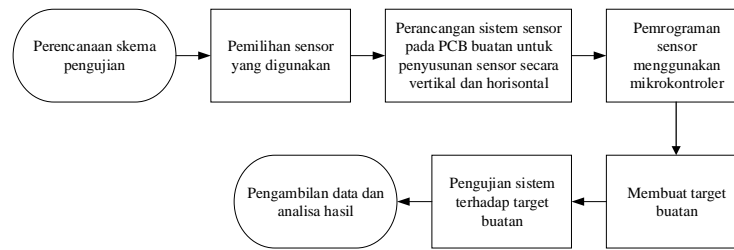
3. Pembahasan

3.1. Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini dibuat suatu sistem SONAR yang digunakan untuk melakukan pendeteksian terhadap suatu target yang akan diketahui posisi dan tinggi target tersebut. Sistem SONAR yang dibuat menggunakan sensor HC-SR04 untuk mendeteksi jarak target buatan dan tingkat akurasi dari sensor HC-SR04 dengan target buatan yang dipakai adalah *styrofoam* yang dibuat dengan bentuk dan ukuran yang berbeda-beda. Spesifikasi sensor HC-SR04 yang digunakan terdapat pada tabel 2. Skema perancangan sistem SONAR yang dibuat dapat dilihat pada gambar 7.

Tabel 2 Spesifikasi sensor HC-SR04

| Parameter | Keterangan |
|-----------------------------|----------------|
| Frekuensi | 40 KHz |
| Jarak maksimum | 4 m |
| Jarak minimum | 2 cm |
| Sinyal input <i>trigger</i> | 10µS pulsa TTL |
| Ukuran sudut | 15° |



Gambar 7 Realisasi perancangan percobaan pertama

Pada diagram alir diatas, skem perancangan sistem SONAR yang dibuat dimulai dari perencanaan skema pengujian di mana skema pengujian dijelaskan lebih lengkap pada sub bab 3.2. Percobaan dilakukan dengan sensor HC-SR04 disusun secara vertikal, sehingga dibuat PCB untuk keperluan uji coba pendeteksian target buatan dengan sensor yang disusun secara vertikal. Percobaan dilakukan pada ruangan dengan target buatan. Setelah itu dilakukan kode program terhadap *Arduino Mega 2560* dan dilakukan percobaan sistem untuk mendeteksi jarak yang didapatkan sensor terhadap target buatan. Data yang sudah didapatkan dianalisa untuk mengukur tingkat akurasi dari sensor HC-SR04 dan memplot data untuk menghasilkan dimensi yang didapatkan.

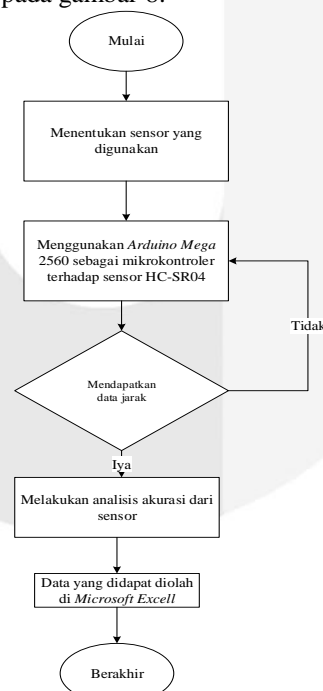
Untuk percobaan menggunakan satu sensor HC-SR04 sebagai *transmitter* dan *receiver*, maka akan didapatkan data jarak suatu target dari sensor tersebut. Dari data tersebut diolah untuk mencari tingkat akurasi dari sensor tersebut dengan menggunakan rumus

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \left(\frac{|R_1 - R|}{R}\right)\right) \times 100\% \quad (4)$$

di mana R_1 merupakan jarak yang didapatkan dari sensor dan R merupakan jarak sesungguhnya Langkah berikutnya melakukan percobaan dengan menggunakan dua hingga tiga sensor di mana sensor kedua hingga ketiga disusun secara vertikal.

3.2. Skema Pengujian

Skema pengujian perancangan sistem SONAR yang dibuat pada laporan ini untuk mendapatkan hasil posisi dari suatu target yaitu dengan menggunakan beberapa transducer atau sensor SONAR yang disusun. Perancangan skema pengujian dapat dilihat pada gambar 8.

