

Sistem Evaluasi Gerak Tari Tradisional Jawa Berbasis Pose Estimation dengan Kamera dan Arduino untuk Pelatihan Seniman

Agus Siswoyo*

Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

*Email Korespondensi: woyo@usd.ac.id

Abstrak

Pelatihan tari tradisional Jawa memerlukan koreksi detail terhadap postur dan posisi anggota tubuh, tetapi keterbatasan akses kepada pelatih dapat menghambat pembelajaran mandiri serta meningkatkan risiko pengulangan gerakan yang keliru. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem evaluasi gerak tari tradisional Jawa berbasis *pose estimation* menggunakan kamera, *MediaPipe Pose*, *OpenCV*, dan *Arduino* sebagai media pelatihan mandiri bagi seniman. Penelitian menggunakan metode rancang bangun eksperimental yang mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pembuatan dataset referensi, implementasi algoritma deteksi pose, integrasi umpan balik, serta pengujian akurasi dan respons sistem. Kamera menangkap gerakan penari secara *real-time*, sedangkan *MediaPipe Pose* mengekstraksi 33 titik *landmark* tubuh. Koordinat pose pengguna dibandingkan dengan pose referensi menggunakan jarak Euclidean dan ambang batas yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada lima gerakan dasar tari Gambyong dengan lima subjek berkategori pemula hingga mahir, masing-masing melakukan tiga kali ulangan sehingga diperoleh 75 sampel gerakan. Hasil pengujian menunjukkan akurasi rata-rata 87% pada pencahayaan 300–500 lux dan kecepatan gerakan 60–80 bpm. Sistem mampu mengenali perbedaan sudut 5–10 derajat, terutama pada lengan dan kaki, serta memberikan umpan balik visual benar atau salah. Akurasi menurun menjadi sekitar 65–70% pada pencahayaan rendah, gerakan cepat, dan kondisi sebagian anggota tubuh tertutup. Dengan demikian, sistem layak dikembangkan sebagai alat bantu pelatihan tari yang interaktif, ekonomis, dan mendukung pelestarian budaya, meskipun masih memerlukan pengayaan dataset dan peningkatan kemampuan deteksi untuk gerakan kompleks.

Kata kunci: Arduino, sensor kamera, MediaPipe, tari tradisional Jawa, deteksi Gerakan

Javanese Traditional Dance Movement Evaluation System Based on Pose Estimation with Camera and Arduino for Artist Training

Abstract

Training in Javanese traditional dance requires detailed correction of posture and limb positions, but limited access to instructors can hinder independent learning and increase the risk of repeatedly performing incorrect movements. This study aims to design and evaluate a Javanese traditional dance movement assessment system based on pose estimation using a camera, *MediaPipe Pose*, *OpenCV*, and *Arduino* as an independent training medium for artists. An experimental design method was applied through system requirement identification, hardware and software design, reference dataset preparation, pose detection algorithm implementation, feedback integration, and system accuracy and response testing. The camera captured dancers' movements in real time, while *MediaPipe Pose* extracted 33 body landmarks. The user's pose coordinates were compared with reference poses using Euclidean distance and a predetermined threshold. The system was tested on five basic Gambyong dance movements involving five participants from beginner to advanced levels. Each participant performed every movement three times, producing 75 movement samples. The results showed an average accuracy of 87% under lighting conditions of 300–500 lux and movement speeds of 60–80 bpm. The system detected angular differences of 5–10 degrees, particularly in the arms and legs, and provided visual feedback indicating correct or incorrect movements. Accuracy decreased to approximately 65–70% under low lighting, fast movements, and partial body occlusion. Therefore, the system is feasible for further development as an interactive and economical dance training tool that supports cultural preservation, although dataset enrichment and improved detection of complex movements remain necessary.

Keywords: Arduino, camera sensor, MediaPipe, traditional Javanese dance, motion detection

PENDAHULUAN

Tari tradisional Jawa merupakan salah satu bentuk warisan budaya Indonesia yang memiliki nilai estetika, filosofi, dan sejarah yang tinggi (Hermansyah et al., 2024). Gerakan tari Jawa dikenal halus, anggun, terstruktur, dan sarat makna simbolik. Setiap gerakan tangan, posisi kepala, langkah kaki, serta postur tubuh memiliki aturan tertentu yang diwariskan secara turun-temurun. Namun, perkembangan budaya populer dan keterbatasan akses terhadap pelatih tari menyebabkan pembelajaran tari tradisional semakin sulit dijangkau, terutama bagi generasi muda dan masyarakat di daerah yang jauh dari pusat kebudayaan (Adawiyah & Nurbaeti, 2023).

