

Desain Sistem Pengukuran Berbasis Ultrasonik untuk Penentuan Posisi Objek di Atas Sabuk Konveyor

Muhammad Edy Hidayat^{1*}, Andi Fitriati¹

¹Program Studi Diploma III Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa
Jl. Kapasa Raya, Nomor 23, Makassar
E-mail: edyhidayat@politeknikbosowa.ac.id

Naskah Masuk: 18 Oktober 2023; Diterima: 10 Desember 2023; Terbit: 31 Maret 2024

ABSTRAK

Abstrak – Otomasi industri merupakan sebuah tuntutan yang harus untuk dilaksanakan guna mencapai tujuan dari revolusi industri 4.0 yang telah digaungkan selama ini, dan tentunya penggunaan dari perangkat konveyor merupakan salah satu hal penting di dalam otomasi industri. Sebuah konveyor cerdas merupakan perangkat konveyor yang secara mandiri mampu untuk mengetahui posisi dari objek yang diletakkan di atas sabuknya. Proses pengukuran dan penentuan posisi objek di atas sabuk konveyor dapat diketahui dengan menggunakan metode pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik. Penelitian ini melakukan pengujian kepada tiga transduser ultrasonik berbiaya rendah untuk mengetahui kemampuannya dalam proses pengukuran jarak objek terhadap transduser ultrasonik di atas model mekanisme konveyor cerdas. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan kepada transduser ultrasonik HC-SRF04, HC-SRF05, dan US-100 maka diperoleh hasil pengujian bahwa transduser ultrasonik US-100 merupakan transduser ultrasonik berbiaya rendah yang memiliki akurasi pengukuran jarak yang terbaik bila dibandingkan dengan kedua transduser ultrasonik berbiaya rendah lainnya, dengan akurasi rerata kesalahan sebesar 0.2cm menjadikan transduser ultrasonik US-100 sebagai transduser ultrasonik berbiaya rendah dengan kemampuan serta akurasi pengukuran jarak yang terbaik bila dibandingkan dengan transduser ultrasonik berbiaya rendah lainnya.

Kata kunci: Otomasi Industri, Konveyor Cerdas, Pengukuran Tidak Merusak, Sensor Ultrasonik

ABSTRACT

Abstract - Industrial automation is a demand that must be implemented in order to achieve the goals of the industrial revolution 4.0 which has been promoted so far, and of course the use of conveyor devices is one of the important things in industrial automation. An intelligent conveyor is a conveyor device that is able to independently determine the position of objects placed on its belt. The process of measuring and determining the position of objects on the conveyor belt can be determined using ultrasonic-based non-destructive measurement methods. This research tested three low-cost ultrasonic transducers to determine their capabilities in the process of measuring object distances using ultrasonic transducers on an intelligent conveyor mechanism model. Based on tests that have been carried out on the HC-SRF04, HC-SRF05, and US-100 ultrasonic transducers, the test results show that the US-100 ultrasonic transducer is a low-cost ultrasonic transducer that has the best distance measurement accuracy when compared to the two low-cost ultrasonic transducers. On the other hand, with an average error accuracy of 0.2cm, the US-100 ultrasonic transducer is a low-cost ultrasonic transducer with the best distance measurement capability and accuracy when compared to other low-cost ultrasonic transducers.

Keywords: Industrial Automation, Smart Conveyors, Non-Destructive Measurement, Ultrasonic Sensors

Copyright © 2024 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri 4.0 menuntut perwujudan otomasi industri di dalam kegiatan produksi skala masif di berbagai sektor perindustrian, yang mana tentunya akan menggunakan dan melibatkan konveyor di dalamnya sebagai perangkat utama untuk memindahkan suatu benda dari satu tempat ke tempat lainnya dengan mudah [1]. Selain itu, otomasi industri di era industri 4.0 juga memungkinkan dan menuntut adanya penggunaan kecerdasan di dalam sistem otomasi yang digunakan di sektor perindustrian [2].

