

ANALISIS PENGARUH NATURAL USER INTERFACE BERBASIS SENSOR ULTRASONIK TERHADAP USABILITY DAN USER EXPERIENCE PADA SISTEM INTERAKSI MULTIMEDIA INTERAKTIF

Rizki Dwi Irianti^{1*}, Ashafidz Fauzan Dianta², Zakha Maisat Eka Darmawan³, Putri Ariatna Alia⁴, Churnia Sari⁵

^{1,2,3,4} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

⁵ Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, Indonesia

irianti@pens.ac.id^{1*}, ashafidz@pens.ac.id²

zakha@pens.ac.id³, ariatna@pens.ac.id⁴

churnia.sari@unj.ac.id⁵

corresponding author : irianti@pens.ac.id^{1}

Received: 28-05- 2026

Revised: 15-05-2026

Approved: 26-05-2026

ABSTRAK

Interaksi manusia dan komputer terus berkembang dari pendekatan konvensional menuju antarmuka yang lebih alami dan intuitif. Natural User Interface (NUI) merupakan salah satu paradigma HCI yang memanfaatkan gerakan tubuh dan gestur pengguna sebagai media interaksi tanpa ketergantungan pada perangkat input tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem NUI berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 pada lingkungan multimedia interaktif Unity, serta menganalisis pengaruhnya terhadap usability dan user experience pengguna. Sistem dikembangkan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai perangkat akuisisi data spasial, Arduino Mega 2560 sebagai unit pemrosesan data, dan Unity sebagai platform visualisasi interaktif. Mekanisme inverse mapping diterapkan untuk menerjemahkan jarak tangan pengguna terhadap sensor menjadi pergerakan objek virtual secara real-time. Pengujian akurasi sensor menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 1,99%, yang mengindikasikan tingkat akurasi yang memadai untuk sistem interaksi berbasis gestur real-time. Evaluasi usability menggunakan metode System Usability Scale (SUS) dengan 15 responden menghasilkan nilai rata-rata sebesar 80,5, yang termasuk dalam kategori Excellent. Hasil tersebut menunjukkan bahwa implementasi NUI berbasis sensor ultrasonik memberikan pengaruh positif terhadap usability dan user experience melalui interaksi yang responsif, intuitif, dan natural, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut pada aplikasi multimedia interaktif, game berbasis gestur, dan media pembelajaran digital.

Kata Kunci — Natural User Interface, Sensor Ultrasonik, Arduino, U, Usability

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mengubah paradigma interaksi manusia dan komputer secara fundamental. Interaksi tradisional yang sebelumnya bergantung pada perangkat input fisik seperti keyboard, mouse, dan joystick mulai berkembang menuju bentuk yang lebih intuitif, efisien, dan menyerupai perilaku alami manusia [1]. Pergeseran ini mendorong munculnya berbagai pendekatan antarmuka baru yang lebih adaptif terhadap kebutuhan pengguna modern.

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah Natural User Interface (NUI), yaitu sebuah paradigma antarmuka yang memungkinkan pengguna berinteraksi menggunakan mekanisme alami seperti sentuhan, gerakan tubuh, suara, maupun gestur tangan, sehingga interaksi dapat berlangsung lebih intuitif dibandingkan perangkat input konvensional [2]. Dalam konteks Human Computer Interaction (HCI), kualitas interaksi dipengaruhi oleh efektivitas, efisiensi, dan tingkat kepuasan pengguna selama menggunakan sistem [3]. Sejalan dengan hal ini, kajian komprehensif oleh Martín et al. [4] menegaskan bahwa NUI berperan signifikan dalam meningkatkan aksesibilitas dan keterlibatan pengguna pada berbagai kategori aplikasi digital, termasuk lingkungan

multimedia interaktif.

Pada bidang multimedia interaktif, penerapan NUI semakin meluas pada berbagai domain aplikasi seperti virtual reality, permainan interaktif, sistem edukasi digital, dan simulasi berbasis gestur [5]. Interaksi berbasis gestur terbukti mampu meningkatkan keterlibatan pengguna sekaligus mengurangi beban kognitif selama penggunaan sistem digital [6]. Penelitian oleh Guerino dan Valentim [7] melalui systematic mapping study mengidentifikasi bahwa evaluasi usability dan user experience pada sistem NUI menjadi aspek kritis yang masih belum dieksplorasi secara komprehensif, khususnya dalam konteks multimedia interaktif berbasis sensor.

