



Analisis Pergerakan Lengan Tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture

Analysis of Arm Movements in Bedoyo Majapahit Dance Using Motion Capture Technology

Anang Kukuh Adisusilo^{1*}, Emmy Wahyuningtyas², Wisnu Yudo Untoro³

^{1,2,3}Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

¹anang65@uwks.ac.id, ²emmy@uwks.ac.id@uwks.ac.id, wisnuyudo@uwks.ac.id@ uwks.ac.id

Abstract

The Bedoyo Majapahit dance is an Indonesian cultural heritage that combines elegance and meaning in every movement, particularly in its signature arm movements. This study focuses on exploring and analyzing arm movement patterns in this traditional dance using motion capture technology, aiming to document, understand, and scientifically reveal the beauty and dynamics of these movements. Positional data of the shoulders, elbows, and wrists from both sides were analyzed to calculate speed and elbow angles. Descriptive statistics, correlation analysis, and K-means clustering were applied to identify dominant patterns. The results indicate a positive correlation between shoulder and elbow speeds on both sides, with correlation values of 0.71 and 0.84, highlighting symmetrical movements. Three movement clusters were identified: low, medium, and high, with the low cluster being the most dominant. The average speeds in the low cluster were 0.097 m/s for the shoulders, 0.092 m/s for the elbows, and 0.091 m/s for the wrists, reflecting the gentle characteristics of the dance. Meanwhile, the medium and high clusters exhibited higher speed values, particularly for the wrists in the high cluster at 1.888 m/s, indicating more dynamic movements. This study provides a quantitative understanding of the smooth and symmetrical movements in Bedoyo Majapahit dance, supporting cultural preservation through data-driven analytical approaches.

Keywords: arm movement, Bedoyo majapahit dance, K-means, motion capture, traditional dance, velocity

Abstrak

Tari Bedoyo Majapahit merupakan warisan budaya Indonesia yang memadukan keanggunan dan makna dalam setiap gerakannya, terutama pada gerakan lengan yang menjadi ciri khasnya. Penelitian ini berfokus pada eksplorasi dan analisis pola pergerakan lengan dalam tari tradisional ini dengan memanfaatkan teknologi motion capture, yang bertujuan untuk mendokumentasikan, memahami, dan mengungkap keindahan serta dinamika gerakan lengan secara ilmiah. Data posisi bahu, siku, dan pergelangan tangan kiri-kanan dianalisis untuk menghitung kecepatan dan sudut siku. Analisis statistik deskriptif, korelasi, dan K-Means dilakukan untuk mengidentifikasi pola dominan. Hasil analisis menunjukkan korelasi positif antara kecepatan bahu dan siku kiri-kanan dengan nilai korelasi 0,71 dan 0,84, menandakan simetri gerakan. Tiga kluster pola gerakan ditemukan: rendah, sedang, dan tinggi, dengan kluster rendah sebagai yang dominan. Rata-rata kecepatan pada kluster rendah adalah 0,097 m/s untuk bahu, 0,092 m/s untuk siku, dan 0,091 m/s untuk pergelangan, sesuai dengan karakteristik lembut tariannya. Sementara itu, kluster sedang dan tinggi menunjukkan nilai kecepatan yang lebih tinggi, terutama pada pergelangan tangan di kluster tinggi dengan 1,888 m/s, menandakan gerakan yang lebih dinamis. Penelitian ini memberikan pemahaman kuantitatif terhadap pergerakan halus dan simetris dalam tari Bedoyo Majapahit, mendukung pelestarian dengan pendekatan analitik berbasis data.

Kata kunci: Gerakan Lengan, Kecepatan, K-Means, Motion Capture, Tari Bedoyo Majapahit, Tari Tradisional.

1. Pendahuluan

Tari Bedoyo Majapahit adalah salah satu bentuk seni tradisional yang sarat makna dan filosofi dari masa kejayaan Majapahit. Setiap gerakan dalam tari ini mencerminkan simbol spiritual serta representasi keanggunan, ketenangan, dan keselarasan yang

dipegang teguh dalam budaya Jawa. Gerakan lengan dalam tari Bedoyo Majapahit bukan hanya berfungsi sebagai aspek estetis, tetapi juga memiliki nilai historis dan simbolik yang dalam [1]. Dengan perkembangan teknologi, seperti motion capture dalam berbagai bidang [2], terdapat potensi besar untuk mengamati, menganalisis, dan mendokumentasikan gerakan tari ini

secara digital. Motion capture berbasis markerless kini membuka peluang bagi penelitian tanpa membutuhkan alat penanda fisik, yang dapat mengganggu keaslian performa tari tradisional [3], [4].

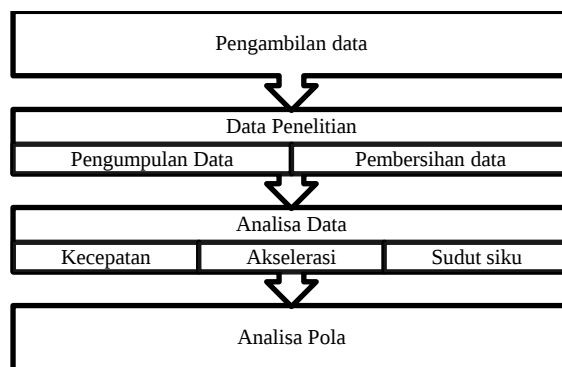
Penelitian mengenai motion capture pada tari tradisional telah diterapkan pada berbagai jenis tari di dunia untuk menganalisis pola gerakan serta dokumentasi digital [5], [6], seperti perekaman gerakan tari dengan motion captured dan dengan model generative sehingga memberi efek ketidak seragaman yang alami pada pembuatan animasi tari tradisional di Indonesia khususnya tari Remo, bisa digunakan untuk berbagai jenis tari tradisional lainnya [7], analisis lainnya untuk tari remo dengan menggunakan metode *optical flow* untuk memnabdingkan gerakan dari tari Remo [8], dan juga berbagai penelitian tentang kebermanfaatan tarian sebagai media pengembangan bakat pemuda melalui sebuah aplikasi [9]. Selain itu untuk beberapa studi menunjukkan pemanfaatan motion capture untuk menganalisis keakuratan dan pola gerak dalam seni tari India, yaitu menggunakan teknologi motion capture untuk memetakan gerakan tangan dan tubuh penari Bharatanatyam secara akurat, dengan fokus pada pola gerakan dan sudut-sudut tubuh tertentu yang merefleksikan nuansa emosi dan ritme [10] dan penelitian di Jepang tentang penggunaan motion capture untuk menganalisis kecepatan dan pola gerak penari Noh, yang memiliki pergerakan lembut namun penuh dengan kontrol [11].