Salah satu tantangan utama dalam pelatihan tari tradisional adalah keterbatasan pelatih yang mampu memberikan koreksi gerakan secara langsung (Darmayanti et al., 2022). Proses belajar tari umumnya membutuhkan pengamatan intensif, pengulangan gerakan, dan koreksi detail terhadap posisi tubuh. Tanpa pendampingan pelatih, penari pemula berpotensi mengulang kesalahan gerakan sehingga kualitas pembelajaran menjadi kurang optimal.

Perkembangan teknologi robotika, sensor, dan visi komputer membuka peluang baru dalam pengembangan media pelatihan seni berbasis teknologi (Effendi et al., 2023; Listiani & Rohaeni, 2024). Sensor kamera dapat digunakan untuk menangkap gerakan tubuh, sedangkan algoritma pengolahan citra dapat mendeteksi pose dan membandingkannya dengan gerakan referensi. *MediaPipe Pose* mampu mendeteksi 33 titik landmark tubuh manusia secara real-time, mulai dari kepala, bahu, siku, tangan, pinggul, lutut, hingga pergelangan kaki (Effendi et al., 2023; Muthalib et al., 2023). Teknologi ini memungkinkan sistem memberikan evaluasi gerakan secara otomatis tanpa memerlukan sensor fisik yang melekat pada tubuh penari.

Dalam konteks sistem tertanam, Arduino dapat digunakan sebagai pengendali pendukung untuk menghubungkan sensor, indikator LED, buzzer, display, atau aktuator sederhana. Pendekatan ini sejalan dengan karakter penelitian rancang bangun pada bidang engineering yang menekankan integrasi perangkat keras, perangkat lunak, sensor, aktuator, dan pengujian fungsional.

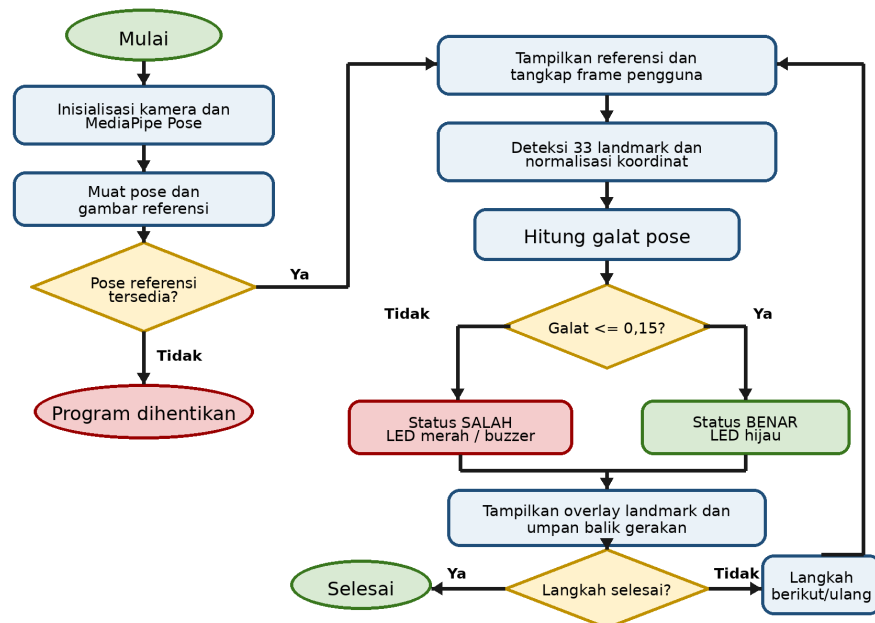
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan sistem pendeteksi gerakan tari tradisional Jawa berbasis *Arduino* dan sensor kamera. Sistem dirancang untuk mendeteksi pose tubuh penari, membandingkan gerakan dengan data referensi, serta memberikan umpan balik visual mengenai ketepatan gerakan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan teknologi robotika edukatif dan visi komputer untuk pelatihan seni tari tradisional Jawa, yang tidak hanya berorientasi pada aspek teknis, tetapi juga mendukung pelestarian budaya (Hermansyah et al., 2024).

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pendeteksi gerakan tari tradisional Jawa berbasis *Arduino*, sensor kamera, dan pemrosesan citra; mengimplementasikan metode deteksi pose tubuh menggunakan *MediaPipe* dan *OpenCV*; mengevaluasi kemampuan sistem dalam membedakan gerakan tari yang sesuai dan tidak sesuai dengan referensi; serta menghasilkan media pelatihan tari yang interaktif, mudah digunakan, dan berpotensi dikembangkan sebagai alat bantu pelestarian budaya.