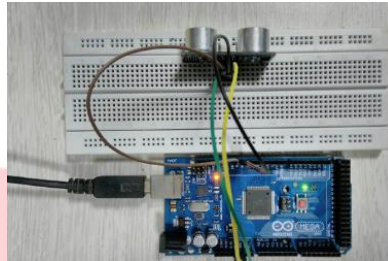


Gambar 8 Realisasi perancangan percobaan pertama

Sistem yang dibuat menggunakan sensor HC-SR04 dan menggunakan mikrokontroler *Arduino Mega 2560*. Perancangan sistem SONAR pada laporan ini dilakukan empat kali percobaan. Percobaan pertama adalah menggunakan satu sensor, percobaan kedua menggunakan dua sensor, percobaan ketiga menggunakan tiga sensor yang disusun secara vertikal. Semua percobaan dilakukan pada ruangan. Setiap percobaan akan dianalisa terkait tingkat akurasi sensor HC-SR04 dari hasil jarak sensor terhadap objek. Data hasil percobaan diolah pada *Microsoft Excel*.

3.3. Percobaan Pertama

Percobaan pertama adalah menggunakan satu sensor untuk mengukur jarak suatu target yang didapatkan dari sensor tersebut dan akan diketahui akurasi dari sensor tersebut. Target buatan yang digunakan pada percobaan pertama adalah target buatan berupa *styrofoam*. Di mana hasil jarak yang diperoleh dari pengukuran melalui sensor akan dibandingkan dengan jarak sesungguhnya. Dari perbandingan tersebut akan diperoleh tingkat akurasi sensor HC-SR04. Pada kode mikrokontroler masukkan persamaan (2.1) untuk mendapatkan jarak target dari sensor tersebut. Hasil jarak yang diperoleh melalui sensor yang diambil 5 sampel dari keluaran monitor serial.

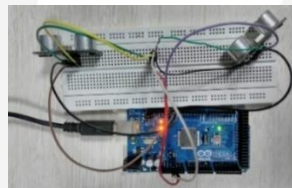


Gambar 9 Realisasi perancangan percobaan pertama

Data hasil jarak yang di dapatkan pada percobaan pertama terlampir pada tabel 3. Berdasarkan tabel 3 tingkat akurasi yang didapatkan dari sensor HC-SR04 adalah 97% hingga 99.99%. Jarak yang didapatkan ketika target berada pada jarak 1 cm dan 398 cm - 400 cm tidak dapat terdeteksi oleh sensor HC-SR04, sedangkan pada saat target berada pada jarak 397 cm target terdeteksi oleh sensor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak maksimum sensor HC-SR04 untuk mendeteksi target adalah 397 cm.

3.4. Percobaan Kedua

Pada percobaan kedua penulis menggunakan dua sensor yang tersusun secara horisontal dengan arah dari sensor kedua dibuat miring kearah sensor pertama. Berdasarkan skenario percobaan kedua, target digerakkan antara jarak 10 cm hingga 6 cm dari sensor pertama.



Gambar 10 Realisasi menggunakan dua sensor

Pada gambar 10 terlihat sistem tersebut direalisasikan pada *breadboard* dengan sensor kedua dibuat miring kearah sensor kedua. Jarak antara sensor pertama dan sensor kedua adalah 14,5 cm dan jarak sebenarnya dari sensor pertama ke target digerakkan secara dinamis sesuai dengan skenario percobaan yaitu digerakkan secara bertahap tiap 1 cm dari 6 cm sampai 18 cm. Dari skenario tersebut maka didapatkan jarak yang didapatkan pada sensor kedua. Data hasil percobaan kedua terlampir pada tabel 3. Berdasarkan hasil yang didapatkan diketahui bahwa perbandingan jarak sesungguhnya antara sensor ke-1 terhadap objek dengan jarak dari sensor ke-1 terhadap target berdasarkan hasil pemrograman sensor HC-SR04 pada *Arduino Mega 2560* tidak terlalu beda, sehingga didapatkan tingkat akurasi 98% hingga 99,75%. Pada saat target berada pada jarak 18 cm dari sensor ke-1, sensor ke-2 tidak mendapatkan data jarak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jangkauan maksimal yang bisa didapatkan oleh sensor ke-2 adalah pada saat target berada pada jarak 17 cm dari sensor ke-1 dengan sudut kemiringan sensor ke-2 adalah 44°. Maksud sudut yang ada pada tabel 4.2 adalah sudut yang didapatkan oleh kemiringan sensor ke-2 terhadap sensor ke-1. Sudut tersebut didapatkan dengan menggunakan persamaan (5).

