

**MODERNISASI SISTEM PENILAIAN JURUS SENI
TUNGGAL PENCAK SILAT BERBASIS WEB
MENGUNAKAN METODE POSE ESTIMATION**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

FITRA NURDIANSYAH BATUBARA

NPM. 2209010195



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Sistem Informasi pada Fakultas
Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara**

FITRA NURDIANSYAH BATUBARA NPM.

2209010195

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : MODERNISASI SISTEM PENILAIAN JURUS SENI
TUNGGAL PENCAK SILAT BERBASIS WEB
MENGUNAKAN METODE POSE ESTIMATION

Nama Mahasiswa : FITRA NURDIANSYAH BATUBARA
NPM : 2209010195
Program Studi : SISTEM INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing
an. 

(Halim Maulana S.T., M.Kom.)

NIDN. 0105067603

Ketua Program Studi



(Mahardika Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0117088902

Dekan


(Dr. A. Rizkiyati, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

MODERNISASI SISTEM PENILAIAN JURUS SENI TUNGGAL PENCAK SILAT BERBASIS WEB MENGGUNAKAN METODE POSE ESTIMATION

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 10 Oktober 2026

Yang membuat pernyataan


Fitra Nutmansyah Batubara
NPM. 2209010195

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Fitra Nurdiansyah Batubara
NPM	: 2209010195
Program Studi	: Sistem Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**MODERNISASI SISTEM PENILAIAN JURUS SENI TUNGGAL PENCAK SILAT
BERBASIS WEB MENGGUNAKAN METODE POSE ESTIMATION**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 10 Oktober 2026

at pernyataan

Fitra Nurdiansyah Batubara
NPM. 2209010195

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	:	Fitra Nurdiansyah Batubara
Tempat dan Tanggal Lahir	:	Tanjungbalai, 4 Desember 2003
Alamat Rumah	:	Jl.Kurnia LkIX
Telepon/Faks/HP	:	0895423902204
E-mail	:	fitra041203@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	:	
Alamat Kantor	:	

DATA PENDIDIKAN

SD	:	SD Negeri 132406 (5) Tanjungbalai	TAMAT: 2016
SMP	:	SMP Negeri 10 Tanjungbalai	TAMAT: 2019
SMA	:	SMK Negeri 4 Tanjungbalai	TAMAT: 2022

KATA PENGANTAR



Puji Syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT berkat Rahmat, hidayah dan karunia-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“METODE POSE ESTIMATION DALAM SISTEM PENILAIAN SENI TUNGGAL PENCAK SILAT BERBASIS WEB”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini terwujud berkat bantuan, arahan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, M.Kom. selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si., M.Kom. selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
5. Bapak Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom. Ketua Program Studi Sistem Informasi
6. Bapak Mulkan Azhari, S.Kom., M.Kom. Sekretaris Program Studi Sistem Informasi
7. Bapak Halim Maulana, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing skripsi saya
8. Bapak Farid Akbar Siregar, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menempuh Pendidikan di perguruan tinggi.
9. Ibu Fatma sari Hutagalung S.Pd, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembahas yang telah memberikan kritikan dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan proposal hingga skripsi.

10. Dosen beserta Staff Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang tidak dapat penulis sebut satu persatu karena telah memberikan banyak ilmu dan masukan kepada penulis.
11. Teristimewa kepada Kedua Orangtua Penulis, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, nasihat, serta pengorbanan yang tidak pernah putus kepada penulis. Terima kasih atas segala cinta, perhatian, dan semangat yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dan penyusunan skripsi ini.
12. Kepada teman-teman seperjuangan Terutama Teman Teman KKN Saya yang telah memberikan dukungan, bantuan, motivasi, serta menjadi tempat berbagi cerita dan pengalaman selama masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, dan kenangan yang telah diberikan kepada penulis,

Skripsi ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun untuk bahan pembelajaran berkesinambungan di masa depan. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

