

DODGE RUNNER: ULTRASONIC SENSOR-BASED NATURAL USER INTERFACE FOR REAL-TIME GESTURE CONTROL IN UNITY

Rizki Dwi Irianti

Departemen Teknologi Multimedia Kreatif, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: irianti@pens.ac.id

Putri Ariatna Alia

Departemen Teknologi Multimedia Kreatif, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: ariatna@pens.ac.id

Firnanda Pristiana Nurmaida

Departemen Teknologi Multimedia Kreatif, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: firnandapn@pens.ac.id

Muhammad Iqbal Izzul Haq

Departemen Teknologi Multimedia Kreatif, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: iqbal@pens.ac.id

David Fahmi Abdillah

Departemen Teknologi Multimedia Kreatif, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: davidfahmi354@pens.ac.id

ABSTRAK

Dodge Runner adalah sebuah eksperimen media interaktif yang menggabungkan seni media rekam dengan teknologi sensorik melalui pendekatan hibriditas kreatif. Proyek ini mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 dan mikrokontroler Arduino sebagai medium interaksi fisik yang dihubungkan secara real-time dengan game engine Unity. Pengguna dapat mengendalikan karakter permainan melalui gerakan tangan di depan sensor, yang secara langsung diterjemahkan menjadi respon visual dalam lingkungan digital. Pendekatan ini mewakili kolaborasi multidisiplin antara seni, teknologi interaktif, dan desain antarmuka, yang menghasilkan pengalaman gestural berbasis data yang direkam dan divisualisasikan dalam bentuk pengalaman imersif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan jarak tangan dengan latensi rata-rata 50 ms, sementara visualisasi objek dalam Unity tetap stabil dan presisi sesuai dengan pergerakan pengguna dalam ruang fisik. Selain itu, sistem menunjukkan konsistensi kontrol pada rentang jarak 5–50 cm, dengan perubahan posisi karakter yang halus dan responsif. Penerapan ini tidak hanya relevan dalam konteks permainan digital, tetapi juga membuka peluang untuk eksplorasi dalam ranah seni instalasi, performans digital, dan media interaktif berbasis sensor. Studi ini menegaskan bahwa integrasi sensor fisik dengan platform visual interaktif dapat menjadi sarana inovatif dalam seni media rekam, memperluas praktik kreatif melalui pendekatan berbasis teknologi dan data.

Kata Kunci: creative hybridity, media art, ultrasonic sensor, interactive game, gestural control, digital media installation

Pendahuluan

Perkembangan seni media rekam dalam dua dekade terakhir menunjukkan pergeseran dari karya yang sekadar ditonton menjadi karya yang hidup melalui interaksi. Seniman dan perancang kini tidak hanya bekerja dengan citra statis atau video linear, tetapi juga dengan data sensor, pemrograman waktu nyata, dan sistem cerdas yang merespons kehadiran tubuh penonton. Konteks inilah yang melahirkan gagasan hibriditas kreatif, yakni pertemuan antara praktik seni, desain interaksi, dan teknologi komputasi sebagai satu ekosistem kolaboratif yang saling mengubah dan memperkaya (Manovich, 2001; Paul, 2015).

Dalam kerangka hibriditas kreatif, medium seni tidak lagi terbatas pada kamera, mikrofon, atau perangkat perekam konvensional, melainkan meluas ke sensor-sensor fisik yang mampu menangkap gestur, jarak, maupun gerak tubuh sebagai “rekaman” yang bersifat temporer dan dinamis. Data sensor tersebut dapat diperlakukan sebagai bahan baku artistik yang diolah menjadi visual, suara, maupun pengalaman ruang yang berubah-ubah mengikuti partisipasi penonton. Hal ini sejalan dengan pemikiran Dourish (2001) tentang *embodied interaction*, di mana tubuh manusia menjadi bagian integral dari sistem interaksi dan bukan sekadar pengamat pasif.

Dalam ranah desain antarmuka, pendekatan ini beririsan kuat dengan konsep Natural User Interface (NUI), yaitu antarmuka yang memanfaatkan kemampuan alami manusia—seperti gerakan tangan, posisi tubuh, dan ekspresi—sebagai bentuk input utama (Norman, 2010; Wigdor & Wixon, 2011). NUI berupaya menghadirkan pengalaman penggunaan yang intuitif, di mana pengguna dapat “langsung bermain” tanpa kurva belajar yang curam. Prinsip-prinsip seperti *naturalness*, *feedback & responsiveness*, dan *skill transfer* menjadikan NUI relevan untuk praktik seni interaktif yang menuntut keterlibatan spontan penonton (Buxton, 2010; Antle & Wise, 2019).

Proyek Dodge Runner ditempatkan dalam konteks tersebut sebagai sebuah eksperimen media interaktif yang menggabungkan format permainan (game) dengan praktik seni media rekam berbasis sensor. Menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terhubung ke mikrokontroler Arduino, sistem ini merekam jarak tangan pengguna sebagai data gestural yang kemudian diumpankan secara real-time ke Unity. Gestur tangan—mendekat dan menjauh dari sensor—diterjemahkan menjadi pergerakan karakter dalam permainan untuk menghindari rintangan visual. Dengan demikian, hubungan antara tubuh, sensor, dan citra digital membentuk loop interaksi baru: tindakan fisik direkam sebagai data, diolah secara komputasional, lalu diproyeksikan kembali sebagai perubahan visual dalam ruang permainan (Singh et al., 2021).