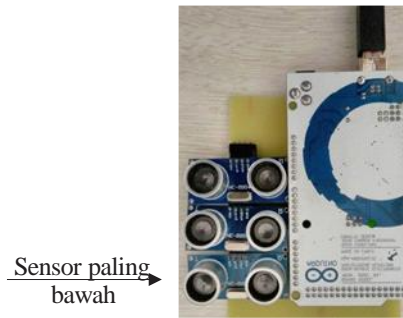
$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{R_1'}{R_2}\right) \quad (5)$$

dimana R_1 yang diambil hanya pada saat objek berada pada jarak 6 cm sampai 18 cm di mana R_1' adalah 14,5 cm.

3.5. Percobaan Ketiga

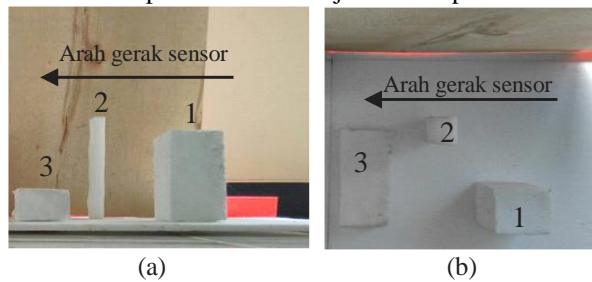
Pada percobaan ketiga penulis menggunakan tiga sensor yang tersusun secara vertikal yang dilakukan secara dinamis, di mana jarak antar sensor adalah 1 cm. Target merupakan *obstacle* yang dibuat dengan *styrofoam* dengan bentuk dan ukuran yang berbeda-beda di mana jarak sesungguhnya yang terdekat antara objek terhadap sensor adalah 20 cm, jarak terjauh adalah 62 cm, tinggi target buatan yang paling

pendek adalah 4.5 cm dan paling tinggi adalah 17 cm Sensor tersebut digerakkan secara horisontal terhadap target buatan dari depan target buatan.

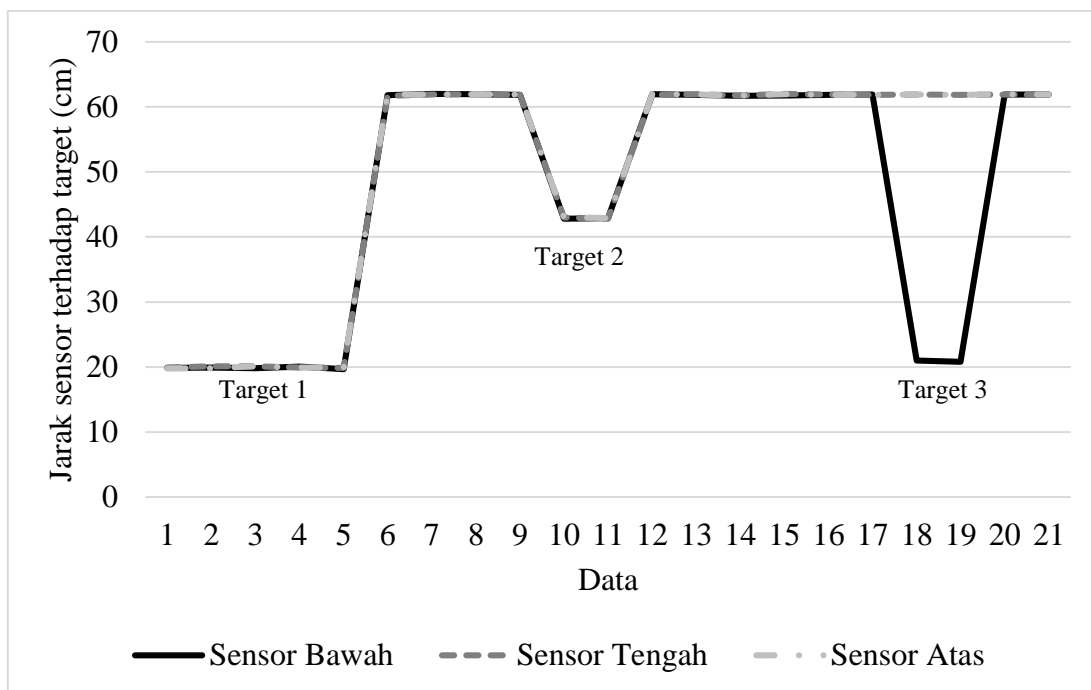


Gambar 11 Realisasi menggunakan tiga sensor yang disusun secara vertikal

Pada gambar 11 letak sensor bawah adalah 4 cm dari permukaan, sensor tengah adalah 5 cm dari permukaan dan sensor yang paling atas 6 cm dari permukaan. Data jarak hasil percobaan ketiga terlampir pada tabel 5.