MODERNISASI SISTEM PENILAIAN JURUS SENI TUNGGAL PENCAK SILAT BERBASIS WEB MENGGUNAKAN METODE POSE ESTIMATION

ABSTRAK

Penilaian gerakan Seni Tunggal Pencak Silat merupakan proses yang membutuhkan ketelitian untuk memastikan kesesuaian gerakan pesilat dengan gerakan referensi. Namun, proses penilaian yang masih dilakukan secara manual berpotensi menimbulkan subjektivitas dan ketidakkonsistenan dalam penilaian. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem penilaian gerakan Seni Tunggal Pencak Silat berbasis web menggunakan metode *Human Pose Estimation*. Metode yang diterapkan memanfaatkan *MediaPipe Pose* untuk mendeteksi titik-titik persendian tubuh pesilat, menghitung sudut persendian, serta menganalisis kesesuaian gerakan, transisi antar gerakan, dan durasi penampilan. Proses penilaian menggunakan tiga komponen utama, yaitu *Angle Score* sebesar 60%, *Transition Score* sebesar 25%, dan *Duration Score* sebesar 15%. Hasil pengujian terhadap 1.867 *frame* video referensi menunjukkan bahwa sebanyak 1.845 *frame* memiliki sudut persendian yang valid, dengan persentase sebesar 98,8%. Sistem juga mampu melakukan pencocokan gerakan secara berurutan, menghitung nilai akhir secara otomatis, menyimpan hasil penilaian, menampilkan video hasil analisis, serta menyusun peringkat peserta. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat membantu proses penilaian gerakan Seni Tunggal Pencak Silat secara kuantitatif dan terstruktur. Meskipun demikian, sistem masih berperan sebagai alat bantu penilaian karena aspek artistik dan aspek lain yang membutuhkan pengamatan langsung tetap memerlukan pertimbangan juri.

Kata Kunci: Pencak Silat, Seni Tunggal, *Human Pose Estimation*, MediaPipe Pose, Sistem Penilaian Berbasis Web.

MODERNIZATION OF A WEB-BASED PENCAK SILAT SINGLE ART MOVEMENT SCORING SYSTEM USING THE POSE ESTIMATION METHOD

ABSTRACT

The assessment of Seni Tunggal Pencak Silat movements requires accuracy to ensure the conformity of athletes' movements with reference movements. However, the assessment process is still conducted manually, potentially leading to subjectivity and inconsistency in scoring. This study aims to design and develop a web-based assessment system for Seni Tunggal Pencak Silat movements using the Human Pose Estimation method. The method utilizes MediaPipe Pose to detect the athlete's body joint landmarks, calculate joint angles, and analyze movement conformity, transitions between movements, and performance duration. The assessment process uses three main components: Angle Score of 60%, Transition Score of 25%, and Duration Score of 15%. Testing on 1,867 frames of the reference video showed that 1,845 frames had valid joint angles, representing 98.8%. The system is also capable of performing sequential movement matching, automatically calculating final scores, storing assessment results, displaying analysis videos, and ranking participants. This study concludes that the developed system can support the assessment of Seni Tunggal Pencak Silat movements in a quantitative and structured manner. Nevertheless, the system serves as an assessment support tool, as artistic aspects and other aspects requiring direct observation still require judges' consideration.

Keywords: Pencak Silat, Seni Tunggal, Human Pose Estimation, MediaPipe Pose, Web-Based Assessment System.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3. BATASAN MASALAH.....	3
1.4. TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.5. MANFAAT PENELITIAN.....	5
BAB II. LANDASAN TEORI.....	7
2.1. PENCAK SILAT	7
2.2. PENGOLAHAN CITRA	8
2.3. COMPUTER VISION	10
2.4. HUMAN POSE ESTIMATION.....	13
2.5. ALGORITMA MEDIAPIPE POSE	17
2.6. ANALISIS BIOMEKANIKA DAN SUDUT PERSENDIAN	19
2.7. ANALISIS TEMPORAL GERAKAN	21
2.8. SISTEM BERBASIS WEB	23
2.9. PENELITIAN TERDAHULU	24
2.10. KERANGKA BERPIKIR.....	29
BAB III. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM	31
3.1. ANALISIS PERMASALAHAN	31
3.1.1. IDENTIFIKASI PERMASALAHAN	31
3.1.2. ANALISIS AKAR PERMASALAHAN	33
3.1.3 KEBUTUHAN SOSIAL	33
3.1.4 KESIMPULAN ANALISIS PERMASALAHAN	34
3.2. GAMBARAN SISTEM.....	34
3.2.1. DECISION SUPPORT TOOL UNTUK JURI.....	35
3.2.2. ANALISIS KEBUTUHAN SISTEM	37
3.2.3. ANALISIS ALUR PROSES SISTEM PENILAIAN	40

