

ISBN : Monograf

# SERIOUS GAME PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT



Anang Kukuh Adisusilo  
2025



UWKS PRESS  
Universitas Wijaya Kusuma Surabaya,  
Jl. Dukuh Kupang XXV No.54,  
Dukuh Kupang, Kec. Dukuhpakis,  
Kota SB Y, Jawa Timur 60225

# **SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

Dr. Ir. Anang Kukuh Adisusilo, ST., MT.



**PENERBIT  
UWKS PRESS**

# **SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

ISBN

Ukuran buku 18 x 26 cm

115 hlm

Cetakan ke -1, Bulan Juli Tahun 2025

**Penulis:**

Dr. Ir. Anang Kukuh Adisusilo, ST., MT.

**Editor:**

Diyas Age Larasati, S.Pd., M.Pd.

**Penerbit:**

UWKS PRESS

Anggota IKAPI No.206/Anggota Luar Biasa/JTI/2018

Anggota APPTI No.002.071.1.12019

Jl. Dukuh Kupang XXV/54 Surabaya Jawa Timur 60225

Telp. (031) 5677577

Hp. 085745182452 / 081703875858

Email : [uwkspress@gmail.com](mailto:uwkspress@gmail.com) / [uwkspress@uwks.ac.id](mailto:uwkspress@uwks.ac.id)

**Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, termasuk dengan penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga monograf ini yang **berjudul “Serious Game: Pergerakan Lengan Tari Bedoyo Majapahit”** dapat diselesaikan dengan baik.

Monograf ini merupakan hasil kajian interdisipliner antara teknologi digital dan pelestarian budaya, khususnya dalam merekam serta memvisualisasikan gerakan lengan tari Bedoyo Majapahit melalui motion capture dan pengembangan serious game edukatif. Pendekatan ini diharapkan dapat menjaga nilai-nilai budaya sekaligus menghadirkan media pembelajaran yang adaptif terhadap perkembangan zaman.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada para penari, tim teknis, serta Universitas Wijaya Kusuma Surabaya atas dukungan dan fasilitasi yang telah diberikan. Monograf ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang informatika budaya, seni pertunjukan digital, serta pengembangan game edukatif.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam karya ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Mei 2025

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>vii</b>
<b>BAB 1 SERIOUS GAME DALAM TARI: KONSEP, TEORI, DAN RELEVANSI BUDAYA DIGITAL</b>	<b>1</b>
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI DAN KONSEP</b>	<b>7</b>
<b>BAB 3 PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN</b>	<b>19</b>
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>39</b>
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>96</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>104</b>

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 DIAGRAM HUBUNGAN ANTARA FUN GAME, SERIOUS GAME, DAN SIMULATOR DITINJAU DARI SUDUT PANDANG KESENANGAN (FUN) DAN KESESUAIAN DENGAN REALITAS (REALITAS/SIMULASI NYATA).....	11
GAMBAR 3. 1 ILUSTRASI POSISI PENARI DALAM PENGAMBILAN GERAK BERBASIS MOTION CAPTURE .....	20
GAMBAR 3. 2 POSISI TITIK DITEKSI PADA PENARI PADA TARI BEDOYO MAJAPAHIT BERBASIS MOTION CAPTURE .....	21
GAMBAR 3. 3 FLOWCHART KAMERA MENDITEKSI PADA PENARI DAN MENYINPAN FILE HASIL.....	23
GAMBAR 3. 4 DIAGRAM ALIR EVALUASI GERAKAN .....	33
GAMBAR 3. 5 DESAIN UI DALAM KONSEP SERIOUS GAME PENGENALAN TARI BEDOYO MOJOPAHIT .....	34
GAMBAR 4. 1 VISUALISASI T POSE UNTUK MOTION CAPTURED TARI BEDOYO MOJOPAHIT. ....	41
GAMBAR 4. 2 PENGGUNAAN BVHIO UNTUK VISUALISASI T POSE UNTUK MOTION CAPTURED TARI BEDOYO MOJOPAHIT.....	42
GAMBAR 4. 3 PERUBAHAN DARI VIDEO KE DALAM KONSEP BVH DALAM TARI BEDOYO MOJOPAHIT. ....	44
GAMBAR 4. 4 ILUSTRASI POSISI PENARI DALAM PENGAMBILAN GERAK BERBASIS MOTION CAPTURE .....	47
GAMBAR 4. 5 POSISI TITIK DITEKSI PADA PENARI PADA TARI BEDOYO MAJAPAHIT BERBASIS MOTION CAPTURE .....	49
GAMBAR 4. 6 POSISI HASIL TITIK DITEKSI DENGAN LABEL DAN KOORDINAT PADA PENARI. ....	49
GAMBAR 4. 7 FLOWCHART KAMERA MENDITEKSI PADA PENARI DAN MENYINPAN FILE HASIL.....	55
GAMBAR 4. 8 GRAFIK KECEPATAN LENGAN YANG MELIPUTI BAHU, SIKU DAN PERGELANGAN TANGAN.....	66

GAMBAR 4. 9 GRAFIK DISTRIBUSI KECEPATAN LENGAN YANG MELIPUTI BAHU, SIKU DAN PERGELANGAN TANGAN.....	67
GAMBAR 4. 10 GRAFIK AKSELERASI LENGAN YANG MELIPUTI BAHU, SIKU DAN PERGELANGAN TANGAN.....	68
GAMBAR 4. 11 GRAFIK HASIL PERHITUNGAN SUDUT SIKU. ....	69
GAMBAR 4. 12 GRAFIK DISTRIBUSI SUDUT SIKU KIRI DAN SUDUT SIKU KANAN..	73
GAMBAR 4. 13 GRAFIK GERAK UNTUK LENGAN KIRI DAN LENGAN KANAN.....	77
GAMBAR 4. 14 GRAFIK KORELASI ANTARA LENGAN KIRI DAN KANAN. ....	86
GAMBAR 4. 15 GRAFIK PENGELOMPOKAN KECEPATAN BAHU BERDASAR CLUSTER.....	87
GAMBAR 4. 16 GRAFIK PENGELOMPOKAN KECEPATAN SIKU BERDASAR CLUSTER. ....	88
GAMBAR 4. 17 GRAFIK PENGELOMPOKAN KECEPATAN PERGELANGAN TANGAN BERDASAR CLUSTER.....	88

UWKSpress

**DAFTAR TABEL**

TABEL 4. 1 HASIL ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF UNTUK TIGA VARIABEL KECEPATAN, YAITU KECEPATAN BAHU, KECEPATAN SIKU DAN KECEPATAN PERGELANGAN .....	59
TABEL 4. 2 HASIL ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF UNTUK TIGA VARIABEL AKSELERASI, YAITU AKSELERASI BAHU, AKSELERASI SIKU DAN AKSELERASI PERGELANGAN.....	61
TABEL 4. 3 HASIL ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF UNTUK SUDUT SIKU.....	69
TABEL 4. 4 HASIL ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF UNTUK GERAK Lengan KIRI .....	79
TABEL 4. 5 HASIL ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF UNTUK GERAK Lengan KANAN.....	80
TABEL 4. 6 HASIL MATRIK KORRELASI KECEPATAN Lengan KIRI DAN KANAN..	82
TABEL 4. 7 HASIL RATA RATA KECEPATAN PER CLUSTER.....	87

## **BAB I SERIOUS GAME DALAM TARI: KONSEP, TEORI, DAN RELEVANSI BUDAYA DIGITAL**

Tari tradisional merupakan bentuk ekspresi budaya yang mendalam, mencerminkan nilai-nilai sejarah, estetika, dan spiritual suatu masyarakat. Di antara sekian banyak warisan budaya Indonesia, Tari Bedoyo Majapahit menempati posisi istimewa sebagai representasi budaya Jawa klasik yang sarat dengan simbol dan makna filosofis. Tarian ini, yang dahulu dipentaskan dalam upacara-upacara kerajaan, menggambarkan kehalusan, keselarasan, dan spiritualitas melalui setiap gerakan tubuh penarinya. Gerakan lengan dalam tari Bedoyo tidak sekadar ornamen visual, tetapi juga menyimpan makna filosofi yang mendalam, seperti simbol keseimbangan, keselarasan alam, dan spiritualitas perempuan Jawa [1]–[3].

Namun, seiring dengan perkembangan zaman dan penetrasi budaya digital yang masif, eksistensi tari tradisional menghadapi tantangan besar. Generasi muda lebih familiar dengan teknologi interaktif seperti game digital, media sosial, dan konten daring daripada bentuk-bentuk kesenian tradisional. Dalam situasi seperti ini, diperlukan strategi inovatif untuk menjaga kesinambungan warisan budaya, termasuk melalui pendekatan digital yang dapat mengadaptasikan kekayaan budaya ke dalam media yang lebih mudah diterima generasi sekarang.

### **1.2 Konsep Serious Game dalam Konteks Budaya**

Serious game menjadi salah satu media yang sangat potensial dalam menjembatani kesenjangan tersebut. Tidak sekadar permainan, serious game menggabungkan unsur hiburan dengan tujuan edukatif dan kognitif yang dalam. Serious game

didefinisikannya sebagai permainan yang memiliki tujuan utama di luar hiburan murni, seperti pelatihan, pendidikan, dan promosi nilai-nilai tertentu. Dalam konteks budaya, serious game dapat berperan sebagai medium penyampai pengetahuan budaya yang lebih menarik dan interaktif, terutama bagi generasi digital native.

Serious game juga dapat digunakan sebagai alat dokumentasi budaya digital. Dalam kasus tari tradisional, yang umumnya hanya diajarkan secara lisan dan melalui praktik langsung, serious game dapat menyimpan struktur koreografi dalam bentuk digital interaktif. Ini memungkinkan siapa pun, kapan pun, untuk mempelajari bentuk-bentuk tari tersebut tanpa harus berada di lokasi tertentu atau memiliki akses langsung ke guru tari.

### **1.3 Teori dan Pendekatan Pendukung**

Banyak teori mendukung pendekatan ini. Menurut teori konstruktivisme, pembelajaran akan lebih efektif jika peserta didik terlibat secara aktif dalam prosesnya. Game yang melibatkan pengguna dalam pengalaman interaktif sesuai dengan prinsip ini, karena memungkinkan pengguna mengalami langsung proses belajar melalui eksplorasi dan partisipasi. Sedangkan teori experiential learning dari David Kolb menekankan pentingnya pengalaman konkret dalam siklus pembelajaran, yang mana bisa dimediasi oleh game edukatif yang menyajikan konteks budaya sebagai konten interaktif.

Dalam pengembangan serious game, aspek desain sangat penting. Ernest Adams dalam bukunya "Fundamentals of Game Design" menyebutkan bahwa keseimbangan antara gameplay, narasi, dan interaktivitas merupakan inti dari desain game yang sukses. Oleh karena itu, pengembangan serious game untuk pelestarian tari seperti

Bedoyo Majapahit harus mempertimbangkan keakuratan representasi gerakan, kekayaan narasi budaya, dan keterlibatan emosional pemain.

Di sisi lain, sejumlah penelitian dari Anang Kukuh Adisusilo, dosen dan peneliti dari Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, menunjukkan bahwa desain serious game yang edukatif harus memperhatikan faktor immersifitas [5], yakni sejauh mana pengguna merasa “terlibat penuh” dalam pengalaman digital. Dalam ulasan penelitiannya, menekankan bahwa keselarasan antara keakuratan data, narasi budaya, dan unsur keterlibatan pengguna menjadi kunci keberhasilan serious game dalam pembelajaran. Jika sebuah game terlalu kompleks dan hanya berfokus pada simulasi realitas, maka sisi hiburan dan pengalaman pengguna bisa hilang. Sebaliknya, jika terlalu dangkal, maka nilai edukatif budaya bisa tidak tersampaikan secara efektif [6]. Selain itu, dalam konferensi IEEE 2021, disajikan bahwa dengan menekankan perancangan mekanisme permainan berbasis budaya dan kegiatan tradisional dalam format edukatif interaktif [7].

#### **1.4 Teknologi Motion Capture dan Visualisasi Tari**

Pemanfaatan teknologi seperti motion capture—terutama sistem markerless seperti MediaPipe—menyediakan kemudahan dalam mendokumentasikan gerakan tari secara presisi. Teknologi ini memungkinkan penangkapan data gerak tubuh penari dalam bentuk digital tiga dimensi (3D) yang dapat dianalisis secara numerik maupun divisualisasikan ulang dalam bentuk animasi. Gerakan lengan penari Bedoyo Majapahit yang kompleks dapat dikonversi menjadi data digital, kemudian diolah menjadi aset penting dalam desain permainan edukatif yang mendalam. Lebih lanjut, ditemukan pula adanya korelasi positif yang kuat antara kecepatan gerakan bahu dan siku dengan nilai korelasi sebesar 0,84. Hal ini mengindikasikan bahwa gerakan lengan dalam tari ini dilakukan secara terstruktur dan selaras antar bagian tubuh,

bukan secara acak. Temuan-temuan ini sangat penting, karena memberikan dasar data yang kuat untuk membangun model digitalisasi gerakan tari [4].

Dengan pendekatan berbasis data, kita dapat memahami struktur koreografi tari Bedoyo secara lebih sistematis. Misalnya, melalui analisis kecepatan gerakan, akselerasi, dan sudut siku, kita bisa mengidentifikasi pola-pola khas yang menjadi ciri dari gerakan estetika tari tersebut. Pola-pola ini dapat diintegrasikan dalam sistem scoring atau evaluasi dalam serious game, di mana pemain akan memperoleh umpan balik atas kemiripan gerakan mereka dengan standar budaya.

Sebagai dasar pengembangan media tersebut, dibutuhkan data empiris yang valid mengenai karakteristik gerak tari, yang saat ini dapat diakuisisi melalui teknologi motion capture markerless, seperti MediaPipe. Teknologi ini memungkinkan perekaman gerakan tubuh manusia tanpa perlu penanda khusus (marker), dengan hanya menggunakan kamera digital. Dalam studi yang dipublikasikan pada Jurnal TEMATIK, digunakan metode motion capture untuk menganalisis gerakan lengan penari Bedoyo Majapahit, termasuk posisi bahu, siku, dan pergelangan tangan. Data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan menggunakan algoritma K-Means Clustering, yang menghasilkan tiga kategori gerakan: rendah, sedang, dan tinggi. Dari hasil klasifikasi tersebut diketahui bahwa pola gerakan lengan rendah merupakan yang paling dominan, menunjukkan karakter khas tarian yang lemah gemulai dan tidak agresif [4].

Teknologi ini juga membuka peluang untuk pengembangan fitur pembelajaran personalisasi berbasis data. Misalnya, game dapat mencatat performa pemain dan menyarankan area yang perlu ditingkatkan, bahkan memberikan mode pelatihan khusus berdasarkan analisis statistik dari data rekaman penari ahli.

### **1.5 Relevansi Budaya dan Pendidikan**

Dalam konteks ini, serious game bukan hanya menjadi alat pelestarian, tetapi juga media pembelajaran budaya yang berbasis pengalaman. Anak-anak atau remaja yang memainkan game ini tidak sekadar meniru gerakan, tetapi juga memahami makna di balik tiap gerakan, mengenali struktur tari, dan terhubung dengan filosofi budaya yang menyertainya.

Lebih jauh, pendekatan ini selaras dengan paradigma digital humanities, yang memadukan metode analisis kuantitatif dan kualitatif dalam studi humaniora. Digitalisasi gerakan tari melalui motion capture memungkinkan studi gerakan secara ilmiah, sementara integrasi dalam game memberi ruang pada interpretasi kreatif dan penyampaian narasi budaya.

Serious game juga memperkuat nilai pelestarian dalam konteks globalisasi. Ketika budaya lokal dikemas secara modern dan dapat diakses secara global, maka peluang untuk diperkenalkan kepada dunia menjadi lebih terbuka. Ini merupakan bagian dari diplomasi budaya yang dapat memperkuat identitas nasional sekaligus memperluas jangkauan budaya lokal.

### **1.6 Tujuan Penulisan dan Sistematika Buku**

Monograf ini hadir sebagai kontribusi untuk menjawab tantangan tersebut. Melalui pendekatan interdisipliner antara seni pertunjukan, teknologi informasi, dan desain game, penulisan ini mengeksplorasi cara-cara inovatif untuk mendokumentasikan, menganalisis, dan menghidupkan kembali Tari Bedoyo Majapahit dalam platform digital. Fokus utama penelitian ini adalah pada pergerakan lengan, yang merupakan elemen kunci dalam estetika tari Bedoyo. Dengan analisis data gerak dan

penerapannya dalam desain serious game, karya ini diharapkan dapat menjadi referensi akademik sekaligus panduan praktis dalam pelestarian budaya berbasis teknologi.

Pada akhirnya, bab ini akan menguraikan tujuan penulisan buku ini, perumusan masalah yang mendasari riset, serta pendekatan metodologis yang digunakan untuk mencapai hasil yang sah. Penulisan ini juga akan memaparkan struktur sistematika buku agar memudahkan pembaca dalam menavigasi isi dari tiap bab yang akan disajikan selanjutnya.

Adapun sistematika buku ini dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

Bab I menjelaskan latar belakang, landasan teori, serta pentingnya penggabungan konsep serious game dengan budaya tradisional.

Bab II membahas konsep teoritis secara lebih dalam mengenai digitalisasi tari, teknologi motion capture, dan prinsip-prinsip desain game edukatif.

Bab III menyajikan proses perancangan dan pengembangan game, mulai dari akuisisi data hingga implementasi desain berbasis budaya.

Bab IV menguraikan hasil analisis data gerak, pemodelan interaktif, serta evaluasi gameplay.

Bab V menyimpulkan temuan utama dan memberikan saran untuk pengembangan lanjutan dalam bidang pelestarian budaya digital melalui media permainan edukatif.

Diharapkan, struktur ini akan membantu pembaca memahami alur gagasan secara komprehensif serta memberikan gambaran utuh tentang potensi serious game sebagai sarana pelestarian budaya yang adaptif dan bermakna.

## **BAB 2 LANDASAN TEORI DAN KONSEP**

### **2.1 Tari Bedoyo Majapahit dan Pergerakan Lengan**

Tari Bedoyo Majapahit merupakan bentuk ekspresi budaya yang kental dengan nilai-nilai simbolik dan spiritual dalam kebudayaan Jawa. Berbeda dengan tarian hiburan pada umumnya, tari Bedoyo bersifat kontemplatif dan sakral. Struktur gerakannya menekankan pada keharmonisan dan keselarasan antar anggota tubuh, yang diekspresikan melalui pola-pola koreografi yang mengalir dan penuh kendali [1]. Dalam konteks gerak, lengan memainkan peran penting sebagai penanda ritme internal dan makna naratif yang dibawa oleh penari.

Secara teknis, pergerakan lengan dalam tari ini tidak dilakukan secara sembarangan. Terdapat struktur gerak tertentu yang menjadi bagian dari pakem tari, seperti posisi tangan saat membentuk lengkungan, rotasi siku, serta koordinasi antara bahu dan pergelangan tangan. Hal ini menjadikan lengan sebagai titik fokus dalam pengamatan dinamika tari, terutama dalam perspektif analisis gerak. Namun, kompleksitas gerak yang halus dan berlapis seringkali sulit dianalisis secara manual atau visual biasa.

Dalam kerangka ilmiah, pendekatan menggunakan teknologi motion capture memberikan solusi yang presisi terhadap permasalahan tersebut. Teknologi motion capture khususnya jenis markerless memungkinkan sistem mendeteksi dan merekam pergerakan tubuh manusia tanpa harus menggunakan penanda fisik yang ditempel di tubuh. Salah satu teknologi open-source yang digunakan adalah MediaPipe, yang mampu mendeteksi posisi lebih dari 30 titik tubuh secara real-time, termasuk titik bahu, siku, dan pergelangan tangan sebagai fokus utama pada pergerakan lengan.

Penelitian yang dilakukan oleh Anang Kukuh Adisusilo (2024) memanfaatkan MediaPipe untuk merekam dan menganalisis data pergerakan lengan penari Bedoyo Majapahit. Titik-titik koordinat tubuh yang terekam dari video penari kemudian

diolah untuk menghasilkan data kuantitatif seperti kecepatan gerak dan sudut siku. Dengan analisis statistik lanjutan menggunakan algoritma K-Means Clustering, gerakan lengan berhasil dikelompokkan menjadi tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi. Setiap kategori menunjukkan karakteristik pola energi dan intensitas gerakan, yang secara tidak langsung mencerminkan makna filosofis dari gerakan tersebut dalam konteks tari [4].

Menariknya, dari hasil klasifikasi ditemukan bahwa gerakan lengan kategori rendah merupakan yang paling dominan. Temuan ini tidak hanya memperkuat persepsi estetis tentang kelembutan dan ketertiban gerakan tari Bedoyo, tetapi juga menyediakan data valid yang dapat digunakan dalam konteks pelatihan digital, pembelajaran, maupun pengembangan model simulasi tari [4].

Selain itu, penelitian ini juga melakukan analisis korelasi antarbagian tubuh, khususnya antara kecepatan gerakan bahu dan siku. Hasil korelasi positif yang tinggi menunjukkan bahwa pergerakan dilakukan secara terkoordinasi, dan bukan gerak acak. Hal ini mendukung asumsi bahwa dalam tari Bedoyo, sinkronisasi antarbagian tubuh adalah bagian dari karakter gerak yang otentik dan penting untuk dilestarikan secara utuh.

Dengan basis data yang diperoleh, pergerakan lengan tidak hanya dapat didokumentasikan, tetapi juga dimodelkan secara matematis dan visual. Ini membuka peluang pengembangan sistem edukatif berbasis gerakan, seperti serious game, yang dapat memberikan pengalaman belajar gerakan tari secara interaktif dan berbasis data.

Integrasi antara pendekatan kualitatif (makna budaya) dan pendekatan kuantitatif (analisis gerak digital) seperti ini menjadi landasan penting dalam membangun sistem pelestarian budaya yang adaptif terhadap perkembangan teknologi. Dalam konteks tari Bedoyo Majapahit, hal ini memberikan kontribusi terhadap transformasi cara kita memahami, mengajarkan, dan menyebarluaskan warisan budaya melalui media digital berbasis gerakan.

## **2.2 Konsep Serious Game**

### 2.2.1 Definisi dan Fungsi

Serious game adalah jenis permainan digital yang dirancang dengan tujuan selain hiburan khususnya pendidikan, pelatihan, dan penyebaran nilai budaya [8]. Produk ini dirancang sedemikian rupa sehingga pemain, tanpa menyadari tujuan pembelajarannya, terlibat secara aktif dalam proses edukatif [9], serious game dibedakan dari edutainment karena lebih menekankan hasil pembelajaran yang konkret, bukan sekadar hiburan. Dalam serious game, penting untuk menjaga keseimbangan antara keseruan permainan dan keakuratan data yang digunakan. Dinyatakan bahwa jika kita terlalu fokus membuat game yang sangat realistis dengan data yang rumit, justru bisa membuat permainan menjadi kurang menyenangkan dan sulit dinikmati oleh pemain [8].

“Banyak penelitian menekankan sisi pengalaman nyata yang mendalam (*immersive*) dalam serious game. Namun, jika data yang digunakan terlalu kompleks dan sulit dipahami, hal ini justru bisa mengurangi unsur kesenangan dalam bermain.”

Dengan kata lain, game edukatif tetap harus menyenangkan, walaupun berbasis data ilmiah—karena tanpa keseruan, pemain tidak akan tertarik untuk terus bermain dan belajar.

Kutipan tersebut menegaskan bahwa desain serious game harus mempertimbangkan dua aspek kunci:

- Immersi: pengalaman pengguna seolah berada dalam dunia nyata.
- Keseruan (*fun*): elemen game yang menghibur, tetapi tetap mendukung tujuan edukatif.

### 2.2.2 Immersi dan Engagement dalam Proses Belajar

Dalam publikasinya dari penelitian immersive serious game dengan topik pengolahan tanah menggunakan alat bajak digunakan data eksperimental (contoh: kecepatan bajak, sudut, kedalaman) untuk meningkatkan keakuratan simulasi game [5], [7], [10], dan menunjukkan bahwa: semakin akurat simulasi merepresentasikan kondisi nyata, semakin tinggi pula tingkat immersi atau keterlibatan emosional pemain dalam permainan. Immersi yang kuat inilah yang pada akhirnya mendorong peningkatan engagement, karena pemain merasa benar-benar terlibat dan tertantang dalam konteks yang menyerupai dunia nyata. Penggunaan model yang digunakan berdasarkan Pareto Optimal untuk merancang mekanisme game (HFSM), sehingga pemain menghadapi situasi nyata yang menantang secara strategis, namun tetap menyenangkan.

Berdasarkan hasil beberapa penelitian, terdapat beberapa konsep utama yang dapat dijadikan landasan dalam pengembangan serious game untuk tari Bedoyo.

- Pertama, penggunaan data gerakan lengan yang bersumber dari penari asli menjadi dasar utama dalam membangun simulasi yang autentik.
- Kedua, diperlukan model matematis yang mengolah kecepatan dan sudut gerak menjadi logika permainan serta sistem level yang terstruktur.
- Ketiga, strategi immersi dan validasi gerak harus dirancang berdasarkan data tersebut agar pemain tidak hanya merasa terlibat secara emosional, tetapi juga mendapatkan umpan balik objektif atas kesesuaian gerak mereka dengan pola tari yang benar.