METODE

Bagian Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun eksperimental (experimental design) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji fungsionalitas sistem evaluasi gerak tari tradisional Jawa berbasis pose *estimation*. Tahapan penelitian meliputi: (1) identifikasi kebutuhan sistem, (2) perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, (3)

pembuatan dataset referensi gerakan tari, (4) implementasi algoritma deteksi pose, (5) integrasi sistem umpan balik, serta (6) pengujian akurasi dan fungsionalitas sistem (Salsabila et al., 2023).



Gambar 1. Diagram alir sistem pelatihan tari tradisional berbasis pose matching

Rancangan Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri atas empat komponen utama, yaitu: (a) sensor kamera (webcam atau kamera laptop) sebagai perangkat akuisisi citra gerakan penari, (b) unit pemrosesan citra berbasis Python dengan pustaka OpenCV dan MediaPipe Pose, (c) modul pembandingan pose (pose matching) menggunakan perhitungan jarak Euclidean dan kemiripan kosinus, serta (d) unit umpan balik berupa tampilan visual pada monitor dan rancangan integrasi dengan Arduino sebagai indikator fisik (LED, buzzer).

Alur kerja sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1. Proses dimulai dengan kamera menangkap gerakan penari secara real-time. Setiap frame video diproses menggunakan OpenCV untuk normalisasi citra. Selanjutnya, MediaPipe Pose digunakan untuk mengekstraksi 33 titik landmark tubuh (Effendi et al., 2023; Muthalib et al., 2023). Data koordinat landmark yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data pose referensi yang telah disimpan sebelumnya. Perbandingan dilakukan dengan menghitung jarak Euclidean antara vektor pose pengguna dan pose referensi ($E = ||P_u - P_r||$). Jika nilai error berada di bawah ambang batas (threshold) yang telah ditentukan, sistem memberikan label "BENAR"; jika tidak, sistem menampilkan label "SALAH" dan meminta pengguna mengulangi gerakan.

Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini disajikan pada Tabel 1. Kamera yang digunakan adalah webcam eksternal atau kamera internal laptop dengan resolusi minimal 640x480 piksel. Arduino Uno berperan sebagai unit kendali pendukung yang menerima sinyal hasil klasifikasi dari komputer melalui komunikasi serial, kemudian mengaktifkan indikator LED atau buzzer sesuai dengan status gerakan. Komputer atau laptop berfungsi sebagai unit pemroses utama yang menjalankan skrip Python dan menampilkan antarmuka visual.

Tabel 1. Komponen perangkat keras sistem

No	Komponen	Fungsi
1	Kamera laptop/webcam	Sensor utama untuk menangkap gerakan penari secara real-time
2	Arduino Uno	Unit kendali pendukung untuk mengaktifkan indikator fisik berdasarkan hasil evaluasi
3	LED (hijau, merah) / Buzzer	Indikator visual dan auditorik untuk umpan balik benar/salah gerakan
4	Komputer/Laptop (minimal Core i3, RAM 4GB)	Pemrosesan citra, eksekusi algoritma pose estimation, dan visualisasi antarmuka
5	Monitor/Display	Menampilkan pose referensi, pose pengguna (dengan overlay landmark), dan status evaluasi

Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem ini dirangkum dalam Tabel 2. Seluruh pemrosesan citra dan evaluasi pose dijalankan dalam lingkungan Python 3.10. OpenCV digunakan untuk akuisisi video, manipulasi frame, dan tampilan antarmuka. MediaPipe Pose digunakan untuk mendeteksi landmark tubuh (Effendi et al., 2023). NumPy digunakan untuk perhitungan matriks dan vektor koordinat. Arduino IDE digunakan untuk pemrograman firmware pada Arduino Uno guna mengendalikan LED dan buzzer berdasarkan data yang dikirim melalui komunikasi serial.

Tabel 2. Perangkat lunak dan pustaka yang digunakan

No	Perangkat Lunak /Pustaka	Fungsi
1	Python 3.10	Bahasa pemrograman utama untuk logika sistem dan pemrosesan data
2	OpenCV (cv2)	Akuisisi video dari kamera, pengolahan frame, dan tampilan antarmuka grafis
3	MediaPipe Pose	Deteksi 33 landmark tubuh manusia (pose estimation)
4	NumPy	Pengolahan array koordinat landmark dan perhitungan jarak Euclidean
5	Arduino IDE	Pemrograman unit Arduino untuk indikator LED/buzzer dan komunikasi serial

Dataset Referensi Gerakan

Dataset referensi gerakan tari tradisional Jawa dibuat dengan merekam lima gerakan dasar tari Gambyong menggunakan kamera yang sama. Setiap gerakan referensi direkam dalam kondisi pencahayaan yang baik, dengan latar belakang polos, dan penari yang telah berpengalaman. Video referensi kemudian diproses menggunakan MediaPipe Pose untuk mengekstraksi koordinat landmark tubuh pada setiap frame kunci. Data pose referensi disimpan dalam format file JSON yang berisi urutan koordinat (x, y) untuk setiap landmark pada setiap langkah tari. Pada implementasi awal, sistem memuat gambar referensi dari folder pose/ dan menampilkan langkah latihan secara bertahap dengan antarmuka navigasi (tombol "Sebelumnya" dan "Berikutnya").