Meskipun teknologi NUI berbasis depth camera, motion capture, dan sistem pengenalan citra telah banyak dikaji, implementasinya masih membutuhkan biaya yang relatif tinggi serta spesifikasi perangkat keras yang besar [8]. Oleh karena itu, diperlukan alternatif implementasi yang lebih ekonomis dan efisien tanpa mengurangi kualitas interaksi. Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan, dengan keunggulan biaya rendah, proses komputasi ringan, dan kemampuan mendeteksi perubahan posisi objek secara real-time [9].

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi integrasi sensor ultrasonik dalam sistem interaksi berbasis gestur. Irianti et al. [10] berhasil mengembangkan sistem Dodge Runner menggunakan sensor ultrasonik sebagai media kontrol gestur real-time pada Unity, menunjukkan bahwa sensor mampu mengendalikan objek virtual secara responsif. Penelitian terkait juga membuktikan bahwa perangkat Arduino pada sistem permainan interaktif mampu meningkatkan keterlibatan pengguna dalam proses interaksi digital [11]. Studi terbaru oleh Irianti et al. [12] pada sistem Tangible User Interface berbasis Push Button di Unity turut menunjukkan potensi integrasi perangkat keras sederhana dalam lingkungan multimedia interaktif.

Namun demikian, terdapat *research gap* yang signifikan: sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada implementasi teknis sistem NUI berbasis sensor, sementara evaluasi mendalam terkait usability dan user experience masih belum dilakukan secara sistematis dan komprehensif [7]. Padahal, pengalaman pengguna merupakan faktor determinan dalam menentukan tingkat penerimaan dan efektivitas suatu sistem interaktif [13]. Penelitian oleh Santos et al. [14] menegaskan bahwa evaluasi usability yang tidak memadai pada sistem NUI mengakibatkan rendahnya adopsi teknologi tersebut oleh pengguna akhir.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang dan mengimplementasikan sistem NUI berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 menggunakan Arduino Mega 2560 dan Unity; (2) mengevaluasi akurasi sensor dalam konteks interaksi berbasis gestur real-time; dan (3) menganalisis pengaruh implementasi NUI terhadap usability dan user experience menggunakan metode System Usability Scale (SUS). Evaluasi SUS dipilih karena telah terbukti sebagai instrumen pengukuran usability yang sederhana, reliabel, dan telah divalidasi secara empiris pada berbagai konteks sistem interaktif [15][16].

Kontribusi penelitian ini meliputi: (1) implementasi sistem NUI ekonomis menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan Arduino Mega pada lingkungan Unity; (2) pengembangan mekanisme kendali berbasis gestur tangan dengan inverse mapping untuk objek virtual; (3) evaluasi usability menggunakan SUS pada konteks multimedia interaktif berbasis sensor; serta (4) analisis komprehensif pengaruh NUI terhadap user experience, yang diharapkan dapat mengisi celah penelitian yang ada dan berkontribusi pada pengembangan sistem interaktif yang lebih terjangkau namun tetap berkualitas tinggi.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, serta evaluasi usability menggunakan metode System Usability Scale (SUS).

A. Perancangan Sistem

Sistem yang dikembangkan merupakan sistem Natural User Interface (NUI) berbasis sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengontrol objek virtual pada Unity menggunakan gestur tangan pengguna. Sistem terdiri atas tiga bagian utama, yaitu proses akuisisi data, pemrosesan data, dan visualisasi interaktif.

1. Akuisisi Data

Sensor HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi perubahan jarak antara tangan pengguna dan sensor. Sensor ultrasonik HC-SR04 bekerja menggunakan prinsip pantulan gelombang ultrasonik (echo) untuk mengukur jarak objek berdasarkan waktu tempuh sinyal.

2. Pemrosesan Data

Arduino Mega 2560 digunakan sebagai unit pemrosesan data. Arduino bertugas mengolah nilai hasil pembacaan sensor serta mengirimkan data menuju Unity melalui komunikasi serial. Arduino Mega dipilih karena memiliki jumlah pin digital yang lebih banyak serta kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan beberapa varian Arduino lainnya.