### 2.2.3 Mekanisme Desain dan Teknik Pendukung

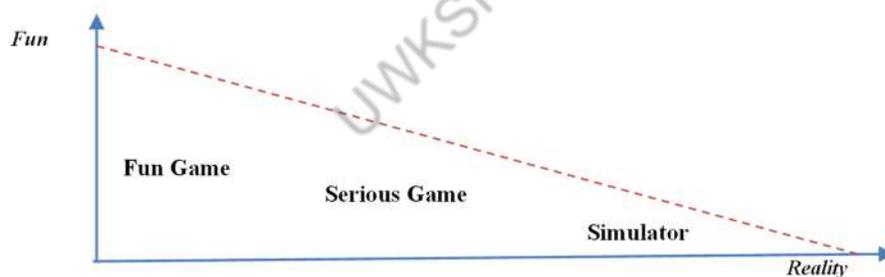
Dalam beberapa penelitian terdapat beberapa teknik sebagai desain *serious game*, yaitu:

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

- *Polynomial Modelling*: digunakan untuk meminimalkan error antara data eksperimental dan model game (modelling error sangat kecil,  $1 \times 10^{-7}$ ) sehingga pengalaman terasa realistis [10].
- *Hierarchical Finite State Machine (HFSM)*: mekanisme kontrol game berdasarkan logika situasional (keputusan & state transitions) pengguna, ditentukan dari input gerak nyata [11].

Beberapa yang harus diperhatikan juga bahwa harus terdapat keseimbangan antara fidelity, immersi, dan fun dalam *serious game*. Fidelity: kesetiaan simulasi terhadap realitas (misalnya gerak tangan Taroe Bedoyo). Immersion: keterlibatan emosional & kognitif pemain atau pengguna. Fun: pengalaman yang menyenangkan sehingga pemain berminat kembali. Ketiga aspek tersebut juga tergambar dalam grafik konseptual yang dijelaskan dalam publikasi [8].



Gambar 2. 1 Diagram hubungan antara Fun Game, Serious Game, dan Simulator ditinjau dari sudut pandang kesenangan (fun) dan kesesuaian dengan realitas (realitas/simulasi nyata)

Dari Gambar 2.1, dapat dijelaskan bahwa posisi relatif tiga jenis permainan berdasarkan dua dimensi utama:

- Fun (kesenangan/hiburan) dimana seberapa menyenangkan dan menghibur permainan bagi pemain.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

- Reality/Fidelity dimana seberapa dekat simulasi permainan dengan kenyataan dunia nyata.

Sehingga dengan konsep tersebut dapat diartikan bahwa :

- Fun Game: Tinggi dalam hiburan, tetapi rendah dalam kesesuaian terhadap realitas (misalnya game fantasi, arcade).
- Simulator: Sangat realistis dan akurat, tapi biasanya kurang menyenangkan bagi umum (contoh: simulator penerbangan untuk pelatihan pilot).
- Serious Game: Berada di tengah-tengah, mencoba menyeimbangkan antara akurasi simulasi dan elemen menyenangkan, digunakan untuk edukasi atau pelatihan.

### 2.2.4 Relevansi terhadap Tari Bedoyo Majapahit

Serious game yang akan dikembangkan berdasarkan poin-poin di atas memiliki karakteristik:

- Basis data gerak: data posisi + kecepatan dari gerakan lengan (MediaPipe untuk velocity/angle).
- Model validasi gerak: menggunakan threshold atau machine learning (K-Means, HFSM).
- Umpan balik: grafik, suara, atau animasi memberi tahu pemain apakah gerakan sudah sesuai kategori rendah/sedang/tinggi.
- Level & reward structure: mengikuti intensitas gerak, semakin dekat dengan pola referensi sehingga jika naik level akan diberi penghargaan visual atau naratif.
- Model desain tersebut memungkinkan game menjadi sarana edukatif berkonsep:
- Belajar sambil bermain, anak usia sekolah dapat mempelajari koreografi Bedoyo tanpa merasa “belajar”.
- Penguatan budaya, pola-pola gerak diarahkan mendekati pakem tradisional.

- Evaluasi objektif, gerak adekuat diukur menggunakan data kuantitatif yang dihasilkan melalui metode ilmiah.

Dapat dikatakan bahwa serious game ini menempatkan data dan budaya pada posisi utama, sementara teknologi menyediakan medium interaktif untuk menyampaikan dan mengevaluasi secara tepat.

## **2.3 Teknologi Motion Capture**

### 2.3.1 Definisi dan Klasifikasi

Motion capture adalah metode untuk merekam gerakan manusia secara digital untuk dianalisis atau digunakan dalam animasi, simulasi, dan game. Secara umum, terdapat dua jenis utama:

- Marker-based mocap: Menggunakan sensor fisik (marker) pada tubuh penari untuk mengikuti gerakan. Teknologi ini memiliki akurasi tinggi, namun membutuhkan alat mahal, lokasi khusus, dan persiapan intensif.
- Markerless mocap: Menggunakan kamera standar dan algoritma visi komputer—tanpa marker fisik. Salah satu alat populer adalah MediaPipe dari Google, yang mampu mendeteksi 30+ titik tubuh (skeleton) secara real-time. Teknologi ini lebih murah, portabel, dan ramah pengguna.

### 2.3.2 Keunggulan Markerless Motion Capture

Berdasarkan tinjauan literatur dan publikasi terkait, terdapat beberapa keunggulan markerless mocap:

- Portabilitas tinggi : cukup menggunakan kamera biasa, cocok untuk aplikasi lapangan atau ruangan terbuka.
- Pengolahan real-time: contoh MediaPipe memungkinkan estimasi pose langsung di perangkat mobile atau browser.

- Biaya rendah & persiapan minimal — tanpa biaya tinggi seperti studi marker-based, tanpa butuh laboratorium.
- Kepatuhan terhadap privasi — data yang diproses bersifat skeletal/keypoint, bukan perekaman wajah atau sensor biometrik.

### 2.3.3 Studi Kasus: Tari Bedoyo Majapahit

Berdasarkan penelitian menggunakan MediaPipe untuk merekam gerakan lengan Tari Bedoyo Majapahit secara markerless [4], pengambilan variabel adalah :

- Koordinat 3D titik bahu, siku, dan pergelangan tangan,
- Pengukuran kecepatan gerak dan sudut sendi siku,
- Klasifikasi gerakan berdasarkan algoritma K-Means menjadi kategori: rendah, sedang, tinggi,
- Analisis korelasi antara gerakan bahu dan siku, dengan nilai tinggi (0,84/0,71)

Metodologi ini memberikan model kuantitatif dan objektif untuk mendokumentasikan elemen yang sebelumnya hanya didasarkan pada pengalaman pelatih.

### 2.3.4 Validasi dan Akurasi

Meskipun akurasi markerless terutama pada anggota tubuh atas (shoulder/elbow) bisa sedikit lebih rendah dibanding marker-based, studi validasi menunjukkan korelasi tinggi antara hasil keduanya, seperti penelitian yang menunjukkan bahwa akurasi MediaPipe cukup baik untuk tangan dan lengan [12], dan Uji coba MediaPipe pada rehabilitasi juga menunjukkan koherensi sudut yang konsisten (ICC tinggi) meski error relatif RMSE muncul pada gerakan ekstrem .

Untuk tari Bedoyo Majapahit, sifat gerak yang melambat dan terkendali membantu mengurangi efek noise, sehingga teknik markerless cukup andal.

### 2.3.5 Tantangan dan Solusi

Beberapa kendala umum markerless mocap antara lain:

- Occlusion: titik tubuh tertutup (misalnya tangan menutupi badan). Solusi: multiple-camera setup atau rekonstruksi temporal.
- Noise dan jitter: suara data mempengaruhi keakuratan sudut dan kecepatan. Solusi: filtering (kalman / low-pass) atau polynomial smoothing.

Modeling realitas: akurasi dipengaruhi kualitas kamera, sampling rate, dan pencahayaan. Namun dalam penggunaan edukatif/game, error kecil masih dapat diterima dengan validasi berjenjang (misal threshold  $\pm 5^\circ$ ).

### 2.3.6 Konsep Integratif dalam Serious Game

Landasan teknis ini memungkinkan desain sistem educative game sebagai berikut:

- Basis data gerak untuk dataset kecepatan & sudut
- Model matematis digunakan sebagai threshold, clustering, atau state machine validasi
- Feedback real-time dengan konsep visual/audio berdasarkan kesesuaian gerak
- Layer gameplay dibuat level naik sesuai konsistensi gerak

Dengan begitu, gerakan budaya yang dikalkulasi secara digital menjadi bagian dari mekanisme game: pemain memperoleh validasi apakah gerak lengan mereka sesuai 'pakem' Bedoyo.

## **2.4 Teori Edukasi Budaya**

### **2.4.1 Budaya sebagai Objek Pembelajaran Digital**

Budaya merupakan warisan tak benda yang mencerminkan identitas kolektif suatu masyarakat, termasuk nilai, norma, simbol, dan praktik artistik seperti tari tradisional. Dalam konteks pendidikan modern, upaya pelestarian budaya memerlukan pendekatan yang adaptif terhadap perkembangan teknologi dan gaya belajar generasi digital. Integrasi teknologi ke dalam pendidikan budaya bukan hanya memungkinkan penyampaian materi secara lebih menarik, tetapi juga menjadi media transformasi nilai-nilai budaya ke bentuk interaktif dan dapat dieksplorasi oleh peserta didik secara langsung [13].

Melalui pendekatan ini, budaya tidak sekadar diajarkan secara deskriptif, tetapi dihidupkan dalam bentuk partisipatif. Sebagai contoh, gerakan tari yang sebelumnya hanya bisa dipelajari melalui pengamatan langsung, kini dapat dimodelkan dan dievaluasi melalui platform digital berbasis gerak seperti serious game.

### **2.4.2 Peran Serious Game dalam Edukasi Budaya**

Serious game merupakan salah satu pendekatan pembelajaran digital yang tidak hanya menyajikan konten edukatif, tetapi juga dirancang dengan mekanisme permainan yang menyenangkan dan memotivasi. Serious game memungkinkan integrasi antara nilai-nilai budaya dan interaktivitas digital yang dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam memahami serta melestarikan kebudayaan lokal [6].

Dalam konteks budaya, serious game berperan sebagai alat penyampai nilai-nilai lokal melalui interaksi digital. Konsep ini telah diterapkan dalam beberapa studi, salah satunya adalah pengembangan game edukasi berbasis budaya lokal di tingkat sekolah dasar. Hasil studi menunjukkan bahwa siswa tidak hanya memahami bentuk-

bentuk budaya, tetapi juga dapat menginternalisasi nilai-nilai moral dan karakter yang melekat di dalamnya [14], [15].

Kunci utama dari edukasi berbasis budaya melalui serious game adalah pada tiga aspek:

- Relevansi kontekstual budaya, yakni menyajikan konten yang benar-benar merepresentasikan praktik budaya setempat.
- Keterlibatan kognitif dan emosional melalui gameplay yang menyenangkan.
- Refleksi dan pemaknaan, di mana siswa mampu menafsirkan pengalaman dalam game menjadi pemahaman nilai yang bermakna.

#### 2.4.3 Strategi Edukasi Budaya dalam Game

Model pembelajaran berbasis budaya dalam penelitian juga bisa menekankan pada pendekatan tematik-integratif, di mana konten budaya tidak berdiri sendiri, melainkan dipadukan ke dalam konteks permainan yang utuh [13], dimana dibagi tahapan belajar dalam game ke dalam empat komponen:

- Discovery – Pemain mengenali unsur budaya yang ditampilkan melalui narasi, visual, atau audio.
- Exploration – Pemain berinteraksi langsung dengan objek budaya, misalnya melalui gerakan tari, pengambilan keputusan berdasarkan nilai tradisi, atau partisipasi dalam simulasi budaya.
- Evaluation – Sistem game memberikan umpan balik berdasarkan kesesuaian interaksi pemain dengan standar budaya.
- Reflection – Pemain diajak merenungkan makna yang terkandung dalam tindakan mereka selama permainan.

Dengan struktur ini, pembelajaran budaya tidak lagi hanya informatif, melainkan menjadi proses transformatif yang membangun kesadaran dan penghargaan terhadap identitas budaya.

#### 2.4.4 Aplikasi pada Tari Bedoyo Majapahit

Penerapan model ini sangat relevan dalam konteks pengembangan serious game untuk Tari Bedoyo Majapahit, dengan menggunakan pendekatan ini untuk merekam dan mengklasifikasikan gerakan lengan tari Bedoyo menggunakan motion capture markerless. Hasil rekaman kemudian dianalisis dan dijadikan basis dalam merancang struktur validasi gerakan dalam permainan [4].

Dalam serious game terdapat elemen budaya melalui:

- Narasi sejarah dan makna tari Bedoyo sebagai konteks awal permainan.
- Simulasi gerakan lengan dengan instruksi dan validasi berbasis data nyata (kecepatan dan sudut).
- Leveling berdasarkan kesesuaian gerakan, yang menjadi alat motivasi belajar.
- Feedback visual dan audio untuk mendukung pembelajaran yang intuitif dan menyenangkan.

Dengan model ini, game tidak hanya menghibur, tetapi juga berperan sebagai media pelestarian budaya yang mampu menjangkau generasi muda secara efektif.

Teori edukasi budaya berbasis serious game yang dirumuskan dalam penelitian sebelumnya memberi fondasi kuat bagi pengembangan media pembelajaran yang relevan dengan tantangan abad ke-21. Integrasi antara budaya lokal, teknologi interaktif, dan pendekatan tematik menjadikan game sebagai medium pembelajaran yang tidak hanya efektif secara kognitif, tetapi juga bermakna secara sosial dan emosional. Dalam konteks monograf ini, teori edukasi budaya menjadi penghubung antara dokumentasi gerak tari Bedoyo dan transformasinya menjadi media pembelajaran berbasis teknologi. Dengan begitu, game yang dikembangkan mampu menjadi jembatan antara tradisi dan inovasi, antara nilai lama dan pendekatan baru, demi keberlanjutan warisan budaya Indonesia.

## **BAB 3 PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN**

### **3.1 Akuisisi Data Gerakan Lengan**

Akuisisi data gerakan merupakan tahapan awal yang sangat penting dalam pengembangan serious game berbasis budaya, khususnya untuk mendokumentasikan dan mentransformasikan gerakan tari Bedoyo Majapahit ke dalam format digital interaktif. Fokus utama dari proses ini adalah menangkap gerakan lengan penari secara akurat, sebagai dasar penyusunan logika permainan, validasi gerak, dan pembuatan umpan balik dalam game.

#### **3.1.1 Tujuan Akuisisi**

Akuisisi data dilakukan untuk memperoleh:

- Koordinat tiga dimensi ( $x, y, z$ ) dari titik-titik tubuh penting pada lengan (bahu, siku, pergelangan tangan).
- Kecepatan gerakan setiap titik per frame.
- Sudut siku (elbow angle) dalam satuan derajat.
- Pola klasifikasi gerakan yang merepresentasikan kategori: rendah, sedang, dan tinggi.

Data tersebut digunakan sebagai landasan untuk membuat sistem penilaian otomatis, memberikan umpan balik real-time, dan menentukan alur pembelajaran dalam game.

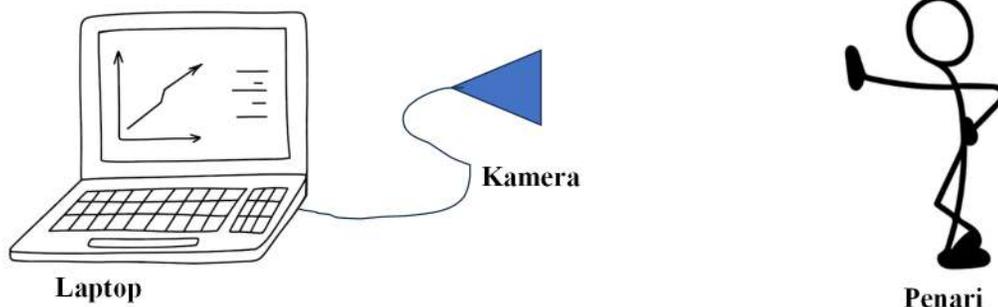
#### **3.1.2 Metode Akuisisi: Markerless Motion Capture**

Akuisisi dilakukan menggunakan teknologi markerless motion capture, khususnya MediaPipe Pose dari Google, yang bekerja berdasarkan computer vision tanpa memerlukan alat bantu fisik seperti marker atau sensor wearable.

Langkah-langkah utama proses akuisisi meliputi:

- a) Persiapan Ruang dan Kamera
  - Penari direkam dalam ruangan terang, dengan latar belakang bersih untuk mengurangi noise.
  - Kamera digunakan pada resolusi minimal 720p dan frame rate stabil (30 fps).
- b) Perekaman Video Tari
  - Penari membawakan beberapa segmen tari Bedoyo Majapahit secara utuh, dengan fokus pada gerakan lengan.
  - Perekaman dilakukan dari sudut depan dan/atau samping untuk hasil optimal.

Proses pengambilan data untuk mendapatkan data dilakukan dengan merekam gerakan tari Bedoyo Majapahit dengan penari tunggal. Penari adalah anggota unit sanggar tari KTKL ( Karawitan Tari Kusuma Laras Ati ), yang sudah sering melakukan tari Bedoyo Majapahit. Ilustrasi posisi penari dan kamera seperti Gambar.3.1



Gambar 3. 1 Ilustrasi posisi penari dalam pengambilan gerak berbasis motion capture

- c) Ekstraksi Titik Tubuh (Keypoints)
  - Video diekstrak frame-by-frame.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

- MediaPipe Pose mendeteksi titik: right/left shoulder, right/left elbow, dan right/left wrist.
- Koordinat disimpan dalam bentuk file CSV (Comma Separated Values) untuk pemrosesan lebih lanjut.

Hasil dari rekaman penari Bedoyo Majapahit, dilakukan proses pengambilan data dengan fokus pengambilan data pada pergerakan lengan. Langkah awal adalah menentukan mapping bagian lengan pada tubuh penari, yang meliputi titik bahu kiri (left shoulder), siku kiri (left elbow), pergelangan tangan kiri (left wrist) untuk bagian kiri dan bahu kanan (right shoulder), siku kanan (right elbow), pergelangan tangan kanan (right wrist) untuk bagian kanan, untuk lebih jelasnya seperti Gambar.3.2



Gambar 3. 2 Posisi titik diteksi pada penari pada tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture

### d) Pengolahan Data

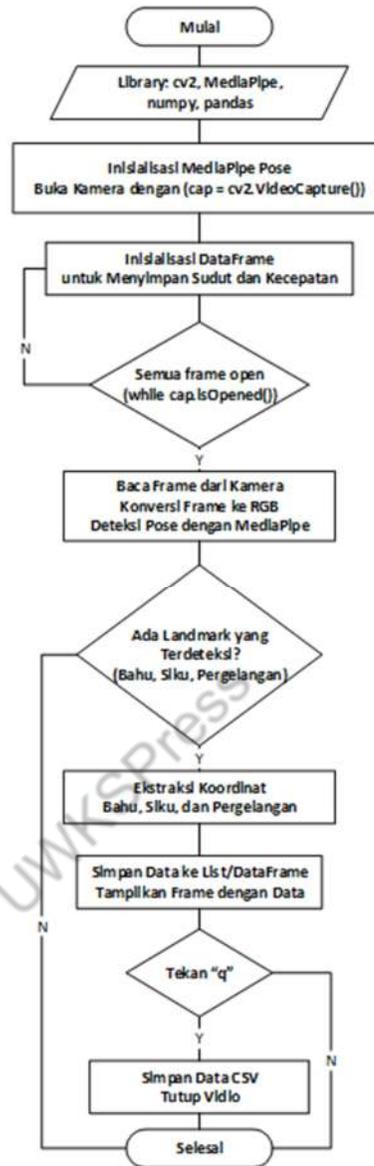
- Data diproses menggunakan Python untuk menghitung:
  - Sudut siku menggunakan hukum kosinus dari tiga titik: bahu–siku–pergelangan.

- Kecepatan tiap titik berdasarkan perbedaan posisi antar frame dibagi waktu.
- Klasifikasi gerakan menggunakan algoritma K-Means Clustering untuk membagi data ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi.

Proses pengambilan data berbasis bahasa pemrograman python versi 3.11.8. Untuk melakukan deteksi gerak dan penyimpanan data digunakan mediapipe pose, opencv, pandas dan numpy yang secara langsung mengambil gerakan penari didepan kamera untuk di rekam dan menghasilkan video yang tersimpan, selain itu terdapat label pada setiap bagian titik deteksi dengan koordinat titik tersebut, dengan algoritma untuk proses pengambilan data ini seperti flowchart pada Gambar.3.3.

e) Visualisasi & Validasi Awal

- Hasil perhitungan divisualisasikan dalam bentuk grafik (plot gerakan, histogram sudut, kecepatan).
- Proses ini juga digunakan untuk validasi awal terhadap hasil tangkapan data (misalnya memastikan tidak ada anomali atau missing point).



Gambar 3. 3 Flowchart kamera mendeteksi pada penari dan menyimpan file hasil.

### 3.1.3 Penggunaan Markerless System

Penggunaan teknologi markerless seperti MediaPipe dipilih karena:

- Praktis dan ekonomis: tidak memerlukan alat mahal dan bisa dilakukan dengan perangkat umum (kamera laptop atau HP).

- Cocok untuk budaya: tidak mengganggu gerakan penari yang memakai busana tradisional.
- Real-time: hasil bisa langsung dianalisis dan digunakan untuk pengembangan sistem validasi dalam game.
- Reprodusibilitas: data dalam format digital dapat dengan mudah disimpan, dibagikan, dan digunakan kembali untuk pelatihan machine learning.

#### 3.1.4 Hasil Akuisisi

Dari proses ini, diperoleh dataset berisi:

- Total lebih dari 5.000 frame gerakan.
- Kecepatan dan sudut pada setiap frame.
- Distribusi data menunjukkan 51% gerakan lengan berada pada kategori rendah, 29% sedang, dan 20% tinggi.
- Korelasi gerakan antara bahu dan siku cukup kuat, yaitu 0.84 untuk sisi kanan dan 0.71 sisi kiri.
- Dataset ini menjadi fondasi utama dalam sistem deteksi dan pembelajaran gerakan pada game, sekaligus mendokumentasikan salah satu elemen penting dari Tari Bedoyo secara kuantitatif.
- 

#### 3.2 Proses Digitalisasi Gerakan

Proses digitalisasi gerakan menjembatani antara data gerak mentah dan model digital siap gunakan dalam game. Tahapan ini sangat krusial untuk mengubah gerakan penari Bedoyo Majapahit, khususnya pada lengan dari bentuk fisik menjadi sumber penilaian dalam serious game edukatif. Proses ini mengandung empat fase utama:

- Pembersihan data,
- Ekstraksi fitur,

- Klasifikasi gerakan, dan
- Penyusunan model digital gerakan (template), serta integrasi ke sistem evaluasi visual.

### 3.2.1 Preprocessing Data

#### a. Deteksi titik kunci (keypoint detection)

Frame video hasil perekaman diekstrak menggunakan MediaPipe Pose untuk merekam posisi tujuh titik utama: bahu, siku, dan pergelangan untuk kedua lengan, dalam tiga dimensi (x, y, z). Teknik ini mampu mendeteksi gerakan kompleks secara real time di laptop atau ponsel pintar, memungkinkan pengumpulan data secara massal selama sesi latihan tari.

#### b. Pengisian data hilang (missing values)

Dalam beberapa kasus, posisi jari atau lengan bisa tidak terdeteksi—entah karena bayangan, kesalahan posisi, atau gangguan teknis. Untuk mengatasi ini, dipakai:

Interpolasi linear: untuk mengisi nilai yang hilang selama 1–3 frame.

Carry-forward/backward: melanjutkan koordinat terakhir jika frame sebelumnya hilang.

#### c. Filter noise (jitter) dan normalisasi

Untuk menghilangkan getaran kecil yang tak diinginkan:

Filter moving average atau Gaussian digunakan untuk menghaluskan jalur gerakan.

Data kemudian dinormalisasi agar tinggi dan postur penari tidak memengaruhi model.

d. Skalasi ruang

Posisi X, Y, Z mapan dinormalisasi ke rentang [0–1] atau ke satuan meter agar model evaluasi game berjalan konsisten untuk berbagai pemain.

### 3.2.2 Ekstraksi Fitur Gerakan

a. Sudut siku (elbow angle)

Menggunakan vektor bahu–siku dan siku–pergelangan, rumus kosinus dipakai untuk menghitung sudut siku di setiap frame:

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{AB} \cdot \vec{BC}}{|\vec{AB}| |\vec{BC}|} \right)$$

b. Kecepatan dan akselerasi

Kecepatan dihitung dari perubahan posisi per satuan waktu antar frame, sedangkan akselerasi menunjukkan perubahan kecepatan. Frame rate 30 fps dipilih untuk memperoleh resolusi temporal optimum antara ketepatan dan beban komputasi.

c. Rentang gerak (range of motion)

Merupakan selisih maksimum sudut siku dan perpindahan lengan selama satu gerakan atau rangkaian pose.

d. Simetri gerakan bilateral

Perbandingan nilai sudut/kecepatan antara sisi kiri dan kanan untuk mendeteksi adanya ketidakseimbangan gerak (mirror bias) yang tidak sesuai pakem.