3.2.4. DESKRIPSI PROSES SISTEM	42
3.3. ALGORITMA SISTEM	43
3.3.1. PIPELINE SISTEM	44
3.3.2. FLOWCHART POSE ESTIMATION	47
3.3.3. PERHITUNGAN SISTEM	50
3.3.4. PERHITUNGAN SUDUT PERSENDIAN	50
3.3.5. PERHITUNGAN NILAI TRANSISI	52
3.3.6. PERHITUNGAN NILAI DURASI	52
3.3.7. PERHITUNGAN NILAI AKHIR	53
3.4. PERANCANGAN ARSITEKTUR SISTEM	53
3.5. PERANCANGAN SISTEM (UML)	57
3.5.1. USE CASE DIAGRAM	58
3.5.2. ACTIVITY DIAGRAM	60
3.5.3. SEQUENCE DIAGRAM	62
3.5.4. CLASS DIAGRAM	64
3.6. RANCANGAN ANTARMUKA	66
BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM	71
4.1. IMPLEMENTASI DATA DAN METODE	71
4.1.1. IMPLEMENTASI DATA DAN REFERENSI	71
4.1.2. IMPLEMENTASI HUMANPOSE ESTIMATION	72
4.1.3. IMPLEMENTASI PERHITUNGAN SUDUT TUBUH	72
4.1.4. IMPLEMENTASI PENCOCOKAN GERAKAN	73
4.1.5. IMPLEMENTASI PERHITUNGAN SCORE	75
4.2. IMPLEMENTASI SISTEM	76
4.2.1. HALAMAN LOGIN	76
4.2.2. HALAMAN DASHBOARD	77
4.2.3. HALAMAN PENILAIAN	77
4.2.4. HALAMAN HASIL PENILAIAN	79
4.2.5. HALAMAN PERINGKAT	80
4.2.6. IMPLEMENTASI PENYIMPANAN DATA	81
4.3. PENGUJIAN SISTEM	82
4.3.1. PENGUJIAN FUNGSIONAL SISTEM	82
4.3.2. PENGUJIAN HUMAN POSE ESTIMATION	84
4.3.3. PENGUJIAN PERHITUNGAN SUDUT TUBUH	85
4.3.4. PENGUJIAN KELENGKAPAN GERAKAN	87
4.3.5. PENGUJIAN PERHITUNGAN SCORE	89
4.3.6. PENGUJIAN DURASI	90
4.3.7. PENGUJIAN VIDEO HASIL PENILAIAN	91
4.3.8. PENGUJIAN PENYIMPANAN DAN RANKING	91
4.3.9. ANALISIS HASIL PENGUJIAN	92

4.4. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN SISTEM	93
4.4.1. KELEBIHAN SISTEM.....	94
4.4.2. KEKURANGAN SISTEM	96
BAB V PENUTUP	99
5.1. KESIMPULAN	99
5.2. SARAN	99
DAFTAR PUSTAKA.....	101

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1. Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu.....	29
Tabel 3.1. Kebutuhan Fungsional.....	38
Tabel 3.2. Kebutuhan Non Fungsional.....	40
Tabel 3.4. Deskripsi Use Case.....	60
Tabel 4.1. Pengujian Fungsional Sistem.....	84
Tabel 4.2. Hasil Parameter Sudut.....	87
Tabel 4.3. Progress Pencocokan Gerakan.....	88
Tabel 4.4. Tampilan Hasil Perhitungan Score.....	90
Tabel 4.5. Tabel Pengujian Sistem.....	92

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Konsep Pengolahan Citra Digital.....10
Gambar 2.2	Contoh Penggunaan Human Pose Estimation.....17
Gambar 2.3	33 Keypoint MediaPipe Pose.....19
Gambar 2.4	Kerangka Berpikir Penelitian.....29
Gambar 3.1	Flowchart Pose Estimation.....48
Gambar 3.2	Use Case Diagram.....59
Gambar 3.3	Activity Diagram.....61
Gambar 3.4	Sequence Diagram.....63
Gambar 3.5	Class Diagram.....65
Gambar 3.6	Halaman Login Sistem.....68
Gambar 3.7	Halaman Dashboard Sistem Penilaian.....69
Gambar 3.8	Halaman Penilaian Sistem.....70
Gambar 4.1	Data Referensi Gerakan.....71
Gambar 4.2	Hasil Test Extract menggunakan Mediapipe Pose.....72
Gambar 4.3	Hasil Perhitungan Sudut Tubuh.....73
Gambar 4.4	Proses Ekstraksi Referensi dan Pencocokan Gerakan75
Gambar 4.5	Hasil Perhitungan Score.....76
Gambar 4.6	Halaman Login.....76
Gambar 4.7	Dashboard Sistem.....77
Gambar 4.8	Halaman Penilaian.....78
Gambar 4.9	Halaman Hasil Penilaian.....79
Gambar 4.10	Halaman Peringkat atau Ranking.....81
Gambar 4.11	Data Hasil Penilaian Database.....81
Gambar 4.12	Hasil Deteksi HPE.....85
Gambar 4.13	Hasil Perhitungan Parameter Sudut.....87
Gambar 4.14	Progress Pencocokan Reference.....89
Gambar 4.15	Perhitungan Durasi.....91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pencak silat merupakan salah satu hasil masyarakat Indonesia dan termasuk budaya masyarakat rumpun melayu.(Agus & Fahrizqi, 2020) Pada kategori ini, pesilat dituntut untuk menampilkan rangkaian gerakan yang sesuai dengan standar teknik, ketepatan urutan, serta durasi yang telah ditentukan.