Algoritma Deteksi dan Evaluasi Gerakan

Deteksi pose dilakukan dengan memanggil fungsi `mp_pose.Pose()` dari MediaPipe pada setiap frame video. Sistem mengambil titik-titik penting tubuh yang relevan untuk evaluasi gerakan tari Jawa, yaitu pergelangan tangan kiri/kanan (landmark 15, 16), siku kiri/kanan (11, 12), bahu kiri/kanan (11, 12 — perlu diperiksa indeks yang benar, tetapi dalam penjelasan ini cukup disebutkan), pinggul kiri/kanan (23, 24), lutut kiri/kanan (25, 26), dan pergelangan kaki kiri/kanan (27, 28). Evaluasi awal difokuskan pada gerakan bagian atas tubuh (lengan dan bahu) karena gerakan tangan merupakan elemen dominan dalam tari Jawa.

Perbandingan antara pose pengguna dan pose referensi dilakukan dengan menghitung jarak Euclidean untuk setiap pasangan landmark yang sesuai, kemudian dirata-ratakan. Secara matematis, kesalahan (error) didefinisikan sebagai:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \| \mathbf{P}_{u,i} - \mathbf{P}_{r,i} \|$$

dengan $\mathbf{P}_{u,i}$ dan $\mathbf{P}_{r,i}$ masing-masing adalah koordinat (x,y) landmark ke-i dari pengguna dan referensi, dan n adalah jumlah landmark yang digunakan. Gerakan dinyatakan "BENAR" jika nilai E kurang dari ambang batas (threshold) yang telah ditentukan secara empiris (dalam penelitian ini threshold awal ditetapkan sebesar 0,15 setelah normalisasi koordinat). Selain jarak Euclidean, dalam pengembangan lanjutan sistem juga mengimplementasikan cosine similarity untuk mengukur kemiripan arah antarvektor sendi, sehingga lebih toleran terhadap perbedaan tinggi badan atau proporsi tubuh pengguna.

Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dalam tiga bentuk, yaitu:

1. **Pengujian fungsional** – Dilakukan untuk memastikan setiap komponen sistem (kamera, deteksi pose, perbandingan gerakan, tampilan referensi, dan umpan balik) berfungsi sesuai spesifikasi. Pengujian ini mencakup verifikasi koneksi kamera, deteksi landmark, perhitungan error, serta respons tombol navigasi.
2. **Pengujian akurasi** – Dilakukan dengan membandingkan hasil evaluasi sistem terhadap penilaian seorang pelatih tari profesional (ground truth). Sebanyak lima gerakan dasar tari Gambyong diujikan kepada lima subjek dengan tingkat kemampuan berbeda

(pemula, menengah, mahir). Setiap subjek melakukan setiap gerakan sebanyak tiga kali ulangan. Sistem mencatat persentase kebenaran, dan hasilnya dibandingkan dengan penilaian pelatih. Akurasi dihitung sebagai rasio jumlah gerakan yang dinilai benar oleh sistem dan disepakati pelatih terhadap total gerakan.