3.2.3 Klasifikasi & Analisis Pola Gerakan

a. K-Means Clustering

Dataset fitur gerak digunakan untuk pengelompokan ke dalam tiga kluster: rendah, sedang, tinggi. Clustering menghasilkan centroid untuk setiap kategori, yang merepresentasikan karakteristik tipe gerakan:

- Rendah: sudut kecil ( $<45^\circ$ ), kecepatan  $<0.2$  m/s
- Sedang: sudut  $\sim 45\text{--}90^\circ$ , kecepatan  $0.2\text{--}0.5$  m/s
- Tinggi: sudut  $>90^\circ$ , kecepatan  $>0.5$  m/s

b. Rule-based Identification

Opsional sebagai pelengkap, misalnya:

If angle  $> 90^\circ$  and speed  $> 0.4$  maka Label = High

c. Analisis korelasi

Menggunakan algoritma statistik, misalnya Pearson correlation, untuk membuktikan adanya sinkronisasi gerak bahu dan siku—yang digambarkan melalui nilai  $r = 0.84$  dan  $0.71$ .

### 3.2.4 Visualisasi Gerakan Digital

#### a. Skeleton animation

Menggunakan pustaka seperti Three.js atau Unity untuk membuat kerangka digital berdasarkan koordinat, memungkinkan pemain melihat bentuk gerakan mereka secara waktu nyata.

#### b. Trajectory mapping

Plot lintasan gerak tangan dalam 3D (sumbu x-y-z), memberi gambaran visual pergerakan lengan dari satu posisi ke posisi lain.

#### c. Overlay dan perbandingan

Menampilkan rangka gerak pemain (warna kuning) di atas rangka penari referensi (warna biru) untuk membantu visualisasi perbedaan dan akurasi.

Diagram proses ini bisa ditautkan menggunakan sumber dari Adisusilo et al. (2021): “See Figure 3, ‘Skeleton vs Reference overlay” dalam publikasi.

### 3.2.5 Penyusunan Template Digital

#### a. Time-series template gerakan

Template berisi data sudut siku dan kecepatan per frame dari lengan referensi untuk satu siklus gerakan.

#### b. Tolerance & threshold

Rentang toleransi dihitung  $\pm 5^\circ$  sudut dan  $\pm 0.1$  m/s kecepatan untuk validasi gerakan pemain.

c. Model evaluasi

Implementasi model finite-state machine atau rule engine untuk menilai apakah gerakan pemain lolos validasi satu frame per satu frame; jika 80% waktu benar → lulus level.

### 3.2.6 Integrasi ke Game

Penerapan dalam gameplay:

- Player Input Module – data gerak dikumpulkan saat memainkan game.
- Feature Extraction – data diolah per frame secara real-time.
- Comparison Engine – data pemain dibandingkan dengan template.
- Feedback Module – hasil dinyatakan sebagai:
- "Gerakan terlalu cepat", "Bagusan", atau "Level Selesai" ditampilkan secara visual/audio.
- Scoring & Leveling : berdasarkan akurasi, konsentrasi, dan konsistensi pemain.

### 3.2.7 Tantangan dan Solusi

Terdapat beberapa tantangan dan solusi yang ditawarkan , yaitu:

- Jitter & noise – diatasi dengan filter digital dan smoothing algoritmik.
- Occlusion – resolusi rendah dari satu kamera diatasi dengan multiple-camera atau predictive interpolation.
- Variasi antar penari – dihadirkan dengan model template generik atau sistem kalibrasi awal oleh pengguna.
- Sikap budaya : skor dan umpan balik disertai narasi budaya agar pemain memahami makna di balik gerakan.

Melalui proses digitalisasi, gerakan lengan Tari Bedoyo dimodelkan secara akurat dan objektif. Template digital menjadi fondasi evaluasi gerak dalam serious game, memastikan pembelajaran budaya tetap otentik sambil memanfaatkan teknologi.

### **3.3 Desain Serious Game**

#### **3.3.1 Pendekatan Desain dan Tujuan Game**

Tujuan Utama Game adalah untuk membantu pengguna mempelajari gerakan lengan Tari Bedoyo Majapahit melalui feedback real-time sehingga dapat meniru gerakan pakem secara presisi dan memahami nilai budaya di baliknya. Tujuan operasional meliputi:

- Reproduksi gerak: pengguna dapat menirukan gerakan dengan presisi minimal  $\pm 5^\circ$ .
- Refleksi budaya: menghubungkan gerakan dengan latar historis dan filosofi.
- Keterlibatan emosional: memupuk rasa kebanggaan budaya melalui progres interaktif.
- Motivasi pembelajaran: memberi insentif visual dan level untuk meningkatkan repetisi latihan.

Pendekatan desain didasari prinsip fidelity, immersion, fun sebagaimana penelitian sebelumnya [6], [11], [16], yang menekankan keseimbangan antara akurasi simulasi, emotional engagement, dan elemen permainan secara menyenangkan. Game ini bersifat modular, memungkinkan pengembangan lanjutan seperti ekspansi tari lain atau integrasi teknologi AR/VR.

### 3.3.2 Struktur dan Mode Game

#### a) Mode Latihan (Practice Mode)

Bagian ini berfokus pada fitur:

- Akses ke video referensi Tari Bedoyo dan skeleton animation.
- Fungsi slowmotion dan controllable playback (0.5×, 0.75×, 1×).
- Tampilan side-by-side antara skeleton referensi dan pemain.
- Pengguna dapat mengulang dan melakukan kalibrasi standar terhadap pola gerak terlebih dahulu.

#### b) Mode Tantangan (Challenge Mode)

Terdiri dari tiga level:

- Level 1, dengan gerakan Rendah dan karakteristik Sudut  $\leq 45^\circ$ , kecepatan  $\leq 0.2$  m/s
- Level 2, dengan gerakan Sedang dan karakteristik  $45^\circ-90^\circ$ ,  $0.2-0.5$  m/s
- Level 3, dengan gerakan Tinggi dan karakteristik  $>90^\circ$ ,  $>0.5$  m/s

Pengguna harus mencapai akurasi dan konsistensi minimal 80% dalam durasi yang telah ditentukan untuk menyelesaikan setiap level.

#### c) Mode Narasi (Story Mode)

Game menghadirkan narasi historis dan budaya, misalnya adegan istana Majapahit saat tarian disajikan. Setting visual mendukung suasana klasik dan kontemplatif, termasuk audio gamelan dan narasi budaya. Mode ini mengintegrasikan elemen eksploratif dan pembelajaran tematik.

### 3.3.3 Mekanisme Evaluasi Gerakan Real-Time

Data input gerakan diekstraksi secara real-time dari MediaPipe Pose yang berjalan di belakang layar Unity. Proses evaluasi mencakup:

- Perhitungan sudut siku dan kecepatan per frame.
- Perbandingan ke template menggunakan threshold  $\pm 5^\circ$  sudut dan  $\pm 0.1$  m/s kecepatan.
- Frame-level evaluation:
  - Lulus dengan tanda hijau + suara 'tepuk'.
  - Gagal dengan tanda merah + instruksi teks "Rentangkan lengan!".
- Level assessment: pengguna melewati level jika  $\geq 80\%$  frame lulus.

Berdasarkan penjelasan dari Gambar 3.4, tentang diagram alir evaluasi gerakan, maka :

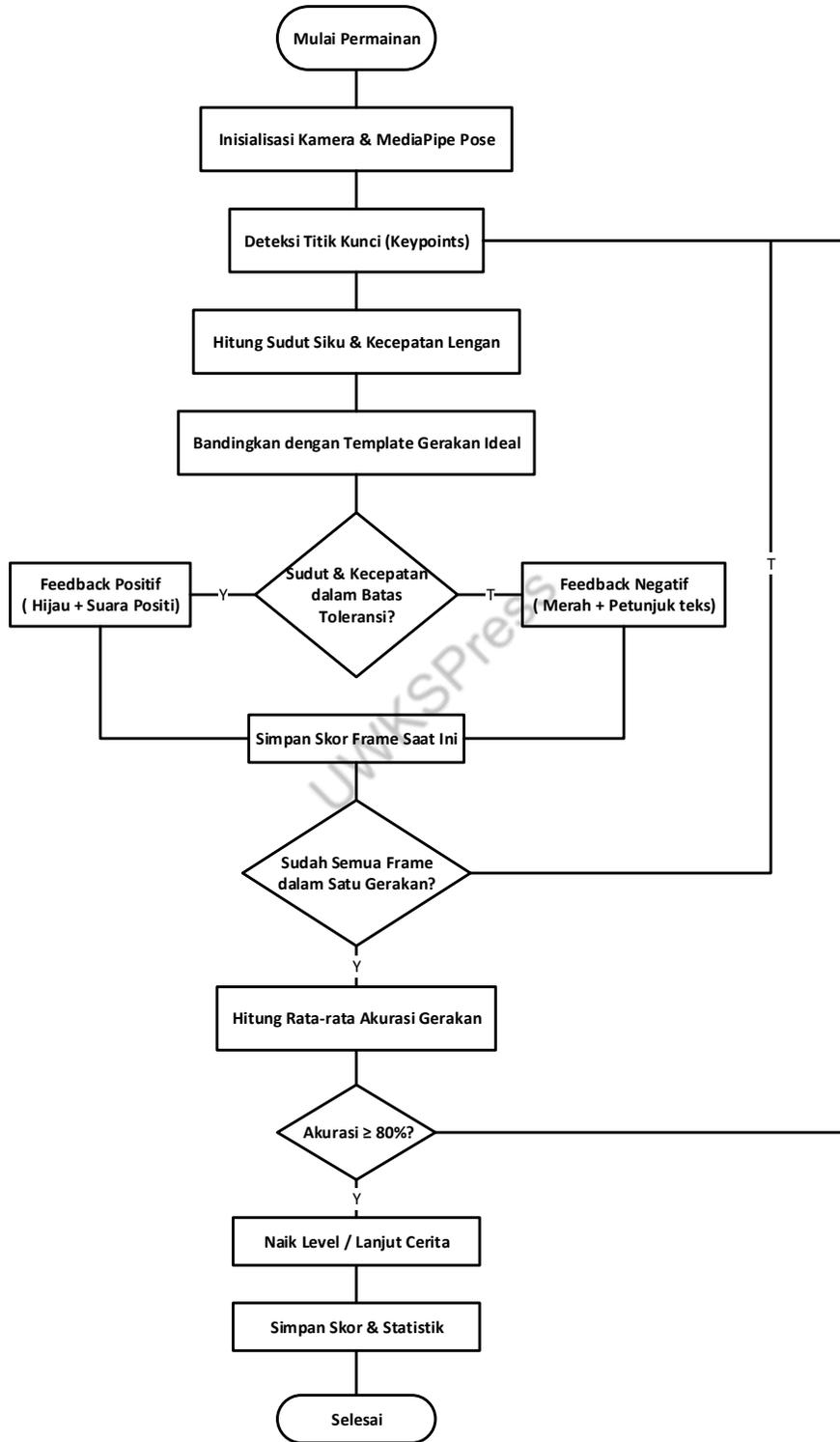
- Sudut Siku: dihitung dari vektor bahu-siku-pergelangan.
- Kecepatan Lengan: vektor perubahan posisi titik antar frame.
- Batas toleransi: default  $\pm 5^\circ$  untuk sudut dan  $\pm 0.1$  m/s untuk kecepatan.
- Feedback Positif: visual hijau + bunyi "tepuk".
- Feedback Korektif: teks seperti "Luruskan lengan!" + suara.
- Skor: dihitung berdasarkan jumlah frame benar / total frame.

### 3.3.4 Antarmuka dan Desain Visual

Tampilan Utama seperti Gambar 3.5, terdiri dari:

- Viewport: menampilkan referensi dan skeleton pengguna secara berdampingan.
- Panel informasi: skor waktu nyata, akurasi frame per frame, grade, level saat ini.
- Instruksi teks sebagai acuan pengguna dan info lainnya.
- Audio indikator: merupakan bunyi mulai backsound sampai, "tepuk" saat benar, serta narasi suara penjas saat pencapaian level.

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**



Gambar 3. 4 Diagram alir Evaluasi Gerakan

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT



Gambar 3. 5 Desain UI dalam konsep serious game pengenalan tari bedoyo mojopahit

### 3.3.5 Leveling System & Reward Structure

- a) Leveling didesain untuk memberikan rasa pencapaian yang progresif dan bermakna:
- Level 1 (Pemula): skenario pengenalan gerakan rendah.
  - Level 2 (Menengah): kombinasi gerakan sedang.
  - Level 3 (Mahir): gerakan dinamis tinggi.

b) Reward diberikan dalam bentuk:

- Lencana digital (“Srikandi Pemula”, “Srikandi Madya”, “Srikandi Utama”).
- Konten budaya premium: mini-documentary sejarah tari, audio gamelan belum ditampilkan.
  - Sertifikat digital setelah menyelesaikan semua level.

### 3.3.6 Narasi dan Integrasi Budaya

a) Game menggunakan narasi berbasis storytelling untuk menyampaikan nilai budaya:

- Introduksi sejarah Majapahit dan makna Tari Bedoyo.
- Setelah setiap level, dijelaskan filosofi posisi tangan dan lengan.

b) Akhir sesi memicu refleksi—terdapat dialog:

- “Anda telah berhasil menirukan gerakan Bedoyo. Mengapa lengan lurus dan perlahan penting?” dilengkapi narasi visual.
- Elemen ini dikembangkan melalui kolaborasi dengan budayawan, penari senior, serta didukung audio profesional. Mood musik gamelan dan ornament visual memperkaya atmosfer budaya.

### 3.3.7 Teknologi & Arsitektur Sistem

Platform Unity dengan MediaPipe Plugin berjalan sebagai engine utama, terdiri dari modul:

- Input : Module membaca data keypoint.
- Processing Engine : menghitung sudut, kecepatan, validasi.
- Game Logic Engine : manajemen level, score, reward.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

- UI Controller : menampilkan nilai, grafik, tombol navigasi.
- Audio / Narrative Engine :s menampilkan suara narator dan musik.

Sekuen teknikal:

Urutan proses kerja internal sistem saat pemain menjalankan game:

a) Input Data Gerak

- MediaPipe Pose menangkap keypoints tubuh (bahu, siku, pergelangan) secara real-time.
- Data dikirim frame-per-frame.

b) Perhitungan Fitur

Sistem menghitung:

- Sudut siku kanan & kiri (dari posisi 3 titik).
- Kecepatan gerak antar frame.
- Hasil disimpan dalam array waktu nyata.

c) Validasi Gerakan

- Dibandingkan dengan template data ideal (preset Tari Bedoyo).
- Diperiksa apakah nilai berada dalam batas toleransi (threshold).
- Jika valid: diberi status benar. Jika tidak: salah.

d) Feedback Real-Time

- Sistem langsung memberi respons visual dan audio:
- Warna skeleton berubah (hijau/merah).
- Audio “bagus!” atau “coba ulangi!”.

- Teks koreksi muncul di layar.
- e) Skoring & Leveling
- Sistem merekam hasil tiap frame dengan dihitung total skor akurasi.
  - Jika akurasi total per level  $\geq 80\%$  maka naik ke level berikutnya.

### 3.3.8 Iterasi Desain dan Uji Validasi

Prototipe game diuji dengan metode:

- Uji coba internal: oleh tim pengembang dan penari untuk mendapatkan feedback awal teknis dan budaya.
- User Testing (Student & Budaya): dilakukan kepada 30 responden (siswa + penari amatir).
- Asesmen kuantitatif: pengukuran engagement (kuesioner Likert), akurasi skor, dan retensi pembelajaran.
- Asesmen kualitatif: wawancara mendalam mengenai kesan budaya, keseruan, dan estetika.

Hasil uji coba digunakan untuk:

- Memperhalus threshold penilaian.
- Menyempurnakan kelancaran UI dan tempo gerak.
- Menambahkan konten budaya lebih beragam atau tingkat kesulitan.

### 3.3.9 Ensuring Fidelity, Immersion, and Fun

Desain game dioptimalkan untuk mencapai:

- Fidelity: akurasi gerak digital sesuai Data Template Bedoyo.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

- Immersion: narrative kuat, audio, visual budaya.
- Fun: mekanisme leveling, lencana, dan tantangan progresif.

Sebagai contoh, jika game terlalu realistis namun membosankan, dapat menambahkan elemen kompetisi (board score global, leaderboard) atau mini-game tambahan seperti trivia soal budaya.

### 3.3.10 Dokumentasi & Ekspansi Masa Depan

Game diarsip dalam bentuk:

- Source code & asset.
- Dokumentasi desain: alur game, threshold, rule engine.
- Manual pengguna: panduan game untuk pelajar dan pelatih tari.

Pengembangan lanjutan mencakup:

- Versi mobile (iOS/Android).
- Fitur multiplayer (duet tari).
- Integrasi AR (Android/iOS dengan ARCore/ARKit).
- Skema evaluasi lanjutan menggunakan ML (CNN untuk deteksi gestur).

Desain serious game Tari Bedoyo Majapahit dirancang secara holistik, berakar pada nilai budaya dan teknologi, serta didukung umpan balik evaluatif nyata. Sistem ini dapat menjadi model bagi game edukatif lainnya yang menggabungkan gerakan budaya dan pengalaman interaktif.

## **BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada tahun 2024, proses awal dalam rangkaian penelitian ini dimulai dengan tahapan pengumpulan dan akuisisi data gerak yang disesuaikan dengan roadmap penelitian jangka panjang. Langkah pertama dalam tahapan ini adalah melakukan proses motion capture untuk menangkap data pergerakan dari tari Bedoyo Majapahit secara umum, dengan penekanan khusus pada pergerakan lengan. Teknologi motion capture dipilih karena kemampuannya dalam merekam data gerakan secara detail, presisi, dan sinkron dengan kebutuhan digitalisasi budaya tradisional. Dalam proses ini, digunakan format standar industri yang telah lama dikenal dalam bidang animasi komputer dan pengembangan game digital, yaitu format BioVision Hierarchy (BVH).

BVH atau BioVision Hierarchy merupakan salah satu format populer dalam dunia animasi dan simulasi gerakan digital. Format ini awalnya dikembangkan oleh Biovision, sebuah perusahaan motion capture yang merancang format tersebut agar kompatibel dengan kebutuhan industri animasi dan game 3D. BVH terdiri dari dua komponen utama yang sangat penting yaitu struktur hierarki kerangka (Skeleton Hierarchy) dan data gerakan (Motion Data). Struktur hierarki mendefinisikan hubungan antar bagian tubuh atau tulang (joint), sedangkan data gerakan mencatat posisi dan rotasi masing-masing joint dalam setiap frame animasi.

Secara teknis, bagian pertama dari file BVH yaitu Skeleton Hierarchy mendefinisikan struktur tulang tubuh, termasuk akar (root joint), nama setiap tulang, posisi awal, dan hubungan parent-child antar tulang. Hierarki ini membentuk dasar visualisasi dari kerangka 3D manusia secara matematis. Sementara itu, bagian kedua yaitu Motion Data berisi data numerik tentang posisi dan rotasi tulang-tulang dalam struktur hierarki tersebut, frame per frame. Dengan memanfaatkan data ini, kita dapat menghasilkan animasi real-time yang menggambarkan gerakan manusia secara akurat.

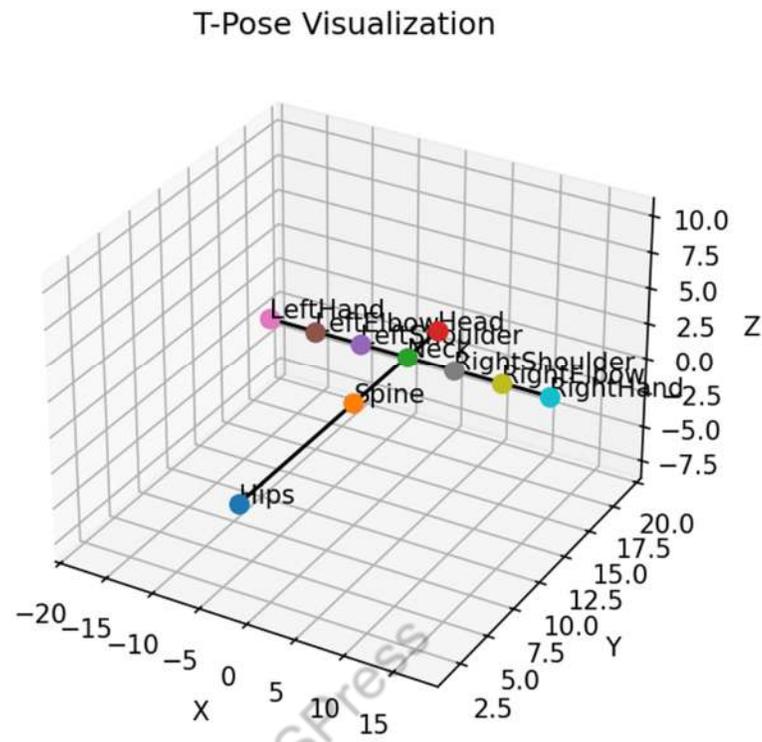
Dalam implementasi teknis penelitian ini, Python digunakan sebagai bahasa pemrograman utama karena fleksibilitas dan ketersediaan pustaka-pustaka seperti `bvhio`, `numpy`, `matplotlib`, serta tool pendukung visualisasi lainnya yang memungkinkan manipulasi file `.bvh` secara efisien. Proses awal melibatkan pembuatan T-Pose sebagai posisi standar untuk referensi awal gerak.

Data awal adalah menggunakan python untuk create T-Pose yang merupakan standar awal ketika captured data. T-Pose adalah pose standar dalam animasi dan motion capture di mana karakter 3D berdiri tegak dengan lengan lurus ke samping membentuk huruf "T". Pose ini dipilih sebagai standar karena memberikan orientasi dasar yang seragam, memudahkan pemodelan, rigging, dan penerapan data gerakan ke model 3D.

Alasan penggunaan T-Pose adalah [18]:

- Keseragaman: T-Pose memberikan posisi referensi yang sama untuk semua model karakter, sehingga data animasi dapat diterapkan secara konsisten.
- Kemudahan dalam Rigging dan Skinning: Posisi lengan yang terbuka memudahkan animator untuk menentukan posisi sendi dan melakukan binding antara kerangka (rig) dan model.
- Mencegah Tabrakan Sendi: Dengan lengan terbuka, sendi tidak saling menabrak atau menyulitkan selama proses rigging, sehingga posisi ini lebih praktis untuk pengeditan dan pemrosesan lebih lanjut.

Dengan mengacu konsep T-Pose maka dicari data dasar untuk visualisasi T pose sebagai dasar pergerakan tari bedoyo majapahit, sehingga didapatkan seperti Gambar 4.1:

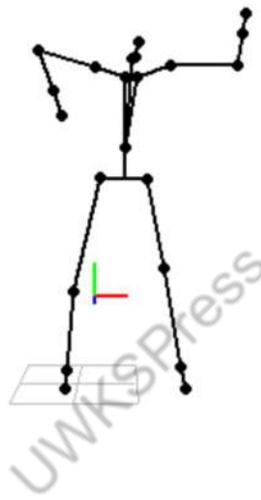


Gambar 4. 1 Visualisasi T Pose untuk motion captured tari bedoyo mojopahit.

Selanjutnya, gambar 4.2 memperlihatkan bagaimana pustaka bvho diimplementasikan untuk memvisualisasikan data BVH dalam bentuk T-Pose secara programatik, menjadi kerangka dasar simulasi pergerakan lengan yang nantinya akan diintegrasikan dalam sistem serious game. Visualisasi ini menunjukkan tidak hanya bagaimana data ditangkap dan diterjemahkan menjadi animasi, tetapi juga bagaimana data tersebut dapat dimanipulasi untuk kebutuhan evaluasi gerakan tari secara digital.

Visualisasi dan implementasi awal ini menjadi titik penting dalam proses digitalisasi budaya. Dengan memulai dari standar T-Pose yang didasarkan pada struktur kerangka 3D universal, memungkinkan perbandingan, sinkronisasi, dan pengolahan data gerak tari secara sistematis. Ini menjadi pondasi penting dalam pengembangan serious game berbasis data real-time tari Bedoyo Majapahit, terutama dalam konteks pelestarian budaya berbasis teknologi.

Dengan memiliki dasar yang kuat dari sisi teknis—yaitu integrasi antara data BVH, Python, dan T-Pose—penelitian ini berada pada jalur yang tepat untuk melangkah ke tahap selanjutnya, yaitu analisis pola gerak, penyesuaian logika permainan, serta pengembangan sistem umpan balik dan penilaian dalam game edukatif yang dirancang. Tahapan ini menandai dimulainya perjalanan penting menuju representasi budaya tari Bedoyo Majapahit dalam dunia digital interaktif.



Gambar 4. 2 Penggunaan *bvhio* untuk Visualisasi T Pose untuk motion captured tari bedoyo mojopahit.

### 1.1 Analisis Data dan Validasi

#### a) Data Umum

Data umum yang dimaksud dalam penelitian ini adalah data yang bersumber dari media publik yang telah tersedia dan terpublikasi sebelumnya. Dalam konteks penelitian tari Bedoyo Majapahit, pendekatan awal menggunakan rekaman video yang dapat diakses secara bebas sebagai data dasar untuk dianalisis dan dikonversi ke dalam format motion capture. Data ini digunakan sebagai rujukan visual yang autentik terhadap representasi tari Bedoyo Majapahit dalam pertunjukan nyata.