Penelitian lain tentang akurasi motion capture tanpa marker yaitu OpenPose dalam berbagai kondisi menggunakan kamera video [12], yang cocok untuk aplikasi dalam analisis gerak yang rumit, termasuk tari. Temuan menunjukkan akurasi yang baik dengan beberapa perbaikan yang diperlukan untuk pose yang sulit diestimasi. Terdapat juga penelitian lain menggunakan deep learning dalam motion capture tanpa marker, dengan fokus pada pengembangan dataset sintetik dan algoritma yang akurat untuk menangkap pose manusia dari gambar 2D [13]. Sangat berguna bagi penelitian berbasis visual seperti tari tradisional. Dalam bidang biomekanik dan analisis gerakan dalam olahraga [14] juga menggunakan motion capture untuk membantu memperkaya perspektif analisis gerakan pada aplikasi tari [15]. Dalam penbandingan teknologi marker dan tanpa marker di teliti untuk melihat kelebihan dan kekurangan masing-masing, terutama dalam analisis ketelitian Gerakan sehingga dapat memberikan wawasan tambahan dalam memilih teknologi yang tepat untuk aplikasi tari. Dari beberapa penelitian tersebut, belum ada penelitian yang secara spesifik fokus pada gerakan lengan dalam tari Bedoyo Majapahit menggunakan teknologi markerless, padahal teknologi ini menawarkan presisi tinggi dalam pengukuran parameter gerakan.

Diperlukan analisis mendalam pada gerakan lengan tari Bedoyo Majapahit untuk mendokumentasikan elemen-elemen khas yang belum banyak dijabarkan dalam penelitian. Selain itu, adaptasi teknologi markerless dalam analisis gerak budaya tradisional masih terbatas, khususnya di Indonesia. Penelitian dilaksanakan untuk mengkaji gerakan lengan yang memiliki makna simbolik, di mana penerapan teknologi markerless memungkinkan penelitian lebih presisi dan autentik.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini mengikuti langkah langkah penelitian seperti Gambar 1.



Gambar 1. Metode penelitian dalam Analisis Pergerakan Lengan Tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture

Dengan pendekatan deskriptif-analitis konsep motion capture berbasis markerless digunakan untuk merekam dan menganalisis gerakan lengan tari Bedoyo Majapahit secara akurat tanpa memerlukan sensor fisik dimana data yang dihasilkan berupa parameter spasial dan temporal dari gerakan lengan, yang kemudian diinterpretasikan untuk memahami karakteristik dan pola gerak tari. Untuk seting pengambilan data dilakukan di ruang yang minim dengan halangan dilengkapi dengan sistem pencahayaan dan latar yang optimal untuk keperluan motion capture tanpa marker, guna menghasilkan rekaman gerakan yang bersih. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan perekaman terhadap satu penari.

Untuk pengumpulan data penari melakukan beberapa rangkaian gerakan lengan sesuai koreografi tari Bedoyo Majapahit. Perangkat motion capture akan merekam data spasial dan temporal dari gerakan lengan penari, seperti sudut, kecepatan, dan posisi relatif antara segmen lengan. Pembersihan dan Pra-pemrosesan Data dilakukan untuk setiap landmark (bahu, siku, pergelangan) konsisten dan tidak ada kesalahan pengukuran dengan melakukan beberapa proses yaitu : Memeriksa data yang hilang; Mengecek kolom mana yang memiliki nilai yang hilang; Mengisi data yang hilang: Mengisi nilai yang hilang dengan metode *forward fill* (menggunakan nilai sebelumnya); Menghapus duplikat: Menghapus baris yang duplikat dalam dataset; Normalisasi: Normalisasi kolom

landmark menggunakan *Z-score*; Mengonversi tipe data: Mengonversi kolom *frame* menjadi tipe *integer*; Mengatur indeks: Mengatur ulang indeks *DataFrame* setelah pembersihan.

Pada analisis data meliputi kecepatan, akselerasi dan sudut d berdasarkan perhitungan parameter spasial dan temporal gerakan lengan untuk memperoleh pemetaan pola dan ciri khas gerakan yang berulang. Pada bagian analisis kecepatan setiap *landmark* (bahu, siku, pergelangan), dengan menggunakan Rumus 1.

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (1)$$

v adalah kecepatan, Δd adalah perubahan posisi dan Δt adalah perubahan waktu (dalam *frame*).

Akselerasi dihitung sebagai perubahan kecepatan per satuan waktu, berdasarkan Rumus 2.

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$

α adalah akselerasi, Δv adalah perubahan kecepatan (dalam m/s) dan Δt adalah interval waktu (dalam detik).

Untuk kecepatan adalah ukuran seberapa cepat posisi suatu bagian tubuh, sebagai contoh kecepatan lengan berubah dari waktu ke waktu, sedangkan akselerasi adalah perubahan kecepatan dalam periode waktu tertentu, yaitu seberapa cepat kecepatan itu sendiri berubah.

