

PERBANDINGAN TEKNOLOGI SENSOR ULTRASONIK DENGAN METODE LAIN UNTUK PENGUKURAN JARAK

Rifky Assolihin¹, Mustaghfirin Fauzan Al Anshari Sirait², Addurrun Nafis³

^{1,2,3}Universitas Asahan

Email: rrrifkyassolihin@gmail.com¹, fauzansirait42@gmail.com²,

addurrunnafis173@gmail.com³

Abstrak: Sensor ultrasonik banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem navigasi kendaraan otomatis, untuk mengukur jarak dengan gelombang suara frekuensi tinggi. Penelitian ini menganalisis implementasi sensor ultrasonik pada sistem tersebut, dengan menyoroti prinsip kerja, keunggulan, dan keterbatasannya. Sensor ultrasonik unggul dalam efisiensi biaya dan kemudahan integrasi, tetapi menghadapi tantangan pada kondisi lingkungan seperti hujan atau permukaan penyerap suara. Analisis perbandingan dengan LIDAR dan RADAR menunjukkan kekuatan dan kelemahan sensor ultrasonik, yang menghasilkan rekomendasi untuk meningkatkan kinerjanya dalam berbagai kondisi.

Kata Kunci: Sensor Ultrasonik, Deteksi Jarak, Navigasi Kendaraan Otomatis, LIDAR, RADAR.

Abstract: *Ultrasonic sensors are widely used in various applications, including automatic vehicle navigation systems, to measure distances with high-frequency sound waves. This research analyzes the implementation of ultrasonic sensors in these systems, highlighting their working principles, advantages and limitations. Ultrasonic sensors excel in cost efficiency and ease of integration, but face challenges in environmental conditions such as rain or sound-absorbing surfaces. Comparative analysis with LIDAR and RADAR shows the strengths and weaknesses of ultrasonic sensors, resulting in recommendations for improving their performance in various conditions.*

Keywords: *Ultrasonic Sensor, Distance Detection, Automatic Vehicle Navigation, LIDAR, RADAR.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kendaraan otomatis atau otonom telah membawa perubahan besar dalam industri transportasi. Kendaraan ini dirancang untuk dapat beroperasi tanpa intervensi manusia dengan mengandalkan sistem sensor, perangkat lunak, dan algoritma kecerdasan buatan. Salah satu elemen kunci dalam sistem navigasi kendaraan otomatis adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi jarak dan mengenali objek di sekitarnya.

Sensor ultrasonik merupakan teknologi yang memanfaatkan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mengukur jarak objek berdasarkan waktu tempuh pantulan gelombang. Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan, seperti biaya yang relatif rendah, kemudahan integrasi, dan performa yang cukup baik pada jarak pendek hingga menengah. Oleh karena itu, sensor ultrasonik banyak diaplikasikan dalam sistem penghindar tabrakan, asisten parkir otomatis, dan navigasi pada kendaraan otonom.

Namun, sensor ultrasonik juga memiliki keterbatasan, seperti jangkauan deteksi yang terbatas dan sensitivitas terhadap kondisi lingkungan tertentu. Oleh karena itu, penting untuk memahami kelebihan dan kekurangan sensor ini serta membandingkannya dengan teknologi lain seperti LIDAR dan RADAR yang juga digunakan dalam aplikasi serupa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji implementasi sensor ultrasonik dalam sistem navigasi kendaraan otomatis, mengevaluasi performanya, serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam berbagai kondisi operasional.

TINJAUAN PUSTAKA

Sensor ultrasonik telah menjadi salah satu komponen penting dalam berbagai aplikasi teknologi modern, khususnya pada sistem deteksi jarak. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang suara berfrekuensi tinggi yang akan memantul ketika mengenai suatu objek. Waktu yang dibutuhkan gelombang untuk kembali ke sensor digunakan untuk menghitung jarak antara sensor dengan objek tersebut. Teknologi ini sering digunakan dalam aplikasi seperti robotika, sistem parkir otomatis, dan penghindar tabrakan pada kendaraan.

a. Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik terdiri dari transduser yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima gelombang suara. Ketika gelombang suara dipancarkan dan mengenai objek, sebagian energi gelombang akan dipantulkan kembali ke sensor. Berdasarkan waktu tempuh gelombang tersebut, jarak dapat dihitung menggunakan rumus sederhana:

$$d = (v * t) / 2$$

di mana d adalah jarak, v adalah kecepatan suara, dan t adalah waktu tempuh.

b. Kelebihan dan Keterbatasan

Sensor ultrasonik memiliki beberapa keunggulan, seperti:

1. Biaya Rendah: Lebih ekonomis dibandingkan teknologi seperti LIDAR atau RADAR.
2. Kemudahan Integrasi: Dapat digunakan dengan berbagai sistem elektronik.
3. Kinerja pada Jarak Dekat: Sangat akurat untuk jarak pendek hingga menengah.