Salah satu sumber utama yang digunakan adalah rekaman tari Bedoyo Majapahit yang dipublikasikan melalui kanal YouTube "Hava Production". Video ini dapat diakses melalui tautan: <https://www.youtube.com/watch?v=ssYwCNOMR8o>. Rekaman ini menampilkan penari yang membawakan Tari Bedoyo Majapahit dalam format pertunjukan lengkap, dengan kualitas visual yang cukup baik untuk dianalisis secara digital. Pemanfaatan sumber data publik ini penting dalam tahap awal, karena dapat digunakan sebagai dasar untuk membangun model awal dari gerakan yang akan diterjemahkan ke dalam kerangka kerja motion capture.

Tahapan awal dari proses analisis dimulai dengan melakukan ekstraksi gerakan dari video tersebut. Untuk keperluan ini, digunakan perangkat lunak "Radical Motion", yaitu aplikasi berbasis kecerdasan buatan yang mampu mengkonversi gerakan manusia dari video menjadi data motion capture dalam format BVH. Radical Motion memungkinkan identifikasi titik-titik sendi tubuh manusia dari video 2D dan kemudian membentuk model 3D kerangka gerakan dengan presisi tinggi.

Proses konversi ini menghasilkan file BVH yang merepresentasikan seluruh gerakan penari sepanjang video. Dari sini, setiap gerakan lengan, posisi tubuh, kecepatan perubahan posisi, dan sudut antar sendi dapat diekstraksi dan dianalisis lebih lanjut. Gambar 4.3 menunjukkan hasil awal dari konversi video menjadi data motion capture dalam bentuk visualisasi kerangka 3D.

Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi terhadap data gerak yang diperoleh. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan antara hasil konversi BVH dan gerakan yang terlihat dalam video asli. Validasi dilakukan secara visual dan numerik. Secara visual, dibandingkan sinkronisasi gerakan antara model 3D dengan video. Sementara secara numerik, digunakan analisis data untuk mengukur keakuratan sudut, kecepatan, dan konsistensi frame.

Keunggulan pendekatan ini adalah efisiensi dan ketersediaan data. Dengan memanfaatkan data publik, proses digitalisasi budaya dapat dilakukan tanpa harus

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

selalu bergantung pada sesi motion capture langsung yang mahal dan memakan waktu. Selain itu, penggunaan software berbasis AI seperti Radical Motion juga mempercepat proses ekstraksi data gerakan dari sumber-sumber konvensional seperti video.

Namun demikian, pendekatan ini tetap memiliki keterbatasan. Misalnya, kualitas video mempengaruhi akurasi deteksi gerakan. Bayangan, kecepatan gerak, dan posisi kamera dapat menyebabkan kesalahan interpretasi posisi sendi. Oleh karena itu, dalam pengembangan serious game yang berbasis data ini, data umum digunakan sebagai tahap awal, yang kemudian diperkuat dengan akuisisi data langsung pada fase berikutnya.

Analisis data umum ini memberikan gambaran awal yang penting bagi sistem. Melalui konversi dari video tari menjadi file BVH, peneliti mendapatkan gambaran pola-pola pergerakan yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam sistem edukasi berbasis game. Tahapan ini akan berlanjut ke integrasi data ke dalam sistem penilaian, validasi real-time, dan pengujian dalam desain game edukatif untuk tari Bedoyo Majapahit.



Gambar 4. 3 Perubahan dari video ke dalam konsep bvh dalam tari bedoyo mojopahit.

a) *Data Record*

Berbeda secara mendasar dari jenis data umum yang umumnya diperoleh dari sumber-sumber publik seperti video yang telah diunggah di media sosial atau platform berbagi video seperti YouTube, data record yang dimaksud dalam konteks penelitian ini merujuk secara spesifik pada data primer yang diperoleh melalui proses perekaman langsung. Proses ini dilakukan oleh peneliti sendiri secara aktif dan sistematis, dengan melibatkan kontrol penuh atas aspek teknis maupun konteks pengambilan data. Data yang diperoleh melalui metode ini memiliki keunggulan dari sisi akurasi, ketelitian, serta kesesuaian dengan kebutuhan spesifik penelitian, karena pengambilan datanya disesuaikan secara langsung dengan tujuan utama dari studi ini, yaitu analisis dan pengembangan serious game berbasis gerakan tari Bedoyo Majapahit.

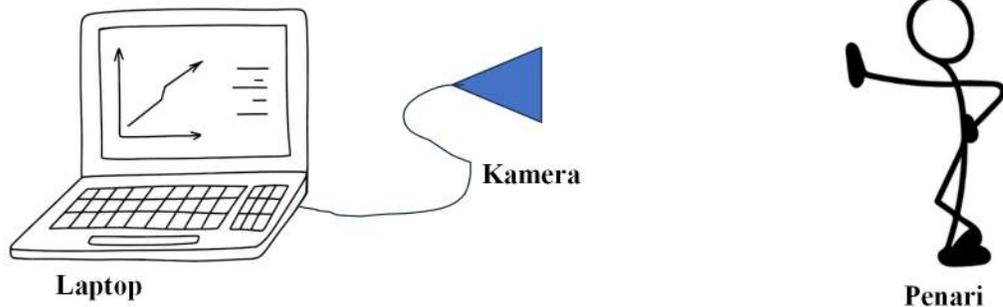
Perekaman gerakan dilakukan secara langsung (live recording), dengan pendekatan eksperimental dan observasional secara simultan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap gerakan tubuh yang terekam merupakan representasi autentik dari koreografi tari Bedoyo Majapahit, tanpa adanya gangguan eksternal maupun distorsi interpretatif dari pihak ketiga. Penari yang menjadi subjek dalam proses perekaman dipilih dengan seksama berdasarkan kualifikasi tertentu, agar dapat menjamin keterwakilan yang kuat terhadap performa tari tradisional ini. Adapun penari tersebut merupakan mahasiswa aktif dari Universitas Wijaya Kusuma Surabaya (UWKS) yang tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Seni Tari dan Karawitan. UKM ini telah lama dikenal sebagai wadah pengembangan minat dan bakat dalam bidang kesenian tradisional Jawa, khususnya yang berkaitan dengan seni tari dan karawitan sebagai bagian dari budaya lokal.

Pemilihan penari dilakukan tidak secara acak, melainkan dengan pertimbangan terhadap pengalaman, konsistensi, dan kualitas gerakan. Penari yang digunakan

dalam penelitian ini adalah anggota aktif dari sanggar tari internal UWKS bernama Karawitan Tari Kusuma Laras Ati (KTKL). Sanggar ini telah terbukti memiliki kontribusi signifikan dalam pelestarian budaya, serta memiliki rekam jejak panjang dalam pementasan tari tradisional, baik di tingkat lokal maupun nasional. Keterlibatan penari dari sanggar ini memberikan nilai lebih karena penguasaan teknik tari Bedoyo Majapahit yang dimiliki telah melalui proses latihan berkelanjutan dan pembinaan yang berstandar tinggi.

Data gerak yang dikumpulkan dari proses rekaman ini kemudian dimanfaatkan untuk menjadi dasar utama dalam perancangan model gerakan digital serta simulasi gerak dalam lingkungan serious game. Fokus utama dari akuisisi data ini adalah pada aspek pergerakan lengan penari, karena bagian ini dinilai memiliki variasi gerak yang kompleks dan mendalam secara filosofis maupun koreografis dalam tari Bedoyo Majapahit. Untuk itu, penting bahwa data yang dikumpulkan bebas dari noise, memiliki presisi spasial dan temporal yang tinggi, serta dapat direplikasi secara digital tanpa kehilangan esensi artistiknya.

Proses perekaman dilakukan terhadap satu orang penari tunggal, yang telah diposisikan secara khusus dalam sebuah ruang yang dikondisikan agar mendukung efektivitas teknologi motion capture. Lingkungan perekaman diatur sedemikian rupa untuk meminimalkan faktor gangguan seperti pencahayaan tidak merata, bayangan yang berlebihan, atau latar belakang yang mengganggu, yang dapat memengaruhi keakuratan deteksi gerakan oleh sistem. Konfigurasi kamera, pencahayaan, serta posisi relatif antara perangkat rekam dengan performer telah diatur berdasarkan pedoman teknis dan pengalaman terdahulu dalam penelitian serupa. Semua pengaturan tersebut terdokumentasi dalam skema yang digambarkan pada Gambar 4.4., yang memperlihatkan dengan jelas posisi penari, orientasi kamera, serta ruang gerak yang tersedia selama proses perekaman berlangsung.



Gambar 4. 4 Ilustrasi posisi penari dalam pengambilan gerak berbasis motion capture

Lebih lanjut, sebelum proses perekaman dimulai, dilakukan tahapan pra-produksi berupa pemetaan atau mapping terhadap titik-titik penting (landmark) yang menjadi fokus utama dari sistem motion capture. Pemetaan ini dilakukan dengan metode berbasis perangkat lunak dan perangkat keras (kamera/webcam dan sistem visualisasi real-time), yang secara otomatis mengidentifikasi titik-titik sendi utama pada tubuh manusia. Dalam konteks penelitian ini, yang menjadi perhatian utama adalah bagian lengan atas dan bawah, termasuk titik-titik artikulasi yang memainkan peran penting dalam struktur dan gerak lengan.

Secara teknis, titik-titik yang dipetakan meliputi enam bagian utama yang terdapat di kedua sisi tubuh, yaitu:

- Bahu kiri (left shoulder): Titik ini menjadi basis dari pergerakan lengan atas dan juga berfungsi sebagai penghubung antara batang tubuh dan lengan. Perannya sangat sentral dalam menentukan arah dan ruang gerak.
- Siku kiri (left elbow): Titik sendi penghubung antara lengan atas dan lengan bawah. Variasi sudut pada titik ini sangat penting dalam mengekspresikan makna gerakan yang halus maupun tegas dalam tari.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

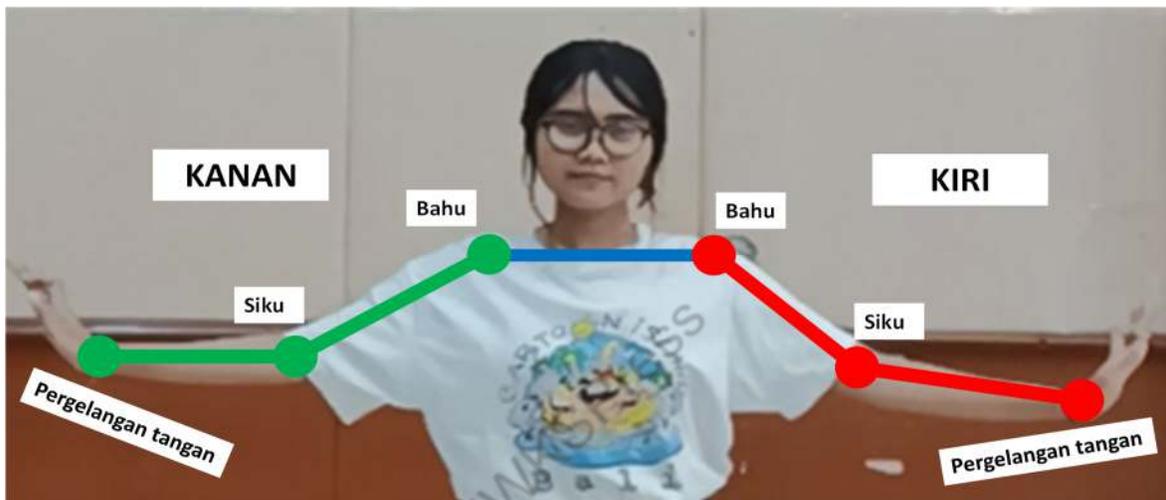
- Pergelangan tangan kiri (left wrist): Titik akhir dari lengan yang merepresentasikan ekspresi gerak paling lembut, sangat penting dalam koreografi Bedoyo yang kerap mengandalkan keanggunan jemari dan tangan.
- Bahu kanan (right shoulder): Simetris dengan bahu kiri, berfungsi sebagai acuan perbandingan dan keseimbangan antar sisi tubuh.
- Siku kanan (right elbow): Sama seperti siku kiri, tetapi dengan perhatian khusus pada dominansi sisi tubuh penari (apakah kidal atau tidak).
- Pergelangan tangan kanan (right wrist): Titik terminal sisi kanan yang menggambarkan keseimbangan dan simetri dalam pergerakan tangan secara keseluruhan.

Pemetaan titik-titik ini dilakukan untuk memastikan bahwa gerakan tubuh penari dapat direkam secara komprehensif dan kemudian diterjemahkan ke dalam sistem koordinat digital yang presisi. Proses ini akan menjadi fondasi dalam menganalisis dinamika gerakan, membangun sistem pelacakan gerakan dalam game, serta menciptakan sistem umpan balik dalam pembelajaran tari digital berbasis teknologi.

Dengan adanya pemetaan yang akurat terhadap titik-titik kunci ini, peneliti tidak hanya dapat mengamati gerakan penari dalam dimensi visual biasa, tetapi juga dalam bentuk data numerik yang dapat diproses secara matematis. Data ini dapat diintegrasikan dalam algoritma pengenalan pola, digunakan untuk pelatihan kecerdasan buatan, serta menjadi dasar perbandingan dengan data gerak pemain dalam permainan (serious game). Hasil perekaman dari tahapan ini akan dilanjutkan dengan analisis statistik, pemodelan 3D, dan evaluasi korelasi gerak yang semuanya akan mendukung terciptanya sebuah sistem pembelajaran budaya berbasis teknologi yang kuat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

Titik-titik ini merupakan bagian fundamental dari sistem pergerakan tangan manusia dan menjadi dasar bagi analisis biomekanika serta perancangan logika permainan dalam serious game yang akan dikembangkan. Pemetaan ini divisualisasikan dalam Gambar 4.5, sedangkan hasil deteksi lengkap dengan label titik dan koordinat ditampilkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Posisi titik deteksi pada penari pada tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture



Gambar 4. 6 Posisi hasil titik deteksi dengan label dan koordinat pada penari.

Proses Pengambilan Data dan Pengolahan Awal Menggunakan Python dan MediaPipe

Dalam rangka memperoleh data gerakan penari tari Bedoyo Majapahit yang akurat dan dapat dianalisis secara numerik, penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis pemrograman komputer, khususnya dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Python versi 3.11.8. Python dipilih karena fleksibilitas dan kekuatannya dalam menangani data numerik, pemrosesan gambar secara real-time, serta integrasinya yang luas dengan berbagai pustaka (libraries) yang mendukung kebutuhan analisis visual dan statistik dalam penelitian ini. Python juga merupakan bahasa pemrograman open-source yang memiliki komunitas pengguna besar, sehingga dokumentasi dan pengembangan kode dapat dilakukan secara efisien dan terstruktur.

Dalam implementasinya, beberapa pustaka utama yang digunakan antara lain MediaPipe, OpenCV, NumPy, dan Pandas. Masing-masing pustaka tersebut memiliki peran khusus dan saling melengkapi dalam keseluruhan proses perekaman, anotasi visual, pengelolaan data, hingga penyimpanan akhir dalam bentuk file yang siap dianalisis.

Pustaka MediaPipe, yang dikembangkan oleh Google, berfungsi sebagai komponen inti dalam proses pendeteksian pose tubuh secara real-time. MediaPipe memiliki kemampuan untuk secara otomatis mengidentifikasi dan melacak titik-titik kunci tubuh manusia atau dikenal sebagai landmark. Titik-titik ini mewakili bagian-bagian sendi utama seperti bahu, siku, pergelangan tangan, lutut, dan sebagainya. Dalam penelitian ini, fokus pendeteksian diarahkan pada titik-titik yang berkaitan dengan pergerakan lengan kiri dan kanan, karena komponen tersebut menjadi aspek utama dalam visualisasi dan koreografi tari Bedoyo Majapahit. Ketika penari tampil di depan kamera, MediaPipe secara otomatis mengidentifikasi posisi dan orientasi dari titik-

titik kunci tersebut dan memperbaruinya secara berurutan pada setiap frame dalam video yang dihasilkan.

Sebagai tambahan, pustaka OpenCV digunakan untuk mengelola alur frame video, menangkap citra langsung dari kamera (webcam atau kamera digital lain), serta menampilkan hasil visualisasi pose secara langsung kepada operator atau peneliti selama proses perekaman. OpenCV juga memiliki kemampuan untuk menyesuaikan resolusi video, mengatur delay antar frame, serta memfasilitasi pengambilan snapshot secara otomatis untuk keperluan dokumentasi visual. Dengan integrasi antara MediaPipe dan OpenCV, sistem menjadi mampu tidak hanya untuk melakukan deteksi titik, tetapi juga menyediakan visual feedback dalam waktu nyata yang sangat membantu dalam proses validasi awal data.

Selanjutnya, dua pustaka lain, yakni NumPy dan Pandas, digunakan untuk mengelola hasil data yang terekam. NumPy, yang merupakan pustaka numerik dasar di Python, memungkinkan representasi data dalam bentuk array multidimensi, yang sangat cocok untuk menyimpan data koordinat titik-titik ( $x, y, z$ ) dalam setiap frame. Sementara itu, Pandas digunakan untuk menyusun data tersebut dalam bentuk tabular (seperti spreadsheet), yaitu baris dan kolom yang merepresentasikan nilai posisi dari setiap titik pada waktu tertentu (frame). Melalui Pandas, data ini dapat disimpan dalam format CSV atau Excel, yang nantinya dapat dengan mudah diolah lebih lanjut menggunakan software statistik maupun langsung diproses dalam Python untuk analisis lanjutan seperti deskripsi statistik, visualisasi, maupun machine learning.

Proses pengambilan data secara keseluruhan dirancang agar berlangsung otomatis dan terstruktur, dengan meminimalisir kesalahan manual dan memastikan integritas

data. Proses tersebut dijelaskan secara visual melalui flowchart dalam Gambar 4.7, yang menggambarkan tahapan mulai dari penangkapan gambar oleh kamera, kemudian pendeteksian penari dan landmark tubuh menggunakan MediaPipe, dilanjutkan dengan pelabelan titik-titik kunci, hingga ke tahap pencatatan koordinat dan penyimpanan hasil akhir ke dalam file output.

Tahapan-tahapan dalam proses ini mencerminkan alur sistematis sebagai berikut: pertama-tama, kamera mengamati gerakan penari dan mengirimkan citra ke komputer. MediaPipe kemudian melakukan deteksi landmark dan memberikan label otomatis pada titik-titik tubuh yang sesuai, misalnya LEFT\_SHOULDER, LEFT\_ELBOW, LEFT\_WRIST, dan seterusnya. Setelah itu, sistem menghitung posisi setiap titik dalam ruang 3D, biasanya dalam satuan koordinat  $(x, y, z)$  berbasis piksel atau unit normalisasi. Data dari setiap titik dan frame kemudian dikumpulkan oleh Pandas dan disimpan dalam file yang siap digunakan untuk analisa statistik dan visualisasi.

Setelah seluruh proses perekaman selesai dilakukan, data yang diperoleh tidak langsung digunakan untuk analisa. Sebelum memasuki tahap pengolahan lanjutan, dilakukan terlebih dahulu tahapan pembersihan data atau yang dikenal sebagai data cleaning. Pembersihan data merupakan tahapan penting dalam setiap proses analisis data kuantitatif karena hasil akhir sangat dipengaruhi oleh kualitas data awal.

Dalam penelitian ini, proses data cleaning meliputi beberapa langkah utama:

- Menghapus nilai kosong atau error (NaN/null): Dalam proses perekaman, kadang-kadang sistem gagal mendeteksi titik tertentu karena adanya gangguan pada kamera, pencahayaan, atau gerakan penari yang terlalu cepat.

Hal ini menghasilkan data kosong (null) yang harus dihapus atau diisi dengan interpolasi sebelum dianalisis.

- Menghilangkan data anomali atau outlier: Titik ekstrim yang menyimpang secara drastis dari pola umum, seperti lonjakan koordinat yang tidak wajar, diidentifikasi sebagai outlier dan dikeluarkan. Biasanya ini terjadi karena refleksi cahaya, kesalahan deteksi kamera, atau gangguan teknis sesaat.
- Normalisasi waktu dan koordinat: Karena pengambilan data dilakukan per frame, perlu disinkronkan antara waktu aktual (detik atau menit) dengan nomor frame agar dapat dilakukan analisa kecepatan dan akselerasi. Normalisasi juga dilakukan pada koordinat untuk menyamakan skala (misalnya antara koordinat piksel dan unit dunia nyata seperti meter).

Setelah data dibersihkan, maka didapatkan dataset akhir yang siap untuk dianalisis secara statistik. Total data yang berhasil dikumpulkan dalam proses ini mencapai 4008 baris data, yang terdiri dari 2004 baris untuk pergerakan lengan kanan dan 2004 baris lainnya untuk lengan kiri. Pembagian ini dilakukan berdasarkan jumlah titik dan frame yang ditangkap dalam video. Dengan sistem merekam sebanyak 2003 frame secara keseluruhan dalam rentang waktu 2 menit 40 detik, maka setiap frame menyimpan posisi dari semua titik pada satu momen waktu yang sinkron.

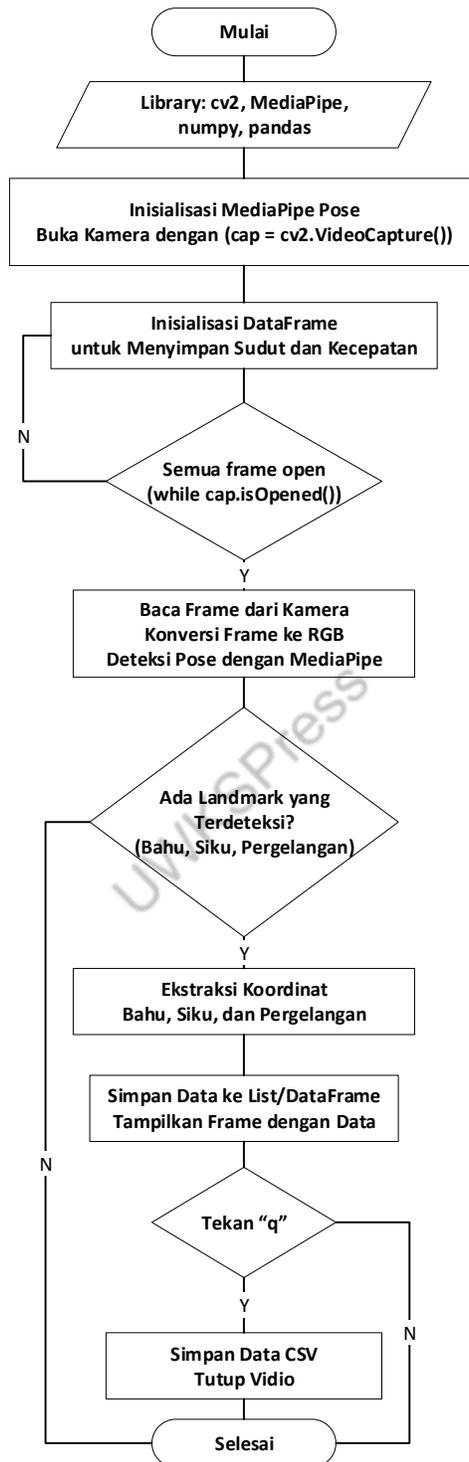
Ukuran data ini menunjukkan bahwa sistem yang dibangun mampu bekerja dengan efisien dan stabil selama sesi perekaman, tanpa kehilangan frame secara signifikan. Keberhasilan ini juga menunjukkan keandalan integrasi pustaka-pustaka Python yang digunakan serta efektivitas setup teknis dalam menangkap gerakan manusia secara real-time untuk kebutuhan budaya digital.

Setiap frame dalam video hasil perekaman gerakan tari Bedoyo Majapahit menyimpan informasi spasial yang sangat rinci, terutama mengenai posisi titik-titik penting pada tubuh penari, yaitu bahu kiri dan kanan, siku kiri dan kanan, serta

pergelangan tangan kiri dan kanan. Informasi ini disimpan dalam format koordinat tiga dimensi ( $x, y, z$ ) yang memungkinkan analisis spasial yang mendalam terhadap dinamika pergerakan tubuh dalam konteks waktu. Dengan kata lain, setiap frame dalam video bukan hanya gambar statis, melainkan mengandung data numerik yang dapat diolah secara komputasional untuk memperoleh pemahaman lebih lanjut mengenai struktur dan pola pergerakan.

Keunggulan data dalam format 3D adalah kemampuannya untuk menggambarkan perubahan posisi titik dalam ruang, baik dalam sumbu horizontal ( $x$ ), vertikal ( $y$ ), maupun kedalaman ( $z$ ). Hal ini memungkinkan peneliti tidak hanya melihat posisi absolut suatu titik, tetapi juga mempelajari relasi antar titik dalam satu waktu dan antar waktu yang berbeda. Dari sini, dapat dihitung dan dianalisis sudut antar titik per frame, yang merupakan indikator penting dalam analisis biomekanika tubuh manusia. Sebagai contoh, dengan mengetahui posisi titik bahu, siku, dan pergelangan tangan, kita dapat menghitung sudut siku dengan rumus vektor, yang menunjukkan seberapa besar lengan dilipat pada setiap saat.

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**



Gambar 4. 7 Flowchart kamera mendeteksi pada penari dan menyimpan file hasil.

Analisis sudut ini sangat penting karena dalam seni tari klasik seperti Bedoyo Majapahit, sudut-sudut tubuh bukan hanya aspek teknis, melainkan juga memiliki makna estetika dan simbolik. Sudut siku yang lebih terbuka atau tertutup dapat merepresentasikan sikap tubuh tertentu, simbol penghormatan, atau ekspresi emosional tertentu sesuai dengan filosofi gerakan dalam tari tersebut. Oleh karena itu, penghitungan sudut antar titik per frame menjadi langkah awal yang krusial untuk memahami struktur gerakan tari dari sisi mekanis maupun simbolis.