Sedangkan untuk menghitung sudut siku, yaitu: Mendefinisikan vektor posisi untuk vektor dari bahu ke siku dan vektor dari siku ke pergelangan; Dihitung dengan menggunakan rumus, seperti Rumus 3.

$$\theta = \arccos\left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{||\vec{a}|| \cdot ||\vec{b}||}\right) \quad (3)$$

Vektor $\vec{a}$ dan $\vec{b}$, merupakan representasi arah dan magnitude dari gerakan. Dalam konteks tari, mewakili vektor dari posisi bahu ke siku ($\vec{a}$) dan dari siku ke pergelangan ($\vec{b}$)

Dot produk ($\vec{a} \cdot \vec{b}$), dihitung dengan Rumus 4, untuk memberikan ukuran seberapa sejajar dua vektor tersebut.

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z \quad (4)$$

Magnitudo vektor $\vec{a}$ dan $\vec{b}$, dihitung dengan Rumus 5 dan 6.

$$||\vec{a}|| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (5)$$

$$||\vec{b}|| = \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2} \quad (6)$$

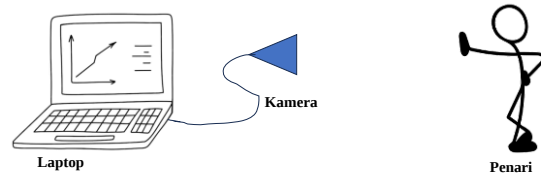
Fungsi *arccos* digunakan untuk mendapatkan sudut dalam radian atau derajat dari nilai kosinus yang diperoleh dari pembagian *dot product* dengan produk magnitudo.

Pada analisa pola dengan melakukan perhitungan nilai rata-rata, median, dan deviasi standar dari kecepatan dan sudut siku untuk masing-masing lengan untuk memberikan gambaran umum tentang pola gerak. Kemudian memvisualisasikan data dengan melakukan plot kecepatan dengan waktu, plot sudut siku dengan waktu dan membuat grafik gerak. Selanjutnya melakukan perbandingan antara lengan kiri dan kanan serta mencari korelasinya. Dan dengan menggunakan klustering K-Means dibuat analisa pengelompokan dari pola gerakan berdasarkan kecepatan dan sudut siku

3. Hasil dan Pembahasan

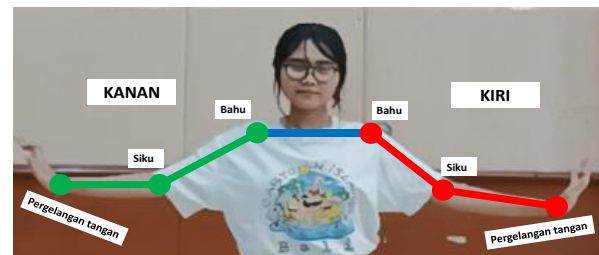
3.1. Data penelitian

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.2



Gambar 2. Ilustrasi posisi penari dalam pengambilan gerak berbasis *motion capture*

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.



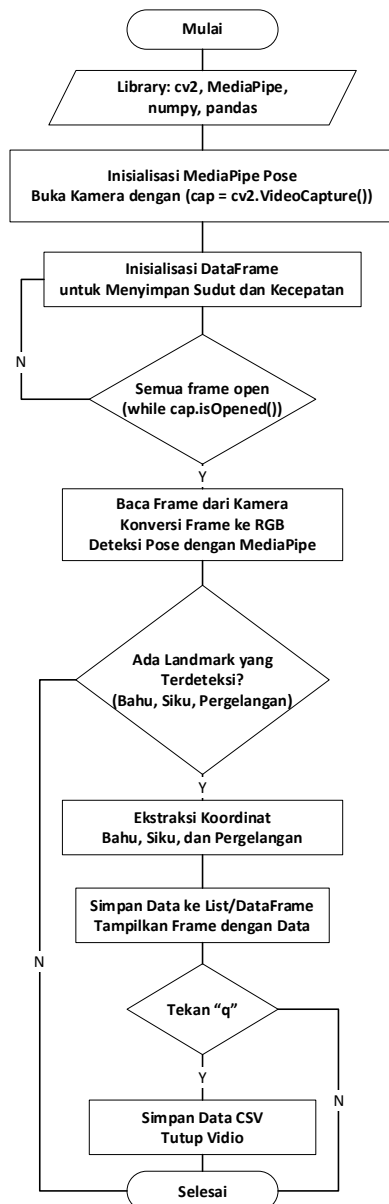
Gambar 3. Posisi titik deteksi pada penari pada tari Bedoyo Majapahit Berbasis Motion Capture

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 vidio yang tersimpan, selain itu terdapat label pada setiap bagian titik deteksi dengan koordinat titik tersebut, seperti Gambar 4. Sedangkan algoritma untuk proses pengambilan data ini seperti flowchart pada Gambar 5.



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



Gambar 5. Flowchart kamera mendeteksi pada penari dan menyimpan file hasil.

Setelah data dihasilkan maka dilakukan pembersihan data untuk persiapan sebelum dilakukan analisa data tersebut. Jumlah data yang dihasilkan sebanyak 4008 rows data dengan kondisi 2004 untuk lengan kanan dan 2004 untuk lengan kiri, atau terdapat 2003 *frame* hasil *record*, untuk durasi *record* 2 menit 40 detik.

3.2. Analisa data

Dalam melakukan analisa data diawali dengan analisa setiap *landmark* (bahu, siku, pergelangan), dengan menggunakan rumus 1, kemudian dilakukan analisis statistik deskriptif untuk tiga variabel kecepatan, yaitu kecepatan bahu, kecepatan siku, dan kecepatan pergelangan dihasilkan seperti Tabel.1.

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

Statistik	Kecepatan Bahu (m/s)	Kecepatan Siku (m/s)	Kecepatan Pergelangan (m/s)
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 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), mrnunjukkan 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: 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. 5., sedangkan grafik untuk distribusi kecepatan bahu, siku dan pergelangan tangan seperti pada Gambar 6.