Namun, sensor ini juga memiliki beberapa keterbatasan:

- Rentan terhadap Gangguan Lingkungan: Kinerja dapat menurun pada kondisi cuaca buruk atau ketika mendeteksi permukaan yang menyerap suara.
- Jangkauan Terbatas: Kurang efektif untuk pengukuran jarak jauh.

c. Perbandingan dengan Teknologi Lain

1. LIDAR: Menggunakan cahaya laser untuk mendeteksi jarak, sangat akurat pada jarak jauh, tetapi biayanya tinggi dan sensitif terhadap cuaca berkabut.
2. RADAR: Menggunakan gelombang elektromagnetik untuk pengukuran jarak. Cocok untuk jarak jauh dan kondisi ekstrem, tetapi memiliki resolusi yang lebih rendah dibandingkan LIDAR.

Tabel 1: Perbandingan Teknologi Sensor

Teknologi	Jangkauan	Akurasi	Biaya	Kelebihan	Kekurangan
Ultrasonik	2-4 meter	±1 cm	Rendah	Murah dan sederhana	Rentan pada kondisi tertentu
LIDAR	0.1-200 meter	±5 mm	Tinggi	Resolusi tinggi	Mahal
RADAR	1-100 meter	±1 cm	Sedang	Handal pada kondisi ekstrem	Resolusi lebih rendah

Tabel 1 merangkum perbandingan antara teknologi sensor Ultrasonik, LIDAR, dan RADAR dalam aspek jangkauan, akurasi, biaya, kelebihan, dan kekurangan.

d. Studi Terkait

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sensor ultrasonik sangat efektif untuk aplikasi sederhana yang membutuhkan deteksi jarak pendek, seperti sistem parkir otomatis. Namun, untuk aplikasi yang lebih kompleks seperti navigasi kendaraan di lingkungan dinamis, diperlukan kombinasi dengan sensor lain, seperti LIDAR atau RADAR, untuk meningkatkan akurasi dan jangkauan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji implementasi sensor ultrasonik dalam sistem navigasi kendaraan otomatis. Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, pengujian di berbagai kondisi, dan analisis data untuk mengevaluasi performa sensor. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi penerapan sensor ultrasonik pada sistem navigasi kendaraan otonom. Tahapan utama meliputi desain sistem, pengujian dalam berbagai kondisi, dan analisis data untuk evaluasi kinerja.

1. Perancangan Sistem

Sistem navigasi kendaraan otomatis dirancang dengan memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai alat utama untuk mendeteksi jarak. Komponen yang digunakan adalah:

a. Perangkat Keras:

- 1) Sensor Ultrasonik: Modul HC-SR04 digunakan sebagai perangkat utama untuk mendeteksi jarak, dengan spesifikasi jangkauan antara 2 cm hingga 4 meter.
- 2) Mikrokontroler: Arduino Uno dipilih untuk memproses data jarak yang diterima dari sensor dan mengontrol pergerakan kendaraan.
- 3) Motor Driver: Driver L298N digunakan untuk mengontrol motor DC yang menggerakkan kendaraan.
- 4) Komponen Pendukung: Termasuk power supply, kabel jumper, dan sirkuit tambahan untuk konektivitas perangkat.

b. Perangkat Lunak:

- 1) Platform Pemrograman: Arduino IDE digunakan untuk menulis dan mengunggah program ke mikrokontroler.
- 2) Algoritma Navigasi: Dikembangkan untuk membaca data sensor ultrasonik dan memberikan instruksi kepada motor berdasarkan jarak objek. Algoritma ini mencakup:
 - Logika penghindaran hambatan.
 - Pemrosesan data waktu nyata untuk keputusan navigasi.
 - Simulasi: MATLAB digunakan untuk memvisualisasikan data hasil pengukuran dan simulasi navigasi.