3. Visualisasi Interaktif

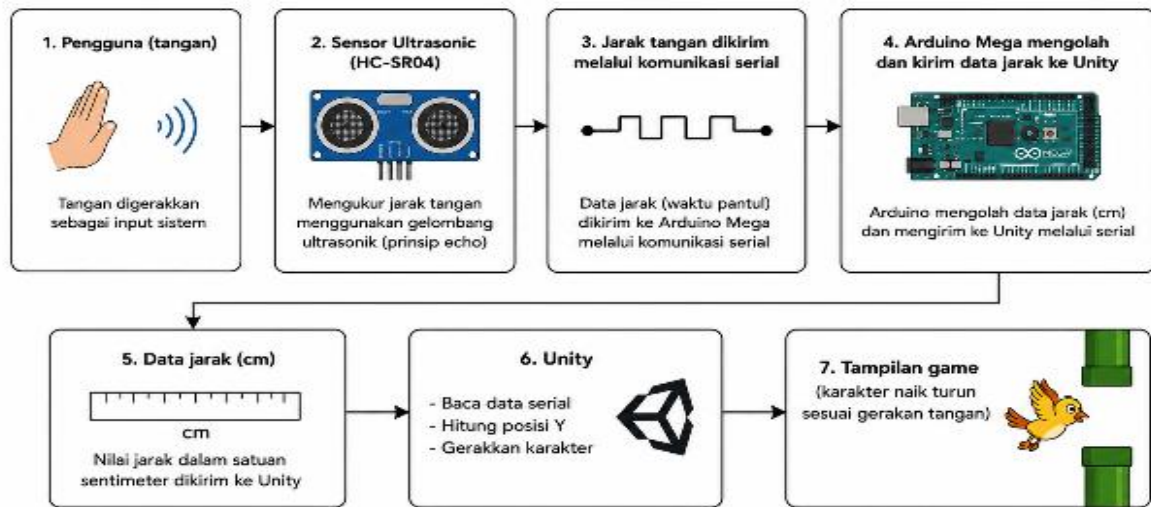
Unity digunakan sebagai media visualisasi objek virtual berupa karakter burung yang dikendalikan berdasarkan data sensor.



Gambar 1. Arsitektur sistem penelitian

Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem Natural User Interface berbasis sensor ultrasonik yang dikembangkan pada penelitian ini. Sistem terdiri atas tiga proses utama yaitu akuisisi data, pemrosesan data, dan visualisasi interaktif. Pada tahap akuisisi data, sensor HC-SR04 mendeteksi perubahan posisi tangan pengguna dan menghasilkan nilai jarak berdasarkan waktu pantulan gelombang ultrasonik. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim menuju Arduino Mega untuk diproses. Arduino mengonversi waktu pantulan menjadi nilai jarak dalam satuan sentimeter dan mengirimkannya menuju Unity menggunakan komunikasi serial dengan baud rate 9600 bps. Komunikasi serial digunakan sebagai media pertukaran data antara perangkat keras dan perangkat lunak agar sinkronisasi dapat berlangsung secara real-time. Pada tahap visualisasi, Unity menerima data jarak dan memetakan nilai tersebut ke koordinat objek virtual berupa burung menggunakan mekanisme inverse mapping. Semakin dekat tangan pengguna terhadap sensor maka posisi objek bergerak menuju bagian bawah, sedangkan semakin jauh tangan dari sensor maka objek bergerak menuju bagian atas. Integrasi antar komponen memungkinkan sistem menghasilkan interaksi yang lebih alami tanpa memerlukan perangkat input konvensional seperti mouse maupun keyboard.

4. Diagram Alur Interaksi Sistem



Gambar 2. Diagram alur interaksi sistem berbasis Natural User Interface

Gambar 2 menunjukkan alur interaksi antara pengguna dan sistem secara keseluruhan. Proses dimulai ketika pengguna menggerakkan tangan di depan sensor ultrasonik. Sensor mendeteksi perubahan posisi tangan dan menghasilkan data jarak yang dikirimkan menuju Arduino Mega melalui komunikasi serial. Arduino memproses nilai tersebut menjadi data numerik dalam satuan sentimeter dan mengirimkannya menuju Unity. Selanjutnya Unity membaca data secara real-time dan menghitung posisi vertikal (Y-position) objek virtual. Data tersebut digunakan untuk memperbarui posisi objek burung sehingga menghasilkan visualisasi pergerakan sesuai perubahan posisi tangan pengguna.

B. Perangkat Keras Penelitian

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras Penelitian

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Arduino Mega	ATmega2560	Pemrosesan dan pengiriman data sensor
HC-SR04	40 kHz, range 2–400 cm	Akuisisi data jarak tangan pengguna
USB Serial	Baud rate 9600 bps	Komunikasi data Arduino–Unity
Laptop	Unity 2022, Windows 10	Visualisasi sistem interaktif

C. Implementasi Sistem

Sensor HC-SR04 bekerja menggunakan prinsip pantulan gelombang ultrasonik. Nilai jarak dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jarak (cm)} = (\text{Durasi} \times 0,034) / 2$$

Data jarak dikirim ke Unity menggunakan komunikasi serial 9600 bps. Sistem menerapkan mekanisme inverse mapping: semakin dekat tangan terhadap sensor, posisi objek virtual bergerak ke bawah; semakin jauh tangan, objek bergerak ke atas. Fungsi interpolasi `Mathf.Lerp()` diterapkan untuk menghasilkan transisi pergerakan yang halus, sementara fungsi `Mathf.Clamp()` memastikan objek tetap dalam area permainan yang valid.