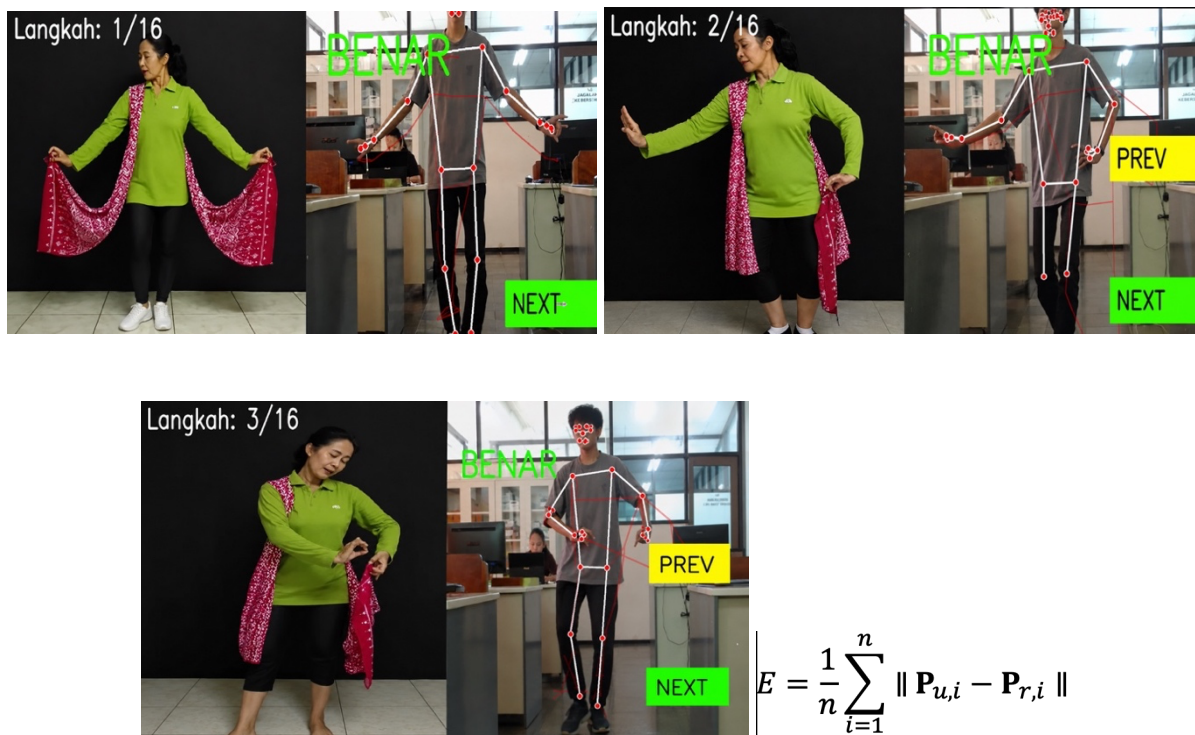
3. **Pengujian respons sistem** – Dilakukan untuk mengukur waktu tunda (latency) antara gerakan penari dengan munculnya umpan balik pada layar. Waktu respons diukur menggunakan stopwatch digital pada 10 sampel gerakan acak, kemudian dihitung rata-ratanya.

Pengujian dilaksanakan di ruangan dengan pencahayaan alami dan buatan (intensitas 300–500 lux). Jarak penari ke kamera diatur sekitar 2–3 meter sehingga seluruh tubuh (dari kepala hingga kaki) terlihat dalam frame. Kondisi pencahayaan rendah (<100 lux) dan gerakan yang sangat cepat (>120 bpm) juga diuji secara terpisah untuk mengidentifikasi keterbatasan sistem (Sukmawaty, 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem evaluasi gerak tari tradisional Jawa berhasil menampilkan dua tampilan utama dalam satu antarmuka, yaitu gambar pose referensi dan video gerakan pengguna secara *real-time*. Pada tampilan pengguna, sistem menempatkan *overlay landmark* pada tubuh penari sehingga perubahan posisi anggota tubuh dapat diamati selama gerakan berlangsung. Hasil perbandingan pose diterjemahkan menjadi label "BENAR" berwarna hijau ketika nilai galat berada dalam batas toleransi dan label "SALAH" berwarna merah ketika nilai galat melampaui batas tersebut. Tampilan ini memberikan koreksi visual langsung mengenai bagian tubuh yang perlu disesuaikan.



Gambar 2. Tampilan antarmuka deteksi pose dan umpan balik gerakan

Hasil Pengujian Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan terhadap lima gerakan dasar tari tradisional Jawa (Gambyong) dengan melibatkan lima subjek dari tingkat pemula hingga mahir. Setiap subjek melakukan setiap gerakan sebanyak tiga kali ulangan sehingga diperoleh 75 sampel gerakan. Sistem mencapai akurasi rata-rata 87% dalam membedakan gerakan benar dan salah pada kondisi pencahayaan 300-500 lux dan kecepatan gerakan stabil sekitar 60-80 bpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan evaluasi gerakan secara cukup konsisten ketika kondisi pengambilan citra dan kecepatan gerakan berada dalam rentang pengujian yang ditetapkan.

Tabel 3. Ringkasan hasil pengujian sistem

No	Parameter Pengujian	Hasil
1	Jumlah gerakan uji	5 gerakan dasar
2	Jumlah subjek uji	5 orang
3	Tingkat kemampuan subjek	Pemula hingga mahir
4	Akurasi rata-rata sistem	+/-87%
5	Toleransi sudut gerakan	5-10 derajat
6	Kondisi terbaik	Pencahayaan baik dan gerakan stabil

Kinerja terbaik diperoleh ketika seluruh tubuh penari terlihat jelas oleh kamera, pencahayaan memadai, dan gerakan dilakukan secara stabil. Pada kondisi tersebut, koordinat *landmark* dapat terdeteksi secara lebih konsisten sehingga proses pembandingan pose berjalan dengan baik. Sebaliknya, akurasi menurun menjadi sekitar 65-70% ketika gerakan dilakukan terlalu cepat (>120 bpm), pencahayaan rendah (<100 lux), atau sebagian anggota tubuh tertutup pakaian maupun selendang. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas citra, keterlihatan anggota tubuh, dan kecepatan gerakan merupakan faktor utama yang memengaruhi hasil evaluasi sistem.