Salah satu bentuk dari otomasi yang dapat dijumpai pada perindustrian adalah sistem konveyor cerdas [3], tentang bagaimana sebuah konveyor mampu untuk secara mandiri mengetahui kondisi benda di atas sabuk konveyor sehingga konveyor dapat menentukan apakah harus terus beroperasi atau operasi konveyor

harus dihentikan sementara hingga kondisi barang di atas sabuk konveyor berada pada kondisi aman untuk proses operasi selanjutnya. Umumnya, untuk menghindari penumpukan barang di atas konveyor maka proses pendeteksian barang secara otomatis di atas konveyor harus dilakukan, dengan mengetahui kondisi barang di atas sabuk konveyor maka dapat ditentukan sistem pengoperasian yang akan dilakukan oleh konveyor.

Selain itu, dengan adanya sistem pendeteksian objek di atas konveyor, maka dapat dibangun sebuah sistem konveyor cerdas yang dapat digunakan untuk keperluan pendeteksian dan pemeriksaan bahan asing di dalam sebuah produk [4]. Produk yang akan diperiksa diletakkan di atas konveyor dan secara otomatis konveyor akan mengukur dan mendeteksi posisi produk terhadap instrumen pemeriksaan, dan dengan mengetahui posisi aktual produk di atas konveyor maka konveyor akan secara otomatis memposisikan produk agar tepat berada di bawah instrumen pemeriksaan.

Penelitian di dalam artikel ini bertujuan untuk merancang sistem pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik sebagai upaya dalam menentukan kedudukan posisi suatu objek di atas sabuk konveyor cerdas, posisi objek diukur dan ditentukan berdasarkan jarak objek terhadap transduser sensor ultrasonik yang digunakan. Desain rancangan sistem diharapkan dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan cepat dengan menggunakan perangkat *low cost* sehingga duplikasinya dapat dilakukan secara terjangkau apabila ingin digunakan secara langsung dalam skala besar di kondisi nyata oleh masyarakat umum, peneliti, pelaku usaha, maupun praktisi di bidang ultrasonik dan otomasi industri.

Berdasarkan tujuan tersebut, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat turut serta memberikan kontribusi pada pengembangan industri 4.0 dan masyarakat 5.0 di Indonesia, melalui langkah-langkah kajian awal berdasarkan penggunaan ultrasonik sebagai instrumen pengukuran tidak merusak untuk otomasi industri pada skala rumah tangga hingga skala industri, sehingga kebermanfaatannya dari hasil penelitian ini dapat secara umum dirasakan oleh masyarakat (akademisi, praktisi, pelaku usaha, hingga masyarakat umum).

Jika pada umumnya pendeteksian posisi benda di atas sabuk konveyor dilakukan dengan menggunakan perangkat kamera ataupun sensor *laser range finder*, maka penelitian di dalam artikel ini menghadirkan inovasi penggunaan ultrasonik sebagai perangkat utama untuk keperluan penentuan posisi benda di atas sabuk konveyor, kajian utama di dalam artikel ini adalah tentang bagaimana mendesain sistem pengukuran berbasis ultrasonik untuk menentukan posisi objek di atas sabuk konveyor cerdas dengan menggunakan peralatan yang terjangkau (*low cost*) namun tetap memberikan hasil pengukuran yang cepat dan tepat.

2. KAJIAN PUSTAKA

Fokus utama dari kajian penelitian di dalam artikel ini adalah bagaimana merancang sistem pengukuran berbasis ultrasonik secara *low cost* namun tetap memberikan hasil pengukuran yang cepat dan akurat untuk keperluan pengukuran jarak objek sebagai upaya menentukan posisi objek di atas sabuk konveyor, maka kajian pustaka yang terkait dengan pengukuran berbasis ultrasonik secara *low cost* dibahas di dalam artikel penelitian ini.

2.1. Pengukuran Tidak Merusak Berbasis Ultrasonik

Pengukuran tidak merusak dengan menggunakan perangkat ultrasonik adalah teknik pengukuran yang menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mengumpulkan dan memperoleh informasi terkait dengan fisik sebuah objek, material, atau sebuah struktur tanpa menyebabkan kerusakan fisik pada objek yang dievaluasi [5]. Metode pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik sangat bergantung kepada prinsip transmisi gelombang suara ke material atau objek yang diharapkan untuk dievaluasi untuk kemudian dilakukan penganalisaan gema atau pantulan suara untuk diperoleh informasi yang berguna terkait dengan material atau objek yang dievaluasi [6].