Dalam proses penilaian seni tunggal pencak silat, juri memiliki peran penting dalam menentukan kualitas penampilan pesilat. Namun, dalam praktiknya proses penilaian masih dilakukan secara manual dan sangat bergantung pada subjektivitas, pengalaman, serta konsentrasi juri. Hal ini menimbulkan potensi ketidak konsistenan dalam penilaian, terutama ketika terdapat banyak peserta dengan gerakan yang memiliki kemiripan.(Syaifullah & Doewes, 2020)

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem penilaian yang ada masih memiliki keterbatasan, khususnya dalam mengamati detail gerakan secara presisi dan objektif. Permasalahan serupa juga ditemukan dalam bidang lain yang melibatkan evaluasi gerakan manusia, di mana keterbatasan instruktur serta waktu menjadi kendala dalam melakukan penilaian secara konsisten dan akurat (Suhandi & Santoso, 2024) ("*Personal Training with Tai Chi: Classifying Movement using Mediapipe Pose Estimation and LSTM*").

Seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang computer vision dan kecerdasan buatan, muncul berbagai metode yang mampu menganalisis gerakan manusia secara otomatis.(Syaifullah & Doewes, 2020) Salah satu metode

yang berkembang pesat adalah human pose estimation, yaitu teknik yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia dalam bentuk titik-titik persendian dari citra atau video. Teknologi ini memungkinkan sistem untuk mengubah gerakan menjadi data numerik yang dapat dianalisis secara komputasi.

Dalam penerapannya, pose estimation telah digunakan pada berbagai bidang, seperti olahraga dan pembelajaran gerakan. (Suhandi & Santoso, 2024) ("*Personal Training with Tai Chi: Classifying Movement using Mediapipe Pose Estimation and LSTM*") menunjukkan bahwa kombinasi MediaPipe dan metode machine learning mampu mengklasifikasikan gerakan dengan tingkat akurasi yang tinggi serta mendukung latihan mandiri secara efektif. Selain itu, penelitian (Sahrani et al., 2022) ("*Sistem Pembelajaran Pencak Silat Berbasis Multimedia Menggunakan Android*") menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran gerakan pencak silat secara interaktif.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada aspek pembelajaran dan pengenalan gerakan, serta belum banyak yang mengembangkan sistem penilaian otomatis berbasis analisis gerakan secara kuantitatif. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (research gap) dalam pengembangan sistem penilaian pencak silat yang objektif, konsisten, dan berbasis teknologi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan analisis dan penilaian gerakan secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi pose estimation. Dengan mengolah data gerakan dalam bentuk titik-titik persendian, sistem dapat menghitung sudut, pola, serta kesesuaian gerakan secara objektif dan terukur.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem penilaian jurus seni tunggal pencak silat berbasis web dengan menggunakan metode pose estimation. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan hasil penilaian yang lebih objektif, cepat, dan konsisten, serta dapat menjadi alat bantu bagi juri dalam meningkatkan kualitas penilaian pada pertandingan pencak silat sederhana.