Gambar 12 Target buatan dari styrofoam (a) tampak depan, (b) tampak atas



Gambar 13 Plot jarak yang didapatkan pada percobaan ketiga

Pada gambar 13 terlihat data ke-18 dan ke-19 jarak yang didapatkan sensor bawah adalah sekitar 20,07 cm hingga 20,5 cm sedangkan jarak yang didapatkan sensor tengah dan atas sekitar 61,85 cm hingga 61,91 cm, maka dapat disimpulkan bahwa tinggi benda pada data ke-18 dan ke-19 lebih rendah dari tinggi sensor tengah yaitu kurang dari 5 cm.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa percobaan terkait sistem SONAR pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sistem SONAR yang sudah dilakukan dengan menggunakan sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi sekitar 97% hingga 99,99 % dan jarak maksimum sensor HC-SR04 untuk mendeteksi target adalah 397 cm.

2. Pada percobaan dengan sensor kedua yang dibuat miring ke arah sensor pertama dan jarak antara sensor pertama dengan sensor kedua adalah 14,5 cm dapat mendeteksi sudut yang dijangkau oleh sensor kedua sekitar 21° sampai 44° dan hanya dapat mendeteksi pada saat jarak objek terhadap sensor ke-1 berada pada posisi 6 cm sampai 18 cm.
3. Pada saat menggunakan tiga sensor yang disusun secara vertikal dan digerakan secara horisontal maka dapat diketahui bentuk dua dimensi dari target buatan yang dihasilkan pada percobaan ketiga.

Daftar Pustaka:

- [1] M. A. Ainslie, *Principles of Sonar Performance Modeling*. Chichester: Springer, 2010.
- [2] R. E. Hansen, "Introduction to SONAR," *Igarss 2014*, vol. 2010, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [3] O. Mattiat, *Ultrasonic Transducer Materials*, 1st ed. New York: Plenum Press, 1971.
- [4] C. Sherman and J. L. Butler, *Transducers and Arrays for Underwater Sound (Underwater Acoustics) (The Underwater Acoustics Series)*, Second. Switzerland: Springer, 2007.
- [5] A. D. Waite, *SONAR for Practising Engineers*, Third. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [6] R. . Urick, *Principles of Underwater Sound, Third Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc., 1983.
- [7] M. Principles, "HC-SR04 User Guide," pp. 8–11.
- [8] A. Dimitrov and D. Minchev, "Ultrasonic Sensor Explorer," 2016.
- [9] Z. Mustafa and L. Ansari, "Design and control of compact legged- wheeled robot ' Spicar ,'" no. August, 2017.
- [10] "Arduino Mega 2560 Datasheet," vol. 2560.
- [11] DroneBot Workshop, "Using the HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor with Arduino." [Online]. Available: <https://dronebotworkshop.com/hc-sr04-ultrasonic-distance-sensor-arduino/>. [Accessed: 15-Apr-2018].

Lampiran

Tabel 3 Data jarak yang didapatkan pada percobaan pertama

| Jarak Refrensi (cm) | Jarak yang didapatkan oleh sensor (cm) | Tingkat Akurasi (%) |
|---------------------|--|---------------------|
| 1 | 4,7 | - |
| 2 | 1,97 | 98,50 |
| | 1,98 | 99,00 |
| | 2,01 | 99,50 |
| | 1,94 | 97 |
| | 2,03 | 98,50 |
| 3 | 2,95 | 98,33 |
| | 2,93 | 97,67 |
| | 3,05 | 98,33 |
| | 2,97 | 99 |
| | 2,94 | 98 |
| 4 | 3,92 | 98 |
| | 3,92 | 98 |
| | 3,89 | 97,25 |
| | 4,03 | 99,25 |
| 5 | 4,1 | 97,50 |
| | 5,07 | 98,60 |
| | 4,92 | 98,40 |
| | 5,1 | 98,00 |
| | 4,94 | 98,80 |
| 6 | 4,9 | 98 |
| | 6,12 | 98 |
| | 5,88 | 98,00 |
| | 6,05 | 99,17 |
| | 6,15 | 97,50 |
| 7 | 5,86 | 97,67 |
| | 6,79 | 97 |
| | 6,87 | 98,14 |
| | 7,15 | 97,86 |
| | 7,18 | 97,43 |
| 8 | 6,87 | 98,14 |
| | 7,97 | 99,63 |
| | 8,07 | 99,13 |
| | 8,24 | 97 |
| | 7,92 | 99 |
| 9 | 8,02 | 99,75 |
| | 8,95 | 99,44 |
| | 9,2 | 97,78 |
| | 9,14 | 98,44 |
| | 8,9 | 98,89 |
| 10 | 8,8 | 97,78 |
| | 10,1 | 99 |
| | 10,18 | 98,20 |
| | 9,98 | 99,80 |
| | 10,04 | 99,60 |
| 15 | 9,9 | 99 |
| | 15,02 | 99,87 |
| | 14,67 | 97,80 |
| | 15,1 | 99,33 |
| | 15,1 | 99,33 |
| | 14,8 | 98,67 |