Beberapa hal penting yang perlu untuk diperhatikan di dalam pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik di antaranya adalah:

a. Prinsip Pengoperasian

Sensor ultrasonik bekerja dengan berdasarkan prinsip pengiriman gelombang suara frekuensi tinggi (gelombang ultrasonik) ke suatu material atau struktur, gelombang ultrasonik akan merambat pada medium rambatnya hingga bertemu dengan batas atau antarmuka antara medium rambat yang berbeda sehingga akan terjadi fenomena pemantulan dan penyerapan gelombang, fenomena tersebut yang akan dianalisa untuk diperoleh informasi sesuai dengan yang diharapkan.

b. Penganalisaan Gema

Untuk pendeteksian jarak maupun struktur suatu material dilakukan penganalisaan gema dengan mempertimbangkan waktu yang diperlukan gelombang suara untuk bergerak menuju objek dan kembali ke transduser ultrasonik (umumnya dikenal dengan istilah *time of flight*), selain itu dilakukan juga penganalisaan terhadap karakteristik gelombang gema ultrasonik yang diterima oleh transduser, dengan menggunakan dua penganalisaan gema tersebut maka setidaknya telah dapat diperoleh informasi terkait dengan jarak objek terhadap transduser, sifat material, dan struktur material. Perubahan-perubahan yang terjadi pada karakteristik sinyal gema dapat

memberikan informasi mengenai jarak material, ketebalan, kepadatan, dan adanya cacat atau anomali pada suatu material.

c. Pengaplikasian

Pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik bukanlah merupakan hal yang baru, beberapa kegiatan di berbagai sektor industri telah menggunakan pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik di dalam pelaksanaan kegiatannya, seperti pengukuran dan pendeteksian cacat material, pengukuran ketebalan material, pengevaluasian karakteristik material, maupun keperluan pencitraan medis tidak merusak.

d. Keuntungan

Dibandingkan dengan perangkat pengukuran dan evaluasi lainnya yang memiliki fungsi yang serupa dengan sensor ultrasonik, penggunaan sensor ultrasonik memiliki keuntungan yang lebih unggul dibandingkan dengan perangkat lainnya, yaitu: tidak merusak, memberikan hasil pengukuran yang *real time*, cakupan penggunaannya luas pada berbagai jenis material, dan mampu memberikan resolusi pencitraan yang tinggi apabila digunakan untuk keperluan pencitraan medis maupun non-medis.

e. Tantangan dan Batasan

Selain memiliki keuntungan di dalam penggunaannya pengukuran tidak merusak berbasis ultrasonik juga memiliki tantangan dan batasan di dalam penggunaannya, di antaranya adalah akurasi hasil pengukuran yang sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan yang ada di area pengukuran maupun benda uji, seperti temperatur, kelembaban, dan permukaan benda uji, selain itu diperlukan pengalaman dan kemampuan yang memadai untuk dapat dengan mudah menggunakan ultrasonik sebagai media pengukuran.

2.2. Pengukuran dan Pendeteksian Jarak Objek Berbasis Ultrasonik

Pengukuran jarak berbasis gema ultrasonik, atau sering disebut juga sebagai proses "time-of-flight" ultrasonik, didasarkan pada prinsip bahwa gelombang suara ultrasonik dipancarkan dari suatu sumber, memantul dari objek, dan kemudian kembali ke sensor, prinsip ini digunakan untuk mengukur jarak dari sensor ke objek yang memantulkan gelombang suara [5].