D. Evaluasi Usability menggunakan System Usability Scale (SUS)

Evaluasi usability dilakukan menggunakan metode SUS yang diperkenalkan Brooke, dipilih karena telah terbukti reliabel dan valid sebagai instrumen pengukuran usability pada berbagai konteks sistem interaktif [15]. SUS terdiri atas 10 pernyataan dengan skala Likert 1–5. Pengujian dilakukan terhadap 15 responden berusia 18–25 tahun. Jumlah responden ini memenuhi standar minimum evaluasi SUS, sebagaimana dikonfirmasi oleh Lewis [16] bahwa 12–20 responden sudah memadai untuk pengujian usability.

Sebelum pengisian kuesioner, responden menggunakan sistem selama 3–5 menit dengan skenario: (1) menggerakkan objek burung menuju posisi atas; (2) menggerakkan objek menuju posisi bawah; (3) menghindari rintangan permainan; dan (4) menyesuaikan posisi tangan dengan pergerakan objek virtual.

Perhitungan skor SUS dilakukan sebagai berikut:

- Pernyataan ganjil (1, 3, 5, 7, 9): Skor = Jawaban – 1
- Pernyataan genap (2, 4, 6, 8, 10): Skor = 5 – Jawaban

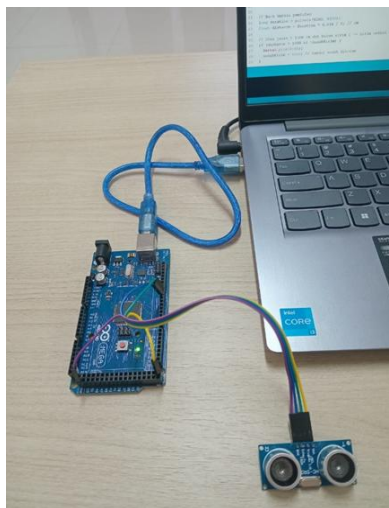
$$\text{SUS Score} = (\text{Jumlah Skor}) \times 2,5$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Rangkaian sistem yang dikembangkan terdiri atas Arduino Mega 2560 dan sensor ultrasonik HC-SR04 yang dihubungkan menggunakan kabel jumper sebagai media transmisi data. Sistem ini berfungsi untuk mendeteksi perubahan posisi tangan pengguna dan mengubahnya menjadi data digital yang dapat diproses lebih lanjut pada lingkungan multimedia interaktif. Rangkaian perangkat keras yang ditunjukkan pada gambar 3 pada penelitian ini terdiri atas sensor ultrasonik HC-SR04 yang terhubung dengan Arduino Mega 2560 menggunakan pin *trigger*, *echo*, *VCC*, dan *ground*. Sensor HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak antara tangan pengguna dengan sensor, sedangkan Arduino Mega bertugas mengolah data hasil pembacaan sensor sebelum dikirimkan menuju Unity melalui komunikasi serial. Arduino Mega dipilih karena memiliki kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan Arduino Uno sehingga lebih stabil dalam pengolahan data serial secara real-time.

Selain itu jumlah pin yang lebih banyak memungkinkan sistem dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan sensor tambahan untuk mendukung interaksi multidimensi.

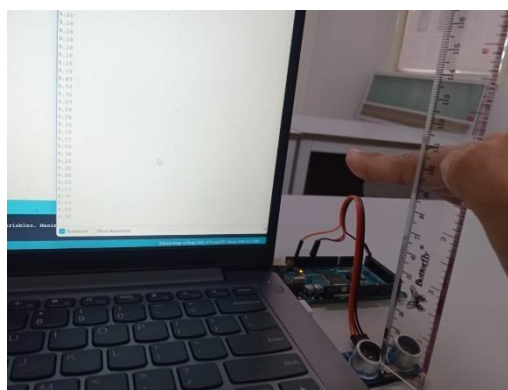


Gambar 3. Rangkaian perangkat keras sistem

Sensor HC-SR04 dipilih karena memiliki kemampuan pengukuran jarak tanpa kontak fisik dengan tingkat akurasi yang cukup baik serta proses implementasi yang relatif sederhana. Penggunaan sensor ini juga mendukung pengembangan sistem Natural User Interface yang membutuhkan respons cepat terhadap perubahan posisi pengguna.

B. Pengujian Akurasi dan Linearitas Sensor HC-SR04

Pengujian akurasi dilakukan untuk memvalidasi kemampuan sensor HC-SR04 dalam mendeteksi jarak objek sebagai masukan (*input*) pada sistem Natural User Interface. Pada tahap ini dilakukan perbandingan antara jarak aktual yang diukur menggunakan penggaris dengan nilai pembacaan yang dihasilkan sensor melalui serial monitor Arduino.