Untuk analisa selanjutnya adalah menghitung akselerasi untuk perubahan kecepatan dalam periode waktu tertentu, dengan menggunakan Rumus 2. Kemudian hasil tersbut dilakukan analisis diskriptif untuk akselerasi bahu, akselerasi siku dan akselerasi pergelangan dihasilkan seperti Tabel 2.

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

Statistik	Akselerasi bahu (frame)	Akselerasi siku (frame)	Akselerasi pergelangan (frame)
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
75%	56,930803	68,412588	61,907338
max	122,387163	153,460065	152,379880

Dari Tabel 2, terlihat jumlah data sebanyak 4008, hal ini menunjukkan bahwa ada 4008 nilai akselerasi yang dihitung. Nilai dari *mean* atau rata-rata dari akselerasi untuk setiap titik adalah 0.000000, menunjukkan bahwa secara keseluruhan bahwa pergerakan akselerasi tidak terlalu signifikan dalam konteks ini.

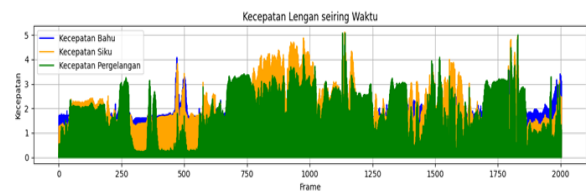
Untuk hasil Std menunjukkan seberapa banyak nilai akselerasi bervariasi dari rata-rata, dimana nilai menunjukkan variasi yang cukup besar, yaitu: Akselerasi bahu: 61.057309; Akselerasi siku: 75.934106; Akselerasi pergelangan: 66.862811.

Untuk hasil rentang Nilai minimum, adalah: Akselerasi bahu: -122.387163; Akselerasi siku: -153.460065; Akselerasi pergelangan: -152.379880

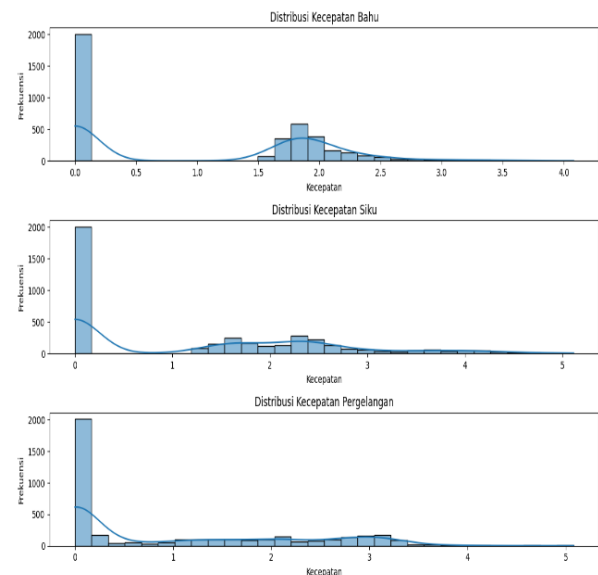
Unyuk nilai 25% atau kuartil pertama menunjukkan bahwa nilainya lebih rendah atau nilai di bawah 25% dari data. Sedangkan pada nilai *median* adalah 0,000000 ini menunjukkan bahwa separuh dari nilai akselerasi berada di bawah nol dan separuh lainnya berada di atas nol. Sama seperti kuartil pertama pada kuwartil ketiga menunjukkan nilai di bawah 75% dari data akselerasi. Sedangkan pada nilai maksimum

akselerasi, yaitu: Akselerasi bahu: 122.387163; Akselerasi siku: 153.460065; Akselerasi pergelangan: 152.379880.

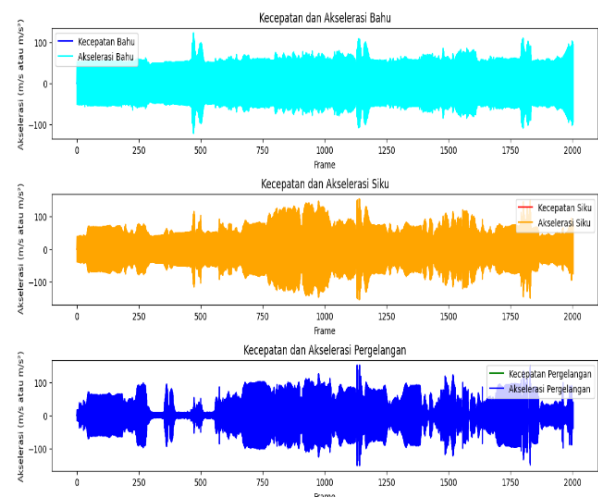
Grafik akselerasi lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 5. Grafik kecepatan lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan.



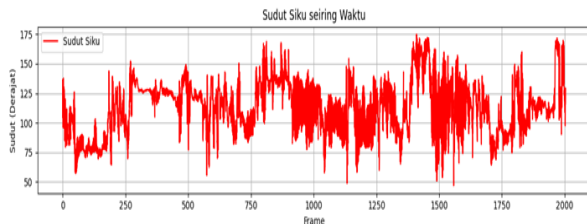
Gambar 6. Grafik distribusi kecepatan lengan yang meliputi bahu, siku dan pergelangan tangan.



Gambar 7. 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 seperti pada Rumus 3. Hasil grafik dari perhitungan sudut siku seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hasil perhitungan sudut siku.