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan dengan judul “**Implementasi** Human Pose Estimation untuk Penilaian Jurus Seni Tunggal Pencak Silat Berbasis Web”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini maka rumusan masalah yang ingin dibuat sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem penilaian untuk membantu proses penjurian pada pertandingan Seni Tunggal Pencak Silat?
2. Bagaimana menerapkan metode *pose estimation* untuk mendeteksi gerakan pesilat dari citra video?
3. Bagaimana menghitung tingkat akurasi gerakan pesilat secara otomatis berdasarkan pose tubuh yang terdeteksi?
4. Bagaimana sistem mengidentifikasi kesesuaian gerakan pesilat dengan gerakan pada video referensi?
5. Bagaimana mengintegrasikan proses pengolahan citra video ke dalam sistem penilaian berbasis web?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan tujuan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada kategori Seni Tunggal Pencak Silat.
2. Data yang digunakan berupa citra video penampilan pesilat dengan satu orang pesilat dalam satu frame.
3. Sistem hanya menganalisis gerakan tubuh pesilat dan tidak mencakup ekspresi wajah atau penilaian artistik subjektif.
4. Metode yang digunakan dalam pendeteksian gerakan adalah pose estimation dengan model *pre-trained*.
5. Penilaian gerakan didasarkan pada ketepatan pose tubuh, akurasi sudut persendian, dan urutan gerakan.
6. Durasi penampilan ideal yang digunakan sebagai acuan diambil dari durasi yang ada di video referensi.
7. Sistem dikembangkan dalam bentuk aplikasi berbasis web dan diuji pada lingkungan terbatas.
8. Sistem berfungsi sebagai alat bantu penilaian dan tidak sepenuhnya menggantikan peran juri.
9. Penelitian tidak membahas proses pelatihan ulang (*training*) model pose estimation.
10. Pengujian sistem dilakukan pada kondisi pencahayaan dan sudut kamera yang telah ditentukan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah :

1. Merancang sistem penilaian berbasis web untuk membantu proses penjurian pada

pertandingan Seni Tunggal Pencak Silat.

2. Menerapkan metode *pose estimation* untuk mendeteksi dan mengekstraksi Gerakan pesilat dari citra video
3. Mengembangkan mekanisme perhitungan Tingkat akurasi Gerakan pesilat secara otomatis berdasarkan pose tubuh
4. Mengembangkan mekanisme identifikasi kesesuaian gerakan pesilat dengan gerakan pada video referensi berdasarkan hasil deteksi pose tubuh.
5. Mengintegrasikan proses pengolahan citra video dan penilaian Gerakan ke dalam sebuah sistem penilaian berbasis web

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis :
 - a. Menambah wawasan dan pemahaman dalam menerapkan konsep *computer vision* dan *pose estimation* dalam analisis gerakan manusia, khususnya pada pencak silat.
 - b. Melatih kemampuan analisis dan pemecahan masalah melalui penerapan metode perhitungan sudut persendian, analisis transisi gerakan, dan evaluasi durasi secara sistematis.
 - c. Menjadi kontribusi ilmiah penulis dalam mengembangkan sistem penilaian berbasis teknologi yang relevan dengan perkembangan digitalisasi olahraga.
2. Bagi Pengguna seperti atlet dan pelatih :
 - a. Membantu dalam melakukan penilaian gerakan pencak silat secara lebih objektif sebagai alat bantu evaluasi, bukan sebagai pengganti penilaian juri.
 - b. Memberikan informasi tambahan berupa hasil analisis gerakan yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam meningkatkan kualitas latihan

pesilat.

- c. Mempermudah proses evaluasi gerakan secara mandiri dengan memanfaatkan sistem berbasis Teknologi
3. Bagi Instansi /Organisasi Olahraga:
- a. Mendukung modernisasi sistem penilaian dalam cabang olahraga pencak silat berbasis teknologi digital.
 - b. Membantu dalam meningkatkan efisiensi proses penilaian pada latihan maupun kompetisi.
 - c. Menjadi alternatif sistem pendukung keputusan bagi juri dalam memberikan penilaian yang lebih akurat dan transparan.
4. Bagi Keilmuan :
- a. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penerapan pose estimation dan computer vision dalam analisis gerakan olahraga.
 - b. Memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan (AI) di bidang olahraga, khususnya pencak silat.
 - c. Mengembangkan pemanfaatan teknologi dalam mengintegrasikan analisis gerakan dengan sistem penilaian otomatis berbasis web.

BAB

II

LANDASAN

TEORI

2.1. Pencak Silat

Pencak silat merupakan seni bela diri tradisional yang berasal dari Indonesia dan telah berkembang menjadi salah satu cabang olahraga yang dipertandingkan baik di tingkat nasional maupun internasional. Pencak silat tidak hanya mengandung unsur bela diri, tetapi juga mencakup aspek seni, budaya, dan olahraga yang mengutamakan keindahan gerakan, ketepatan teknik, serta keseimbangan tubuh.

Dalam kategori pertandingan, pencak silat terdiri dari beberapa jenis, salah satunya adalah Seni Tunggal, yaitu kategori yang menampilkan rangkaian gerakan baku yang harus dilakukan secara berurutan dengan teknik yang benar. Setiap gerakan memiliki standar penilaian yang meliputi ketepatan posisi tubuh, kestabilan, serta kesesuaian dengan pola gerakan yang telah ditentukan.