Gambar 4. Pengujian akurasi sensor ultrasonik HC-SR04

Gambar 4 menunjukkan proses pengujian akurasi sensor HC-SR04 menggunakan penggaris sebagai alat ukur pembanding. Nilai jarak aktual dibandingkan dengan data hasil pembacaan pada *Serial Monitor* untuk mengetahui tingkat akurasi dan linearitas sensor. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

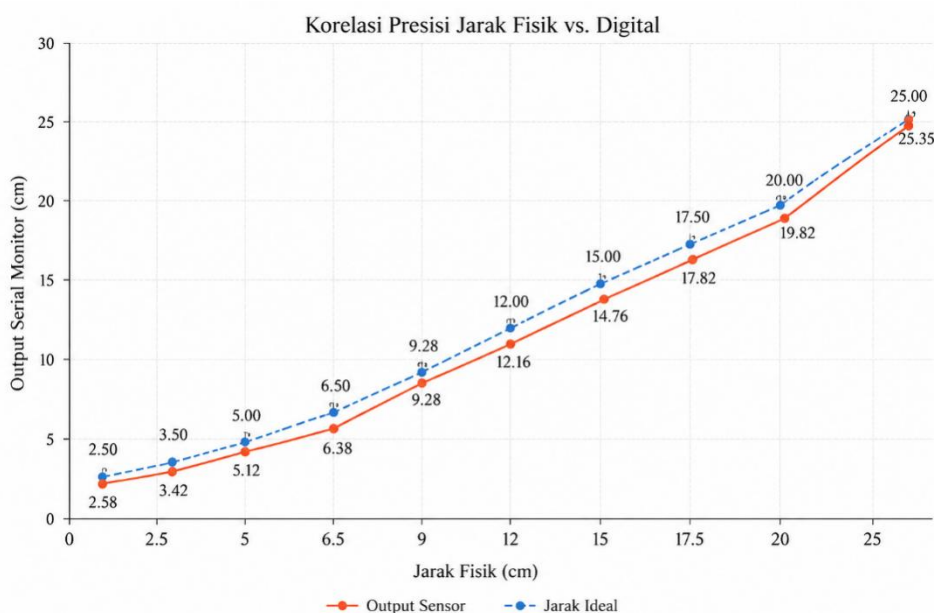
Rata-rata persentase error yang diperoleh sebesar:

$$\text{Error rata-rata} = 1.99\%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi untuk digunakan pada sistem interaksi multimedia berbasis gestur. Grafik pada gambar 5 menunjukkan kurva hasil pembacaan sensor (garis oranye) memiliki pola yang hampir mengikuti garis ideal jarak fisik (garis biru putus-putus). Kedekatan pola kedua kurva tersebut menunjukkan adanya hubungan linear yang cukup kuat antara nilai pengukuran aktual dan output digital sensor.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor HC-SR04

Jarak Aktual (cm)	Output Sensor (cm)	Error (cm)	Persentase Error (%)
2,5	2,58	0,08	3,20
3,5	3,42	0,08	2,29
5,0	5,12	0,12	2,40
6,5	6,38	0,12	1,85
9,0	9,28	0,28	3,11
12,0	12,16	0,16	1,33
15,0	14,76	0,24	1,60
17,5	17,82	0,32	1,83
20,0	19,82	0,18	0,90
25,0	25,35	0,35	1,40



Gambar 5. Uji akurasi dan linearitas sensor ultrasonik HC-SR04

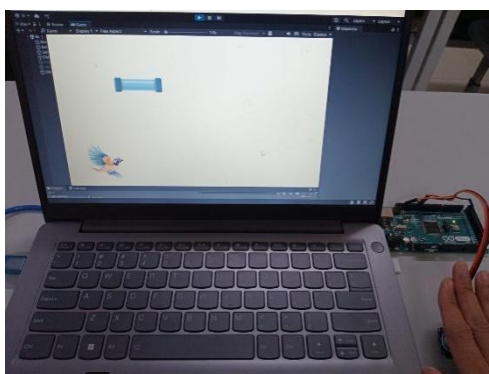
Pada rentang jarak dekat (2,5–6,5 cm), deviasi pembacaan relatif kecil dengan error maksimum sebesar 0,12 cm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan posisi tangan dengan sensitivitas tinggi sehingga sesuai digunakan pada sistem NUI yang memerlukan respons cepat terhadap gestur pengguna. Pada rentang jarak menengah (9–17,5 cm), sensor menunjukkan peningkatan deviasi kecil sebesar 0,28–0,32 cm. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penyebaran gelombang ultrasonik (*beam spreading*), sudut pantulan objek, gangguan lingkungan dan *noise* pada proses komunikasi serial.