Dari data tersebut dilakukan analisis statistik deskriptif terhadap sudut siku dan dihasilkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis statistik deskriptif untuk sudut siku

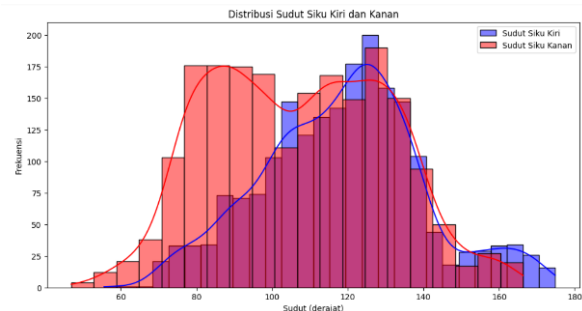
Statistik	Sudut Siku Kiri (derajat)	Sudut Siku Kanan (derajat)
count	2004	2004
mean	118,5675705	107,1593456
std	21,34576206	23,26983491
min	55,59339573	46,91356652
25%	104,2108663	87,88621382
50%	119,9712834	107,534737
75%	131,6193685	126,5057993
max	174,8544457	166,3690634

Hasil statistik deskriptif pada Tabel 3, memberikan ringkasan dari distribusi sudut siku kiri dan kanan dengan menggunakan 2004 data untuk sudut siku kiri dan kanan.

Dari hasil nilai *mean* sudut siku kiri adalah sekitar $118,57^{\circ}$ dan sudut siku kanan adalah sekitar $107,16^{\circ}$, hal tersebut menunjukkan bahwa secara umum, sudut siku kiri cenderung lebih besar daripada sudut siku kanan.

Untuk Std sudut siku kiri adalah $21,35^{\circ}$ dan sudut siku kanana dalah $23,27^{\circ}$, menunjukkan variabilitas yang sedikit lebih besar dibandingkan sudut siku kiri.

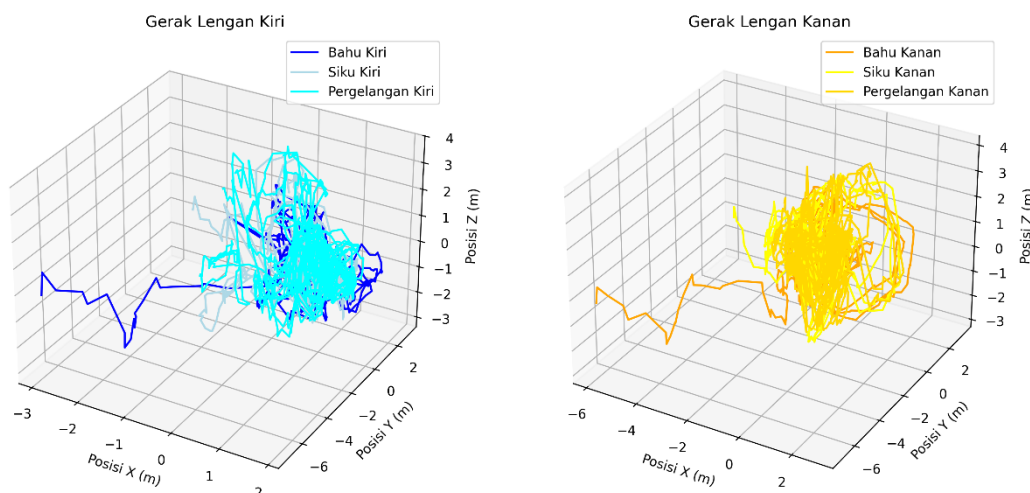
Sedangkan pada nilai minimum, untuk sudut siku kiri adalah $55,59^{\circ}$, sedangkan sudut siku kanan adalah sekitar $46,91^{\circ}$. Hasil pada kuartil pertama untuk nilai-nilai di bawah 25% dari data menghasilkan sudut siku kiri adalah sekitar $104,21^{\circ}$ dan sudut siku kanan adalah sekitar $87,89^{\circ}$. Sedabgkan pada nilai *median* untuk sudut siku kiri adalah sekitar $119,97^{\circ}$ dan untuk sudut siku kanan adalah sekitar $107,53^{\circ}$. pada bgian kuartil ketiga untuk kondisi data di bawah 75%, sudut siku kiri adalah sekitar $131,62^{\circ}$ dan sudut siku kanan adalah sekitar $126,51^{\circ}$. Pada hasil nilai maksimum, nilai terbesar sudut siku kiri adalah sekitar $174,85^{\circ}$ dan sudut siku kanan adalah sekitar $166,37^{\circ}$.



Gambar 9. Grafik distribusi sudut siku kiri dan sudut siku kanan.

Gambar untuk distribusi antara sudut siku kiri dan sudut siku kanan seperti Gambar 9.

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 10 yang merupakan bentuk histogram untuk menunjukkan distribusi sudut siku kiri dan kanan dengan kurva densitas sehingga terlihat pola distribusi.



Gambar 10. Grafik gerak untuk lengan kiri dan lengan kanan

Sumbu X mempunyai rentang nilai sudut siku berkisar dari sekitar 40° hingga 180° , menunjukkan bahwa sudut

siku dalam gerakan lengan penari, yang merepresentasikan variasi gerakan pada posisi yang

lebih tertutup (siku lebih tajam) sampai posisi lebih terbuka (siku mendekati lurus). Sedangkan Y (Frekuensi), menunjukkan menunjukkan jumlah atau frekuensi terjadinya sudut siku tertentu selama gerakan tari. Nilai frekuensi tinggi menunjukkan sudut yang paling sering muncul dalam tarian.

Dari kedua sisi (kiri dan kanan) memiliki rentang sudut yang hampir sama, tetapi intensitasnya (frekuensi puncak) sedikit berbeda, dimana sudut siku kanan memiliki distribusi yang lebih terpusat (lebih banyak data mendekati nilai tengah), sedangkan sudut siku kiri terlihat memiliki variasi yang lebih besar dengan distribusi lebih merata.