Dalam konteks seminar Seni Media Rekam, *Dodge Runner* tidak hanya dibaca sebagai game hiburan, tetapi sebagai prototipe karya hibrid yang memadukan logika permainan, estetika visual, dan arsitektur sistem interaktif. Di satu sisi, karya ini menunjukkan bagaimana perangkat keras berbiaya rendah seperti Arduino dan sensor ultrasonik dapat dimanfaatkan untuk membangun pengalaman interaksi yang kaya dan

imersif. Di sisi lain, proyek ini membuka diskusi tentang bagaimana data sensorik—yang biasanya berada di domain teknik—dapat dikonseptualisasikan sebagai material artistik yang setara dengan gambar, suara, dan narasi visual.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) merancang dan mengimplementasikan sistem Natural User Interface berbasis sensor ultrasonik untuk mengontrol permainan *Dodge Runner* di Unity; (2) menganalisis respons teknis sistem, termasuk latensi dan kestabilan kontrol gestural; dan (3) merefleksikan kontribusi proyek ini terhadap wacana hibriditas kreatif dalam praktik seni media rekam kontemporer. Dengan demikian, karya ini diharapkan dapat menjadi contoh konkret bagaimana kolaborasi multidisiplin antara seni, desain, dan teknologi dapat mendorong inovasi bentuk dan pengalaman dalam seni interaktif.

Teori dan Metodologi

Hibriditas kreatif adalah konsep mutakhir dalam kajian media yang mengacu pada penggabungan elemen-elemen lintas disiplin untuk menghasilkan bentuk ekspresi baru yang bersifat responsif, adaptif, dan kolaboratif (Manovich, 2001). Dalam era pasca-digital, konsep ini berkembang melalui pertemuan antara praktik seni, teknologi sensing, pemrograman visual, dan partisipasi publik, sehingga melahirkan karya yang tidak hanya dapat dilihat, tetapi juga dirasakan dan direspons oleh tubuh manusia secara langsung (Paul, 2015). Hibriditas kreatif kemudian menjadi landasan teori bagi banyak praktik seni kontemporer, terutama dalam seni media rekam, performans digital, dan instalasi berinteraksi.

Seniman seperti Rafael Lozano-Hemmer dan Golan Levin telah menciptakan karya-karya yang memanfaatkan sensor gerak dan prinsip rekaman data real-time untuk menghasilkan pengalaman seni partisipatif (Lozano-Hemmer, 2020). Rekaman dalam konteks ini tidak hanya sekadar menyimpan gambar atau suara, tetapi juga memori interaksi fisik pengguna yang diproses dan ditransformasikan menjadi pengalaman visual/sonik melalui sistem berbasis komputer.

Natural User Interface (NUI) merupakan paradigma desain antarmuka yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan perangkat melalui perilaku yang alami tanpa memerlukan perangkat input tambahan seperti tombol atau joystick, sebagaimana dijelaskan oleh Norman (2010). NUI memanfaatkan kemampuan biologis manusia seperti gerakan tangan, suara, sentuhan, atau bahkan ekspresi tubuh sebagai sumber input utama dalam sistem digital. Dalam praktiknya pada media interaktif, NUI sangat relevan karena mendukung konsep *embodied interaction* yang dikemukakan oleh Dourish (2001), yaitu konsep di mana tubuh pengguna tidak lagi dianggap hanya sebagai objek pengamatan, melainkan sebagai bagian integral dari sistem interaktif itu sendiri.

Antle dan Wise (2019) menjelaskan bahwa desain antarmuka yang baik pada NUI harus mempertimbangkan beberapa prinsip dasar, yaitu sifat alami interaksi, umpan balik langsung dari sistem, konsistensi dalam respon, serta toleransi terhadap kesalahan pengguna. Interaksi yang alami berarti desain sistem harus mengikuti pola perilaku

Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface For Real-Time Gesture Control In Unity

pengguna dalam kehidupan sehari-hari, sehingga pengguna tidak merasa perlu menyesuaikan diri dengan cara kerja teknologi. Prinsip umpan balik langsung menekankan pada pentingnya sistem untuk merespons input pengguna secara cepat dan tepat, agar pengguna merasa terlibat dan tersambung secara emosional dengan interaksi yang terjadi. Konsistensi diperlukan agar pengguna dapat memprediksi output dari tindakan mereka, sementara toleransi kesalahan memastikan sistem tetap berfungsi secara masuk akal meskipun terjadi input yang tidak diinginkan.

Dalam konteks proyek Dodge Runner, sensor ultrasonik HC-SR04 dimanfaatkan sebagai media input NUI untuk membaca jarak tangan pengguna secara real-time dan menerjemahkannya menjadi pergerakan objek di Unity. Dengan demikian, interaksi berbasis gestur tangan dalam sistem ini dapat berlangsung secara intuitif dan responsif, tanpa penghalang perangkat fisik, dan menciptakan pengalaman yang lebih natural dan menarik dalam seni media interaktif.

Sensor HC-SR04 adalah salah satu perangkat pengukur jarak yang populer di lingkungan maker dan prototyping interaktif karena kemampuan deteksinya yang cukup stabil dan mudah diintegrasikan. Sensor ini bekerja dengan memancarkan sinyal ultrasonik melalui pin TRIG, kemudian mendeteksi waktu pantulan gelombang melalui pin ECHO—proses ini memungkinkan penghitungan jarak objek secara real-time dengan akurasi hingga 3 mm untuk jarak 2–400 cm (Kushwaha & Bojewar, 2019).