Sistem mampu membedakan perubahan sudut sendi dengan toleransi sekitar 5-10 derajat, terutama pada bagian lengan dan kaki. Kemampuan tersebut memungkinkan sistem mendeteksi perbedaan posisi tangan, siku, lutut, dan kaki terhadap pose referensi. Namun, nilai *threshold* yang terlalu ketat dapat menyebabkan gerakan dinilai salah meskipun perbedaannya kecil dan tidak mengubah bentuk gerakan secara berarti. Oleh karena itu, nilai *threshold* perlu dikalibrasi berdasarkan karakteristik gerakan, tingkat kemampuan pengguna, dan tujuan latihan. Pengguna pemula memerlukan batas toleransi yang lebih longgar, sedangkan latihan penyempurnaan gerakan dapat menggunakan batas yang lebih ketat.

Antarmuka sistem dirancang sederhana dengan menampilkan contoh gerakan pada sisi kiri dan gerakan pengguna pada sisi kanan. Tombol navigasi memungkinkan pengguna berpindah ke langkah sebelumnya, langkah berikutnya, atau mengulangi gerakan yang belum sesuai. Tampilan *overlay landmark* membantu pengguna melihat bagian tubuh yang perlu diperbaiki, sedangkan label hasil evaluasi memberikan informasi benar atau salah secara langsung. Susunan tersebut mendukung penggunaan sistem sebagai media latihan mandiri tanpa memerlukan instruksi tertulis yang kompleks.

Pembahasan Integrasi Arduino dan Sensor

Pada implementasi awal yang diuji, pemrosesan utama dijalankan pada komputer menggunakan *Python*, sedangkan *Arduino* diposisikan sebagai unit pendukung umpan balik fisik. Hasil klasifikasi gerakan dapat dikirim melalui komunikasi serial menggunakan nilai "1" untuk gerakan benar dan "0" untuk gerakan salah. Nilai tersebut digunakan untuk mengaktifkan LED hijau ketika gerakan benar, LED merah ketika gerakan salah, *buzzer* ketika gerakan perlu diulang, atau *display* LCD untuk menampilkan status langkah latihan. Integrasi ini memperluas umpan balik visual pada layar menjadi umpan balik fisik yang lebih mudah dikenali selama proses latihan.

Tabel 4. Rancangan umpan balik berbasis Arduino

Status Gerakan	Output Arduino
Gerakan benar	LED hijau menyala
Gerakan salah	LED merah menyala
Gerakan perlu diulang	Buzzer berbunyi pendek
Langkah selesai	LED berkedip atau display menampilkan status

Kelebihan dan Keterbatasan Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem memiliki beberapa kelebihan. Sistem dapat dibangun menggunakan kamera standar, komputer, dan *Arduino* sebagai perangkat pendukung sehingga biaya pengembangannya relatif rendah. Sistem juga tidak memerlukan sensor yang ditempelkan pada tubuh, mampu memberikan umpan balik secara *real-time*, dan dapat digunakan untuk mendukung latihan mandiri. Selain itu, penggunaan teknologi ini membuka peluang pengembangan media pelatihan tari yang lebih interaktif dan mudah diakses.

Keterbatasan sistem terlihat pada kondisi pencahayaan buruk yang menyebabkan *landmark* tubuh tidak terdeteksi secara stabil, gerakan terlalu cepat yang memicu *frame drop*, serta variasi bentuk tubuh yang memengaruhi posisi koordinat. Sistem juga belum menganalisis gerakan kompleks, seperti rotasi tubuh, penggunaan selendang, ekspresi wajah, dan kesesuaian gerak dengan ritme musik secara optimal. Dataset referensi masih terbatas pada gerakan dasar sehingga penerapan sistem saat ini lebih sesuai untuk latihan awal daripada evaluasi koreografi yang kompleks.

SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem evaluasi gerak tari tradisional Jawa berbasis pose estimation menggunakan kamera dan *Arduino* sebagai media pelatihan mandiri bagi seniman. Sistem memanfaatkan MediaPipe Pose untuk mendeteksi 33 landmark tubuh secara *real-time*, OpenCV untuk pemrosesan video, serta algoritma jarak Euclidean untuk membandingkan pose pengguna dengan referensi. *Arduino* diintegrasikan sebagai unit pendukung yang memberikan umpan balik fisik berupa LED dan buzzer.