Selain sudut, data juga memungkinkan analisis terhadap pola perubahan posisi lengan dari waktu ke waktu. Dalam konteks ini, peneliti dapat menggunakan data koordinat untuk memetakan lintasan (trajectory) gerakan tangan sepanjang durasi tari. Lintasan ini dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik 3D atau animasi, yang menampilkan bagaimana tangan bergerak dari satu posisi ke posisi lain. Dengan melihat pola ini, kita dapat mengetahui apakah gerakan bersifat linear, melengkung, spiral, atau memiliki bentuk koreografis tertentu. Pola lintasan ini juga dapat dikaitkan dengan tempo musik pengiring, sehingga menghasilkan pemahaman yang menyeluruh tentang hubungan antara gerak, ritme, dan makna tari.

Lebih lanjut, dari perbedaan posisi titik dalam satuan waktu, kita dapat menghitung kecepatan dan akselerasi antar sambungan atau joint rotation velocity. Informasi ini penting dalam memahami intensitas gerakan tari. Gerakan yang cepat dan tiba-tiba menunjukkan ekspresi dinamis atau transisi, sementara gerakan yang lambat dan stabil menunjukkan ketenangan atau kontemplasi. Dalam tari Bedoyo, dinamika seperti ini sangat umum dan memerlukan dokumentasi yang presisi agar dapat direplikasi dalam game edukatif secara akurat. Dengan menghitung kecepatan rotasi antar titik (misalnya antara bahu dan siku, atau siku dan pergelangan tangan), kita bisa mengetahui bagian mana dari tubuh yang menjadi motor utama dari gerakan.

Hal lain yang dapat dipelajari dari data ini adalah sinkronisasi antara gerakan kanan dan kiri. Tari klasik sering kali menuntut keseimbangan dan simetri dalam gerakan tubuh. Dengan data koordinat 3D, kita bisa membandingkan kecepatan, arah, dan pola pergerakan tangan kiri dan kanan secara langsung. Misalnya, apakah saat tangan kanan bergerak naik, tangan kiri juga naik pada waktu yang bersamaan, atau justru melakukan gerakan kontras. Sinkronisasi ini tidak hanya menjadi indikator keterampilan penari, tetapi juga menjadi elemen penting dalam estetika tari tradisional. Informasi seperti ini akan sangat bermanfaat dalam mendesain sistem penilaian (scoring system) dalam game edukatif yang dikembangkan, di mana pemain akan mendapatkan skor berdasarkan seberapa simetris dan sinkron gerakan mereka dibandingkan dengan data penari asli.

Semua proses dan analisis di atas menjadikan data record ini sebagai fondasi utama dalam tahapan lanjutan penelitian, yaitu analisis gerakan, pembuatan model simulasi 3D, dan validasi gerakan dalam konteks game. Dengan data yang presisi dan terstruktur ini, pengembangan model gerakan dalam bentuk karakter animasi 3D dapat dilakukan dengan mengacu pada data nyata, bukan sekadar rekaan atau asumsi koreografi. Model simulasi yang dihasilkan dapat memiliki pergerakan yang alami dan sesuai dengan nilai-nilai artistik tari Bedoyo Majapahit.

Proses validasi gerakan dalam game juga sangat bergantung pada data ini. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan gerakan pengguna (player) dalam game dengan data gerakan asli dari penari profesional. Karena data player juga ditangkap dalam format koordinat 3D melalui kamera atau sensor yang sama, maka kedua set data dapat dibandingkan secara numerik. Misalnya, jika pemain diminta melakukan gerakan membuka lengan, maka sistem akan mengecek apakah sudut siku, posisi bahu, dan kecepatan gerak pemain mendekati atau sesuai dengan data referensi.

Perbandingan ini bisa dalam bentuk skor, visualisasi kesesuaian, atau bahkan sistem pelatihan yang memberikan saran korektif secara otomatis.

Dalam konteks pengembangan serious game, tahapan ini menjadi kunci dari kredibilitas dan kualitas game itu sendiri. Game edukatif yang baik bukan hanya memberikan hiburan, tetapi juga menyediakan umpan balik yang valid, presisi, dan dapat dijadikan dasar untuk belajar secara akurat. Oleh karena itu, seluruh data record dari proses perekaman gerakan menjadi standar emas yang harus dijaga kualitas dan validitasnya. Tanpa data ini, game akan kehilangan arah dalam menyampaikan gerakan tari yang benar.

Keseluruhan tahapan dari perekaman hingga analisis data merupakan bagian dari pendekatan sistematis berbasis bukti (evidence-based approach). Dengan pendekatan ini, pengembangan teknologi budaya tidak dilakukan secara spekulatif, tetapi berdasarkan pengamatan dan pengukuran nyata di lapangan. Artinya, data yang digunakan dalam game tidak hanya akurat dari segi teknis, tetapi juga representatif terhadap bentuk aslinya dari segi budaya dan estetika.

Dengan demikian, keberadaan data hasil record ini bukan hanya sebagai alat bantu pengembangan game, tetapi menjadi penjaga autentisitas budaya dalam dunia digital. Dengan memastikan bahwa data tersebut benar-benar berasal dari praktik tari Bedoyo Majapahit yang sebenarnya, maka serious game yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan tidak hanya secara teknologis, tetapi juga secara ilmiah dan kultural. Game ini nantinya dapat menjadi sarana pendidikan budaya yang modern, interaktif, dan tetap menjaga nilai-nilai luhur tradisi.

b) Analisa data

Dalam melakukan analisa data diawali dengan analisa setiap *landmark* (bahu, siku, pergelangan), kemudian dilakukan analisis statistik deskriptif untuk tiga variabel kecepatan, yaitu kecepatan bahu, kecepatan siku, dan kecepatan pergelangan dihasilkan seerti Tabel.4.1.

Tabel 4. 1 Hasil analisis statistik deskriptif untuk tiga variabel kecepatan, yaitu kecepatan bahu, kecepatan siku dan kecepatan pergelangan

<b>Statistik</b>	<b>Kecepatan Bahu (m/s)</b>	<b>Kecepatan Siku (m/s)</b>	<b>Kecepatan Pergelangan (m/s)</b>
Count	4008	4008	4008
Mean	1,001235	1,196387	0,995698
Std	1,033628	1,331025	1,221485
Min	0	0	0
25%	0	0	0
50%	0	0	0
75%	1,897693	2,28042	2,063578
Max	4,079572	5,115336	5,079329

Dari Tabel 4.1, terdapat ada 4008 pengukuran untuk kecepatan bahu, siku, dan pergelangan, dengan *mean* dari semua nilai kecepatan yang diukur, adalah :

- Kecepatan bahu bernilai 1.001235.
- Kecepatan siku bernilai 1.196387.
- Kecepatan pergelangan bernilai 0.995698.

Hasil *mean* menunjukkan bahwa secara umum, kecepatan gerakan bahu sedikit lebih rendah dibandingkan dengan siku, sedangkan pergelangan memiliki rata-rata mendekati kecepatan bahu.

Berdasarkan hasil *Standard Deviation* (Std), menunjukkan variasi atau sebaran dari data kecepatan. Semakin tinggi nilai Std, semakin besar nilainya berarti semakin besar variasi dalam gerak kecepataannya, dimana :

- Kecepatan bahu: 1.033628
- Kecepatan siku: 1.331025
- Kecepatan pergelangan: 1.221485

Hasil Std menunjukkan kecepatan siku memiliki variasi yang lebih besar dibandingkan bahu dan pergelangan, menunjukkan bahwa gerakan siku cenderung lebih bervariasi dalam kecepatan.

Untuk nilai *Min* (minimum), hasil nilai 25% atau kuartil pertama dan 50% (*median*), semua variabel memiliki nilai 0.000000, yang menunjukkan bahwa ada beberapa frame dalam gerakan ketika pengukuran tidak gerakan baik dari bahu, siku dan pergelangan tangan.

Pada hasil nilai 75% atau kuartil ketiga, yaitu :

- Kecepatan bahu: 1.897693
- Kecepatan siku: 2.280420
- Kecepatan pergelangan: 2.063578

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran untuk bahu, siku, dan pergelangan memiliki kecepatan di atas nilai sebelumnya.

Pada hasil nilai *max* (maksimum), yaitu :

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

---

- Kecepatan bahu: 4.079572
- Kecepatan siku: 5.115336
- Kecepatan pergelangan: 5.079329

Hasil nilai maksimum menunjukkan kecepatan maksimum yang dicapai oleh bahu, siku, dan pergelangan paling tinggi pada kecepatan siku.

Grafik kecepatan lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan seperti terlihat pada Gambar. 4.8., sedangkan grafik untuk distribusi kecepatan bahu, siku dan pergelangan tangan seperti pada Gambar 4.9.

Untuk analisa selanjutnya adalah menghitung akselerasi untuk perubahan kecepatan dalam periode waktu tertentu, kemudian hasil tersebut dilakukan analisis deskriptif untuk akselerasi bahu, akselerasi siku dan akselerasi pergelangan dihasilkan seperti Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil analisis statistik deskriptif untuk tiga variabel akselerasi, yaitu akselerasi bahu, akselerasi siku dan akselerasi pergelangan.

<b>Statistik</b>	<b>Akselerasi bahu (frame)</b>	<b>Akselerasi siku (frame)</b>	<b>Akselerasi pergelangan (frame)</b>
count	4008	4008	4008
mean	0,000000	0,000000	0,000000
std	61,057309	75,934106	66,862811
min	- 122,387163	- 153,460065	-152,379880
25%	-56,930803	-68,412588	-61,907338
50%	0,000000	0,000000	0,000000

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

---

75%	56,930803	68,412588	61,907338
max	122,387163	153,460065	152,379880

Analisis lanjutan dari Tabel 4.2 yang menyajikan hasil statistik deskriptif untuk tiga variabel akselerasi—yakni akselerasi bahu, akselerasi siku, dan akselerasi pergelangan tangan—memberikan informasi penting dalam konteks dinamika gerakan tari Bedoyo Majapahit. Dalam konteks biomekanika dan simulasi gerak, akselerasi adalah ukuran perubahan kecepatan terhadap waktu. Oleh karena itu, akselerasi memberikan informasi yang lebih mendalam dibandingkan sekadar kecepatan, terutama dalam mendeteksi fluktuasi atau transisi gerakan.

Tabel 4.2 mencatat total 4008 entri untuk masing-masing variabel, yang berarti bahwa pengambilan data dilakukan secara konsisten pada setiap frame rekaman gerakan. Jumlah ini juga merepresentasikan jumlah frame yang telah dianalisis selama sesi rekaman berlangsung. Setiap frame memberikan gambaran tentang akselerasi dari titik-titik tertentu, yang dalam hal ini adalah titik bahu, siku, dan pergelangan tangan—baik kiri maupun kanan—namun dikombinasikan dalam satu kategori statistik.

Nilai mean (rata-rata) dari ketiga akselerasi tersebut tercatat 0.000000. Meskipun pada pandangan awal nilai ini terlihat tidak memberikan informasi penting, tetapi dalam statistik gerakan ini justru menunjukkan sesuatu yang bermakna. Rata-rata nol berarti bahwa perubahan kecepatan dalam jangka panjang cenderung seimbang, yakni terdapat jumlah perubahan kecepatan positif dan negatif yang hampir sama. Dalam konteks tari Bedoyo Majapahit, ini menunjukkan bahwa gerakan tangan memiliki keseimbangan antara percepatan dan perlambatan, mencerminkan irama yang terkontrol dan simetris.

Namun, yang menarik adalah nilai standard deviation (standar deviasi) dari masing-masing variabel. Standar deviasi mencerminkan tingkat variabilitas atau sebaran nilai akselerasi dari titik pusat (mean). Untuk akselerasi bahu, nilainya adalah 61.057309, sedangkan untuk siku mencapai 75.934106, dan pergelangan tangan 66.862811. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa meskipun rata-rata perubahan kecepatan adalah nol, fluktuasi pergerakan selama pertunjukan tari cukup besar. Artinya, terdapat banyak momen dalam tarian ketika penari mempercepat atau memperlambat gerakan tangannya secara drastis dalam waktu yang sangat singkat.

Dalam tari Bedoyo yang dikenal dengan karakteristik halus dan perlahan, tingginya deviasi ini bisa mengindikasikan adanya bagian-bagian tertentu dalam koreografi yang menekankan pada kontras gerakan—misalnya, dari posisi tangan diam ke gerakan mendadak dan kembali ke posisi statis. Ini dapat berkaitan dengan makna simbolis gerakan atau interpretasi terhadap irama gamelan pengiring.

Jika kita melihat nilai minimum (min) dari akselerasi, ditemukan angka yang sangat negatif:

- Akselerasi bahu: -122.387163
- Akselerasi siku: -153.460065
- Akselerasi pergelangan: -152.379880

Angka negatif dalam konteks akselerasi menandakan perlambatan atau deselerasi. Nilai minimum ini menunjukkan bahwa dalam beberapa frame, terjadi perlambatan yang sangat cepat, bisa jadi akibat dari gerakan yang berhenti mendadak atau transisi tajam antara dua pola gerakan berbeda. Dalam pertunjukan tari klasik, hal ini bisa dilihat saat penari beralih dari satu pose simbolik ke pose lainnya, misalnya dari

gerakan lambaian halus ke posisi tangan berhenti total sebagai penekanan ekspresi tertentu.

Nilai 25% (kuartil pertama) dan 75% (kuartil ketiga) masing-masing menunjukkan persebaran data di sekitar median. Untuk akselerasi bahu, nilai kuartil pertama adalah -56.930803 dan kuartil ketiga 56.930803; untuk akselerasi siku masing-masing adalah -68.412588 dan 68.412588; sedangkan akselerasi pergelangan memiliki kuartil -61.907338 dan 61.907338. Rentang antara kuartil pertama dan ketiga ini disebut sebagai interquartile range (IQR), yang menunjukkan bahwa 50% data akselerasi berada dalam rentang ini, yaitu dari perlambatan sedang hingga percepatan sedang.

Dengan kata lain, setengah dari total gerakan tangan dalam tarian ini mengalami percepatan atau perlambatan dalam rentang  $\pm 60$  hingga  $\pm 70$  unit per frame, sebuah angka yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan tarian kontemporer yang cenderung memiliki dinamika lebih eksplosif. Hal ini justru memperlihatkan kompleksitas tersembunyi dalam tari klasik yang terlihat lembut tetapi menyimpan perubahan gerakan yang dinamis secara teknis.

Median dari seluruh variabel adalah 0.000000, yang memperkuat analisis sebelumnya bahwa distribusi nilai akselerasi seimbang. Artinya, tidak ada kecenderungan akselerasi bergerak ke arah positif atau negatif secara dominan, yang sekali lagi menekankan keseimbangan dan harmoni dalam koreografi tari Bedoyo.

Nilai maksimum akselerasi mencerminkan percepatan tertinggi yang terjadi pada titik tertentu dalam waktu singkat. Ditemukan bahwa akselerasi bahu mencapai 122.387163, siku 153.460065, dan pergelangan tangan 152.379880. Nilai ini

memperlihatkan bahwa pada momen-momen tertentu dalam tarian, penari melakukan gerakan akseleratif yang tinggi, meskipun durasinya sangat singkat. Dalam konteks animasi atau serious game, data ini penting untuk mensimulasikan gerakan yang realistis dan tidak terkesan terlalu datar atau monoton.

Kombinasi antara nilai minimum dan maksimum ini juga mengindikasikan bahwa gerakan tidak bersifat linear atau stagnan. Justru sebaliknya, terdapat pola dinamika gerakan naik-turun yang signifikan. Ketika gerakan tangan mulai bergerak dari titik diam, terjadi akselerasi positif hingga mencapai puncaknya, kemudian melambat (deselerasi) ketika mendekati posisi akhir. Inilah yang menciptakan fluiditas dan transisi gerakan yang halus, namun penuh makna dalam tari klasik.

Interpretasi terhadap nilai-nilai statistik ini juga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan model prediksi atau pelatihan kecerdasan buatan, terutama dalam konteks pelatihan pengguna dalam game. Sistem dapat didesain untuk mendeteksi apakah pengguna melakukan akselerasi terlalu cepat atau terlalu lambat dibandingkan dengan pola referensi. Dengan demikian, pengguna dapat diberikan umpan balik yang bersifat edukatif untuk mengoreksi intensitas dan timing gerakan mereka.

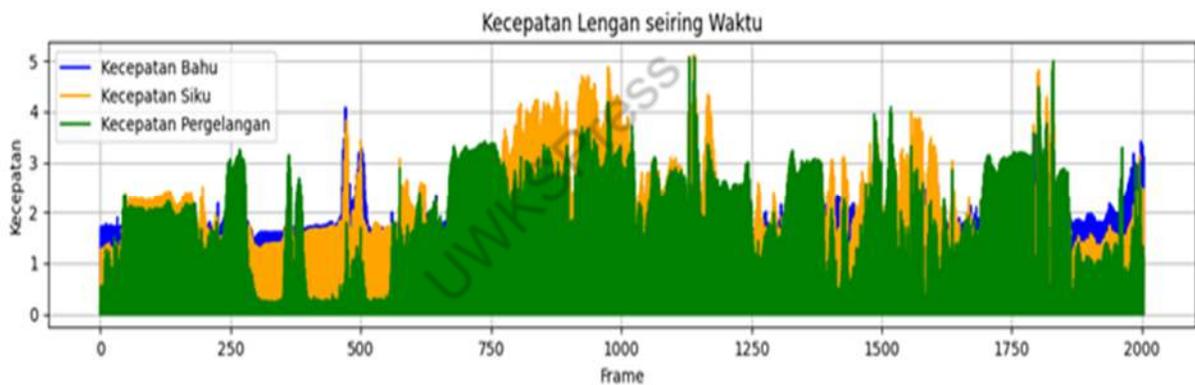
Terakhir, analisis akselerasi juga memiliki relevansi dalam konteks pencegahan cedera atau pengembangan pelatihan fisik tari, terutama bila game ini diintegrasikan dengan sensor gerakan nyata. Akselerasi yang terlalu tinggi secara konsisten pada bagian tubuh tertentu bisa menjadi indikator adanya beban otot yang berlebihan. Oleh karena itu, data ini tidak hanya penting dalam konteks teknologi dan estetika, tetapi juga dalam mendukung aspek ergonomi dan kesehatan penari.

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

Secara keseluruhan, hasil analisis deskriptif terhadap akselerasi pada titik bahu, siku, dan pergelangan memberikan informasi yang sangat kaya dan berlapis. Tidak hanya mengungkap pola perubahan kecepatan, tetapi juga memperkuat pemahaman terhadap struktur gerakan, nilai artistik, serta potensi pemanfaatannya dalam sistem pelatihan, evaluasi, dan pengembangan game edukatif tari Bedoyo Majapahit berbasis teknologi. Hal ini menjadikan Tabel 4.2 sebagai salah satu bagian penting dalam kerangka penelitian ini.

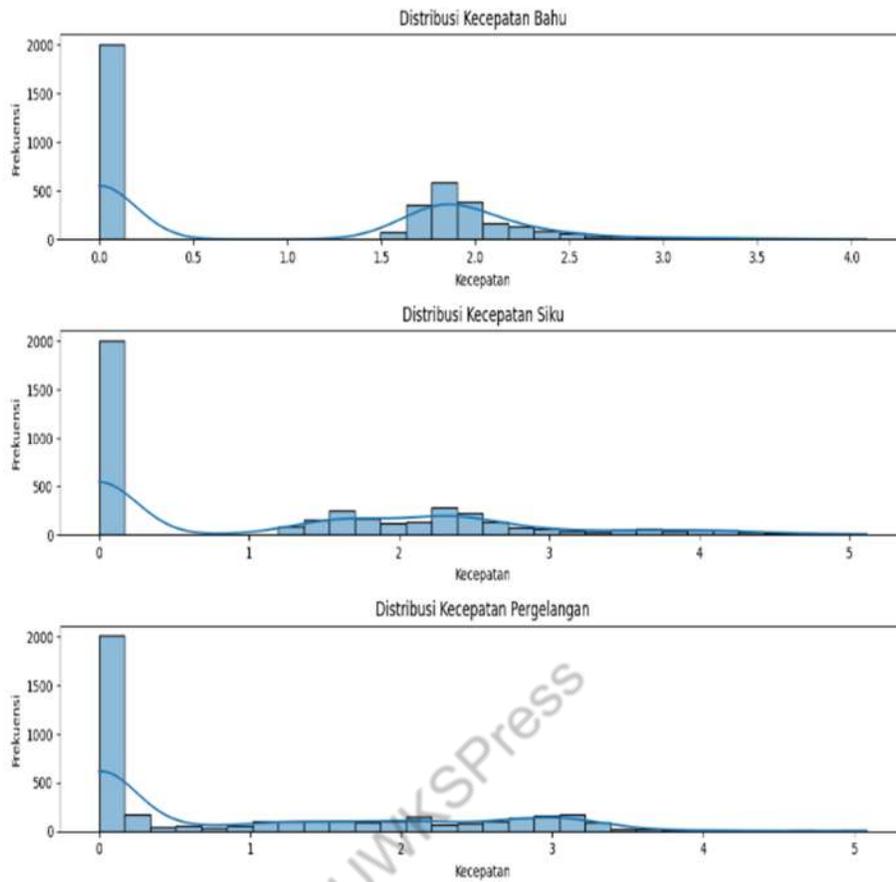
Grafik akselerasi lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan seperti terlihat pada Gambar. 4.10.



Gambar 4. 8 Grafik kecepatan lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan.

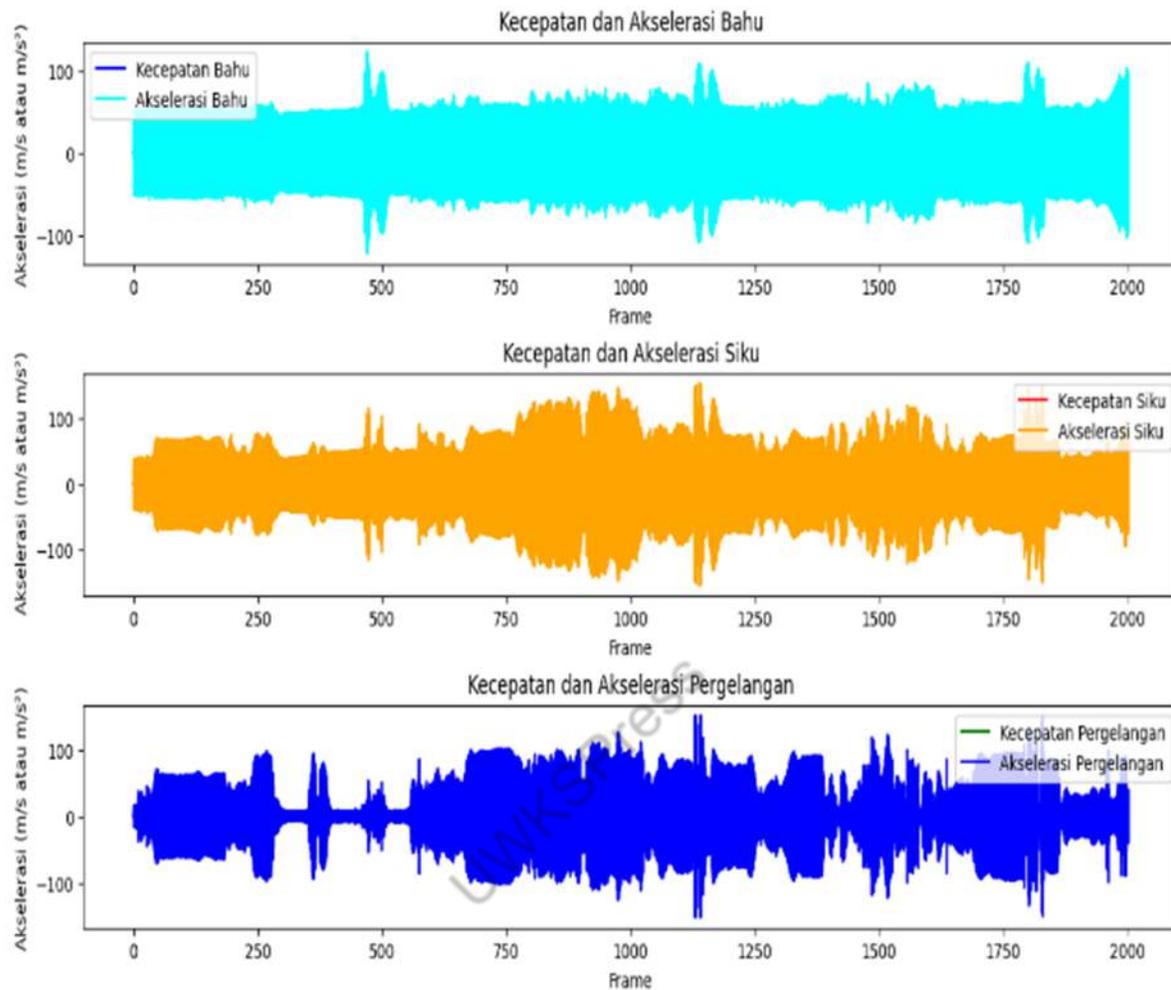
**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN Lengan TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

---



Gambar 4. 9 Grafik distribusi kecepatan lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan.