Sensor ultrasonik menghasilkan gelombang suara ultrasonik dengan frekuensi yang biasanya jauh di atas jangkauan pendengaran manusia (di atas 20 kHz) [7]. Gelombang suara ini diarahkan ke objek yang ingin diukur jaraknya. Gelombang suara yang dipancarkan oleh sensor akan mencapai objek, dan sebagian dari energi gelombang suara akan dipantulkan oleh objek tersebut [5]. Semakin jauh objek dari sensor, semakin lama waktu yang diperlukan untuk gelombang suara untuk memantul kembali. Sensor mencatat waktu yang diperlukan oleh gelombang suara untuk pergi dari sensor ke objek dan kembali lagi ke sensor. Waktu tempuh inilah yang dikenal sebagai "waktu terbang" (time-of-flight) [8]. Perlu diingat bahwa gelombang suara memiliki kecepatan tetap dalam medium tertentu (biasanya kecepatan suara dalam udara), yang dikenal sebagai "kecepatan suara". Jarak dalam meter dapat dihitung dengan mengalikan kecepatan suara dengan nilai waktu terbang kemudian hasilnya dibagi dengan dua karena waktu yang diukur mencakup perjalanan ke objek dan kembali lagi ke sensor.

Prinsip pengukuran jarak berbasis gema ultrasonik ini sangat berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk pengukuran jarak dalam otomatisasi industri, navigasi robot, sensor parkir otomotif, pengukuran level cairan dalam tangki, dan banyak aplikasi lainnya di mana pengukuran jarak yang cepat dan non-kontak diperlukan. Dengan teknik ini, dapat dilakukan pengukuran jarak dengan tingkat akurasi yang memadai untuk sebagian besar aplikasi praktis.

2.3. Low Cost Ultrasonic Sensor

Sensor ultrasonik berbiaya rendah adalah jenis sensor atau transduser ultrasonik yang dirancang agar terjangkau secara harga dan secara pengadaan sehingga mudah diperoleh oleh masyarakat namun dengan tetap memberikan kemampuan pengukuran dasar yang fundamental dari pengaplikasian sensor ultrasonik [9]. Keperluan dasar yang diharapkan dari sebuah transduser atau sensor ultrasonik berbiaya rendah adalah kemampuan pengukuran jarak antara objek dengan transduser ultrasonik yang diukur pada suhu ruang. Umumnya, praktisi akademisi pada tahap penelitian perancangan konsep awal akan menggunakan transduser ultrasonik berbiaya rendah, umumnya akan digunakan transduser ultrasonik dengan tipe HC-SRF04, HC-SRF05, dan US-100.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian dengan model pengembangan dan perbandingan uji performa antar sistem sehingga dapat ditentukan sistem dengan performa terbaik di antara sistem lainnya. Pengumpulan data uji dilakukan dengan melakukan pengujian kepada seluruh sistem yang dikembangkan dengan menggunakan parameter uji dan lingkungan pengujian yang sama sehingga pengujian dikatakan adil dan ideal.

Rangkaian kegiatan penelitian dan pengumpulan data dilakukan pada rentang waktu Agustus hingga Oktober tahun 2023 dan dilaksanakan secara terpumpun di Laboratorium Elektronika Analog – Politeknik Bosowa, Makassar.



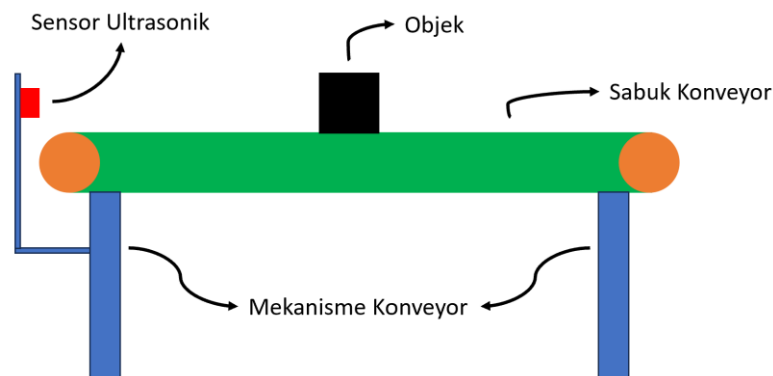
Gambar 1. Alur penelitian

Alur penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, tahap awal adalah melakukan kajian literatur terkait pengukuran tidak merusak menggunakan perangkat sensor ultrasonik untuk mendeteksi posisi objek di atas sabuk konveyor secara *low cost*, kemudian dilakukan perancangan dan realisasi sistem dengan terlebih dahulu melakukan simulasi pada perangkat komputer sebelum sistem direalisasikan secara nyata, setelah sistem telah direalisasikan maka akan dilakukan pengujian pada sistem-sistem yang telah dibuat dengan menggunakan parameter dan lokasi pengujian yang sama, data pengukuran yang diperoleh kemudian akan dikumpulkan dan diolah untuk selanjutnya dibandingkan dan disajikan dalam format yang mudah untuk dimengerti oleh masyarakat secara umum.