Tabel 4. Hasil analisis statistik deskriptif untuk gerak lengan kiri

	Lengan Kiri 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	0,7	0,06	-0,16
std	0,44	0,99	0,98	0,49	1,02	0,86	0,66	1	0,9
min	-2,94	-7,13	-3,24	-1,39	-3,12	-3,02	-1,24	-2,29	-2,87
25%	0,58	-0,62	-0,87	0,62	-0,29	-0,81	0,22	-0,68	-0,71
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 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

Analisis statistik deskriptif menunjukkan data gerakan lengan kiri pada Tabel 4 dan lengan kanan pada Tabel 5. Hasilnya memperlihatkan keselarasan dan simetri gerakan kedua lengan, seperti rata-rata posisi bahu di sumbu x yang hampir sama, yaitu 0,77 untuk kiri dan -0,77 untuk kanan, mencerminkan kesimetrisan gerakan secara horizontal. Simetri ini juga terlihat pada berbagai titik lainnya di berbagai sumbu, mengindikasikan bahwa gerakan tari dirancang untuk mempertahankan keseimbangan visual antara sisi kiri dan kanan tubuh.

Dalam variabilitas pergerakan dengan Std menunjukkan variabilitas atau keragaman dalam posisi tiap titik tubuh. Standar deviasi yang cukup tinggi pada beberapa titik, seperti pada bahu kanan dengan standar deviasi x sebesar 0.78 dan y sebesar 1.01, menunjukkan adanya variasi atau pergerakan yang dinamis dalam beberapa sumbu. Hal ini bisa berarti bahwa gerakan bahu dan pergelangan bervariasi lebih besar dibandingkan siku, yang mungkin karena pergelangan dan bahu memungkinkan gerakan yang lebih luas atau fleksibel dalam tari Bedoyo Majapahit.

Rentang antara nilai minimum dan maksimum menunjukkan ruang gerak untuk setiap titik. Seperti pada bahu kiri dan bahu kanan menunjukkan rentang yang cukup besar pada sumbu y, dengan nilai maksimum dan minimum berturut-turut 2.95 dan -7.13 pada kiri, serta 2.89 dan -6.96 pada kanan. Ini mungkin

menunjukkan bahwa gerakan vertikal pada bahu cukup signifikan dalam koreografi. Sedangkan pada sumbu z, nilai minimum dan maksimum yang cukup tinggi pada pergelangan kanan dari -2.60 hingga 4.22 menandakan rentang gerakan yang besar pada pergelangan, yang mungkin mencerminkan elemen tari yang melibatkan gestur atau pola gerak tangan yang luas.

Untuk nilai *median* sebagai indikator posisi dominan menunjukkan posisi tengah atau posisi yang paling sering terjadi di sepanjang gerakan tari. Seperti pada median bahu kiri pada sumbu x adalah sekitar 0.81, sementara bahu kanan adalah -0.87, yang menunjukkan posisi dominan atau pusat dari pergerakan bahu di sepanjang sumbu horizontal. Nilai ini merupakan sebuah informasi untuk memahami posisi dan bentuk tubuh yang sering dipertahankan dalam gerakan tari, seperti saat mempertahankan sikap atau pose tertentu.

Tabel 6. Hasil matrik korelasi kecepatan lengan kiri dan kanan

	Kecepatan bahu	Kecepatan siku	Kecepatan pergelangan
Kecepatan bahu	1,000000	0,714616	0,534955
Kecepatan siku	0,714616	1,000000	0,843206
Kecepatan pergelangan	0,534955	0,843206	1,000000

Selanjutnya dilakukan visualisasi analisis korelasi antara kecepatan lengan kiri dan lengan kanan, dihasilkan seperti Tabel 6. Tabel 6, menunjukkan

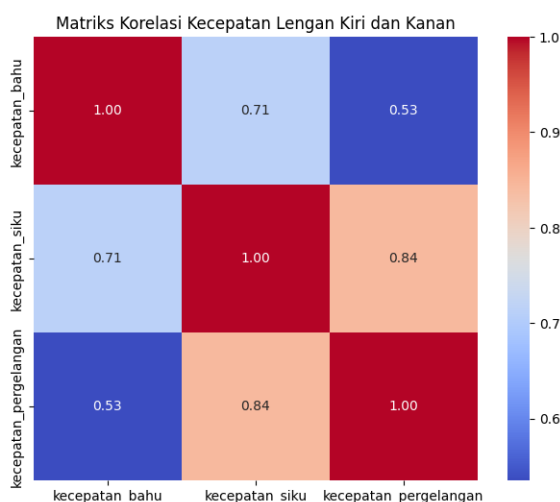
matriks korelasi untuk menunjukkan hubungan antara kecepatan gerakan bahu, siku, dan pergelangan tangan dalam tari Bedoyo Majapahit.

Korelasi antara kecepatan bahu dan siku menghasilkan nilai 0,714616, sehingga terdapat hubungan positif yang kuat antara kecepatan bahu dan siku. Hal tersebut berarti bahwa ketika kecepatan bahu meningkat, kecepatan siku cenderung juga meningkat. Dalam konteks tari, hal ini mungkin menunjukkan bahwa gerakan bahu dan siku saling berkoordinasi dalam eksekusi gerakan.

Korelasi antara kecepatan bahu dan pergelangan menghasilkan nilai 0,534955, menunjukkan hubungan antara kecepatan bahu dan pergelangan adalah positif tetapi lebih lemah dibandingkan dengan hubungan antara bahu dan siku. Ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan bahwa saat kecepatan bahu meningkat, kecepatan pergelangan juga meningkat, tetapi tidak sekuat hubungan antara bahu dan siku.

Korelasi antara kecepatan siku dan pergelangan menghasilkan nilai 0,843206, hal ini menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara kecepatan siku dan pergelangan dan berarti gerakan siku dan pergelangan cenderung terjadi secara bersamaan, dan peningkatan kecepatan pada siku sangat terkait dengan peningkatan kecepatan pada pergelangan. Dalam tari, ini mungkin mencerminkan pentingnya sinergi antara siku dan pergelangan dalam menciptakan gerakan yang halus dan terkoordinasi.