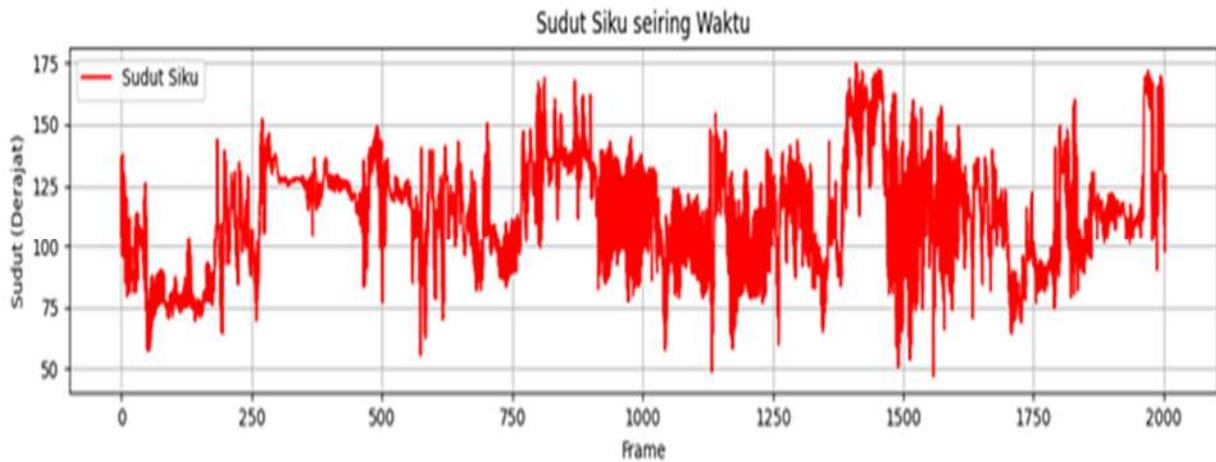
**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**



Gambar 4. 10 Grafik akselerasi lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan.

Analisis selanjutnya adalah untuk menghitung sudut siku, dimana sudut siku terbentuk dari adanya titik bahu siku dan pergelangan tangan, perhitungan sudut siku. Hasil grafik dari perhitungan sudut siku seperti pada Gambar 4.11.

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LANGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**



Gambar 4. 11 Grafik hasil perhitungan sudut siku.

Dari data tersebut dilakukan analisis statistik deskriptif terhadap sudut siku dan dihasilkan seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil analisis statistik deskriptif untuk sudut siku

<b>Statistik</b>	<b>Sudut Siku Kiri (derajat)</b>	<b>Sudut Siku Kanan (derajat)</b>
count	2004	2004
mean	118,5675705	107,1593456
std	21,34576206	23,26983491
min	55,59339573	46,91356652
25%	104,2108663	87,88621382
50%	119,9712834	107,534737
75%	131,6193685	126,5057993

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

---

max	174,8544457	166,3690634
-----	-------------	-------------

Hasil statistik deskriptif pada Tabel 4.3 memberikan ringkasan komprehensif mengenai distribusi sudut siku kiri dan kanan berdasarkan total 2004 entri data untuk masing-masing sisi. Sudut siku yang diukur dalam satuan derajat memberikan representasi konkret terhadap tingkat kelenturan dan dinamika pergerakan lengan pada penari Bedoyo Majapahit. Nilai rata-rata (mean) untuk sudut siku kiri tercatat sebesar  $118,567^{\circ}$ , sementara untuk sudut siku kanan adalah  $107,159^{\circ}$ . Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa siku kiri memiliki sudut yang lebih terbuka secara umum dibandingkan dengan siku kanan.

Perbedaan ini mengindikasikan adanya kemungkinan koreografi yang secara dominan menggunakan sisi kiri tubuh sebagai penopang utama dalam pembentukan pola gerakan tangan. Dalam konteks tari Bedoyo yang kental dengan nuansa simetris dan simbolik, perbedaan ini tidak dapat diabaikan. Hal ini juga bisa mencerminkan preferensi individu penari atau kebiasaan dominan tangan yang memberikan pengaruh terhadap sudut siku dalam pelaksanaan gerakan.

Variabilitas sudut siku juga dapat dilihat melalui nilai standar deviasi (standard deviation/Std). Untuk siku kiri, nilai standar deviasi adalah sebesar  $21,346^{\circ}$ , sementara siku kanan memiliki standar deviasi sebesar  $23,270^{\circ}$ . Perbedaan ini menunjukkan bahwa sudut siku kanan memiliki tingkat variasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sisi kiri. Artinya, selama pertunjukan, posisi siku kanan lebih sering mengalami perubahan yang cukup signifikan dibandingkan siku kiri. Ini bisa mengindikasikan bahwa meskipun sisi kiri lebih terbuka, sisi kanan lebih aktif dalam perubahan sudut karena berperan dalam ekspresi gestur yang lebih luwes dan responsif.

Jika dilihat dari nilai minimum (min), sudut siku kiri memiliki nilai minimum sebesar  $55,593^{\circ}$  dan siku kanan  $46,914^{\circ}$ . Nilai ini mencerminkan posisi lengan saat paling ditekuk. Artinya, dalam beberapa gerakan tari, terdapat momen ketika lengan benar-benar dilipat secara maksimal, memperlihatkan keragaman bentuk gestur dari membentuk sudut tajam hingga terbuka lebar. Hal ini relevan dengan karakteristik tari Bedoyo yang dikenal menekankan elegansi dan kompleksitas pola gerak.

Pada nilai kuartil pertama (25%), yakni titik di mana 25% data memiliki nilai di bawahnya, sudut siku kiri adalah sekitar  $104,211$  derajat dan siku kanan  $87,886$  derajat. Artinya, sepertiga awal data gerakan menunjukkan bahwa posisi lengan masih dalam rentang tertutup ke sedang, belum sampai ke posisi maksimal atau terbuka penuh. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar awal gerakan dalam tari mungkin masih berada dalam tahapan pengantar gerak, belum mencapai klimaks koreografi.

Median atau nilai tengah (50%) memberikan gambaran tentang distribusi pusat data. Untuk siku kiri, nilai median adalah  $119,971$  derajat dan untuk siku kanan  $107,535$  derajat. Hal ini menunjukkan bahwa sepanjang pertunjukan, posisi tangan cenderung dijaga pada rentang sudut tersebut. Ini menandakan stabilitas postur dan kontrol otot yang konsisten dari penari untuk mempertahankan pose yang sesuai dengan pakem tari.

Nilai kuartil ketiga (75%) menunjukkan bahwa 75% data berada di bawah nilai tersebut, yaitu  $131,619^{\circ}$  untuk siku kiri dan  $126,506^{\circ}$  untuk siku kanan. Ini menunjukkan bahwa hanya 25% gerakan yang mencapai sudut terbuka ekstrem. Dengan demikian, proporsi besar dari gerakan tari berada dalam kisaran sudut

sedang ke tinggi, memperlihatkan rentang fleksibilitas dan kontrol yang luar biasa dari penari.

Nilai maksimum juga memberikan informasi penting. Untuk siku kiri, nilai maksimum mencapai  $174,854^{\circ}$ , sedangkan siku kanan maksimum di  $166,369^{\circ}$ . Ini adalah titik di mana lengan hampir sepenuhnya lurus. Gerakan seperti ini kemungkinan besar terjadi dalam transisi atau pada saat penari menunjukkan gestur penutup atau penekanan tertentu. Dalam pengembangan animasi 3D dan aplikasi game, nilai ini penting untuk menentukan batas atas fleksibilitas model gerakan yang realistis.

Analisis mendalam dari data sudut ini juga relevan untuk perancangan modul pelatihan dalam serious game. Misalnya, ketika pengguna belajar meniru gerakan tari Bedoyo, sistem dapat memberikan umpan balik berdasarkan range sudut siku. Jika pengguna tidak mencapai rentang sudut tertentu, sistem dapat memberikan petunjuk korektif secara visual maupun suara. Informasi statistik ini juga penting untuk menyusun metrik evaluasi performa pengguna, seperti skor kesesuaian gerak atau akurasi posisi siku.

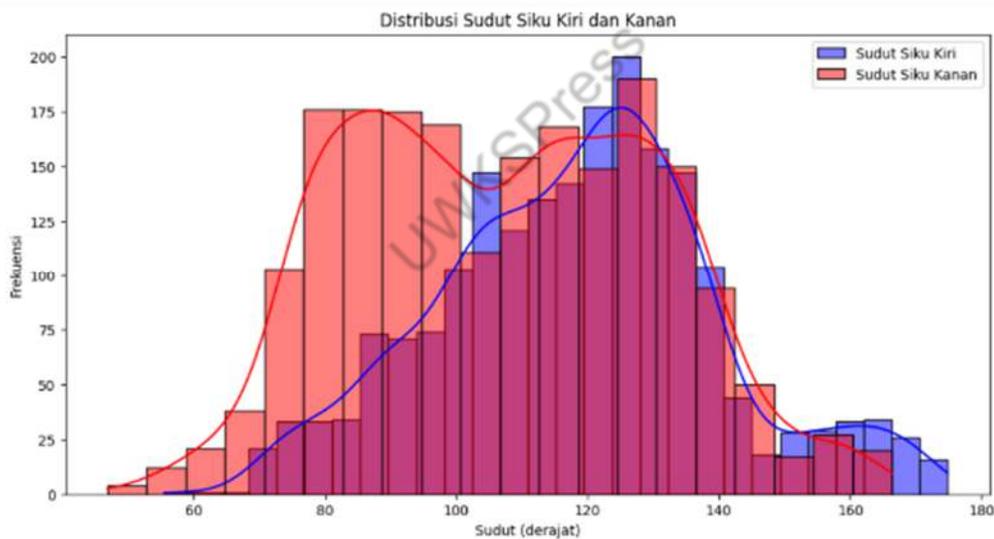
Selain itu, distribusi data ini dapat digunakan dalam algoritma machine learning untuk mengenali pola-pola khas dalam gerakan tari Bedoyo. Dengan memasukkan data sudut siku sebagai variabel input, model dapat dilatih untuk mendeteksi sekuen gerakan, mengenali transisi pose, atau bahkan mengklasifikasikan jenis gerakan berdasarkan sudut siku.

Dalam konteks estetika visual, variasi sudut siku juga berkontribusi terhadap siluet gerakan yang terlihat di layar. Kombinasi antara sudut terbuka dan tertutup secara

terstruktur menciptakan ritme visual yang selaras dengan musik pengiring, memperkuat impresi tari sebagai seni pertunjukan yang holistik.

Secara keseluruhan, analisa statistik terhadap sudut siku memberikan fondasi kuantitatif yang kokoh untuk pemahaman lebih dalam tentang koreografi tari Bedoyo Majapahit. Data ini bukan hanya berfungsi sebagai acuan teknis, tetapi juga sebagai jembatan antara ekspresi budaya dan representasi digital yang akurat dan autentik.

Gambar untuk distribusi antara sudut siku kiri dan sudut siku kanan seperti Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Grafik distribusi sudut siku kiri dan sudut siku kanan.

Untuk melakukan analisa pola pergerakan tari dimulai dengan mengidentifikasi pola gerakan lengan dengan membandingkan pola pergerakan lengan kiri dan lengan kanan, seperti terlihat pada Gambar 4.13 yang merupakan bentuk histogram untuk

menunjukkan distribusi sudut siku kiri dan kanan dengan kurva densitas sehingga terlihat pola distribusi.

Analisis ini memiliki nilai penting karena pola distribusi sudut pada siku dapat memberikan wawasan mendalam terhadap konsistensi dan variasi gerakan lengan penari. Histogram tersebut menggambarkan seberapa sering sudut tertentu muncul dalam tarian, yang merupakan indikasi intensitas dan durasi postur tertentu dipertahankan. Dalam konteks pelatihan gerak digital, pola distribusi ini dapat menjadi dasar untuk menentukan nilai standar atau batas toleransi dalam sistem umpan balik pembelajaran.

Sumbu X dari histogram menggambarkan nilai sudut siku dalam satuan derajat yang berkisar dari  $40^\circ$  hingga  $180^\circ$ . Rentang ini menandakan bahwa dalam pertunjukan tari Bedoyo Majapahit, siku penari mengalami perubahan posisi dari keadaan sangat tertutup—yang menandakan gestur tangan didekatkan ke tubuh atau membentuk lipatan tajam—hingga keadaan hampir lurus, yang mengindikasikan ekspansi atau pembukaan gerakan ke arah luar tubuh. Dalam bahasa koreografi, perubahan dari posisi tertutup ke terbuka ini mencerminkan dinamika antara penahanan dan pelepasan energi gerakan, yang menjadi karakter khas dari ritme Bedoyo.

Sumbu Y menggambarkan frekuensi kemunculan setiap sudut yang terdeteksi. Frekuensi tinggi pada nilai sudut tertentu berarti bahwa posisi siku dengan sudut tersebut sering digunakan dan dipertahankan selama tarian berlangsung. Nilai ini menjadi indikator kuat terhadap bagian mana dari rentang gerakan yang dianggap penting dalam struktur koreografi tari Bedoyo Majapahit.

Hasil analisis distribusi menunjukkan bahwa kedua lengan—kiri dan kanan—memiliki rentang sudut yang hampir serupa, namun intensitas penggunaannya berbeda. Distribusi sudut siku kanan terlihat lebih terpusat, menunjukkan bahwa gerakan pada siku kanan cenderung lebih stabil dan sering mempertahankan nilai sudut tertentu dalam waktu lama. Hal ini bisa mengindikasikan peran siku kanan dalam mempertahankan bentuk visual yang simetris atau dalam menjalankan pola gerak dominan tertentu.

Sebaliknya, sudut siku kiri memiliki sebaran distribusi yang lebih luas. Ini menandakan bahwa gerakan pada siku kiri lebih dinamis dan memiliki variasi sudut yang lebih besar. Dengan kata lain, siku kiri lebih sering berpindah antar posisi dibandingkan dengan siku kanan. Variasi ini bisa disebabkan oleh peran fungsional lengan kiri dalam menunjang ekspresi atau gestur yang lebih kompleks, seperti mengayun, membentuk lengkungan, atau menekankan elemen visual dalam pertunjukan.

Perbedaan pola distribusi ini juga dapat mencerminkan asimetri fungsional dalam koreografi tari Bedoyo Majapahit. Meskipun dikenal dengan keseimbangan dan simetri, terdapat kemungkinan bahwa satu sisi tubuh memainkan peran estetis atau ekspresif yang lebih dominan, yang tercermin dari variasi pergerakan siku.

Lebih jauh lagi, informasi ini sangat berguna dalam pengembangan sistem serious game edukatif. Pola distribusi ini dapat digunakan sebagai dasar pembentukan template gerakan atau referensi utama. Dalam implementasi game, sistem dapat memanfaatkan histogram sudut untuk membandingkan gerakan pemain dengan pola asli yang diambil dari penari profesional. Korelasi antara histogram sudut pemain

dan histogram standar dapat dijadikan metrik untuk menilai akurasi atau kedekatan gerakan pengguna terhadap gerakan autentik.

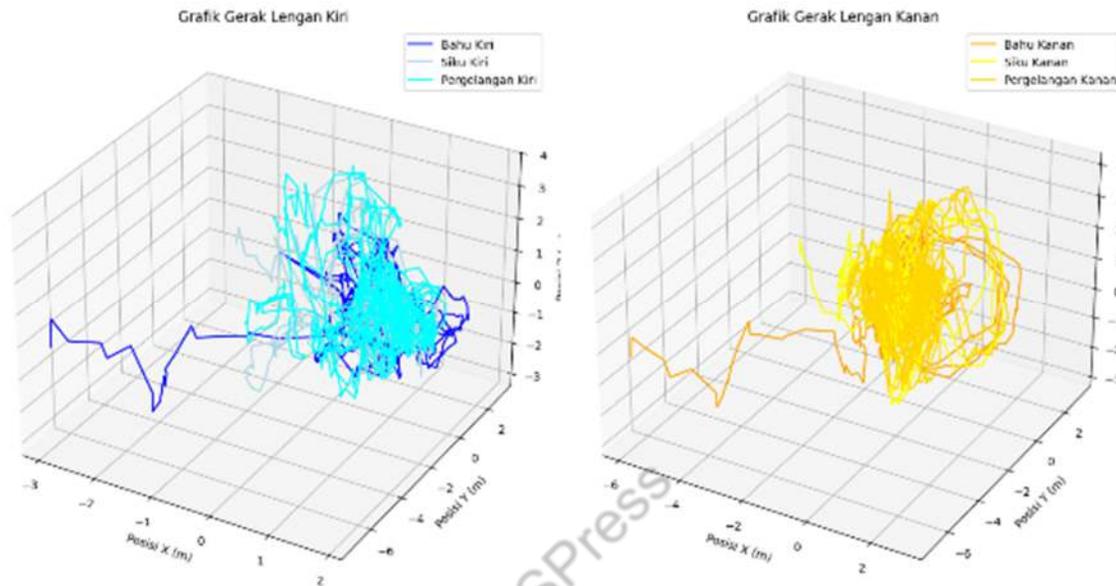
Dalam pengembangan sistem pembelajaran berbasis teknologi, seperti augmented reality atau virtual reality, histogram distribusi sudut ini juga berfungsi untuk memetakan daerah kritis dalam pelatihan. Misalnya, jika terdapat sudut yang jarang digunakan, maka pelatihan dapat difokuskan pada sudut-sudut tersebut untuk meningkatkan fleksibilitas pengguna. Sebaliknya, jika terdapat sudut dominan yang sering digunakan, pelatihan dapat difokuskan pada kestabilan postur pada sudut tersebut.

Dari sisi biomekanik, variasi distribusi sudut juga menunjukkan pola kontraksi dan relaksasi otot yang berbeda pada setiap sisi tubuh. Ini berkaitan dengan kebutuhan fisiologis dalam pelatihan tari dan pengembangan modul gerak yang ergonomis dalam game. Dengan mengetahui bahwa satu sisi lebih aktif atau variatif, pengembang game dan pelatih tari dapat menyesuaikan metode latihan untuk mencegah kelelahan atau cedera.

Sebagai tambahan, distribusi sudut ini juga bermanfaat dalam evaluasi estetika pertunjukan. Pola yang merata dan seimbang antara dua sisi akan menghasilkan impresi visual yang harmonis. Ketidakseimbangan yang berlebihan, di sisi lain, dapat menciptakan ketegangan atau impresi tidak simetris, yang mungkin disengaja sebagai bagian dari ekspresi seni atau perlu dikoreksi untuk tujuan edukatif.

Akhirnya, analisis ini menunjukkan betapa pentingnya penggabungan antara data kuantitatif dan pendekatan seni dalam memahami gerakan tari tradisional. Dengan pendekatan statistik, gerakan tari yang sebelumnya hanya dipahami secara subjektif

dapat direpresentasikan secara objektif dan digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi.



Gambar 4. 13 Grafik gerak untuk lengan kiri dan lengan kanan.

Analisis statistik deskriptif menunjukkan data gerakan lengan kiri pada Tabel 4.4 dan lengan kanan pada Tabel 4.5. Hasilnya memperlihatkan keselarasan dan simetri gerakan kedua lengan secara signifikan. Salah satu indikator utama dari keselarasan ini dapat diamati dari rata-rata posisi bahu pada sumbu x, di mana nilai untuk lengan kiri adalah 0,77 dan untuk lengan kanan adalah -0,77. Nilai-nilai ini menunjukkan adanya keseimbangan gerakan secara horizontal yang nyaris simetris, mencerminkan bahwa koreografi gerakan dirancang untuk mempertahankan keseimbangan visual yang kuat antara sisi kiri dan kanan tubuh.

Tidak hanya terbatas pada titik bahu, simetri ini juga tercermin dalam berbagai titik tubuh lainnya seperti siku dan pergelangan tangan pada sumbu y dan z. Ketika nilai

rata-rata, deviasi standar, dan rentang nilai minimum-maksimum dibandingkan antara sisi kiri dan kanan, ditemukan pola yang hampir identik dalam struktur statistiknya. Hal ini mengindikasikan bahwa tari Bedoyo Majapahit tidak hanya berorientasi pada estetika visual semata, namun juga menekankan keserasian pergerakan antar sisi tubuh penari.

Keselarasan ini menunjukkan adanya desain koreografi yang matang dan penuh pertimbangan dalam menciptakan keharmonisan gerakan. Dalam perspektif budaya, keseimbangan ini dapat mencerminkan filosofi Jawa yang menjunjung tinggi keselarasan antara mikrokosmos (individu) dan makrokosmos (alam semesta), yang tercermin dalam tiap gerak tubuh penari.

Dalam konteks pengembangan serious game, simetri ini menjadi parameter penting dalam sistem evaluasi gerakan. Dengan adanya nilai-nilai rata-rata yang seimbang antara sisi kiri dan kanan, maka sistem dapat membangun model pembelajaran yang berbasis pada keselarasan. Pengguna game akan dilatih untuk meniru gerakan dengan tingkat kesamaan yang tinggi terhadap sisi tubuh lainnya. Evaluasi otomatis dapat dirancang untuk mengukur tingkat deviasi antara gerakan kiri dan kanan sebagai indikator keseimbangan tubuh pemain.

Dari sisi biomekanik, keseimbangan gerakan ini juga membantu dalam menjaga distribusi beban tubuh yang merata saat menari, yang penting untuk mencegah cedera. Dalam sistem pelatihan digital berbasis simulasi, data ini dapat digunakan untuk memberikan umpan balik terhadap pengguna, apakah mereka terlalu condong ke satu sisi atau sudah cukup simetris dalam eksekusi gerakan.

Selain itu, analisis ini juga membuka peluang dalam pengembangan teknologi pelacak gerakan berbasis machine learning. Dengan melatih sistem menggunakan data simetris dari lengan kiri dan kanan, algoritma dapat dilatih untuk mengenali pola gerakan yang benar serta memperingatkan pengguna saat terjadi ketidakseimbangan dalam gerakan.

Simetri dalam data juga menjadi pertimbangan penting dalam desain visual game, di mana visualisasi 3D karakter tari dapat dirancang secara proporsional. Hal ini memungkinkan pengguna game tidak hanya belajar gerakan, tetapi juga memahami aspek estetika dan filosofi di balik keselarasan tubuh dalam budaya Jawa.

Dengan demikian, kesimpulan dari analisis statistik ini adalah bahwa simetri dan keselarasan merupakan elemen penting yang tidak hanya berkontribusi pada keindahan gerakan tari Bedoyo Majapahit, tetapi juga mendukung pengembangan teknologi pembelajaran yang akurat dan bermakna.

Tabel 4. 4 Hasil analisis statistik deskriptif untuk gerak lengan kiri

Lengan Kiri									
	Bahu			Siku			Pergelangan		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
<i>count</i>	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
<i>mean</i>	0,77	-0,02	-0,14	0,82	-0,05	-0,21	0,7	0,06	-0,16
<i>std</i>	0,44	0,99	0,98	0,49	1,02	0,86	0,66	1	0,9
<i>min</i>	-2,94	-7,13	-3,24	-1,39	-3,12	-3,02	-1,24	-2,29	-2,87
<i>25%</i>	0,58	-0,62	-0,87	0,62	-0,29	-0,81	0,22	-0,68	-0,71

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

50%	0,81	-0,15	-0,25	0,98	0,07	-0,36	0,69	0,3	-0,3
75%	0,99	0,45	0,46	1,16	0,64	0,19	1,26	0,65	0,16
max	1,72	2,95	3,17	1,6	2,22	3,64	1,86	2,32	3,87

Tabel 4. 5 Hasil analisis statistik deskriptif untuk gerak lengan kanan

Lengan Kanan									
	Bahu			Siku			Pergelangan		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
count	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
mean	-0,77	0,02	0,14	-0,82	0,05	0,21	-0,70	-0,06	0,16
std	0,78	1,01	1,00	0,64	0,98	1,08	0,76	0,99	1,06
min	-5,90	-6,96	-3,16	-3,67	-2,84	-2,25	-2,32	-2,14	-2,60
25%	-1,06	-0,50	-0,65	-1,13	-0,31	-0,55	-1,35	-0,64	-0,53
50%	-0,87	-0,11	0,14	-0,91	0,11	0,03	-0,72	-0,10	0,05
75%	-0,63	0,63	0,71	-0,68	0,72	0,87	-0,24	0,42	0,76
max	2,89	3,20	2,83	2,41	2,21	3,58	2,56	2,29	4,22

Selanjutnya, Tabel 4.5 yang berisi hasil analisis statistik deskriptif untuk gerakan lengan kanan memberikan gambaran mendalam mengenai dinamika pergerakan pada sisi tubuh kanan penari. Statistik deskriptif ini meliputi sembilan dimensi koordinat yang melibatkan posisi bahu, siku, dan pergelangan tangan, masing-masing dalam sumbu x, y, dan z. Setiap titik memiliki 2004 data pengamatan yang diambil dari sesi perekaman gerak tari.

Nilai rata-rata (mean) untuk bahu kanan pada sumbu x tercatat sebesar -0,77, yang menunjukkan kecenderungan posisi bahu berada di sisi kiri sistem koordinat kamera. Nilai negatif ini merefleksikan posisi anatomis bahu kanan yang berada pada sisi sebaliknya dari bahu kiri. Koordinat y dan z untuk bahu masing-masing sebesar 0,02 dan 0,14, menunjukkan adanya sedikit elevasi dan dorongan ke arah depan dari titik bahu selama gerakan berlangsung.