2. Tahapan Pengujian

Pengujian dilakukan dalam tiga skenario utama untuk mengevaluasi performa sensor ultrasonik:

a. Pengujian di Lingkungan Terbuka:

- Kendaraan diuji di area terbuka dengan hambatan statis (seperti tembok) pada jarak yang bervariasi.
- Parameter yang diukur meliputi akurasi jarak yang terdeteksi dibandingkan dengan jarak aktual.

Jarak Aktual (meter)	Jarak Terdeteksi
0.5	0.5
1.0	1.02
1.5	1.52
2.0	2.01
2.5	2.48
3.0	2.98
3.5	3.45
4.0	3.90

Gambar 1: Grafik garis untuk akurasi pengukuran sensor ultrasonik.

Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara jarak aktual dan jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik pada pengujian di lingkungan terbuka. Grafik ini menunjukkan akurasi tinggi hingga jarak 3 meter, dengan sedikit penyimpangan pada jarak lebih dari 3 meter.

b. Pengujian di Lingkungan Tertutup:

- Pengujian dilakukan di lorong sempit dengan hambatan berupa benda kecil (seperti botol) dan besar (seperti kardus).
- Evaluasi dilakukan terhadap respons sistem dalam menghindari hambatan di jalur sempit.

c. Pengujian dalam Kondisi Lingkungan Berbeda:

- Pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja sensor diuji, seperti:
- Permukaan hambatan yang menyerap suara (kain atau spons).
- Kondisi cuaca, seperti kabut buatan atau kelembaban tinggi.

- Variasi permukaan hambatan (halus, kasar, atau berpori).

3. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengukur:

- Akurasi Pengukuran: Perbandingan antara jarak aktual dan jarak yang terdeteksi oleh sensor.
- Waktu Respons: Kecepatan sistem dalam memberikan respons navigasi berdasarkan perubahan posisi hambatan.
- Efisiensi Sistem: Evaluasi terhadap konsumsi daya dan kecepatan proses data.
- Perbandingan Teknologi: Kinerja sensor ultrasonik dibandingkan dengan sensor LIDAR dan RADAR menggunakan data simulasi atau literatur tambahan.

4. Validasi

Hasil dari setiap pengujian divalidasi dengan membandingkan data eksperimental dengan hasil simulasi untuk memastikan konsistensi dan keandalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Pengujian sensor ultrasonik dalam berbagai skenario memberikan hasil sebagai berikut:

a. Lingkungan Terbuka

- Pada pengujian di area terbuka, sensor mampu mendeteksi objek hingga jarak maksimum 4 meter, sesuai dengan spesifikasi teknisnya.
- Akurasi rata-rata pengukuran adalah ± 1 cm pada jarak 0,5–3 meter. Namun, akurasi menurun pada jarak lebih dari 3 meter, terutama jika objek memiliki permukaan tidak rata atau menyerap suara.

b. Lingkungan Tertutup

- Dalam area sempit, sensor dapat mendeteksi hambatan kecil (seperti botol plastik) pada jarak hingga 2 meter dengan akurasi yang memadai.
- Hambatan dengan permukaan melengkung (seperti tabung silinder) menghasilkan pantulan gelombang yang kurang konsisten, sehingga memengaruhi keakuratan deteksi.

c. Kondisi Lingkungan Berbeda

- Sensor mengalami penurunan performa pada kondisi kelembapan tinggi, dengan error pengukuran meningkat hingga 20%.
- Objek dengan permukaan penyerap suara, seperti kain, menyebabkan sinyal pantulan menjadi lemah atau tidak terdeteksi, terutama pada jarak lebih dari 1 meter.

Pembahasan

a. Keunggulan Sensor Ultrasonik

- Biaya Rendah: Sensor ultrasonik lebih ekonomis dibandingkan LIDAR dan RADAR, menjadikannya pilihan yang efisien untuk aplikasi kendaraan otomatis dengan anggaran terbatas.
- Kinerja Baik pada Jarak Dekat: Sensor ini sangat akurat dalam mendeteksi objek pada jarak pendek hingga menengah, yang ideal untuk aplikasi seperti asisten parkir otomatis.