Penelitian di dalam artikel ilmiah ini membandingkan tiga sistem ultrasonik *low cost* untuk kemudian ditentukan sistem mana yang memiliki akurasi dan kecepatan pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan sistem ultrasonik lainnya yang diuji pada parameter dan lingkungan pengujian yang sama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

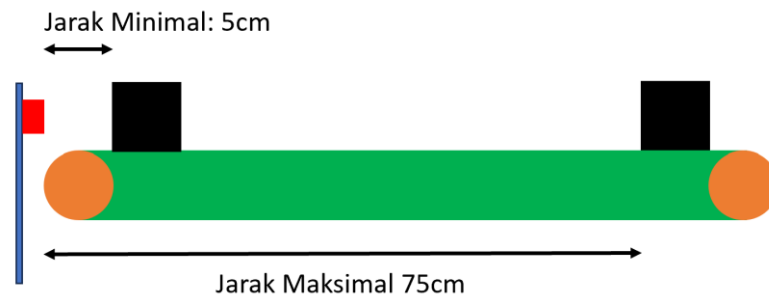
Pada penelitian ini diuji tiga buah sensor ultrasonik *low cost* yang bekerja pada tegangan operasional searah sebesar 5 Volt, yaitu: HC-SRF04, HC-SRF05, dan US-100. Pengujian seluruhnya dilakukan pada jarak pengujian yang sama untuk dapat diperoleh informasi kemampuan masing-masing sensor ultrasonik untuk mengukur jarak objek pada jarak minimal, maksimal, dan jarak acak dari objek terhadap transduser ultrasonik di atas sabuk konveyor yang mekanismenya telah dibuat sebelumnya.



Gambar 2. Ilustrasi mekanisme sistem konveyor cerdas

Mekanisme dari sistem konveyor cerdas yang dibangun sebagai media uji coba pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2, mekanisme konveyor berupa sebuah konveyor horizontal satu aksis yang berdiri di

atas dua kaki penyangga dan pada salah satu kaki penyangga terdapat *bracket* untuk menempatkan transduser ultrasonik yang pancaran gelombangnya mengarah di sepanjang sabuk konveyor sehingga dapat melakukan pendeteksian jarak objek untuk menentukan posisi objek di atas konveyor.



Gambar 3. Ilustrasi jarak pengukuran minimal dan maksimal

Panjang keseluruhan bidang sabuk konveyor adalah lebih kurang sepanjang 80cm, sehingga ditentukan batas aman untuk jarak minimal adalah sepanjang 5cm dari permukaan transduser ultrasonik dan batas aman untuk jarak maksimal adalah sepanjang 75cm dari permukaan transduser ultrasonik sebagaimana yang dapat dilihat pada ilustrasi jarak pengukuran minimal dan maksimal yang ada pada Gambar 3.

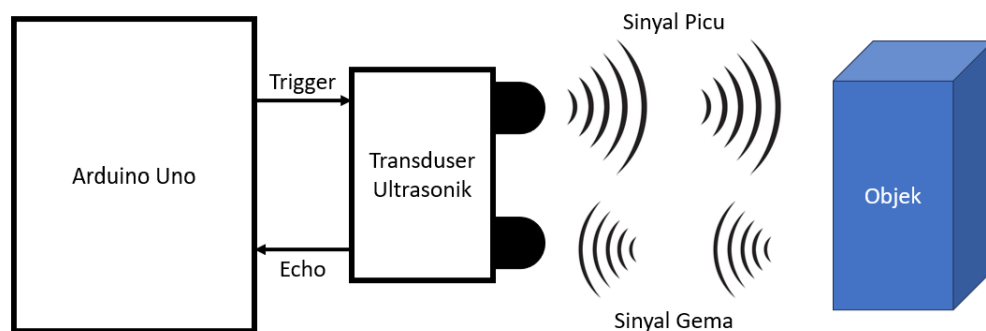
Pengukuran jarak objek terhadap transduser ultrasonik sebagai bentuk pengujian performa dari masing-masing transduser ultrasonik dilakukan pada 10 titik pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 1, pada setiap titik pengukuran dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali untuk memperkuat dan melakukan validasi terhadap hasil pengukuran yang telah dilakukan.