Namun demikian, perubahan nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi sistem interaktif. Pada rentang jarak jauh (20–25 cm), pembacaan sensor kembali

menunjukkan kecenderungan stabil dengan deviasi maksimum sebesar 0,35 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor masih mampu mempertahankan konsistensi pembacaan meskipun objek berada pada jarak yang lebih besar. Secara keseluruhan hasil ini menunjukkan bahwa HC-SR04 memiliki karakteristik linearitas yang baik dan mampu menghasilkan pembacaan yang stabil pada berbagai rentang pengukuran.

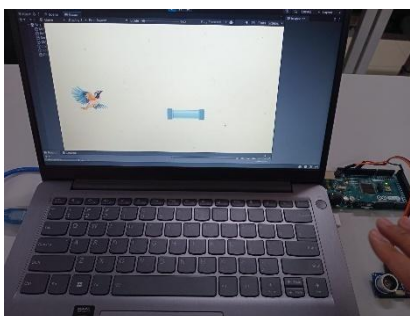
C. Implementasi Interaksi pada Unity

Setelah proses akuisisi data selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah integrasi data sensor dengan lingkungan multimedia interaktif menggunakan Unity. Sistem menerapkan mekanisme *inverse mapping*, yaitu hubungan berbanding terbalik antara posisi tangan terhadap sensor dan posisi objek virtual pada layar.



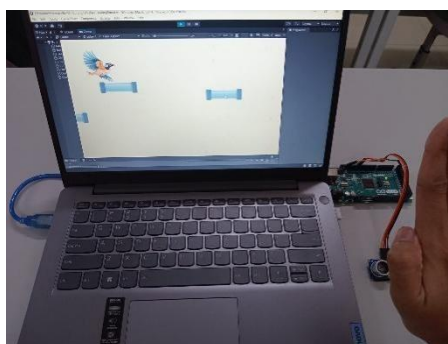
Gambar 6. Posisi tangan dekat sensor

Gambar 6 menunjukkan kondisi tangan berada pada jarak yang relatif dekat terhadap sensor sehingga nilai pembacaan sensor menjadi kecil. Nilai tersebut dipetakan ke koordinat objek virtual sehingga burung bergerak menuju posisi bawah.



Gambar 7. Posisi tangan pada jarak menengah

Gambar 7 menunjukkan kondisi objek virtual berada pada posisi tengah karena nilai sensor berada pada rentang normalisasi sedang.



Gambar 7. Posisi tangan jauh dari sensor

Pada kondisi ini peningkatan nilai jarak menyebabkan objek bergerak menuju posisi yang lebih tinggi. Implementasi mekanisme tersebut dilakukan menggunakan fungsi interpolasi pada Unity sehingga transisi pergerakan objek menjadi lebih halus. Penggunaan metode interpolasi membantu mengurangi fenomena *jitter* atau pergerakan objek yang tidak stabil akibat fluktuasi kecil pada pembacaan sensor. Selain itu sistem juga menerapkan fungsi pembatas (*clamp*) untuk memastikan objek tetap berada pada area permainan. Berdasarkan hasil observasi, sinkronisasi antara gerakan tangan pengguna dan pergerakan objek virtual berlangsung secara real-time tanpa latensi yang mengganggu pengalaman pengguna.

Dalam perspektif Human Computer Interaction, kondisi tersebut menunjukkan terpenuhinya beberapa karakteristik penting sistem NUI yaitu sistem dirancang agar mampu merespons input pengguna secara cepat (*responsiveness*), memungkinkan pengguna memahami mekanisme interaksi secara intuitif tanpa memerlukan pembelajaran yang kompleks (*intuitiveness*), serta memberikan umpan balik visual yang jelas sebagai konfirmasi terhadap setiap interaksi yang dilakukan (*visual feedback*).

D. Analisis Usability Menggunakan System Usability Scale (SUS)

Evaluasi usability dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan sistem Natural User Interface berbasis sensor ultrasonik yang dikembangkan. Pengujian dilakukan terhadap 15 responden dengan rentang usia 18–25 tahun ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Evaluasi System Usability Scale (SUS)

Responden	Skor SUS
R1	80
R2	77,5
R3	82,5
R4	75
R5	85
R6	77,5
R7	80
R8	82,5
R9	75
R10	80
R11	87,5
R12	77,5
R13	82,5
R14	80
R15	85

Total skor:

1207.5

Rata-rata skor usability:

$$SUS_{rata-rata} = 1207.5 / 15 = 80.5$$

Interpretasi nilai SUS ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi Nilai SUS