Penggunaan sensor ini dalam media interaktif berkembang pesat terutama dalam prototipe berbasis Arduino untuk seni interaktif dan game VR sederhana (Singh et al., 2021). Pada proyek Dodge Runner, sensor ini menangkap data input fisik berupa jarak tangan pengguna sebagai representasi perubahan posisi dan memetakan informasi tersebut sebagai pergerakan vertikal karakter dalam permainan.

Unity adalah salah satu platform pengembangan multimedia dan game yang paling banyak digunakan di dunia, baik untuk keperluan industri game, simulasi pendidikan, maupun seni media interaktif (Dixon, 2021). Kekuatan Unity terletak pada integrasinya dengan hardware eksternal, support real-time rendering, serta scripting berbasis C# yang fleksibel dan user-friendly.

Pada tahun 2024, Unity semakin banyak diadopsi dalam dunia seni karena kemampuannya untuk mendukung generasi audio visual secara real-time dan sistem interaksi berbasis data (*data-driven interaction*) melalui mekanisme integrasi perangkat keras dan lunak. Dengan menggunakan plugin seperti SerialPort atau Open Sound Control (OSC), Unity dapat menerima input sensorik dari perangkat eksternal seperti Arduino atau sensor ultrasonik secara langsung, sehingga memungkinkan seniman atau pengembang mengubah data fisik menjadi visualisasi digital yang responsif (Salen & Zimmerman, 2024). Dalam proyek interaktif seperti *Dodge Runner*, Unity tidak hanya berperan sebagai mesin grafis untuk menampilkan animasi, tetapi juga sebagai ruang performatif di mana data gerakan tubuh pengguna (misalnya, jarak tangan dari sensor) direkam dan diproyeksikan menjadi gerakan objek virtual secara real-time.

Secara teoritis, Unity bekerja menggunakan game loop berbasis frame melalui fungsi seperti `Update()`, yang dieksekusi setiap frame sehingga memungkinkan sistem memproses data sensor dengan interval waktu kurang dari 16 milidetik untuk mempertahankan performa visual 60 frame per detik. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap perubahan input dari sensor ultrasonik, seperti gerakan tangan yang mendekat atau menjauh, segera tercermin sebagai perubahan posisi objek dalam permainan.

Selain itu, kemampuan Unity untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol serial membuatnya sangat ideal untuk prototyping berbasis Internet of Things (IoT) dan seni interaktif berbasis sensor. Melalui skrip C# dengan kelas `System.IO.Ports.SerialPort`, Unity dapat membuka komunikasi dengan port USB Arduino dan membaca data dalam bentuk *string* yang kemudian diparsing menjadi angka untuk memodifikasi elemen visual. Dengan demikian, Unity berfungsi sebagai jembatan antara dunia fisik dan digital.

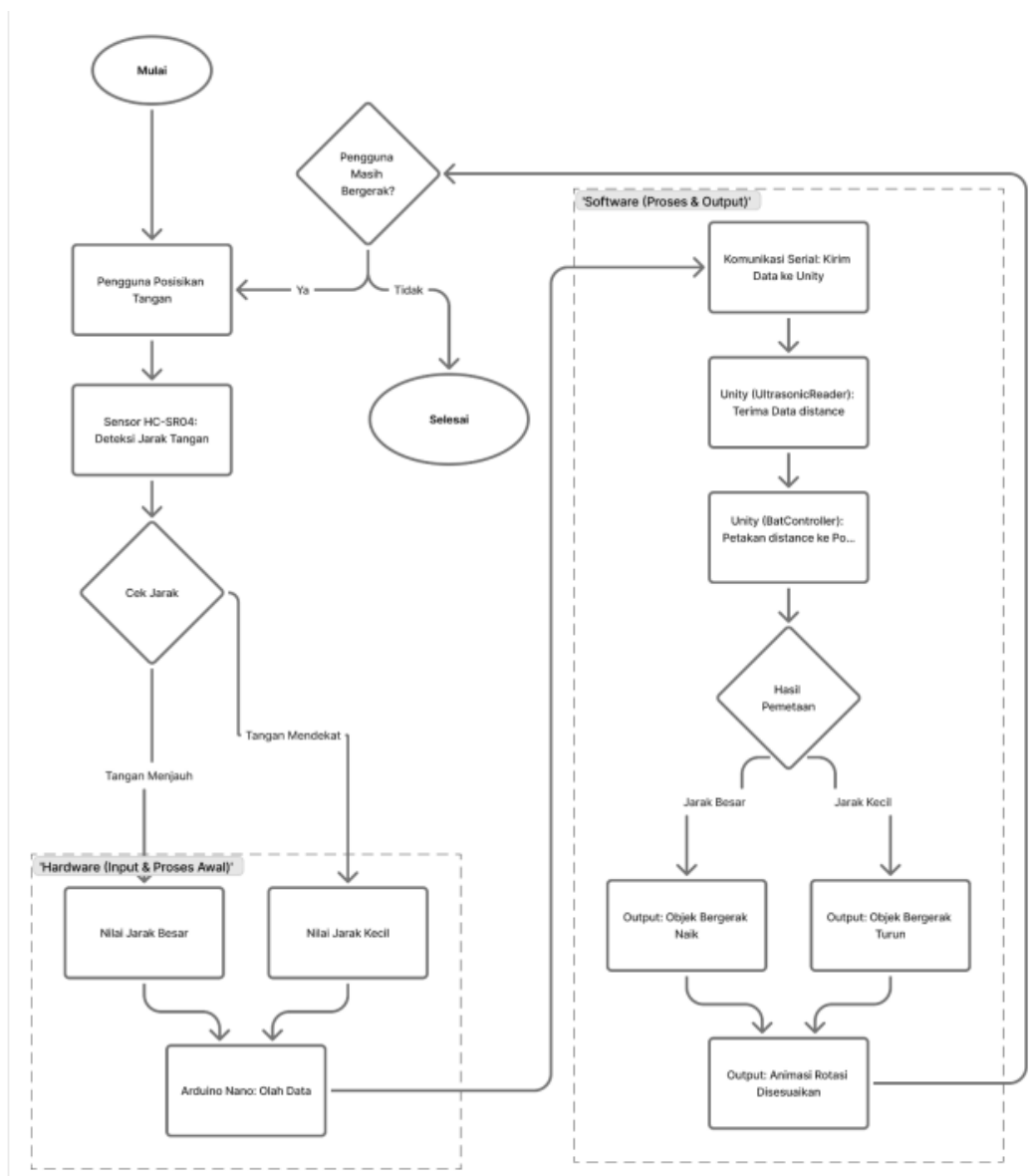
Dalam hal desain visual dan struktur media, Unity juga memiliki sistem scene-based composition, yang memungkinkan seluruh elemen visual—disebut `GameObject`—diatur dalam *Scene*. Objek-objek ini dapat dimodifikasi menggunakan script atau *component* untuk mengaktifkan interaksi berbasis gerakan atau kondisi tertentu. Selain itu, sejak 2021, Unity menyediakan fitur Visual Scripting (sebelumnya dikenal sebagai Bolt), yang memungkinkan seniman dan pengguna non-programmer merancang logika interaktif secara intuitif melalui antarmuka drag-and-drop tanpa harus menulis kode secara manual (Unity Documentation, 2023). Dengan fitur ini, Unity semakin ramah bagi praktisi seni yang ingin bereksperimen dengan ide-ide interaktif tanpa harus menguasai bahasa pemrograman tingkat lanjut.