Tabel 1. Titik pengukuran jarak objek terhadap permukaan transduser ultrasonik

Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik	Titik
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5cm	13cm	21cm	29cm	38cm	42cm	51cm	59cm	67cm	75cm

Titik pengukuran 1 dan 10 merupakan titik pengukuran pada jarak minimal dan jarak maksimal, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3, sedangkan titik pengukuran 2 hingga 9 merupakan titik pengukuran dengan jarak acak yang digunakan untuk mengetahui kemampuan dari masing-masing transduser untuk mengukur jarak pada nilai acuan yang acak.

Pengujian di dalam penelitian ini menggunakan perangkat Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama yang digunakan untuk berkomunikasi dengan perangkat transduser ultrasonik, Arduino Uno mengirimkan sinyal trigger ke transduser ultrasonik dengan rentang waktu tertentu yang akan diteruskan oleh transduser ultrasonik sebagai sinyal picu yang diarahkan ke objek, sinyal picu yang mengenai permukaan objek sebagian sinyalnya akan diserap oleh objek dan sebagian sinyal lainnya akan dipantulkan, pantulan sinyal tersebut (sinyal gema) akan ditangkap kembali oleh transduser ultrasonik dan diteruskan ke Arduino Uno sebagai sinyal echo yang akan diproses untuk kemudian diperoleh informasi jarak antara permukaan transduser dan permukaan objek. Mekanisme pengujian tersebut dapat diilustrasikan seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Proses Pengujian

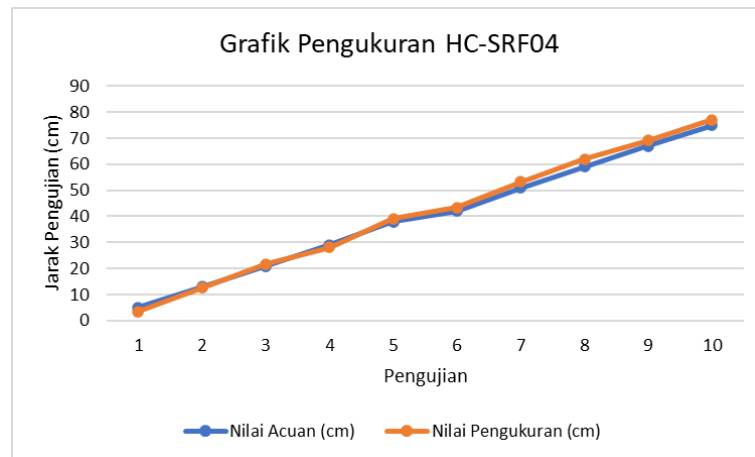
Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan operasional sebesar 5 volt DC untuk Arduino Uno dan untuk transduser ultrasonik yang digunakan, meskipun pada aplikasi praktis sehari-hari transduser ultrasonik US-100 dapat bekerja pada rentang tegangan operasional 3.3 volt hingga 5 volt DC.

Hasil dari pengujian pengukuran jarak objek terhadap permukaan transduser untuk transduser ultrasonik HC-SRF04 dapat dilihat pada Tabel 2, data yang ada pada tabel hasil pengukuran merupakan nilai rata-rata dari ketiga pengujian yang dilakukan pada setiap titiknya.

Tabel 2. Hasil pengukuran jarak menggunakan transduser ultrasonik HC-SRF04

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	3.5cm	12.6cm	21.7cm	28.1cm	39.2cm	43.4cm	53.2cm	61.9cm	69.2cm	77.1cm

Berdasarkan hasil pengujian untuk transduser ultrasonik HC-SRF04 yang ditampilkan pada Tabel 4.2, dapat diperoleh rata-rata galat pengukuran sebesar 1.55cm, dengan galat pengukuran terbesar adalah sebesar 2.9cm dan galat pengukuran terkecil adalah sebesar 0.4cm.