Sementara itu, siku kanan memiliki nilai mean -0,82 (x), 0,05 (y), dan 0,21 (z), yang mengindikasikan bahwa posisi siku cenderung lebih jauh dari sumbu tengah dan lebih menonjol ke arah depan dibandingkan bahu. Pergelangan tangan kanan, dengan rata-rata -0,70 pada sumbu x, -0,06 pada y, dan 0,16 pada z, memperlihatkan konsistensi pola pergerakan maju dan lateral yang cukup halus, yang penting dalam mengekspresikan gestur halus pada tari Bedoyo Majapahit.

Dalam hal variasi data, standar deviasi (std) memberikan ukuran fluktuasi atau penyebaran nilai. Untuk bahu kanan, nilai std pada sumbu x sebesar 0,78 menunjukkan rentang gerak lateral yang signifikan, sedangkan pada sumbu y sebesar 1,01 menandakan bahwa terdapat elevasi bahu yang cukup dinamis selama koreografi. Hal ini menegaskan bahwa koreografi tari tidak bersifat statis melainkan sangat fleksibel dan ekspresif, terutama pada bagian tubuh atas.

Nilai maksimum dan minimum juga menunjukkan rentang mobilitas. Misalnya, nilai maksimum bahu kanan pada sumbu x adalah 2,89 dan minimum -5,90, yang berarti terdapat pergerakan luas pada arah horizontal kanan-kiri. Untuk pergelangan tangan, nilai minimum -2,60 dan maksimum 4,22 pada sumbu z menunjukkan adanya rentang gerakan maju-mundur yang besar. Ini penting karena pergelangan tangan

merupakan bagian tubuh yang banyak digunakan untuk menunjukkan ekspresi dan simbolik dalam tarian klasik Jawa.

Dari sisi kuartil, kuartil pertama (25%), median (50%), dan kuartil ketiga (75%) menunjukkan distribusi pusat data. Sebagai contoh, median pada bahu kanan sumbu x adalah -0,87, yang menunjukkan bahwa sebagian besar data terletak dekat dengan nilai rata-rata, menandakan kestabilan pergerakan. Sementara itu, nilai kuartil ke-3 sebesar -0,63 mengindikasikan bahwa 75% dari data posisi bahu kanan tidak terlalu menyimpang dari rata-rata, menandakan konsistensi pola gerak.

Secara keseluruhan, Tabel 4.5 mengilustrasikan bahwa lengan kanan penari Bedoyo Majapahit berperan penting dalam menjaga ekspresi tari melalui fleksibilitas yang tinggi, kestabilan gerakan, dan keberagaman posisi dalam ruang 3D. Hal ini menjadi penting dalam pengembangan algoritma evaluasi dan pelatihan pada platform serious game edukatif, yang dapat mengukur keakuratan pemain berdasarkan data biomekanik asli. Dengan dasar statistik yang kuat, game ini dapat menghasilkan feedback yang personal dan presisi dalam pelatihan tari berbasis digital.

Selanjutnya dilakukan visualisasi analisis korelasi antara kecepatan lengan kiri dan lengan kanan, dihasilkan seperti Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil matrik korelasi kecepatan lengan kiri dan kanan

	<b>Kecepatan bahu</b>	<b>Kecepatan siku</b>	<b>Kecepatan pergelangan</b>
<b>Kecepatan bahu</b>	1,000000	0,714616	0,534955

<b>Kecepatan siku</b>	0,714616	1,000000	0,843206
<b>Kecepatan pergelangan</b>	0,534955	0,843206	1,000000

Tabel 4.6 menunjukkan matriks korelasi antar variabel kecepatan pada tiga titik penting gerakan lengan—bahu, siku, dan pergelangan tangan—dalam konteks tari Bedoyo Majapahit. Matriks korelasi ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai seberapa erat hubungan antar variabel tersebut, khususnya dalam hal kecepatan gerakan yang terekam pada saat pementasan tari berlangsung.

Korelasi antara kecepatan bahu dan siku menunjukkan nilai sebesar 0,714616. Nilai ini tergolong dalam kategori korelasi positif yang kuat, yang mengindikasikan adanya keterkaitan yang erat antara kedua variabel ini. Dalam konteks biomekanika gerakan tari, hasil ini menunjukkan bahwa ketika kecepatan bahu meningkat dalam satu segmen gerak, maka kecepatan siku juga cenderung meningkat secara bersamaan. Korelasi ini mencerminkan bahwa terdapat koordinasi yang sangat baik antara gerakan bahu dan siku dalam menciptakan dinamika gerakan lengan atas secara keseluruhan. Dalam praktik tari Bedoyo Majapahit yang menekankan kehalusan dan kesinambungan gerakan, sinergi antara bahu dan siku sangat penting untuk mencapai ekspresi artistik yang tepat.

Sementara itu, korelasi antara kecepatan bahu dan pergelangan tangan bernilai 0,534955. Meskipun masih merupakan korelasi positif, nilainya tidak sekuat hubungan antara bahu dan siku. Korelasi sedang ini dapat ditafsirkan sebagai hubungan yang bersifat tidak langsung. Artinya, pergelangan tangan memang terpengaruh oleh kecepatan gerakan bahu, namun tidak seintens hubungan dengan

siku. Hal ini wajar mengingat pergelangan tangan sering kali memiliki gerakan independen, terutama dalam memperindah detail akhir dari gestur tari. Pergelangan bisa saja melakukan gerakan lambat meskipun bahu bergerak cepat, tergantung pada desain koreografi.

Lebih lanjut, korelasi antara kecepatan siku dan pergelangan menunjukkan nilai sebesar 0,843206. Nilai ini menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat dan menunjukkan hubungan yang erat antara dua titik ini. Korelasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa gerakan siku dan pergelangan sangat terkoordinasi dan sering kali bergerak dalam harmoni yang hampir simultan. Dalam tari klasik seperti Bedoyo Majapahit, di mana ketepatan dan keharmonisan gerak adalah kunci utama, hubungan erat ini menunjukkan bahwa transisi gerakan dari siku ke pergelangan merupakan satu rangkaian gerakan berkesinambungan yang memerlukan kontrol motorik yang baik dari penari.

Dalam konteks sistem pengembangan serious game edukatif, informasi korelasi ini sangat bermanfaat. Sistem pembelajaran yang ingin menilai akurasi gerakan penari digital dapat memanfaatkan hubungan antar kecepatan ini untuk mendeteksi anomali atau kesalahan dalam meniru gerakan. Misalnya, jika sistem mendeteksi kecepatan siku yang tinggi namun kecepatan pergelangan yang rendah, padahal seharusnya keduanya berkorelasi tinggi, maka sistem dapat mengeluarkan umpan balik bahwa ada ketidaksesuaian dalam pola gerakan pemain.

Analisis korelasi ini juga menjadi dasar yang sangat penting dalam pelatihan model kecerdasan buatan berbasis machine learning. Dengan mengetahui adanya pola hubungan yang kuat antar variabel, model pembelajaran mesin dapat dilatih untuk mengidentifikasi gerakan yang wajar atau sesuai dengan standar koreografi. Korelasi

tinggi juga memberikan justifikasi bahwa pendekatan pengawasan terfokus pada hubungan antar titik tubuh dapat meningkatkan akurasi pelacakan gerakan dan klasifikasi jenis gerakan dalam sistem pembelajaran otomatis.

Dalam lingkup pelatihan fisik atau konservasi budaya, hasil korelasi ini memberikan dasar ilmiah mengenai bagaimana penari tradisional mengatur koordinasi tubuhnya. Pelatih tari dapat menggunakan informasi ini untuk menyusun teknik pelatihan yang fokus pada koordinasi siku dan pergelangan guna memperbaiki kehalusan dan keselarasan gerak lengan. Bahkan lebih lanjut, data korelasi ini bisa dimanfaatkan untuk menyusun alat bantu pelatihan berbasis sensor, seperti wearable devices, yang dapat memberikan notifikasi real-time ketika hubungan antar kecepatan titik tubuh tidak konsisten.

Jika ditinjau dari aspek ergonomis, korelasi ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi resiko cedera. Ketidaksesuaian antara kecepatan siku dan pergelangan, misalnya, dapat menimbulkan beban yang tidak seimbang dan berisiko mencederai sendi. Dengan demikian, pengembangan serious game yang memperhatikan korelasi ini tidak hanya membantu pembelajaran gerakan yang akurat, tetapi juga mendukung aspek keamanan dan kesehatan penari dalam jangka panjang.

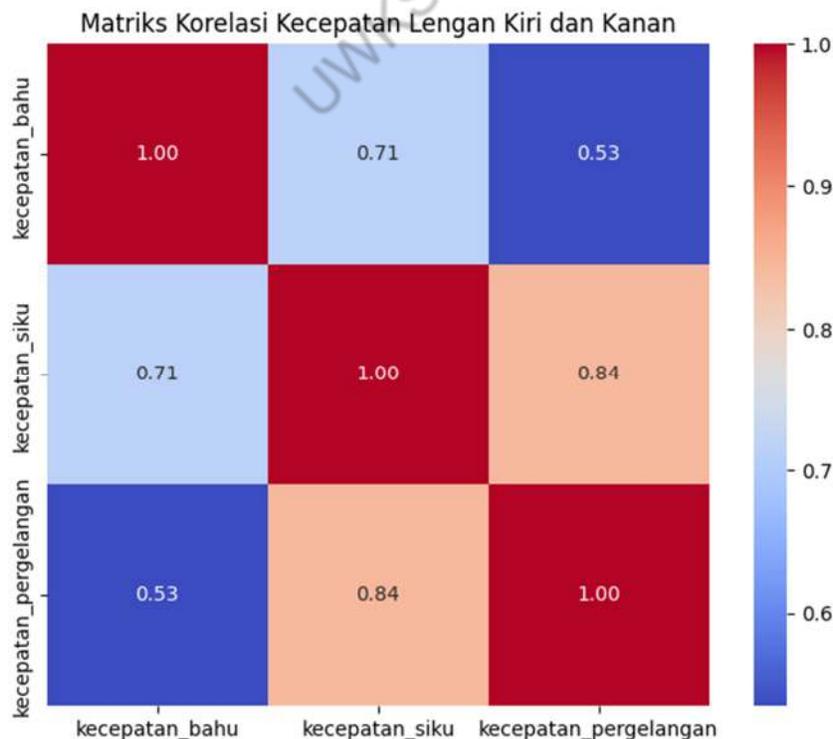
Dalam terminologi statistik, nilai-nilai korelasi dalam Tabel 4.6 menunjukkan bahwa ketiga titik tubuh tersebut saling berkaitan secara linear positif, dengan intensitas hubungan yang bervariasi. Hubungan siku-pergelangan menonjol sebagai yang paling kuat, disusul oleh bahu-siku, kemudian bahu-pergelangan. Hal ini menegaskan bahwa gerakan terhalus dan terkoordinasi banyak terjadi pada ruas tengah ke ujung lengan, yaitu dari siku ke pergelangan.

**SERIOUS GAME:  
PERGERAKAN Lengan TARI BEDOYO MAJAPAHIT**

---

Kesimpulannya, hasil korelasi kecepatan antara titik bahu, siku, dan pergelangan pada lengan kanan dan kiri memberikan wawasan penting dalam memahami strategi koreografi dalam tari Bedoyo Majapahit. Koreografi ini tampaknya dirancang untuk menjaga kesinambungan gerak secara harmonis dari bahu hingga pergelangan. Data ini membuka kemungkinan luas untuk penerapan pada berbagai bidang mulai dari konservasi budaya, pengembangan teknologi edukasi digital, hingga sistem pelatihan berbasis data. Korelasi ini bukan hanya angka, tetapi merupakan representasi kuantitatif dari harmoni tubuh dalam tradisi gerak budaya yang mendalam.

Sedangkan korelasi diagonal terdapat angka 1,000000 menunjukkan bahwa setiap variabel memiliki korelasi sempurna dengan dirinya sendiri. Ini adalah hal yang normal dalam matriks korelasi. Hasil korelasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.14,

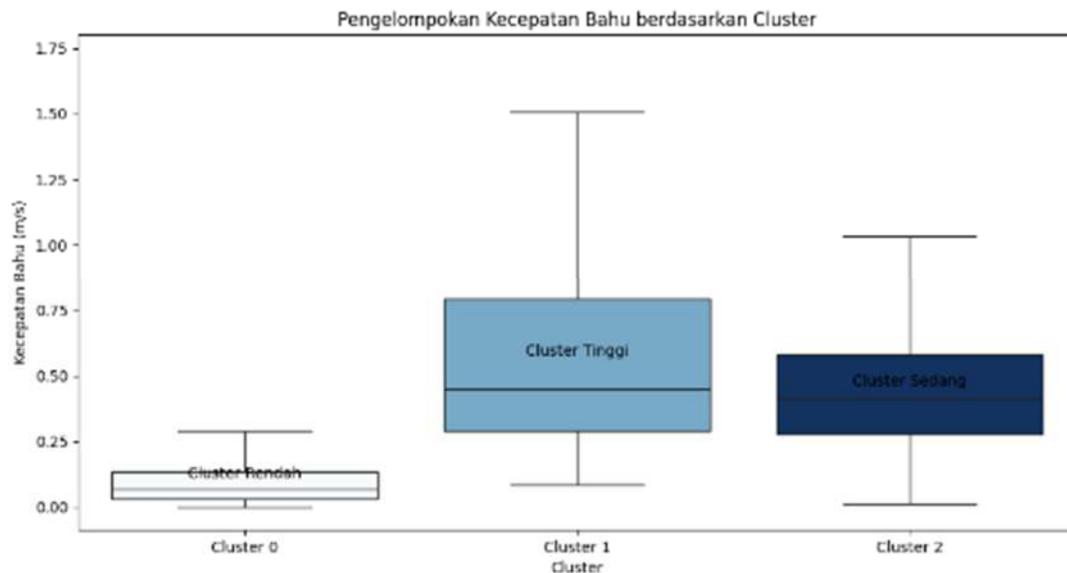


Gambar 4. 14 Grafik korelasi antara lengan kiri dan kanan.

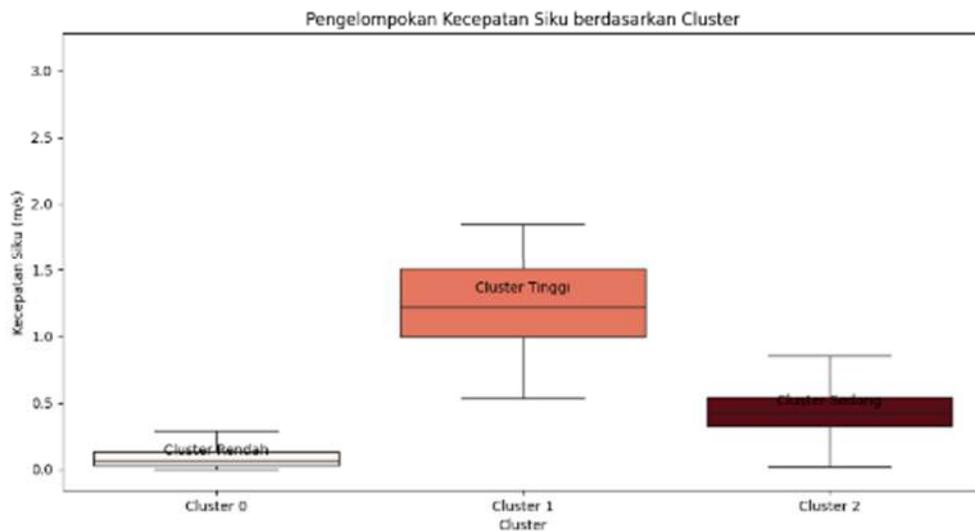
Untuk pola kecepatan dengan menggunakan *K-Mean* dilakukan analisis menghasilkan data *cluster* seperti Tabel 4.7., dan Gambar 4.15., 4.16 dan 4.17

Tabel 4. 7 Hasil rata rata kecepatan per cluster

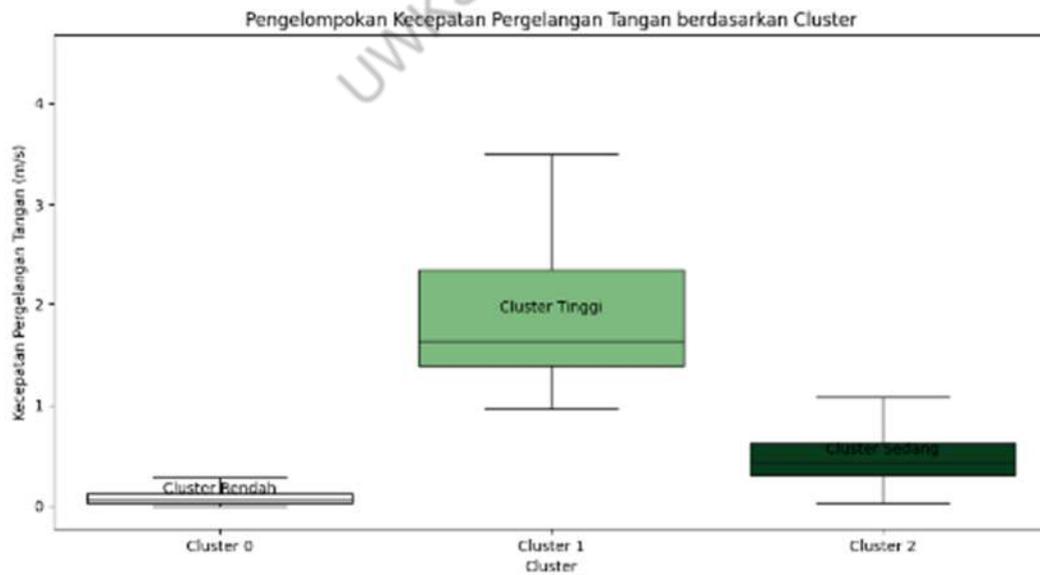
	Kecepatan bahu (m/s)	Kecepatan siku (m/s)	Kecepatan pergelangan (m/s)
<b>Cluster rendah</b>	0,097339	0,092492	0,091916
<b>Cluster sedang</b>	0,564027	1,307827	1,888714
<b>Cluster tinggi</b>	0,447744	0,456987	0,487540



Gambar 4. 15 Grafik pengelompokan kecepatan bahu berdasar cluster.



Gambar 4. 16 Grafik pengelompokan kecepatan siku berdasar cluster.



Gambar 4. 17 Grafik pengelompokan kecepatan pergelangan tangan berdasar cluster.

Analisis data cluster kecepatan pada titik-titik penting gerakan tubuh seperti bahu, siku, dan pergelangan memberikan wawasan yang mendalam mengenai klasifikasi dan distribusi intensitas gerakan dalam tari Bedoyo Majapahit. Pembagian data ke dalam tiga cluster utama—rendah, sedang, dan tinggi—menyediakan kerangka analisis yang lebih terstruktur dalam memahami variasi intensitas gerak lengan selama pelaksanaan gerak tari.

Pada cluster pertama, yaitu cluster rendah, rata-rata kecepatan bahu tercatat sebesar 0,097339 m/s. Nilai ini menunjukkan bahwa intensitas gerakan bahu pada kategori ini tergolong sangat lambat. Kecepatan yang rendah ini kemungkinan besar terjadi pada bagian koreografi yang menuntut penari untuk menjaga posisi diam atau melakukan transisi lambat dalam pose tertentu. Dalam tari tradisional seperti Bedoyo Majapahit, gerakan yang lambat bukanlah tanda kurangnya dinamika, melainkan justru merupakan bentuk dari ekspresi dan meditasi gerak yang sarat makna.

Pada cluster kedua, yaitu cluster sedang, rata-rata kecepatan bahu mencapai 0,564027 m/s. Nilai ini menandakan bahwa dalam kelompok ini, penari melakukan gerakan bahu dengan intensitas yang lebih tinggi, kemungkinan mencerminkan bagian koreografi yang menuntut transisi antar pose dengan gerakan lebih aktif namun tetap terkontrol. Cluster ini bisa mencerminkan bagian tengah dari pertunjukan tari, ketika dinamika mulai meningkat namun belum mencapai puncak kecepatan.

Sementara itu, pada cluster ketiga, yaitu cluster tinggi, kecepatan bahu tercatat sebesar 0,447744 m/s. Meskipun lebih rendah dibandingkan cluster sedang, nilai ini berada di atas cluster rendah dan menunjukkan intensitas gerakan yang sedang

menuju ke tinggi. Ketidaksesuaian antara nilai rata-rata dan label cluster bisa jadi akibat variasi distribusi internal dari data atau efek sampel tertentu yang memengaruhi klasifikasi.

Untuk titik siku, pada cluster rendah, kecepatan rata-rata adalah 0,092492 m/s. Nilai ini mencerminkan pergerakan siku yang hampir sejajar dengan bahu dalam segmen gerakan lambat. Pada cluster sedang, kecepatan siku adalah 0,456987 m/s, menunjukkan bahwa intensitas gerak meningkat dan lebih aktif dari bahu pada cluster yang sama. Sedangkan pada cluster tinggi, nilai rata-rata kecepatan siku mencapai 1,307827 m/s, yang merupakan nilai tertinggi di antara semua kombinasi titik dan cluster. Hal ini menunjukkan bahwa siku merupakan titik yang sangat dinamis, kemungkinan besar berperan penting dalam menciptakan efek visual yang ekspresif dalam koreografi.

Rata-rata kecepatan pergelangan tangan menunjukkan pola yang hampir serupa. Pada cluster rendah, kecepataannya adalah 0,091916 m/s, mencerminkan fase statis atau transisi lambat. Di cluster sedang, kecepataannya adalah 0,487540 m/s, mendekati kecepatan siku, mengindikasikan adanya keselarasan antara gerak siku dan pergelangan. Namun pada cluster tinggi, pergelangan tangan mencatat kecepatan rata-rata sebesar 1,888714 m/s, yang merupakan angka tertinggi dalam keseluruhan dataset. Hal ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa pergelangan tangan adalah titik paling dinamis dan ekspresif dalam gerakan tari Bedoyo Majapahit.

Distribusi kecepatan berdasarkan cluster ini memberikan dasar penting dalam segmentasi gerakan tari menjadi fase lambat, transisi, dan intens. Data ini juga bermanfaat dalam pengembangan sistem evaluasi otomatis dalam serious game edukatif, di mana sistem dapat memetakan level gerakan pemain terhadap cluster

referensi dan memberikan umpan balik secara real-time. Secara keseluruhan, pendekatan clustering memperluas pemahaman kita tentang dinamika gerak tubuh dalam seni tari tradisional dan membuka jalan untuk inovasi dalam pelestarian serta pembelajaran budaya melalui teknologi.

Untuk memperkaya pemahaman terhadap statistik deskriptif yang telah disajikan pada Tabel 4.1 hingga 4.7, dilakukan analisa lanjutan dengan pendekatan integratif. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk menggali hubungan menyeluruh antar variabel yang berkaitan langsung dengan dinamika gerakan tari Bedoyo Majapahit. Gerakan dalam tari tradisional ini tidak hanya melibatkan aspek artistik, tetapi juga menyimpan struktur logis dan matematis dalam ritme dan pola pergerakannya. Melalui pendekatan ini, peneliti tidak hanya menafsirkan angka sebagai data kuantitatif, namun juga mengkaitkannya dengan konteks estetika, budaya, dan teknologi interaktif modern.

Dimulai dari analisis kecepatan, ditemukan bahwa nilai rata-rata (mean) tertinggi dicapai oleh siku, yaitu sebesar 1,196387 meter per detik. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan kecepatan rata-rata pada bahu dan pergelangan tangan. Secara biomekanika, hal ini menegaskan bahwa siku memiliki peran sentral dalam membentuk dinamika lengan. Siku bertindak sebagai penghubung antara bahu dan pergelangan, dan menjadi titik tumpu yang memungkinkan transisi gerakan dari kekakuan ke keluwesan. Dalam koreografi tari Bedoyo, gerakan lengan yang dilakukan oleh penari tidak berlangsung secara kaku, melainkan menunjukkan transisi yang halus namun tetap menunjukkan tenaga dan intensitas, terutama di bagian tengah lengan.

Keunikan ini diperkuat oleh nilai standar deviasi (standar deviasi) yang tinggi, khususnya pada siku dan pergelangan tangan, yaitu lebih dari 1.2. Standar deviasi yang besar menandakan bahwa variasi gerakan cukup tinggi, atau dengan kata lain, kecepatan pada titik-titik tersebut tidak seragam sepanjang waktu. Hal ini memiliki implikasi artistik yang penting. Gerakan yang tidak homogen menunjukkan kemungkinan adanya ruang untuk improvisasi oleh penari, baik secara sadar maupun tidak. Improvisasi ini mungkin muncul sebagai respons terhadap dinamika musik pengiring (gamelan) atau adaptasi terhadap ruang pertunjukan, yang semuanya merupakan elemen khas dalam seni pertunjukan tradisional Jawa.

Masuk ke dalam dimensi akselerasi, yaitu laju perubahan kecepatan, hasilnya pun menunjukkan hal menarik. Rata-rata akselerasi secara keseluruhan memang berada pada angka nol, yang menandakan keseimbangan antara percepatan dan perlambatan. Namun, nilai maksimum dan minimum akselerasi mencapai  $\pm 150$  menunjukkan adanya momen-momen impulsif dalam pergerakan. Momen ini mencerminkan keberadaan gerakan simbolik yang bersifat mendadak, seperti isyarat sakral dalam tari Bedoyo yang berakar dari filosofi spiritual Jawa. Gerakan-gerakan ini mungkin hanya terjadi dalam satu-dua detik, namun memiliki makna mendalam, baik secara simbolis maupun estetis.