Kombinasi dari rendering real-time, kemampuan scripting yang fleksibel, dan integrasi sensor yang kuat menjadikan Unity bukan hanya platform pengembangan game, tetapi juga sebagai medium rekam dan performatif yang mendorong batas-batas seni media interaktif kontemporer. Pada Dodge Runner, Unity mempertemukan data fisik dari sensor ultrasonik dengan visualisasi game secara responsif, mencerminkan gagasan hibriditas kreatif dalam seni media kontemporer.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen berbasis desain di mana proses pengembangan teknologi dipadukan dengan eksplorasi artistik sebagai satu kesatuan. Sistem interaktif yang dikembangkan pada proyek Dodge Runner terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler Arduino, dan platform visualisasi Unity. Ketiga komponen ini dihubungkan melalui jalur komunikasi serial yang memungkinkan data gerakan tangan di ruang fisik ditransformasikan secara langsung menjadi pergerakan objek dalam ruang virtual.

Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface For Real-Time Gesture Control In Unity



Gambar 1. Flowchart Sistem Interaksi Sensor Ultrasonik–Unity

Flowchart yang ditunjukkan Gambar 1 menggambarkan alur kerja sistem *Dodge Runner* mulai dari input gestur hingga output visual. Proses dimulai ketika pengguna menempatkan tangan di depan sensor HC-SR04. Sensor kemudian mendeteksi jarak dan menentukan apakah tangan menjauh atau mendekat. Data jarak tersebut diolah terlebih dahulu oleh Arduino Nano sebagai pemrosesan awal, kemudian dikirim ke Unity melalui komunikasi serial. Pada sisi software, script Unity membaca data jarak, memetakan nilainya ke posisi objek dalam game, dan menentukan aksi visual: jarak besar membuat karakter bergerak naik, sedangkan jarak kecil membuat karakter bergerak turun. Unity juga menyesuaikan animasi tambahan agar gerakan terlihat natural. Selama pengguna masih melakukan gestur, sistem terus berulang dalam loop interaksi real-time; jika tidak ada gerakan, proses dihentikan. Flowchart ini memperlihatkan hubungan antara input

fisik, pemrosesan digital, dan respon visual sebagai wujud hibriditas kreatif dalam media interaktif.

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan merakit sensor HC-SR04 ke Arduino menggunakan kabel jumper dan breadboard. Konfigurasi pin yang digunakan adalah TRIG ke pin 9 Arduino, ECHO ke pin 8, dan pin VCC dan GND ke 5V dan GND Arduino. Skema rangkaian tersebut ditampilkan pada Gambar 2. Skema Rangkaian Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Arduino, yang menunjukkan keterkaitan aspek teknis dengan fungsi sistem interaktif. Rangkaian ini menjadi dasar perangkat input gestur untuk sistem, dan digunakan dalam eksperimen awal untuk memastikan pembacaan data sensor akurat sebelum diintegrasikan dengan Unity.