Gambar 5. Grafik Pengukuran HC-SRF04

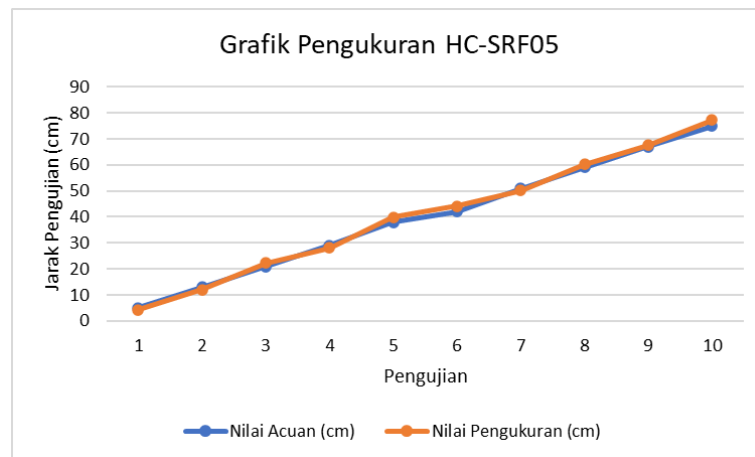
Bila hasil pengukuran yang ada pada Tabel 4.2 diplot bersama dengan acuan pengukuran yang ada pada Tabel 1 maka akan diperoleh grafik hasil pengukuran terhadap acuan pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Hasil dari pengujian pengukuran jarak objek terhadap permukaan transduser untuk transduser ultrasonik HC-SRF05 dapat dilihat pada Tabel 3, data yang ada pada tabel hasil pengukuran merupakan nilai rata-rata dari ketiga pengujian yang dilakukan pada setiap titiknya.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Jarak Menggunakan Transduser Ultrasonik HC-SRF05

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	4.2cm	12.1cm	22.3cm	28.1cm	39.9cm	44.1cm	50.2cm	60.2cm	67.6cm	77.3cm

Berdasarkan hasil pengujian untuk transduser ultrasonik HC-SRF05 yang ditampilkan pada Tabel 3, dapat diperoleh rata-rata galat pengukuran sebesar 1.28cm, dengan galat pengukuran terbesar adalah sebesar 2.3cm dan galat pengukuran terkecil adalah sebesar 0.6cm.



Gambar 6. Grafik Pengukuran HC-SRF05

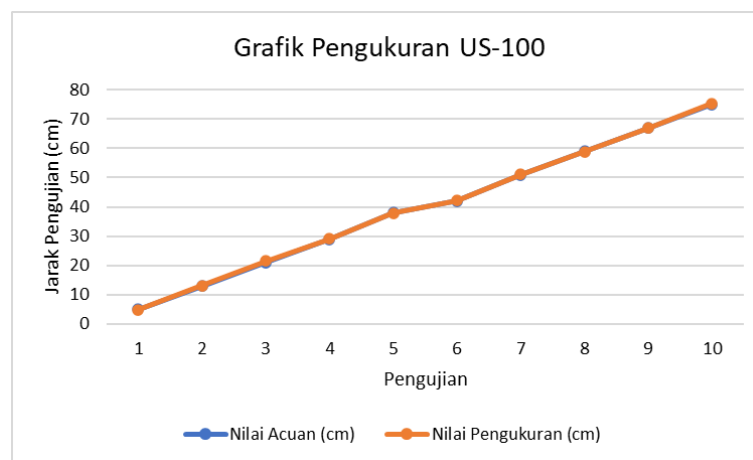
Bila hasil pengukuran yang ada pada Tabel 3 diplot bersama dengan acuan pengukuran yang ada pada Tabel 1 maka akan diperoleh grafik hasil pengukuran terhadap acuan pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil dari pengujian pengukuran jarak objek terhadap permukaan transduser untuk transduser ultrasonik US-100 dapat dilihat pada Tabel 4, data yang ada pada tabel hasil pengukuran merupakan nilai rata-rata dari ketiga pengujian yang dilakukan pada setiap titiknya.