Menurut (Taruna S et al., 2022) pencak silat memiliki banyak variasi gerakan yang kompleks sehingga diperlukan media atau sistem yang dapat membantu dalam proses pembelajaran dan evaluasi gerakan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi berbasis multimedia maupun kecerdasan buatan dapat digunakan untuk meningkatkan pemahaman dan ketepatan dalam melakukan gerakan pencak silat.

Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa teknologi computer vision dan machine learning dapat diterapkan untuk mengenali dan mengklasifikasikan

gerakan pencak silat secara otomatis. Dengan memanfaatkan metode *Human Pose Estimation*, sistem dapat mendeteksi posisi tubuh pesilat dalam bentuk titik-titik kunci (*keypoints*) yang kemudian dianalisis untuk menentukan kualitas gerakan.

Penggunaan teknologi ini memungkinkan proses evaluasi gerakan menjadi lebih objektif dan konsisten, karena penilaian tidak hanya bergantung pada pengamatan manusia, tetapi juga didasarkan pada perhitungan matematis seperti sudut persendian dan pola gerakan tubuh. Hal ini sangat penting dalam kategori Seni Tunggal, di mana ketepatan teknik dan kestabilan postur menjadi faktor utama dalam penilaian.

Dengan demikian, penerapan teknologi computer vision dan pose estimation dalam pencak silat dapat membantu dalam proses analisis gerakan, meningkatkan kualitas latihan, serta mendukung pengembangan sistem penilaian otomatis berbasis teknologi.

2.2. Pengolahan Citra

Pengolahan citra merupakan salah satu cabang ilmu dalam bidang *computer vision* yang berfokus pada proses pembentukan, pemrosesan, dan analisis citra digital untuk menghasilkan informasi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Citra digital sendiri merupakan representasi visual dari suatu objek yang dapat diolah menggunakan komputer sehingga menghasilkan informasi yang lebih bermakna dan mudah dianalisis.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Ashillah et al., 2025) ("*Implementasi Algoritma Pengolahan Citra Digital untuk Perbaikan Kualitas Gambar*"), pengolahan citra digital merupakan teknik yang digunakan untuk memanipulasi dan menganalisis citra guna

memperoleh hasil yang lebih optimal, baik dari segi kualitas visual maupun informasi yang terkandung di dalamnya . Teknik ini mencakup berbagai metode seperti *median filter*, *histogram equalization*, serta *unsharp masking* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas citra.

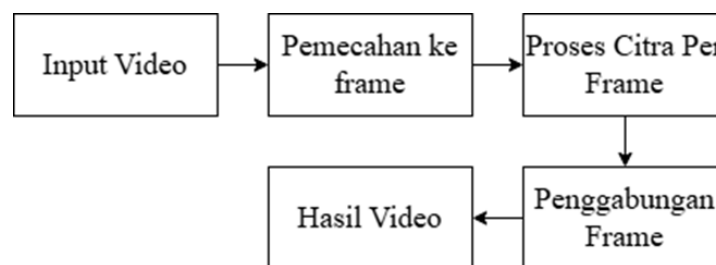
Selain itu, pengolahan citra juga didefinisikan sebagai proses yang digunakan untuk membentuk, memproses, dan menganalisis citra sehingga menghasilkan informasi yang dapat dipahami dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti medis, keamanan, dan pengolahan citra satelit . Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan citra memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan analisis visual.

Dalam prosesnya, pengolahan citra terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu akuisisi citra, peningkatan kualitas citra (*image enhancement*), segmentasi citra, serta ekstraksi fitur. Tahapan akuisisi citra merupakan proses pengambilan gambar menggunakan perangkat seperti kamera atau sensor. Selanjutnya, citra akan diproses untuk meningkatkan kualitasnya dengan cara mengurangi noise, memperbaiki kontras, dan mempertajam gambar. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *median filter*, yang efektif dalam menghilangkan noise tanpa mengurangi detail penting pada citra .

Pengolahan citra juga memiliki berbagai aplikasi penting, salah satunya dalam deteksi objek dan gerakan. Teknik ini dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan pada citra atau video sehingga mempermudah dalam mengidentifikasi objek yang bergerak. Dalam penelitian lain dijelaskan bahwa teknik pengolahan citra dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan pada video dengan membandingkan frame yang berbeda untuk mengetahui perubahan yang terjadi . Penerapan ini banyak digunakan dalam sistem keamanan seperti CCTV.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pengolahan citra semakin banyak digunakan dalam sistem berbasis kecerdasan buatan. Pengolahan citra memungkinkan citra digital diubah menjadi data numerik yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk keperluan klasifikasi, deteksi, maupun pengenalan pola. Dalam konteks analisis gerakan manusia, pengolahan citra menjadi dasar dalam pengembangan metode seperti *human pose estimation*, yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia berdasarkan citra atau video.