Rentang SUS	Kategori
<50	Poor
50-68	Marginal
68-80	Good
>80	Excellent
>85	Best Imaginable

Hasil evaluasi menunjukkan nilai rata-rata SUS sebesar 80,5, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat penerimaan pengguna yang tinggi. Hasil evaluasi menunjukkan rata-rata skor SUS sebesar 80,5, yang termasuk dalam kategori Excellent menurut klasifikasi Bangor et al. [15]. Nilai ini berada di atas ambang batas penerimaan sistem (68) dan melampaui kategori Good (68-80), mengindikasikan tingkat penerimaan pengguna yang tinggi terhadap sistem yang dikembangkan. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa sistem interaksi berbasis sensor dengan respons real-time cenderung menghasilkan nilai usability yang lebih tinggi dibandingkan sistem berbasis perangkat input konvensional [18].

PEMBAHASAN

Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa implementasi NUI berbasis sensor ultrasonik berhasil menghasilkan mekanisme interaksi yang responsif, intuitif, dan natural pada lingkungan multimedia interaktif Unity. Terdapat empat faktor utama yang berkontribusi terhadap tingginya nilai usability yang diperoleh:

- 1) Respons Real-Time yang Cepat: Komunikasi serial 9600 bps memungkinkan data ditransmisikan secara real-time sehingga pengguna tidak merasakan delay yang mengganggu. Hal ini mendukung prinsip responsiveness dalam HCI yang dikemukakan oleh Guerino dan Valentim [7].
- 2) Interaksi Natural dan Intuitif: Penggunaan gestur tangan mengurangi beban kognitif karena pengguna tidak perlu mempelajari prosedur penggunaan perangkat input tambahan. Studi oleh Arifin et al. [9] mengonfirmasi bahwa sensor ultrasonik mampu memberikan respons jarak yang akurat dan konsisten untuk keperluan interaksi real-time.
- 3) Transisi Visual yang Halus: Penggunaan fungsi `Mathf.Lerp()` menghasilkan transisi visual yang smooth, mengurangi efek jitter yang dapat mengganggu pengalaman pengguna. Pendekatan ini sesuai dengan rekomendasi implementasi inverse mapping pada sistem NUI berbasis sensor [10].
- 4) Visual Feedback yang Jelas: Objek virtual bergerak secara langsung sesuai gerakan pengguna sehingga memudahkan pemahaman hubungan antara tindakan fisik dan respons sistem. Hal ini berkontribusi pada peningkatan user experience yang terukur [12].

Dibandingkan dengan penelitian terkait yang menggunakan perangkat NUI berbiaya tinggi seperti depth camera dan Kinect, penelitian ini membuktikan bahwa kualitas usability yang setara (kategori Excellent) dapat dicapai menggunakan komponen yang lebih ekonomis. Nilai SUS 80,5 yang diperoleh lebih tinggi dari rata-rata SUS sistem interaktif umum (68-72) berdasarkan benchmarking Lewis [16], menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan alternatif yang layak dan efektif untuk

implementasi NUI pada multimedia interaktif. Namun demikian, keterbatasan sistem ini mencakup sensitivitas terhadap gangguan akustik lingkungan dan keterbatasan dimensi interaksi pada satu sumbu (vertikal), yang dapat menjadi dasar pengembangan pada penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem Natural User Interface (NUI) berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 menggunakan Arduino Mega 2560 dan Unity pada lingkungan multimedia interaktif. Mengacu pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Pertama, sistem NUI yang dikembangkan berhasil diimplementasikan dengan arsitektur tiga lapisan (akuisisi data, pemrosesan, visualisasi) yang bekerja secara terintegrasi dan real-time menggunakan komponen yang ekonomis dan mudah diperoleh. Kedua, pengujian akurasi sensor HC-SR04 menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 1,99%, mengindikasikan tingkat akurasi yang memadai dan konsistensi linearitas yang baik pada rentang pengukuran 2,5–25 cm, sehingga layak digunakan sebagai perangkat akuisisi data pada sistem interaksi berbasis gestur real-time. Ketiga, evaluasi usability menggunakan metode SUS dengan 15 responden menghasilkan nilai rata-rata 80,5 (kategori Excellent), menunjukkan bahwa implementasi NUI berbasis sensor ultrasonik memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap usability dan user experience pengguna melalui interaksi yang responsif, intuitif, dan natural.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan alternatif yang efektif dan terjangkau untuk implementasi NUI pada multimedia interaktif. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan pengembangan sistem dengan multi-sensor untuk mendukung interaksi multidimensi, pengujian dengan sampel yang lebih besar dan beragam, serta eksplorasi penerapan pada konteks pembelajaran digital untuk mendukung pengembangan media edukasi interaktif berbasis gestur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Wigdor and D. Wixon, *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2011.
- [2] B. Shneiderman, C. Plaisant, M. Cohen, S. Jacobs, N. Lazar, and P. Zettlemoyer, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 6th ed. Hoboken, NJ: Pearson, 2016.
- [3] ISO 9241-11:2018, *Ergonomics of Human-System Interaction — Part 11: Usability: Definitions and Concepts*. International Organization for Standardization, 2018.
- [4] M. Martín, D. Lores, and M. S. Pérez, "A comprehensive review on NUI, multi-sensory interfaces and UX design for applications and devices for visually impaired users," *Frontiers in Public Health*, vol. 12, p. 1357160, Oct. 2024, doi: 10.3389/fpubh.2024.1357160.
- [5] K. S. Santos et al., "Gesture-based interactions: Integrating accelerometer and gyroscope sensors in the use of mobile apps," *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 1004, Feb. 2024, doi: 10.3390/s24031004.
- [6] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE Trans. Inf. Syst.*, vol. E77-D, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [7] G. C. Guerino and N. M. C. Valentim, "Usability and user experience evaluation of natural user interfaces: A systematic mapping study," *IET Software*, vol. 14, no. 5, pp. 451–467, Oct. 2020, doi: 10.1049/iet-sen.2020.0051.