Tabel 4. Hasil pengukuran jarak menggunakan transduser ultrasonik US-100

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hasil	4.8cm	13.1cm	21.5cm	29.1cm	37.8cm	42.2cm	51.1cm	58.8cm	66.9cm	75.3cm

Berdasarkan hasil pengujian untuk transduser ultrasonik US-100 yang ditampilkan pada Tabel 4, dapat diperoleh rata-rata galat pengukuran sebesar 0.2cm, dengan galat pengukuran terbesar adalah sebesar 0.5cm dan galat pengukuran terkecil adalah sebesar 0.1cm.



Gambar 7. Grafik Pengukuran US-100

Bila hasil pengukuran yang ada pada Tabel 4 diplot bersama dengan acuan pengukuran yang ada pada Tabel 1 maka akan diperoleh grafik hasil pengukuran terhadap acuan pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil dari ketiga pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing transduser ultrasonik, terlihat bahwa galat pengukuran pada transduser ultrasonik HC-SRF04 berada pada nilai 1.55cm, sedangkan pada transduser ultrasonik HC-SRF05 berada pada nilai 1.28cm, dan pada transduser ultrasonik US-100 berada pada nilai 0.2cm, sehingga pengukuran terbaik diperoleh dengan menggunakan transduser ultrasonik US-100.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan membandingkan unjuk kinerja dari tiga transduser ultrasonik berbiaya murah yang umum dijumpai di pasaran, HC-SRF04; HC-SRF05; dan US-100, dalam proses pengujian pengukuran jarak objek terhadap permukaan transduser, diperoleh hasil bahwa transduser ultrasonik US-100 mampu memberikan hasil pengukuran yang sangat akurat dengan rerata galat pada pengukuran yang dilakukan terhadap 10 titik percobaan adalah sebesar 0.2cm, lebih baik sekitar 87% dari hasil pengukuran dengan menggunakan HC-SRF04 atau lebih baik sekitar 84% dari hasil pengukuran dengan menggunakan HC-SRF05. Maka, berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa dari ketiga transduser ultrasonik yang diuji, transduser ultrasonik US-100 memiliki akurasi yang terbaik untuk keperluan pengukuran jarak antara objek dengan transduser ultrasonik.

REFERENSI

[1] A. Herawati, S. Suhermin, H. U. Anisah, and R. Sambung, "Industrial revolution 4.0: What should be prepared for the next stage?," *Jurnal Inovasi Ekonomi*, vol. 6, no. 01, pp. 25–32, 2021.
 [2] M. Ally and K. Perris, "Artificial Intelligence in the fourth industrial revolution to educate for sustainable development," *Canadian Journal of Learning and Technology*, vol. 48, no. 4, 2022.
 [3] G. Fedorko, "Implementation of industry 4.0 in the belt conveyor transport," *MATEC Web of Conferences*, vol. 263, p. 01001, 2019.

- [4] D. Miao, Y. Wang, L. Yang, and S. Wei, "Foreign object detection method of conveyor belt based on improved Nanodet," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 23046–23052, 2023.
- [5] M. E. Hidayat, A. I. Gunawan, and T. B. Santoso, "Rancang Bangun Sistem multipoint transmitter – receiver untuk Inspeksi bawah air berbasis Ultrasonik Frekuensi Rendah," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 16, no. 3, 2020.
- [6] A. Akundi, T.-L. Tseng, M. F. Rahman, and E. Smith, "Non-destructive testing (NDT) and evaluation using ultrasonic testing equipment to enhance workforce skillset for modern manufacturing," *2018 ASEE Annual Conference Exposition Proceedings*.
- [7] J. Abbaszadeh and M. Mostafapour, "Determination of proper ultrasonic frequency based on wall thickness of the metal pipes in Ultrasonic Tomography Systems," *IETE Journal of Research*, vol. 67, no. 4, pp. 499–513, 2019.
- [8] D. Marioli et al., "Digital Time of flight measurement for ultrasonic sensors," *1991 Conference Record. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*.
- [9] B. A. Gonzaga et al., "Development of a low-cost ultrasonic sensor for groundwater monitoring in coastal environments: Validation using field and laboratory observations," *Journal of Coastal Research*, vol. 95, no. sp1, p. 1001, 2020.