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 11.

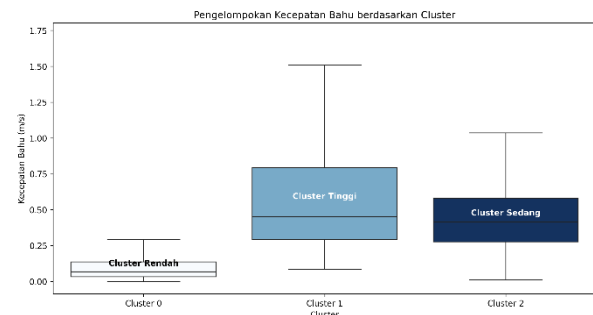


Gambar 11. Grafik korelasi antara lengan kiri dan kanan.

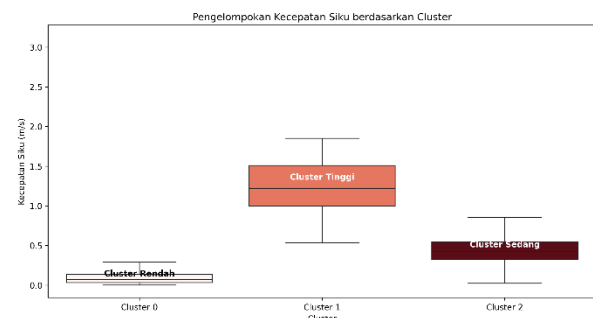
Untuk pola kecepatan dengan menggunakan *K-Mean* dilakukan analisis menghasilkan data *cluster* seperti Tabel 7, dan Gambar 12, 13, 14

Tabel 7. Hasil rata rata kecepatan per *cluster*

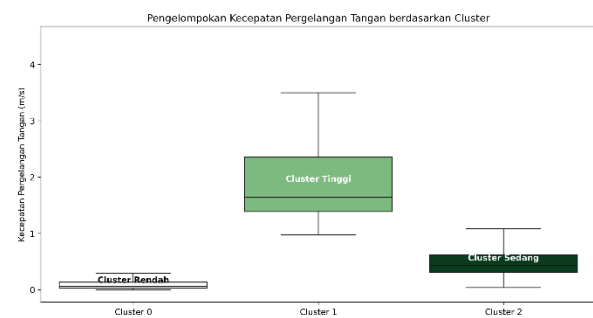
	Kecepatan bahu (m/s)	Kecepatan siku (m/s)	Kecepatan pergelangan (m/s)
Cluster rendah	0,097339	0,092492	0,091916
Cluster sedang	0,564027	1,307827	1,888714
Cluster tinggi	0,447744	0,456987	0,487540



Gambar 12. Grafik pengelompokan kecepatan bahu berdasar *cluster*.



Gambar 13. Grafik pengelompokan kecepatan siku berdasar *cluster*.



Gambar 14. Grafik pengelompokan kecepatan pergelangan tangan berdasarkan *cluster*.

Data cluster pada kecepatan bahu menunjukkan rata-rata kecepatan bahu sebesar 0.097339 m/s, berarti bahwa gerakan bahu dalam cluster ini relatif lambat, untuk rata-rata kecepatan bahu sebesar 0.564027 m/s, menunjukkan kecepatan bahu yang lebih tinggi, yang bisa berarti gerakan yang lebih aktif atau intens dan rata-rata kecepatan bahu sebesar 0.447744 m/s, menunjukkan kecepatan yang berada di antara cluster rendah dan tinggi.

Untuk kecepatan siku cluster rendah rata-rata kecepatan siku sebesar 0.092492 m/s., cluster tinggi rata-rata

kecepatan siku sebesar 1.307827 m/s, dan cluster sedang mempunyai rata-rata kecepatan siku sebesar 0.456987 m/s.

Rata-rata kecepatan pergelangan tangan untuk cluster rendah sebesar 0.091916 m/s, untuk cluster tinggi rata-rata kecepatan pergelangan sebesar 1.888714 m/s, menunjukkan kecepatan yang sangat tinggi, yang menunjukkan aktivitas yang signifikan pada pergelangan. Sedangkan cluster sedang nilai rata-rata kecepatan pergelangan sebesar 0.487540 m/s

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, Kecepatan Gerakan Lengan: Kecepatan siku lebih tinggi dan bervariasi dibandingkan dengan bahu dan pergelangan, menunjukkan akselerasi yang menonjol dalam gerakan tari. Sebagian besar nilai kecepatan mendekati nol, mencerminkan dominasi gerakan lambat atau gerakan yang menahan posisi dalam tari Bedoyo Majapahit.; Distribusi Sudut Siku: Rata-rata sudut siku kiri lebih besar dibandingkan siku kanan, namun sudut siku kanan menunjukkan variabilitas yang sedikit lebih tinggi. Pergelangan tangan kiri dan kanan memiliki perbedaan rata-rata pada sumbu y dan z, dengan sumbu z menunjukkan variabilitas besar, mencerminkan fleksibilitas dan variasi posisi yang tinggi.; Stabilitas Pola Bahu: Bahu kiri dan kanan menunjukkan pola distribusi yang stabil, yang berfungsi sebagai pusat keseimbangan gerakan lengan dalam koreografi tari.; Simetri dan Ekspresi Gerakan: Terdapat keseimbangan simetris antara lengan kiri dan kanan, dengan rentang gerakan terbesar pada pergelangan tangan. Variasi pada sumbu tertentu, seperti sumbu z pada pergelangan, menekankan elemen ekspresif yang kuat.; Korelasi Antar Bagian Tubuh: Hubungan yang signifikan antara kecepatan bahu, siku, dan pergelangan menunjukkan harmoni gerakan, di mana satu bagian tubuh memengaruhi bagian lainnya untuk menciptakan keselarasan.; Cluster Pola Gerakan (Cluster Rendah: Gerakan lembut dan anggun, mencerminkan simbolisme dan ritme tenang yang menekankan kedamaian dan keindahan. Cluster Sedang: Gerakan dengan kecepatan sedang, mencerminkan perubahan dinamis, seperti transisi atau interaksi dengan musik, yang menunjukkan perpaduan antara ketenangan dan keaktifan. Cluster Tinggi: Gerakan cepat dan tajam, menggambarkan elemen dramatik dan energetik, sering digunakan untuk mengekspresikan emosi atau menekankan elemen penting dalam narasi tari). Sehingga secara umum gerakan lengan dalam tari Bedoyo Majapahit mencerminkan keseimbangan antara keanggunan, harmoni, dan dinamika. Kecepatan dan variasi dalam sudut siku, pergelangan, serta korelasi antarbagian tubuh menggambarkan keindahan koreografi yang memadukan ekspresi halus dan energi dramatis, menciptakan harmoni visual dan makna simbolis dalam