Hasil pengujian pada lima gerakan dasar tari Gambyong dengan lima subjek (pemula hingga mahir) menunjukkan bahwa sistem mencapai akurasi rata-rata 87% dalam membedakan gerakan benar dan salah pada kondisi pencahayaan baik (300–500 lux) dan kecepatan gerakan stabil (60–80 bpm). Sistem juga mampu mendeteksi perbedaan sudut gerakan dengan toleransi 5–10 derajat, terutama pada lengan dan kaki.

Keterbatasan utama sistem meliputi penurunan akurasi hingga 65–70% pada pencahayaan rendah (<100 lux), gerakan terlalu cepat (>120 bpm), serta kesulitan mendeteksi gerakan kompleks (rotasi tubuh, penggunaan selendang). Dengan demikian, sistem ini layak dikembangkan lebih lanjut sebagai alat bantu pelatihan tari yang interaktif, ekonomis, dan mendukung pelestarian budaya. Pengembangan selanjutnya disarankan mencakup penambahan dataset gerakan yang lebih beragam, penerapan machine learning untuk peningkatan akurasi, kalibrasi otomatis terhadap proporsi tubuh pengguna, integrasi ritme musik, serta pengembangan aplikasi mobile agar lebih portabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, A. R., & Nurbaeti, R. U. (2023). Pelatihan tari kreasi sebagai bentuk apresiasi seni tari. *JAMU: Jurnal Abdi Masyarakat UMUS*, 3(02). <https://doi.org/10.46772/jamu.v3i02.1051>
- Alvariani, N. P., & Sukmawarti, S. (2022). Pengembangan bahan ajar berbasis permainan tradisional Jawa untuk pemahaman konsep bangun datar. *Jurnal Penelitian Pendidikan Mipa*, 6(2). <https://doi.org/10.32696/jp2mipa.v6i2.1133>
- Ariyani, S., Yuniarno, E. M., & Purnomo, M. (2022). Heuristic application system on pose detection of elderly activity using machine learning in real-time. *2022 IEEE 9th International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*. <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA53371.2022.9853649>
- Darmayanti, M., Dwishiera C.A., N., Nuryani, P., Heryanto, D., & Hendriani, A. (2022). Pendampingan pengembangan pembelajaran seni tari di SD. *Jurnal ABDI*, 8(1). <https://doi.org/10.26740/abdi.v8i1.11164>
- Effendi, Y., Kristian, Y., Zaman, L., & Yutanto, H. (2023). Pemanfaatan mediapipe body pose estimation dan dynamic time warping untuk pembelajaran tari remo. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika*, 9(2). <https://doi.org/10.26905/jtmi.v9i2.10408>
- Fikriadi, R. S., Zufria, I., & Nasution, A. B. (2022). Penerapan augmented reality berbasis android sebagai media pembelajaran pendidikan seni wayang dan tarian jawa. *Rabit: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, 7(1). <https://doi.org/10.36341/rabit.v7i1.2189>
- Hasanah, U. (2024). Peningkatan hasil belajar siswa pada pembelajaran seni budaya materi pokok memahami gerak tari tradisional dengan menggunakan unsur pendukung tari (iringan) melalui penerapan metode demonstrasi pada siswa kelas VIII 3 SMP Negeri 1

Kuala Simpang. *Multidisciplinary Indonesian Center Journal (MICJO)*, 1(1). <https://doi.org/10.62567/micjo.v1i1.24>