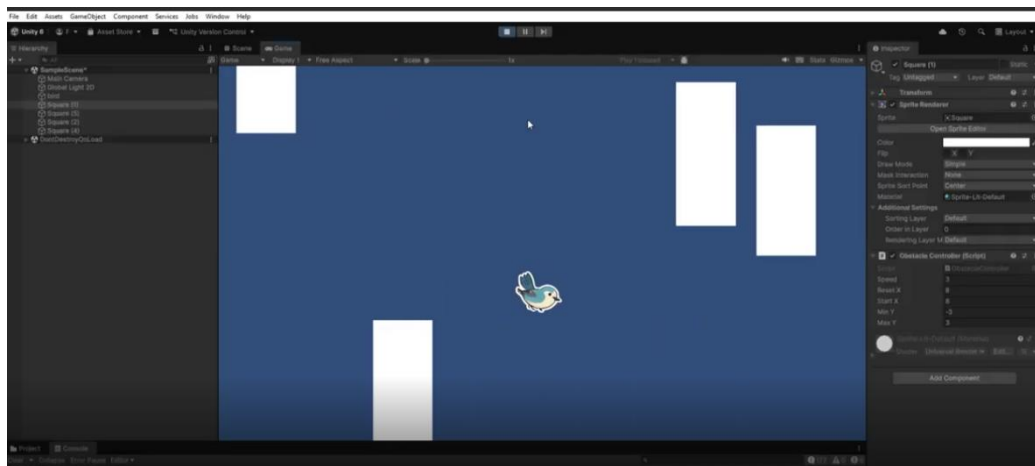


Gambar 2. Rangkaian Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Arduino

Setelah perangkat keras berhasil terhubung, tahap berikutnya adalah pengembangan perangkat lunak dengan menggunakan Arduino IDE dan Unity. Program Arduino dikembangkan untuk membaca jarak tangan dalam sentimeter menggunakan fungsi `pulseIn()` dan mengirimkannya melalui serial dengan frekuensi pembaruan data sekitar 50 milidetik. Data jarak ini selanjutnya diproses di Unity oleh script C# yang membaca input secara real-time menggunakan kelas `SerialPort` dari `System.IO.Ports`. Unity kemudian memetakan data tersebut menjadi perubahan posisi karakter dalam permainan.

Pengembangan visual di Unity menggunakan pendekatan pemrograman berbasis game object dan scripting. Dalam konteks proyek ini, pemain mengendalikan karakter burung dalam game bertema *runner*, di mana karakter akan bergerak naik atau turun sesuai jarak tangan dari sensor. Tampilan antarmuka game dapat dilihat dalam Gambar 4.

Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface For Real-Time Gesture Control In Unity



Gambar 4. Tampilan Game View Unity untuk Kontrol Gestur

Tampilan Game View Unity untuk Kontrol Gestur, yang menggambarkan tampilan visual ketika input sensor dihubungkan ke pergerakan objek di layar. Gambar ini menunjukkan representasi visual dalam Unity yang dihasilkan melalui pemetaan data sensor secara real-time.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem Dodge Runner dalam mengonversi input gestur fisik menjadi output visual interaktif menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, Arduino, dan Unity Engine. Pengujian mencakup beberapa kondisi interaksi, mulai dari gerakan mendekat, menjauh, posisi diam, hingga kondisi ekstrem dan tanpa deteksi tangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil merespons input dalam rentang waktu rata-rata 48–57 ms, yang masih berada dalam batas responsif interaksi real-time (<100 ms menurut standar HCI). Tabel 1 berikut memperlihatkan pemetaan antara input gestural dan output visual dalam game, sekaligus menunjukkan mekanisme kontrol berbasis jarak:

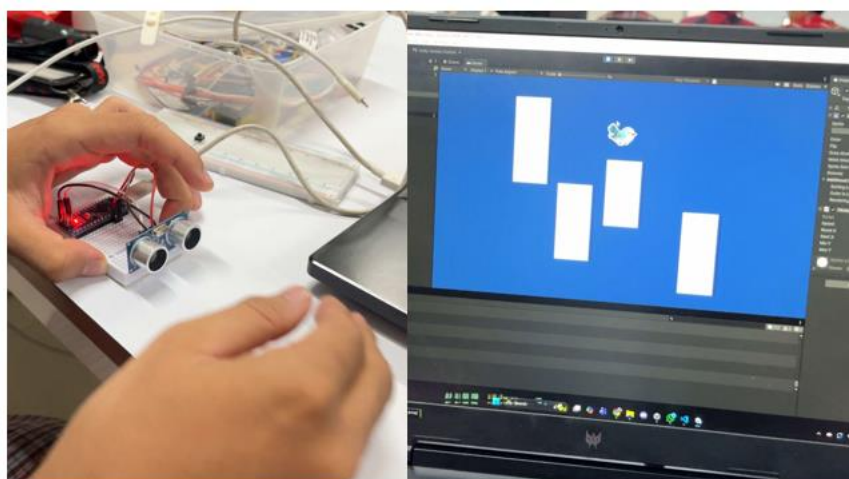
Tabel 1. Konversi Input Gestur ke Output Visual dalam Sistem Dodge Runner Berbasis Sensor Ultrasonik

No	Input / Gestur Fisik	Sensor	Output Visual di Unity	Mekanisme Kontrol
1	Tangan menjauh dari sensor	HC-SR04	Karakter naik ke atas	Jika jarak > 15 cm maka posisi Y bertambah
2	Tangan mendekat ke sensor	HC-SR04	Karakter turun ke bawah	Jika jarak < 15 cm maka posisi Y berkurang
3	Tangan diam pada jarak tertentu	HC-SR04	Karakter tetap pada posisi	Digunakan sebagai area stabil untuk kontrol
4	Jarak ekstrem (< 5 cm)	HC-SR04	Mode “Boost/Shield” aktif	Digunakan untuk aksi khusus dalam game
5	Tidak ada deteksi tangan	HC-SR04	Game otomatis pause	Sistem jeda otomatis jika tidak ada interaksi

Tabel 1 menunjukkan bagaimana gerakan tangan pengguna dipetakan menjadi aksi visual dalam Unity melalui pembacaan jarak oleh sensor ultrasonik HC-SR04. Setiap gestur fisik yang dilakukan di ruang nyata dikonversi menjadi data digital dalam bentuk nilai jarak, kemudian diproses oleh Arduino dan dikirim ke Unity sebagai parameter kontrol. Proses ini menghasilkan perubahan visual secara real-time, seperti gerakan naik, turun, freeze, ataupun aktivasi mode khusus di dalam game.