tarian. Hasil penelitian ini memiliki sejumlah implikasi praktis yang dapat dimanfaatkan oleh sanggar tari dan lembaga budaya dalam upaya pelestarian tari Bedoyo Majapahit, seperti untuk pembuatan modul latihan dan pelatihan berbasis ilmiah yang berasal dari data pola gerakan lengan yang dihasilkan, pengembangan teknologi pembelajaran digital seperti *augmented reality (AR)* atau *virtual reality (VR)* dan juga standarisasi gerakan tari. Penelitian ini terbatas pada satu penari dan gerakan lengan saja. Penelitian lanjutan disarankan melibatkan lebih banyak penari, analisis gerakan tubuh keseluruhan, serta dilakukan dalam konteks pertunjukan asli untuk hasil lebih representatif.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada LPPM UWKS yang sudah memberikan pendanaan hibah internal penelitian melalui Hibah ENIMAS 2024 (Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat)

Daftar Rujukan

- [1] Kuswarsantyo, *APRESIASI BUDAYA*. Lingkaran, 2019.
- [2] W. W. T. Lam, Y. M. Tang, and K. N. K. Fong, "A systematic review of the applications of markerless motion capture (MMC) technology for clinical measurement in rehabilitation," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–26, Dec. 2023, doi: 10.1186/S12984-023-01186-9/TABLES/2.
- [3] H. ZHENG, R. SHIOYA, C. KATO, and K. HARADA, "マーカーレスモーションキャプチャによる舞台衣装を着用時の動作推定," *Proc. Mech. Eng. Congr. Japan*, vol. 2023, no. 0, pp. S235-01, 2023, doi: 10.1299/JSMEMEJ.2023.S235-01.
- [4] M. Wang and R. Yu, "Digital production and realization for traditional dance movements based on Motion Capture Technology," *Front. Soc. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 11, pp. 13–18, Dec. 2022, doi: 10.25236/FSST.2022.041102.
- [5] K. Sun, "Research on Dance Motion Capture Technology for Visualization Requirements," *Sci. Program.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/2062791.
- [6] X. Jiang, "Application of motion capture technology based on dance big data in dance retrieval," *Appl. Math. Nonlinear Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 2927–2938, Jul. 2023, doi: 10.2478/AMNS.2023.2.00009.
- [7] L. Zaman, "Model Generatif Berbasis Recurrent Neural Network Untuk Gerakan Tari Tradisional Indonesia," Nov. 2020.
- [8] N. Kurniati, A. Basuki, and D. Pramadihanto, "Remo Dance Motion Estimation with Markerless Motion Capture Using The Optical Flow Method," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–18, Mar. 2015, doi: 10.24003/EMITTER.V3I1.33.
- [9] F. (Fitria) Gustiani, K. (Kevin) Sujono, R. A. (Reza) Maulana, and D. A. (Dwi) Capah, "Aplikasi Pembelajaran Tari Tradisional Indonesia Sebagai Media Pengembangan Bakat Pada Generasi Z Berbasis Web," *J. Ilm. Betrik*, vol. 12, no. 3, pp. 278–288, Dec. 2021, doi: 10.36050/BETRIK.V12I3.399.
- [10] H. Bhuyan, J. Killi, J. K. Dash, P. P. Das, and S. Paul, "Motion Recognition in Bharatanatyam Dance," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 67128–67139, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3184735.
- [11] M. Yoshimura, H. Murasato, T. Kai, A. Kuromiya, K. Yokoyama, and K. Hachimura, "Analysis of Japanese dance movements using motion capture system," *Syst.*

- Comput. Japan*, vol. 37, no. 1, pp. 71–82, Jan. 2006, doi: 10.1002/SCJ.20250.
- [12] N. Nakano *et al.*, “Evaluation of 3D Markerless Motion Capture Accuracy Using OpenPose With Multiple Video Cameras,” *Front. Sport. Act. living*, vol. 2, May 2020, doi: 10.3389/FSPOR.2020.00050.
- [13] D. D. Vo and R. Butler, “A Review of Deep Learning Techniques for Markerless Human Motion on Synthetic Datasets,” Jan. 2022, Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2201.02503v1>
- [14] R. R. Bini, F. A. Moura, P. R. P. Santiago, S. Colyer, and N. Vanicek, “Special issue themes: Markerless motion analysis in sport and exercise,” *J. Sports Sci.*, vol. 42, no. 1, pp. 1–2, Jan. 2024, doi: 10.1080/02640414.2024.2317652.
- [15] M. Pardell *et al.*, “Movement Outcomes Acquired via Markerless Motion Capture Systems Compared with Marker-Based Systems for Adult Patient Populations: A Scoping Review,” *Biomech. 2024, Vol. 4, Pages 618-632*, vol. 4, no. 4, pp. 618–632, Oct. 2024, doi: 10.3390/BIOMECHANICS4040044.