- Hermansyah, D., Hasanah, N., Khairunnisa, K., Malini, H., Apriani, D. A., & Aisah, A. (2024). Strategi perlindungan dan pemeliharaan tari tradisional dalam era digital. *Gesture: Jurnal Seni Tari*, 13(1). <https://doi.org/10.24114/gjst.v13i1.56421>
- Kalua, A. L., Kaplale, J. R., Mapalie, N. K. R., Iriansu, I. S., & Ketaren, E. (2024). Pengembangan alat tes kesamaptan TNI/Polri berbasis teknologi computer vision dan IoT dengan metode pose estimation menggunakan python. *Jurnal TIMES*, 13(2). <https://doi.org/10.51351/jtm.13.2.2024791>
- Karim, R. R. (2024). Implementasi klasifikasi senjata tradisional Jawa Barat menggunakan convolutional neural network (CNN) dengan metode transfer learning. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4166>
- Lantara, I. P. P. B., Payana, I. P. D., Pratama, G. A. S., Munayana, W. E. A., Nopiani, K. S., & Hendrawan, I. (2022). GETARI: Dataset untuk klasifikasi gerakan dasar tari bali perempuan. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 11(3). <https://doi.org/10.23887/janapati.v11i3.52598>
- Listiani, W., & Rohaeni, A. J. (2024). Pemanfaatan estimasi pose gerak pada penari trance dalam ritual adat ngalaksa. *Jurnal budaya nusantara*, 6(3). <https://doi.org/10.36456/jbn.vol6.no3.8881>
- Maryati, N., Kesiman, M. W. A., & Sunarya, I. (2023). Deteksi persamaan pola gerakan pada koreografi tari bali. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 10(5). <https://doi.org/10.25126/jtiik.20231057012>
- Mikaresti, P., & Mansyur, H. (2022). Pewarisan budaya melalui tari kreasi nusantara. *Gorga Jurnal Seni Rupa*, 11(1). <https://doi.org/10.24114/gr.v11i1.33333>
- Minarti, M., Setiawan, D., & Waluyo, E. (2023). Tarian kreasi tradisional dolanan meningkatkan kemampuan seni anak SD Negeri 1 Bendoharjo. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*, 1(1). <https://doi.org/10.61650/jptk.v1i1.122>
- Mukti, R. W. T., & Fathurrahman, M. (2023). Pengembangan media pembelajaran artsteps untuk meningkatkan hasil belajar seni musik. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 6(2). <https://doi.org/10.37792/jukanti.v6i2.1049>
- Muthalib, M. A., Irfan, I., Kartika, K., & Meliala, S. M. (2023). Pengiraan pose model manusia pada repetisi kebugaran AI pemograman python berbasis komputerisasi. *Infotech journal*, 9(1). <https://doi.org/10.31949/infotech.v9i1.4233>
- Ngurah, S. I. G., Made, A. N., & Luh, S. N. (2022). Proyek penguatan profil pelajar pancasila (P5) melalui penciptaan karya seni tari gulma penida pada kurikulum merdeka. *GÈTÈR*, 5(2). <https://doi.org/10.26740/geter.v5n2.p25-38>
- Nugra, P. D., Gusmail, S., & Andiko, B. (2022). Pelatihan proses mencipta tari melalui pengelolaan gerak dan pemanfaatan digital audio software di lembaga budaya Aceh Nusantara, Banda Aceh. *Jurnal ABDINUS: Jurnal Pengabdian Nusantara*, 6(2). <https://doi.org/10.29407/ja.v6i2.16725>

- Oktariani, D. (2024a). Pelatihan tari jepin langkah simpang pada siswa SMKN 1 Sukadana. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara*, 5(1). <https://doi.org/10.55338/jpkmn.v5i1.2934>
- Oktariani, D. (2024b). Multimedia interaktif sebagai media pembelajaran tari tradisional. *Jurnal Teknologi Pembelajaran Indonesia*, 14(1). https://doi.org/10.23887/jurnal_tp.v14i1.3321
- Pahan, B. P., & Prasetya, A. (2023). Pembinaan tari dan musik tradisional Kalimantan Tengah sebagai pendidikan karakter pada siswa SMKN 1 Kuala Kapuas. *Jurnal Ilmiah Religiosity Entity Humanity (JIREH)*, 5(1). <https://doi.org/10.37364/jireh.v5i1.123>
- Peling, I. B. A., Ariawan, M. P. A., & Subiksa, G. B. (2024). Deteksi bahasa isyarat menggunakan tensorflow lite dan American Sign Language (ASL). *Jurnal Krisnadana*, 3(2). <https://doi.org/10.58982/krisnadana.v3i2.534>
- Pramartha, C., Koten, I., Putra, I., Supriana, I., & Arka, I. W. (2022). Pengembangan sistem dokumentasi melalui pendekatan ontologi untuk praktek budaya bali. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 11(3). <https://doi.org/10.23887/janapati.v11i3.53939>
- Rohman, F. (2022). Implementasi augmented reality berbasis android sebagai media pembelajaran gerak dasar tari sigeuh pengunten. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 2(4). <https://doi.org/10.33365/jatika.v2i4.1604>
- Salim, S. K., Zaman, L., & Setyati, E. (2023). Pengukuran nilai keseimbangan gerakan manusia terhadap dataset tari remo dengan high-level matrix/array language. *J-INTECH*, 11(2). <https://doi.org/10.32664/j-intech.v11i2.829>
- Salsabila, N., Nurmeta, I. K., & Maula, L. H. (2023). Pengembangan e-modul terhadap kemampuan olah tubuh dalam pembelajaran seni tari di sekolah dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 8(1). <https://doi.org/10.23969/jp.v8i1.7799>
- Saputra, O., Mulyana, D., & Yel, M. B. (2022). Implementasi algoritma convolutional neural network (CNN) untuk klasifikasi senjata tradisional di Jawa Tengah dengan metode transfer learning. *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan)*, 5(2). <https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v5i2.282>
- Sukmawaty, F. (2024). Pelatihan gerak dan tari tradisional jaipong. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(1). <https://doi.org/10.51804/ajpm.v6i1.16564>