Pemetaan gestur ini mengikuti prinsip Natural User Interface (NUI), di mana interaksi dilakukan tanpa perangkat input tambahan dan secara langsung menggunakan perilaku alami tubuh. Dalam konteks seni media interaktif, mekanisme ini dapat dipahami sebagai proses *datafication of gesture*, yaitu mengubah gerakan tubuh menjadi data yang direkam, diinterpretasikan, dan divisualisasikan ulang sebagai bagian dari narasi digital. Konversi ini tidak hanya berfungsi secara fungsional sebagai kontrol permainan, tetapi juga memiliki peran estetis sebagai bentuk representasi tubuh dalam medium interaktif.

Dua dokumentasi visual, yaitu Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan bagaimana posisi tangan langsung memengaruhi gerakan karakter dalam Unity Engine.



Gambar 5. Pengujian Sistem Kontrol Gestur Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Unity (Posisi Tangan Jauh – Karakter Naik)

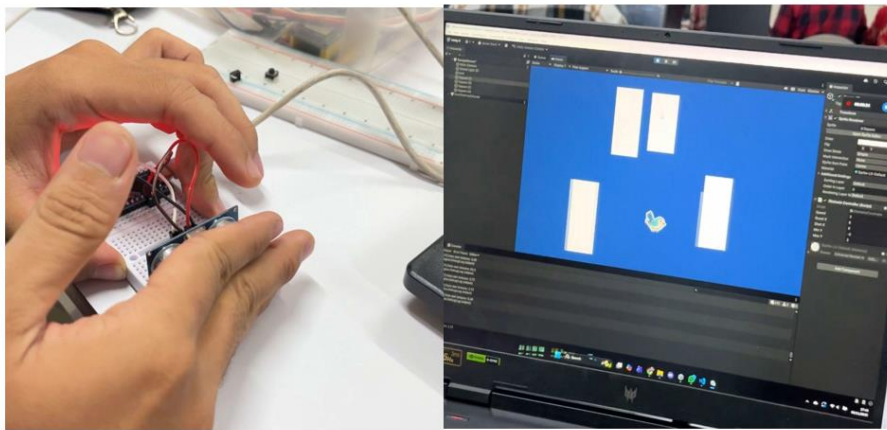
Gambar 5 menunjukkan kondisi ketika tangan pengguna diarahkan menjauh dari sensor ultrasonik. Pada kondisi tersebut, jarak yang dibaca oleh sensor berada pada kisaran >15 cm. Berdasarkan pemetaan sistem, nilai jarak yang semakin besar dikonversi ke pergerakan karakter dalam sumbu vertikal positif (Y+), sehingga karakter pada layar bergerak ke atas.

Secara teknis, jarak ini diproses oleh Arduino dan dikirim ke Unity sebagai data numerik melalui komunikasi serial. Script Unity kemudian menormalkan nilai jarak menggunakan fungsi pemetaan linear (Mathf.InverseLerp) yang mengubah angka sensor menjadi nilai posisi koordinat visual. Karena sistem memperbarui data setiap ± 50 ms, pergerakan karakter tampak responsif dan tidak terasa tersendat.

Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface For Real-Time Gesture Control In Unity

Gambar 6 menunjukkan situasi ketika tangan pengguna didekatkan ke sensor (jarak <15 cm). Dalam pemetaan sistem, jarak kecil tersebut dianggap sebagai perintah untuk menurunkan posisi karakter, sehingga karakter bergerak ke bawah pada layar. Gerakan ini berlangsung secara kontinu mengikuti perubahan jarak.

Saat jarak terlalu kecil (<5 cm), sistem dapat memicu mode khusus (misalnya *boost* atau *shield*), sesuai skema pada Tabel 1. Ini menunjukkan bahwa sensor juga dapat digunakan sebagai pemicu state khusus dan tidak hanya untuk pergerakan linear.



Gambar 6. Pengujian Sistem Kontrol Gestur Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Unity (Posisi Tangan Dekat – Karakter Turun)

Pengukuran kuantitatif dilakukan untuk menilai akurasi sensor dan performa respons sistem. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap jarak, lalu dirata-ratakan untuk memperoleh data berikut:

Tabel 2. Pengukuran Akurasi dan Latensi Sensor

Jarak Fisik (cm)	Sensor Output (cm)	Error (cm)	Latensi Rata-rata (ms)
5	5.18	0.18	48 ms
10	10.33	0.33	49 ms
15	15.41	0.41	50 ms
30	30.72	0.72	53 ms
50	49.89	0.11	57 ms

Tabel 2 menunjukkan rata-rata error pembacaan sensor sebesar 0,35 cm, sehingga masih berada di bawah 1 cm dan dapat dikategorikan cukup akurat untuk kebutuhan kontrol gestur, sedangkan latensi rata-rata sistem dari perubahan gestur hingga perubahan visual tercatat sekitar 51,4 ms, masih berada jauh di bawah batas 100 ms yang umum digunakan sebagai ambang interaksi real-time.