Dengan demikian, pengolahan citra dapat disimpulkan sebagai proses penting dalam mengubah citra digital menjadi informasi yang bermakna melalui berbagai tahapan pemrosesan, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam analisis gerakan manusia berbasis teknologi.



Gambar 2.1. Konsep Pengolahan Citra Video

2.3. Computer Vision

Computer Vision merupakan salah satu cabang ilmu dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang berfokus pada bagaimana komputer dapat memahami dan mengekstraksi informasi dari citra digital maupun video. Teknologi ini memungkinkan sistem untuk mengenali objek, pola, serta pergerakan yang terdapat dalam suatu data visual sehingga dapat menghasilkan informasi yang bermakna dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Bagas Alif Fimaskoro et al., 2024), Computer Vision merupakan teknologi yang memungkinkan mesin untuk melihat dan mengekstraksi informasi dari objek visual dengan menggunakan algoritma serta sensor optik untuk mensimulasikan cara kerja penglihatan manusia. Teknologi ini tidak hanya berfungsi untuk menangkap gambar, tetapi juga untuk menganalisis dan menginterpretasikan informasi visual secara otomatis sehingga menghasilkan data yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.

Selain itu, Computer Vision juga didefinisikan sebagai bagian dari *machine learning* yang bertujuan untuk membuat komputer mampu memahami tindakan, perilaku, serta kondisi lingkungan berdasarkan data visual. Hal ini menunjukkan bahwa Computer Vision memiliki peran penting dalam pengembangan sistem cerdas yang mampu berinteraksi dengan manusia secara lebih natural.

Dalam prosesnya, Computer Vision terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu akuisisi citra, preprocessing, segmentasi, ekstraksi fitur, serta interpretasi. Tahap akuisisi citra merupakan proses pengambilan gambar menggunakan perangkat seperti kamera atau sensor. Selanjutnya, citra akan diproses untuk meningkatkan kualitasnya melalui tahap preprocessing, seperti pengurangan noise dan peningkatan kontras. Setelah itu, dilakukan segmentasi untuk memisahkan objek dari latar belakang, kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi fitur untuk mengambil informasi penting dari objek tersebut. Tahap akhir adalah interpretasi, yaitu proses pemberian makna terhadap hasil analisis citra sehingga dapat digunakan dalam aplikasi tertentu (Bagas Alif Fimaskoro et al., 2024).

Penerapan Computer Vision sangat luas dan mencakup berbagai bidang, seperti deteksi objek, pengenalan wajah, analisis gerakan, serta estimasi pose manusia.

Dalam penelitian (Ragil, Dyansyah, Dwi Purwantoro, et al., 2025) Computer Vision digunakan untuk mendeteksi titik-titik kunci tubuh manusia (*keypoints*) dalam analisis gerakan squat, sehingga sistem mampu mengevaluasi posisi tubuh secara real-time dan memberikan umpan balik terhadap kesalahan gerakan. Hal ini menunjukkan bahwa Computer Vision memiliki peran penting dalam pengembangan sistem analisis gerakan berbasis teknologi.

Selain itu, Computer Vision juga sering dikombinasikan dengan teknologi lain seperti MediaPipe dan OpenCV untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi dan menganalisis objek visual. Kombinasi ini memungkinkan sistem untuk melakukan pemrosesan data secara real-time serta menampilkan hasil analisis dalam bentuk visual yang mudah dipahami oleh pengguna.

Seiring dengan perkembangan teknologi, Computer Vision semakin banyak digunakan dalam berbagai sistem berbasis kecerdasan buatan. Teknologi ini memungkinkan citra digital diubah menjadi data numerik yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk keperluan deteksi, klasifikasi, maupun pengenalan pola. Dalam konteks analisis gerakan manusia, Computer Vision menjadi dasar dalam pengembangan metode seperti *Human Pose Estimation*, yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia berdasarkan citra atau video.

Dengan demikian, Computer Vision dapat disimpulkan sebagai teknologi penting dalam pengolahan dan analisis data visual yang mampu mengubah citra digital menjadi informasi yang bermakna, serta memiliki peran besar dalam berbagai aplikasi modern, termasuk dalam analisis gerakan manusia berbasis teknologi.