Analisis terhadap data sudut siku pun memperlihatkan hal-hal yang signifikan. Dengan perbedaan rata-rata sebesar 11 derajat antara sudut siku kiri dan kanan, dapat ditarik kesimpulan adanya asimetri kecil dalam koreografi. Meskipun tidak terlalu mencolok, perbedaan ini cukup untuk menunjukkan dominansi arah tertentu, atau bahkan mengindikasikan kebiasaan motorik dari penari itu sendiri. Misalnya, penari yang dominan tangan kanan cenderung memiliki rentang gerakan yang lebih luas atau lebih fleksibel di sisi kanan.

Rentang distribusi sudut siku yang hampir penuh, yaitu dari sekitar 40 derajat hingga 180 derajat, juga menunjukkan bahwa lengan dalam tari Bedoyo digunakan secara maksimal. Ini berarti bahwa koreografi tari tidak hanya terbatas pada gerakan statis atau repetitif, melainkan memanfaatkan seluruh spektrum fleksibilitas siku dari posisi melipat penuh hingga hampir lurus sempurna. Ketika divisualisasikan ke dalam bentuk digital atau animasi, hal ini akan menciptakan variasi gerakan yang sangat ekspresif dan kaya.

Selanjutnya, hasil dari proses klasterisasi berdasarkan kecepatan (Tabel 4.7) memberikan peta segmentasi gerakan berdasarkan tingkat intensitasnya. Klaster sedang menempati porsi dominan, terutama dalam gerakan siku dan pergelangan, sedangkan bahu justru lebih sering berada dalam klaster rendah. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan dalam tari Bedoyo tidak selalu melibatkan keseluruhan bagian lengan secara simultan. Justru terdapat fokus pada bagian-bagian tertentu, di mana intensitas gerakan lebih ditekankan pada titik-titik yang menyampaikan makna atau ekspresi emosional.

Sementara itu, temuan dari korelasi antar titik gerak dalam Tabel 4.6 memperlihatkan nilai korelasi sangat tinggi antara kecepatan siku dan pergelangan (0,843206). Korelasi ini menandakan bahwa kedua titik ini bergerak secara sinkron dalam mayoritas waktu. Dalam dunia tari, terutama yang mengedepankan estetika seperti tari Bedoyo, sinkronisasi antar bagian tubuh adalah krusial. Ketika bagian tengah dan ujung lengan bergerak harmonis, akan tercipta gestur yang luwes dan estetik. Data korelasi ini tidak hanya penting dari sisi teoritis, tetapi juga memiliki implikasi langsung dalam pengembangan teknologi edukatif.

Dalam pengembangan serious game berbasis gerak, hubungan sinkron seperti ini bisa dimanfaatkan untuk membangun sistem penilaian (scoring system) berbasis logika korelatif. Misalnya, apabila sistem mendeteksi gerakan siku yang cepat namun tidak diikuti oleh kecepatan pergelangan yang sesuai, maka sistem dapat memberikan feedback real-time kepada pemain bahwa sinkronisasi tidak terpenuhi. Ini akan membantu dalam proses pembelajaran dan pelatihan digital.

Pendekatan korelatif ini juga sangat berguna untuk pelatihan machine learning. Model kecerdasan buatan dapat dilatih untuk mengenali pola gerakan ideal berdasarkan korelasi alami antara titik-titik gerakan. Dengan demikian, model akan lebih efektif dalam menilai apakah suatu gerakan sesuai dengan pola tradisional atau menyimpang.

Lebih jauh, pemahaman akan korelasi ini dapat diterapkan dalam pelatihan fisik penari, khususnya dalam mengidentifikasi ketidakseimbangan gerak atau risiko cedera akibat ketidaksinkronan. Misalnya, jika pergelangan bergerak terlalu cepat dibandingkan siku secara berulang-ulang, ini dapat menyebabkan stres pada sendi dan otot tertentu. Dengan memahami korelasi sebagai parameter kontrol kualitas gerakan, pelatih bisa merancang program latihan yang lebih aman dan efektif.

Tidak hanya untuk kebutuhan pembelajaran, analisis integratif ini juga menjadi dasar dalam pelestarian budaya berbasis digital. Dengan menangkap kompleksitas gerakan secara kuantitatif, dapat dibuat model digital tari Bedoyo yang tidak hanya bersifat visual tetapi juga matematis, sehingga lebih mudah diajarkan, dilatih, dan diadaptasi pada generasi mendatang. Model ini dapat diintegrasikan dalam platform edukasi budaya, museum digital, hingga aplikasi mobile interaktif.

Lebih lanjut, hasil-hasil statistik ini berpotensi menjadi sumber utama dalam mendesain modul kurikulum seni tari berbasis data. Misalnya, modul pelatihan untuk pemula bisa difokuskan pada pola klaster sedang yang paling banyak ditemukan dalam gerakan tari, sementara tingkat lanjutan bisa fokus pada klaster tinggi yang memerlukan kontrol motorik lebih baik. Sistem pengajaran ini dapat menjadi jembatan antara pelatihan tradisional dan pendekatan digital modern.

Dengan semua pertimbangan tersebut, analisa lanjutan ini memperlihatkan bahwa statistik bukan sekadar angka-angka, melainkan representasi dari nilai budaya, seni, dan logika gerakan. Data statistik yang dikumpulkan dan dianalisis secara tepat dapat menjadi medium penghubung antara tradisi dan teknologi, antara warisan budaya dan inovasi digital. Ini adalah langkah strategis untuk memastikan bahwa tari Bedoyo Majapahit tidak hanya bertahan sebagai pertunjukan panggung, tetapi juga sebagai entitas digital yang hidup dan berkembang di tengah era transformasi digital global.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini telah berhasil merumuskan, menyompan, dan menganalisis pergerakan lengan dalam tari Bedoyo Majapahit untuk dikembangkan ke dalam bentuk serious game yang bersifat edukatif sekaligus pelestarian budaya. Berdasarkan seluruh rangkaian analisa, mulai dari akuisisi data gerak, pengolahan dan pembersihan data, hingga analisa statistik dan implementasi teknologi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan menyeluruh yang relevan terhadap tujuan utama dari monograf ini.

1. Pertama, penggunaan teknologi motion capture dalam format .BVH dan pustaka Python seperti mediapipe terbukti efektif dalam menangkap gerakan lengan penari secara rinci. Data hasil rekaman memiliki resolusi spasial dan temporal yang tinggi, memungkinkan ekstraksi variabel seperti kecepatan, akselerasi, sudut siku, serta koordinat spasial setiap sendi. Hasil ini memperlihatkan bahwa pendekatan non-markerless berbasis AI memberikan peluang besar bagi penelitian tari tradisional di era digital.
2. Kedua, dari analisis statistik deskriptif terhadap data gerakan yang dikumpulkan, diketahui bahwa gerakan siku menempati posisi sentral dalam dinamika lengan. Rata-rata kecepatan siku yang tertinggi dibandingkan dengan bahu dan pergelangan mengindikasikan bahwa bagian ini berfungsi sebagai pengontrol ritmis dan penghubung utama dalam transisi gerakan. Hal ini selaras dengan struktur koreografi tari Bedoyo yang menitikberatkan pada kesinambungan dan keluwesan gestur tangan.
3. Ketiga, ditemukan bahwa terdapat sinkronisasi kuat antara gerakan siku dan pergelangan tangan dengan korelasi sebesar 0,843206. Korelasi ini penting

- dalam desain fitur pelatihan dalam serious game, di mana sistem dapat menilai konsistensi antara dua titik kritis dalam satu siklus gerakan. Pemain yang gagal menyesuaikan gerakan pergelangan dengan gerakan siku akan diberikan umpan balik secara real-time, menjadikan game sebagai sarana pembelajaran aktif.
4. Keempat, hasil klasterisasi memperlihatkan bahwa sebagian besar gerakan termasuk dalam kategori klaster sedang, terutama pada titik siku dan pergelangan. Ini menandakan bahwa koreografi tari Bedoyo tidak semata bertumpu pada intensitas tinggi, melainkan pada keseimbangan antara kontrol dan ekspresi. Oleh karena itu, desain tantangan dalam game dapat disesuaikan dengan fokus pada pola-pola sedang sebagai dasar pembelajaran, dan pola-pola ekstrem sebagai bagian dari evaluasi lanjutan.
  5. Kelima, pendekatan integratif terhadap statistik, seni tari, dan rekayasa perangkat lunak membuka kemungkinan besar untuk mengembangkan serious game yang tidak hanya akurat secara teknis, tetapi juga bermakna secara budaya. Dengan menyelaraskan logika gerakan dan nilai-nilai estetika yang terkandung dalam tari Bedoyo, maka game yang dihasilkan tidak hanya akan menjadi alat pelatihan motorik, tetapi juga sarana pelestarian nilai-nilai tradisi Jawa.
  6. Keenam, semua hasil yang diperoleh dari penelitian ini telah menjadi fondasi konseptual dan teknis untuk membangun game edukatif berbasis pelacakan gerakan. Skema penilaian berbasis statistik (akselerasi, sudut, kecepatan) yang digunakan akan menjadi parameter kuantitatif dalam penilaian skor permainan dan kualitas reproduksi gerakan.

7. Ketujuh, penelitian ini secara eksplisit menunjukkan bahwa teknologi dapat berperan sebagai mediator pelestarian budaya. Tari Bedoyo Majapahit sebagai warisan budaya yang kaya, kini dapat direpresentasikan dalam format digital yang interaktif dan adaptif terhadap kebutuhan generasi masa kini. Dengan demikian, monograf ini menjadi bukti konkret bahwa kolaborasi antara kebudayaan dan teknologi adalah kunci penting dalam konservasi digital dan edukasi budaya ke depan.

## **5.2 Saran Pengembangan**

Untuk mendukung kesinambungan dari hasil penelitian ini, beberapa saran dan arah pengembangan di masa depan dapat dipertimbangkan, antara lain:

1. Ekspansi pada Anggota Tubuh Lainnya: Penelitian ini masih terfokus pada pergerakan lengan, khususnya bahu, siku, dan pergelangan tangan. Untuk pengembangan lebih lanjut, perluasan analisis ke bagian tubuh lainnya seperti kaki, pinggul, dan torso sangat direkomendasikan guna mendapatkan gambaran gerakan tari yang lebih holistik.
2. Penerapan Real-Time Feedback: Dalam implementasi serious game, sistem umpan balik real-time perlu dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan machine learning yang mampu menilai sinkronisasi antar titik tubuh secara instan, sehingga pengguna dapat langsung mengetahui kesalahan dan memperbaikinya.
3. Integrasi Sensor Wearable: Penggunaan sensor wearable seperti IMU (Inertial Measurement Unit) dapat memperkuat akurasi deteksi gerakan, terutama

- untuk memperbaiki kekurangan dari sistem berbasis kamera seperti mediapipe.
4. Peningkatan Antarmuka Game: Desain antarmuka pengguna pada game perlu dikembangkan lebih intuitif dan responsif, termasuk fitur suara, visualisasi 3D yang dinamis, serta pelatihan yang adaptif berdasarkan tingkat keahlian pengguna.
  5. Penerapan dalam Pendidikan Formal: Hasil penelitian ini dapat dimasukkan ke dalam kurikulum pendidikan seni dan budaya, baik di tingkat dasar maupun perguruan tinggi, sebagai bentuk pelestarian budaya digital berbasis teknologi.
  6. Kolaborasi Multidisipliner: Penelitian selanjutnya dapat melibatkan bidang psikologi kognitif, antropologi budaya, desain interaksi, dan pendidikan untuk memperkaya perspektif serta memperluas dampak aplikasi.
  7. Validasi Lapangan: Perlu dilakukan uji coba lapangan terhadap versi beta serious game kepada target pengguna seperti siswa, guru seni, dan seniman tari untuk memperoleh umpan balik yang dapat meningkatkan fungsionalitas dan kenyamanan penggunaan.
  8. Penyimpanan dan Akses Data Publik: Penyediaan platform berbasis cloud untuk menyimpan hasil motion capture dan visualisasi tari akan memudahkan peneliti dan pendidik di masa depan untuk mengakses dan menggunakan data yang telah dikembangkan.

Dengan memperhatikan saran-saran tersebut, diharapkan bahwa pengembangan teknologi pelestarian budaya melalui pendekatan serious game dapat terus berlanjut dan memberikan kontribusi signifikan terhadap edukasi, pelatihan, dan penguatan identitas budaya bangsa dalam bentuk yang inovatif.

UWKSPress

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kuswarsantyo, *APRESIASI BUDAYA*. Lingkaran, 2019.
- [2] “TARI BEDOYO MAJAPAHIT AKAN LENGKAPI PEMBANGUNAN SITUS- Dinas Komunikasi dan Informatika Provinsi Jawa Timur.” <https://kominfo.jatimprov.go.id/berita/25131> (accessed Feb. 07, 2024).
- [3] “KAJIAN KEINDAHAN FILSAFAT JOGED MATARAM PADA PENARI TARI BEDHAYA WULANDARU KARYA SUBARI SOFYAN DI KABUPATEN BANYUWANGI | APRON Jurnal Pemikiran Seni Pertunjukan.” <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/apron/article/view/50023> (accessed Feb. 07, 2024).
- [4] A. K. Adisusilo, E. Wahyuningtyas, and F. W. Y. Untoro, “Analisis Pergerakan Lengan Tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture,” *TEMATIK*, vol. 11, no. 2, pp. 172–181, Dec. 2024, doi: 10.38204/TEMATIK.V11I2.2089.
- [5] A. K. Adisusilo, M. Hariadi, E. M. Yuniarno, and B. Purwantana, “Optimizing player engagement in an immersive serious game for soil tillage base on Pareto optimal strategies,” *Heliyon*, vol. 6, no. 3, p. e03613, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03613.
- [6] A. K. Adisusilo and S. Soebandhi, “A review of immersivity in serious game with the purpose of learning media,” *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 5, pp. 1–11, 2021, doi: 10.6703/ijase.202109\_18(5).017.
- [7] A. K. Adisusilo, E. Wahyuningtyas, N. Saurina, and R. Radi, “Serious Game Mechanism Design for Soil Cultivation using Singkal Plow,” *Proc. - 2021 IEEE 5th Int. Conf. Inf. Technol. Inf. Syst. Electr. Eng. Appl. Data Sci. Artif. Intell. Technol. Glob. Challenges Dur. Pandemic Era, ICITISEE 2021*, pp. 381–386, 2021, doi: 10.1109/ICITISEE53823.2021.9655957.

- [8] A. K. Adisusilo and S. Soebandhi, "A review of immersivity in serious game with the purpose of learning media," *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 5, pp. 1–11, 2021, doi: 10.6703/IJASE.202109\_18(5).017.
- [9] C. C. Abt, *Serious games*. University Press of America, 1987.
- [10] A. K. Adisusilo, M. Hariadi, E. M. Yuniarno, B. Purwantana, R. Radi, and R. Radi, "Soil porosity modelling for immersive serious game based on vertical angle, depth, and speed of tillage," *Int. J. Adv. Intell. Informatics*, vol. 4, no. 2, p. 107, Jul. 2018, doi: 10.26555/ijain.v4i2.215.
- [11] A. K. Adisusilo, E. Wahyuningtyas, N. Saurina, and Radi, "Serious game design for soil tillage based on plowing forces model using neural network," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. Preprint, no. Preprint, pp. 1–10, Jan. 2022, doi: 10.3233/JIFS-212419.
- [12] F. Zhang *et al.*, "MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking," Jun. 2020, Accessed: Jun. 27, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2006.10214>
- [13] A. K. Adisusilo, "PEMBELAJARAN TEMATIK SEKOLAH DASAR BERBASIS SERIOUS GAME," in *Pengembangan SDM Indonesia untuk Mendorong Pertumbuhan Ekonomi Digital*, 2019, pp. 236–238.
- [14] S. J. Luhulima, Anang kukuh adisusilo, and N. Saurina, "PERMAINAN TIGA DIMENSI (3D) UNTUK PENGENALAN MAKANAN ALERGEN TELUR, KACANG DAN SUSU SERTA TAHAP INTERVENSI DIET PADA ANAK," *Melek IT Inf. Technol. J.*, vol. 3, no. 1, Jun. 2017.
- [15] E. Wahyuningtyas, A. K. Adisusilo, and N. Saurina, "Pembuatan Media Pembelajaran Digital Untuk Meningkatkan Brand Image Universitas," *INTEK J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 10–16, May 2022, doi: 10.37729/INTEK.V5I1.1691.
- [16] A. K. Adisusilo, M. Hariadi, E. Mulyanto, B. Purwantana, and Radi, "Designing

immersive serious game based on soil tillage: Polynomial model for horizontal plowing force model," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 404–410, 2018, doi: 10.14419/IJET.V7I4.28.22621.

- [17] M. Delbridge, *Motion Capture in Performance: An Introduction*. Palgrave Pivot, 2015.
- [18] B. Rosenhahn, L. He, and R. Klette, "Automatic Human Model Generation," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 3691 LNCS, pp. 41–48, 2005, doi: 10.1007/11556121\_6.

UWKSPress

## LAMPIRAN

### SOURCE CODE PYTHON

#### 1. import warnings

```
warnings.filterwarnings("ignore", category=UserWarning, module="google.protobuf")  
import cv2 import mediapipe as mp import pandas as pd import numpy as np from math import  
degrees, acos
```

#### 2. Inisialisasi MediaPipe Pose

```
mp_pose = mp.solutions.pose mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils pose =  
mp_pose.Pose(static_image_mode=False, min_detection_confidence=0.5,  
min_tracking_confidence=0.5)
```

#### 3. Inisialisasi VideoWriter untuk menyimpan video asli dan video tanpa deteksi

```
video_filename = 'video_aseli.mp4' video_no_detection_filename = 'video_tanpa_deteksi.mp4'  
video_writer = None video_no_detection_writer = None
```

#### 4. Inisialisasi struktur untuk menyimpan data lengan dalam 3D

```
data_lengan = [] data_lengan_kiri = [] data_lengan_kanan = []
```

#### 5. Fungsi menghitung sudut antara tiga titik dalam 3D

```
def calculate_angle(a, b, c): ba = [a[i] - b[i] for i in range(3)] bc = [c[i] - b[i] for i in range(3)] cos_angle  
= np.dot(ba, bc) / (np.linalg.norm(ba) * np.linalg.norm(bc)) angle = degrees(acos(np.clip(cos_angle, -  
1.0, 1.0))) return angle
```

#### 6. Mulai perekaman video dan deteksi pose

```
cap = cv2.VideoCapture(0) # 0 untuk kamera bawaan frame_count = 0 # Untuk menghitung frame  
while cap.isOpened(): ret, frame = cap.read() if not ret: break  
# Konversi frame menjadi RGB untuk MediaPipe  
frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)  
results = pose.process(frame_rgb)  
  
# Inisialisasi VideoWriter jika belum ada
```

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

```
if video_writer is None:
    height, width, _ = frame.shape
    video_writer = cv2.VideoWriter(video_filename, cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v'), 20,
    (width, height))

    video_no_detection_writer = cv2.VideoWriter(video_no_detection_filename,
    cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v'), 20, (width, height))

# Jika pose terdeteksi, proses bagian lengan
if results.pose_landmarks:
    # Ambil koordinat titik bahu, siku, dan pergelangan tangan dalam 3D untuk lengan kiri dan
    kanan
    landmarks = results.pose_landmarks.landmark
    lengan_kanan = {
        'frame': frame_count,
        'landmark_id': 'RIGHT_ELBOW',
        'bahu_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].x,
        'bahu_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].y,
        'bahu_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].z,
        'siku_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW].x,
        'siku_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW].y,
        'siku_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW].z,
        'pergelangan_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_WRIST].x,
        'pergelangan_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_WRIST].y,
        'pergelangan_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_WRIST].z,
        'side': 'kanan'
    }
    lengan_kiri = {
        'frame': frame_count,
        'landmark_id': 'LEFT_ELBOW',
        'bahu_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].x,
        'bahu_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].y,
        'bahu_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].z,
        'siku_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW].x,
        'siku_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW].y,
        'siku_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW].z,
        'pergelangan_x': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST].x,
        'pergelangan_y': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST].y,
        'pergelangan_z': landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_WRIST].z,
        'side': 'kiri'
```

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

```
}

# Hitung sudut siku untuk lengan kanan dan kiri
lengan_kanan['sudut_siku'] = calculate_angle(
    [lengan_kanan['bahu_x'], lengan_kanan['bahu_y'], lengan_kanan['bahu_z']],
    [lengan_kanan['siku_x'], lengan_kanan['siku_y'], lengan_kanan['siku_z']],
    [lengan_kanan['pergelangan_x'], lengan_kanan['pergelangan_y'],
lengan_kanan['pergelangan_z']]
)
lengan_kiri['sudut_siku'] = calculate_angle(
    [lengan_kiri['bahu_x'], lengan_kiri['bahu_y'], lengan_kiri['bahu_z']],
    [lengan_kiri['siku_x'], lengan_kiri['siku_y'], lengan_kiri['siku_z']],
    [lengan_kiri['pergelangan_x'], lengan_kiri['pergelangan_y'], lengan_kiri['pergelangan_z']]
)

# Tambahkan data untuk lengan kanan dan kiri ke dalam list
data_lengan.append(lengan_kanan)
data_lengan.append(lengan_kiri)

# Tambahkan data ke CSV terpisah untuk lengan kiri dan kanan
data_lengan_kiri.append(lengan_kiri)
data_lengan_kanan.append(lengan_kanan)

# Visualisasi dengan garis dalam konsep 3D dan legend
bahu_kanan = (int(lengan_kanan['bahu_x'] * width), int(lengan_kanan['bahu_y'] * height))
siku_kanan = (int(lengan_kanan['siku_x'] * width), int(lengan_kanan['siku_y'] * height))
pergelangan_kanan = (int(lengan_kanan['pergelangan_x'] * width),
int(lengan_kanan['pergelangan_y'] * height))

bahu_kiri = (int(lengan_kiri['bahu_x'] * width), int(lengan_kiri['bahu_y'] * height))
siku_kiri = (int(lengan_kiri['siku_x'] * width), int(lengan_kiri['siku_y'] * height))
pergelangan_kiri = (int(lengan_kiri['pergelangan_x'] * width),
int(lengan_kiri['pergelangan_y'] * height))

# Garis antara titik pada lengan kanan
cv2.line(frame, bahu_kanan, siku_kanan, (0, 0, 255), 3)
cv2.line(frame, siku_kanan, pergelangan_kanan, (0, 0, 255), 3)

# Garis antara titik pada lengan kiri
```

## SERIOUS GAME: PERGERAKAN LENGAN TARI BEDOYO MAJAPAHIT

---

```
cv2.line(frame, bahu_kiri, siku_kiri, (255, 0, 0), 3)
cv2.line(frame, siku_kiri, pergelangan_kiri, (255, 0, 0), 3)

# Garis antara bahu kanan dan kiri
cv2.line(frame, bahu_kanan, bahu_kiri, (0, 255, 0), 2) # Garis hijau

# Tampilkan koordinat pada video
for landmark in [lengan_kanan, lengan_kiri]:
    pos = (int(landmark['bahu_x'] * width), int(landmark['bahu_y'] * height))
    cv2.putText(frame, f"Bahu {landmark['side']}: ({landmark['bahu_x']:.2f},
{landmark['bahu_y']:.2f}, {landmark['bahu_z']:.2f})", pos, cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5,
(255, 255, 255), 1)
    pos = (int(landmark['siku_x'] * width), int(landmark['siku_y'] * height))
    cv2.putText(frame, f"Siku {landmark['side']}: ({landmark['siku_x']:.2f},
{landmark['siku_y']:.2f}, {landmark['siku_z']:.2f})", pos, cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5,
(255, 255, 255), 1)
    pos = (int(landmark['pergelangan_x'] * width), int(landmark['pergelangan_y'] * height))
    cv2.putText(frame, f"Pergelangan {landmark['side']}: ({landmark['pergelangan_x']:.2f},
{landmark['pergelangan_y']:.2f}, {landmark['pergelangan_z']:.2f})", pos,
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1)

# Tampilkan legend
legend_pos = (10, 30)
cv2.putText(frame, "Right Arm (Red), Left Arm (Blue), Shoulder Line (Green)", legend_pos,
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1)

# Tampilkan frame yang sudah diproses dengan deteksi
cv2.imshow('Pose Estimation', frame)
video_writer.write(frame) # Simpan frame ke video dengan deteksi

else:
    # Jika tidak ada deteksi, simpan frame tanpa deteksi
    video_no_detection_writer.write(frame) # Simpan frame tanpa deteksi

frame_count += 1

# Keluar jika tekan 'q'
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break
```

## **7. Simpan data ke file CSV**

```
df = pd.DataFrame(data_lengan) df.to_csv('dataaseli.csv', index=False)
```

## **8. Simpan data lengan kiri dan kanan ke file CSV terpisah**

```
df_kiri = pd.DataFrame(data_lengan_kiri) df_kiri.to_csv('dataaseliKi.csv', index=False)
```

```
df_kanan = pd.DataFrame(data_lengan_kanan) df_kanan.to_csv('dataaseliKa.csv', index=False)
```

## **9. Lepaskan semua sumber daya**

```
cap.release() video_writer.release() video_no_detection_writer.release() cv2.destroyAllWindows()
```

UWKSPress