Pembahasan Hasil

Hasil pengujian pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem *Dodge Runner* berhasil memadukan sensor ultrasonik, Arduino, dan Unity menjadi sebuah media interaktif yang sejalan dengan gagasan hibriditas kreatif dalam seni media rekam. Sensor HC-SR04 memiliki rata-rata error sekitar 0,35 cm dengan latensi ± 51 ms, yang berarti meskipun perangkatnya sederhana dan murah, performanya cukup akurat dan responsif untuk digunakan sebagai pengendali gestur real-time. Dalam rentang 5–50 cm, sensor mampu menangkap gerakan tangan secara stabil dan meneruskannya ke Unity sebagai gerakan karakter di layar. Dalam konteks seni media, data sensor ini bukan hanya berfungsi sebagai input teknis, tetapi juga dapat dipandang sebagai bentuk rekaman tubuh dalam format digital. Gerakan fisik direkam sebagai angka, diproses, lalu ditampilkan kembali sebagai visual dinamis di layar. Rekaman digital berbasis gestur seperti ini menunjukkan bagaimana data dapat digunakan sebagai elemen ekspresif dalam karya seni, bukan hanya sebagai instruksi teknis.

Struktur pemetaan gestur pada Tabel 1 menunjukkan naik, turun, stabil, mode khusus menunjukkan bahwa proyek ini tidak sekadar membaca jarak, tetapi juga merancang *bahasa interaksi* yang bisa dimaknai secara visual. Prinsip Natural User Interface (NUI) diterapkan agar interaksi terasa intuitif: cukup gerakkan tangan, tanpa tombol atau perangkat tambahan. Konsep ini sejalan dengan gagasan embodied interaction (Dourish, 2001), dimana tubuh tidak hanya mengoperasikan sistem, tetapi menjadi bagian langsung dari pengalaman visual.

Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan bagaimana gerakan tangan pengguna secara langsung memengaruhi gerakan karakter di Unity. Setiap perubahan jarak dari sensor segera diterjemahkan menjadi perubahan posisi objek visual, sehingga interaksi terjadi secara real-time dan terasa menyatu dengan gerakan tubuh. Sistem ini menunjukkan bentuk interaksi yang bersifat dinamis, data gerakan tidak disimpan sebagai hasil akhir, tetapi terus diproses dan diperbarui selama pengguna berinteraksi. Konsep ini sejalan dengan gagasan rekaman post-digital dalam seni media, di mana rekaman bukan lagi berupa data statis, tetapi proses yang hidup, berlangsung terus-menerus, dan berubah mengikuti tindakan pengguna (Paul, 2015). Dengan demikian, karya ini tidak hanya memanfaatkan sensor sebagai alat kontrol, tetapi juga sebagai media yang menangkap dan menerjemahkan tubuh ke dalam bentuk visual yang aktif dan partisipatif. Walaupun performanya cukup baik, pengujian juga menemukan batasan. Pada jarak di atas 50 cm, kontrol mulai berkurang keakuratannya, meskipun error sensor tetap rendah. Hal ini berkaitan dengan karakteristik teknis HC-SR04 yang memang tidak dirancang untuk gestur jarak jauh. Untuk penggunaan skala instalasi, sistem bisa dikembangkan menggunakan sensor yang lebih kompleks seperti time-of-flight atau depth camera.

Secara keseluruhan, *Dodge Runner* bukan hanya eksperimen teknis, tetapi contoh nyata bagaimana media sensorik, pemrograman, dan estetika visual dapat bertemu dalam satu karya interaktif. Proyek ini menunjukkan bahwa teknologi murah seperti HC-SR04 pun

Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface For Real-Time Gesture Control In Unity

bisa berfungsi sebagai media rekam alternatif, bukan untuk menyimpan gambar, tetapi untuk menyimpan data tubuh yang kemudian berubah menjadi visual. Dengan error 0,35 cm, latensi 51,4 ms, dan kontrol gestural yang natural, karya ini memperlihatkan bahwa inovasi dalam seni media tidak harus bergantung pada teknologi mahal yang penting adalah cara teknologi tersebut dipahami dan diolah secara kreatif.

Batasan Penelitian dan Rencana Pengembangan

Penelitian ini memiliki beberapa batasan teknis dan desain yang perlu dicatat. Sistem hanya menggunakan satu sensor ultrasonik HC-SR04 dengan mekanisme deteksi linear pada satu sumbu (vertikal), sehingga bentuk gestur yang dapat dikenali masih terbatas pada gerakan mendekat dan menjauh. Ruang interaksi juga hanya optimal pada rentang 5–50 cm; di luar jarak tersebut, respons karakter mulai menurun karena keterbatasan sensor. Selain itu, sistem belum mencakup elemen feedback auditif atau haptik sehingga pengalaman interaksi masih berfokus pada visual. Prototipe ini juga belum melibatkan pengujian pengguna dalam skala besar sehingga aspek pengalaman pengguna (*usability*, *fatigue*, dan persepsi estetika) belum dianalisis secara kuantitatif.

Penelitian ini dapat dikembangkan melalui integrasi sensor tambahan seperti *time-of-flight*, kamera *depth* (misalnya Kinect atau Intel RealSense), atau modul IMU untuk mengenali gestur multi-dimensi. Algoritma *machine learning* juga dapat digunakan untuk klasifikasi gestur yang lebih kompleks. Selain ruang game, prototipe ini dapat diperluas ke instalasi ruang publik, pameran seni interaktif, atau sistem pendidikan berbasis *embodied interaction*. Pengembangan lanjutan juga dapat mencakup integrasi feedback suara, cahaya, atau getaran untuk menciptakan pengalaman multisensori yang lebih utuh.