| | | |
|-----|--------|-------|
| 20 | 20,1 | 99,50 |
| | 19,96 | 99,80 |
| | 19,9 | 99,50 |
| | 20,01 | 99,95 |
| | 19,8 | 99 |
| 25 | 25,04 | 99,84 |
| | 24,97 | 99,88 |
| | 25,04 | 99,84 |
| | 24,9 | 99,60 |
| | 24,97 | 99,88 |
| 30 | 30,19 | 99,37 |
| | 29,9 | 99,67 |
| | 30,05 | 99,83 |
| | 29,89 | 99,63 |
| | 29,93 | 99,77 |
| 397 | 396,89 | 99,97 |
| | 397,15 | 99,96 |
| | 396,78 | 99,94 |
| | 396,95 | 99,99 |
| | 396,8 | 99,95 |
| 400 | - | - |

Tabel 4 Data jarak yang didapatkan pada percobaan kedua

| (R1') Jarak antar sensor (cm) | Jarak sesungguhnya sensor ke-1 terhadap target (cm) | (R1) Jarak dari sensor ke-1 terhadap target berdasarkan pemrograman (cm) | Tingkat akurasi sensor ke-1 (%) | (R2) Jarak dari sensor ke-2 terhadap target berdasarkan pemrograman (cm) | Sudut (°) |
|---|---|--|--|--|------------------|
| 14.5 | 6 | 5,9 | 98,33 | 15,5 | 21 |
| | 7 | 6,93 | 99 | 16 | 24 |
| | 8 | 8,02 | 99,75 | 17,1 | 32 |
| | 9 | 9,03 | 99,67 | 17,6 | 35 |
| | 10 | 10,2 | 98 | 18 | 36 |
| | 11 | 10,97 | 99,73 | 18,4 | 38 |
| | 12 | 11,94 | 99,50 | 18,5 | 38 |
| | 13 | 13,1 | 99,23 | 19,0 | 40 |
| | 14 | 13,89 | 99,21 | 19,7 | 43 |
| | 15 | 15,1 | 99,33 | 19,7 | 43 |
| | 16 | 15,9 | 99,38 | 19,8 | 43 |
| | 17 | 17,3 | 98,24 | 20,1 | 44 |
| | 18 | 18,08 | 99,56 | - | - |

Tabel 5 Data jarak yang didapatkan pada percobaan ketiga

| Data | Sensor bawah (cm) | Sensor Tengah (cm) | Sensor Atas (cm) |
|-------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 19,89 | 19,9 | 19,75 |
| 2 | 19,9 | 20,1 | 19,8 |
| 3 | 19,8 | 20,1 | 20,1 |
| 4 | 20,08 | 19,93 | 19,9 |
| 5 | 19,69 | 19,88 | 19,94 |
| 6 | 61,78 | 61,67 | 61,9 |
| 7 | 61,97 | 61,88 | 61,88 |
| 8 | 61,92 | 61,92 | 61,92 |
| 9 | 61,83 | 61,83 | 61,88 |
| 10 | 42,8 | 43 | 43,04 |
| 11 | 42,9 | 42,82 | 42,87 |
| 12 | 61,92 | 61,83 | 61,92 |
| 13 | 61,83 | 61,92 | 61,88 |
| 14 | 61,7 | 61,75 | 61,75 |
| 15 | 61,75 | 61,98 | 61,94 |
| 16 | 61,83 | 61,87 | 61,83 |
| 17 | 61,91 | 61,86 | 61,85 |
| 18 | 21 | 61,91 | 61,87 |
| 19 | 20,8 | 61,85 | 61,85 |
| 20 | 61,91 | 61,87 | 61,94 |
| 21 | 61,87 | 61,83 | 61,91 |