- [8] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale," *Int. J. Human-Computer Interaction*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, 2008, doi: 10.1080/10447310802205776.
- [9] T. N. Arifin, G. F. Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor ultrasonik sebagai sensor jarak," *Jurnal Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 55–62, Sep. 2022, doi: 10.59832/JT.V2I2.183.
- [10] R. D. Irianti, P. A. Alia, F. P. Nurmaida, M. I. Hag, and D. F. Abdillah, "Dodge Runner: Ultrasonic sensor-based natural user interface for real-time gesture control in Unity," *Prosiding Seminar Seni Media Rekam*, vol. 3, no. 1, pp. 111–124, 2025.
- [11] P. A. Alia, J. S. Prayogo, R. Kriswibowo, and A. T. Setyadi, "Implementation open artificial intelligence ChattGPT integrated with Whatsapp Bot," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, p. 02401019, Jan. 2024, doi: 10.26877/ASSET.V6I1.17909.
- [12] R. D. Irianti, A. F. Dianta, Z. M. E. Darmawan, F. P. Nurmaida, and A. R. Saputra, "Implementation of a push button-based tangible user interface for virtual object control in Unity," *Journal Informatic, Education and Management (JIEM)*, vol. 8, no. 1, pp. 747–756, 2026, doi: 10.61992/jiem.v8i1.254.
- [13] M. A. Santos, A. R. Costa, and V. N. Freire, "Natural user interface for motor rehabilitation: A systematic literature review," *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 142, p. 102455, 2020, doi: 10.1016/j.ijhcs.2020.102455.
- [14] G. C. Guerino, N. M. C. Valentim, and T. A. da Silva, "Evaluation methods for natural user interfaces: A systematic literature review," in *Proc. 19th Brazilian Symp. Human Factors in Comput. Syst. (IHC)*, 2020, pp. 1–10, doi: 10.1145/3424953.3426485.
- [15] A. Bangor, P. Kortum, and J. Miller, "Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale," *J. Usability Studies*, vol. 4, no. 3, pp. 114–123, 2009.
- [16] J. R. Lewis, "The System Usability Scale: Past, present, and future," *Int. J. Human-Computer Interaction*, vol. 34, no. 7, pp. 577–590, 2018, doi: 10.1080/10447318.2018.1455307.
- [17] D. Wigdor and D. Wixon, *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2011.
- [18] L. Durand-Rivera and C. Martínez-González, "Usability evaluation of a tangible user interface and serious game for identification of cognitive deficiencies in preschool children," *Int. J. Advanced Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 6, 2020.
- [19] P. Vlachogianni and N. Tselios, "Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review," *J. Research on Technology in Education*, vol. 54, no. 3, pp. 392–409, 2022, doi: 10.1080/15391523.2021.1867938.
- [20] R. Kriswibowo, P. A. Alia, J. S. Prayogo, and R. W. Febriana, "Implementation of text processing techniques on citizen opinions regarding floods in Surabaya," *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 30–36, May 2024, doi: 10.33019/ELECTRON.V5I1.148.
- [21] P. A. Alia, "Literature review: Lung disease detection based on X-Ray using artificial intelligence," *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 50–53, Nov. 2023, doi: 10.59407/JRSIT.V1I2.152.
- [22] C. Ooka, A. Ohya, and A. Yorozu, "Principal component analysis for agricultural robot following," in *IAS-18*, pp. 175–187, 2023.