Implikasi Artistik dan Konteks Seni Media Rekam

Dalam kerangka seni media rekam, Dodge Runner tidak hanya bekerja sebagai game interaktif, tetapi juga sebagai contoh bagaimana rekaman digital tidak lagi terbatas pada gambar atau suara, melainkan dapat berupa data tubuh yang diinterpretasikan secara *real-time*. Sensor ultrasonik berfungsi sebagai medium rekam yang menangkap gestur fisik dan menerjemahkannya menjadi gambar bergerak, menciptakan hubungan langsung antara tubuh pengguna dan citra digital. Proses ini memperlihatkan bentuk pencatatan dan pemutaran ulang data yang bersifat dinamis dan partisipatif, sesuai dengan konsep rekaman *post-digital* yang dibahas oleh Paul (2015).

Proyek ini juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi *low-cost* dapat menghasilkan karya yang berada di wilayah antara seni, desain interaksi, dan komputasi kreatif—sebuah wujud nyata hibriditas kreatif. Sejalan dengan karya seniman seperti Rafael Lozano-Hemmer dan Golan Levin yang menggunakan teknologi sensing sebagai material artistik, Dodge Runner menghadirkan sensor bukan sebagai alat teknis semata, tetapi sebagai perangkat estetis yang mengubah tubuh pengguna menjadi bagian dari karya. Dengan demikian, karya ini memberikan kontribusi dalam wacana seni berbasis data, interaktivitas somatik, dan estetika sistem responsif dalam konteks seni media rekam kontemporer.

Simpulan

Dodge Runner menunjukkan bahwa teknologi sensor low-cost dapat diolah menjadi media interaktif yang selaras dengan konsep hibriditas kreatif dalam seni media rekam. Sistem berbasis sensor ultrasonik HC-SR04, Arduino, dan Unity ini mampu menerjemahkan gerakan tangan menjadi visual secara real-time, dengan rata-rata error 0,35 cm dan latensi 51,4 ms, sehingga cukup akurat dan responsif untuk kontrol gestural. Selain berfungsi sebagai antarmuka, data sensor dalam proyek ini juga diperlakukan sebagai bentuk rekaman tubuh, membuka peluang baru penggunaan data sebagai material artistik. Meskipun masih memiliki keterbatasan dalam cakupan deteksi dan variasi gestur, hasil penelitian ini membuktikan bahwa integrasi perangkat keras sederhana dan platform visual dapat menghasilkan karya interaktif yang inovatif, partisipatif, dan relevan dengan perkembangan seni media digital.

Referensi

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2022). “Keunggulan dan tantangan augmented reality untuk pendidikan: tinjauan sistematis,” *Educational Research Review*, 37, 100487.
- Antle, A. N., & Wise, A. F. (2019). “Interaksi berwujud untuk mendukung pembelajaran anak usia dini,” *Journal of the Learning Sciences*, 28(2), 290–333.
- Bazzano, S., Suarez, J. P., & Calandra, D. (2023). “Sistem pengenalan gestur real-time untuk instalasi seni interaktif: tinjauan dan perspektif desain,” *Leonardo*, 56(2), 165–172.
- Buxton, B. (2010). *Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design*. Morgan Kaufmann.
- Ciolfi, L., & Avram, G. (2021). “Interaksi berwujud dalam warisan budaya digital: teknologi dan peluang,” *International Journal of Human–Computer Studies*, 145, 102506.
- Dixon, S. (2021). *Digital Performance: A History of New Media in Theater, Dance, Performance Art, and Installation* (Edisi ke-2). MIT Press.
- Dourish, P. (2001). *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press.
- Gibson, J. J., & Pickering, M. (2020). *The Aesthetics of Interaction in Digital Art: Audience Participation and Technology*. Routledge.
- Haque, U. (2018). “Performative sensing: bagaimana sensor menjadi elemen ekspresif dalam sistem interaktif,” *Interactions*, 25(4), 60–63.
- Kallionpää, M. (2017). “Antarmuka baru untuk ekspresi musikal dalam pertunjukan dan komposisi,” *Computer Music Journal*, 41(2), 33–48.

**Dodge Runner: Ultrasonic Sensor-Based Natural User Interface
For Real-Time Gesture Control In Unity**

- Kushwaha, N., & Bojewar, S. (2019). "Pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik dan Arduino," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 8(4), 19–22.
- Lozano-Hemmer, R. (2020). *Atmospheric Memory: A Media Art Installation*. Manchester International Festival.
- McArthur, J., Jelen, B., & Reas, C. (2022). *The Language of Creative Coding: From Interaction to Procedural Expression*. MIT Press.
- Meloni, A. (2021). *Unity 2021 by Example: A Project-Based Guide to Building 2D, 3D, AR, and VR Games*. Packt Publishing.
- Miller, L., & Edwards, A. (2020). "Penggunaan Arduino untuk karya seni digital interaktif," *Journal of Creative Technologies*, 11(1), 23–37.
- Paul, C. (2015). *Digital Art* (Edisi ke-3). Thames & Hudson.
- Rokeby, D. (2018). "The construction of experience: Interface as content," dalam *Digital Aesthetics*. University of Minnesota Press, hlm. 113–126.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2024). *Rules of Play: Game Design Fundamentals* (Edisi revisi). MIT Press.
- Singh, J., Zafar, S., & Khan, S. (2021). "Sistem interaktif berbasis gestur menggunakan sensor ultrasonik dan inframerah," *International Journal of Computer Applications*, 177(37), 1–8.
- Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Morgan Kaufmann.