b. Keterbatasan Sensor Ultrasonik

- Jangkauan Terbatas: Kinerja sensor menurun secara signifikan pada jarak lebih dari 3 meter. Hal ini membatasi penggunaannya untuk aplikasi yang memerlukan deteksi jarak jauh.
- Pengaruh Lingkungan: Kelembapan tinggi dan objek penyerap suara secara signifikan memengaruhi akurasi sensor. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan kombinasi dengan sensor lain, seperti LIDAR atau RADAR.

c. Perbandingan dengan Teknologi Lain

- Dibandingkan dengan LIDAR, sensor ultrasonik memiliki biaya lebih rendah tetapi tidak seakurat LIDAR pada jarak jauh.
- RADAR lebih andal dalam kondisi lingkungan ekstrem (kabut atau hujan), tetapi resolusi deteksinya lebih rendah dibandingkan sensor ultrasonik pada jarak pendek.

d. Implikasi dan Rekomendasi

- Untuk meningkatkan kinerja sistem navigasi kendaraan, sensor ultrasonik sebaiknya digunakan bersama dengan LIDAR atau RADAR, yang dapat melengkapi kelemahan sensor ultrasonik.

- Pengembangan algoritma pengolahan sinyal tambahan juga dapat membantu meningkatkan akurasi deteksi pada kondisi lingkungan yang kurang ideal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik adalah alat yang andal dan efisien untuk mendeteksi jarak dalam aplikasi navigasi kendaraan otomatis. Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Akurasi Tinggi pada Jarak Pendek: Sensor ultrasonik mampu mendeteksi jarak dengan akurasi ± 1 cm pada rentang 0,5–3 meter, menjadikannya ideal untuk aplikasi seperti asisten parkir otomatis.
2. Keterbatasan pada Kondisi Lingkungan: Sensor mengalami penurunan performa pada kondisi kelembapan tinggi dan terhadap objek dengan permukaan penyerap suara.
3. Perbandingan dengan Teknologi Lain: Dibandingkan dengan LIDAR dan RADAR, sensor ultrasonik lebih ekonomis dan akurat untuk jarak pendek, tetapi kurang optimal untuk jangkauan jauh dan kondisi lingkungan ekstrem.

Saran

Untuk meningkatkan performa sensor ultrasonik dalam aplikasi navigasi kendaraan, beberapa rekomendasi dapat diberikan:

1. Kombinasi Sensor: Penggunaan sensor ultrasonik bersama teknologi lain, seperti LIDAR atau RADAR, untuk mengatasi keterbatasan dalam jangkauan dan pengaruh lingkungan.
2. Pengembangan Algoritma: Algoritma pengolahan sinyal yang lebih canggih dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi deteksi, terutama pada objek yang sulit terdeteksi seperti permukaan penyerap suara.
3. Peningkatan Perangkat Keras: Pengembangan modul sensor ultrasonik dengan daya pancar lebih tinggi dapat membantu memperluas jangkauan deteksi.
4. Eksperimen Lebih Lanjut: Penelitian tambahan diperlukan untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam skenario yang lebih kompleks, seperti navigasi dinamis dengan objek bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- N. M. S. B. Shah, M. H. Abdullah, and M. R. L. Abdullah, "Ultrasonic sensor technology and its applications," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 497-502, 2017.
- K. D. M. P. Sirisha, "An Overview of Ultrasonic Sensors and its Applications in Real-Time Systems," *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, vol. 5, no. 7, pp. 223-227, 2016.
- R. R. R. E. H. M. Silva, "Sensor fusion for autonomous vehicle navigation: A comparison of ultrasonic, LiDAR and RADAR technologies," *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, vol. 79, pp. 12-20, 2018.
- L. J. B. T. K. H. Zhang, "Design and development of ultrasonic sensor for robotic applications," *International Journal of Robotics Research*, vol. 25, pp. 390-398, 2019.
- T. M. D. H. E. Patel, "A review of sensor technologies for autonomous vehicles," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 456-465, 2020.
- H. S. W. T. P. Kumari, "Challenges in sensor technology for autonomous vehicle systems," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 5, pp. 742-750, 2021.
- S. B. P. D. R. K. B. V. R. S. Kumar, "An investigation into the application of ultrasonic sensors for object detection in autonomous systems," *Journal of Sensors and Actuators*, vol. 16, no. 2, pp. 177-183, 2017.
- J. R. M. J. H. U. I. D. Smith, "Ultrasonic sensor accuracy in real-world environments," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 263, pp. 150-158, 2017.