2.4. Metode Human Pose Estimation

Estimasi pose manusia (*Human Pose Estimation* / HPE) merupakan teknologi dalam bidang visi komputer yang digunakan untuk mendeteksi serta menganalisis posisi sendi tubuh manusia, seperti kepala, lutut, pergelangan tangan, dan siku, yang kemudian dipetakan untuk membentuk struktur kerangka tubuh manusia. Tujuan utama dari HPE adalah menentukan posisi titik-titik penting (*keypoints*) pada tubuh manusia dari citra atau video, kemudian menghubungkannya menjadi representasi pose tubuh yang terstruktur dan mudah dianalisis .

Teknologi ini memiliki peran penting karena memungkinkan sistem komputer memahami gerakan dan perilaku manusia secara otomatis. Dengan demikian, HPE menjadi dasar dalam pengembangan berbagai aplikasi seperti interaksi manusia-komputer (*Human-Computer Interaction*), realitas tertambah (*Augmented Reality*), hingga analisis gerakan dalam bidang olahraga dan kesehatan . Dalam konteks olahraga, HPE banyak dimanfaatkan untuk menganalisis gerakan latihan seperti squat atau deadlift guna menilai postur tubuh, meningkatkan teknik gerakan, mencegah cedera, serta memaksimalkan efisiensi latihan.

Sebagai contoh, penelitian oleh (Ragil, Dyansyah, Dwi Purwantoro, et al., 2025) menunjukkan bahwa teknologi berbasis computer vision dengan pendekatan HPE mampu mendeteksi kesalahan form gerakan squat secara otomatis dan memberikan umpan balik secara real-time kepada pengguna. Sistem tersebut menggunakan titik-titik kunci tubuh seperti pinggul, lutut, dan pergelangan kaki untuk menghitung sudut gerakan, sehingga dapat mengidentifikasi fase gerakan turun (*descent*) dan naik (*ascent*) secara akurat . Bahkan, hasil pengujian menunjukkan performa sistem yang sangat tinggi dengan nilai akurasi, presisi,

recall, dan F1-score mencapai 100%, yang menandakan keandalan sistem dalam mendeteksi gerakan squat secara konsisten .

Salah satu teknologi yang paling populer dalam implementasi HPE adalah MediaPipe Pose yang dikembangkan oleh Google. Framework ini menggunakan model *deep learning* yang telah dilatih sebelumnya untuk mendeteksi hingga 33 titik kunci tubuh manusia secara real-time. Dengan kemampuan tersebut, MediaPipe Pose sangat efisien dan cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan respons cepat, seperti analisis gerakan olahraga, sistem pelatihan mandiri, serta aplikasi interaktif berbasis gerakan tubuh .

Dalam implementasinya, MediaPipe Pose sering dikombinasikan dengan OpenCV untuk memproses data video dan menampilkan hasil visualisasi pose secara langsung. Sistem akan mengambil koordinat dari setiap landmark tubuh, kemudian menghitung sudut antar-segmen tubuh menggunakan pendekatan geometri vektor. Sebagai contoh, sudut lutut dihitung dari tiga titik utama yaitu pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Nilai sudut ini kemudian digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kualitas gerakan, di mana pada gerakan squat yang benar, sudut lutut umumnya berada di bawah 120° saat posisi turun dan lebih dari 160° saat posisi naik .

Selain itu, teknologi estimasi pose manusia juga berperan penting dalam analisis biomekanika, yaitu studi mengenai mekanika gerakan tubuh manusia. Dengan memanfaatkan data posisi dan sudut sendi secara akurat, HPE memungkinkan analisis mendalam terhadap pola gerakan tubuh selama aktivitas fisik. Hal ini tidak hanya bermanfaat dalam bidang olahraga, tetapi juga dalam dunia medis untuk memantau proses rehabilitasi pasien, serta dalam pengembangan sistem robotik

yang meniru gerakan manusia.

Secara keseluruhan, Human Pose Estimation merupakan teknologi yang sangat potensial dalam mendukung analisis gerakan tubuh secara otomatis, akurat, dan real-time. Dengan dukungan framework seperti MediaPipe dan OpenCV, teknologi ini mampu memberikan solusi inovatif dalam berbagai bidang, khususnya dalam meningkatkan kualitas latihan kebugaran, mencegah cedera, serta mendukung pengembangan sistem cerdas berbasis gerakan manusia.

1. Konsep vector dalam ruang 2D

Setiap persendian tubuh yang terdeteksi oleh sistem pose estimation direpresentasikan sebagai titik dalam ruang dua dimensi:

$$P_i = (x_i, y_i)$$

Untuk menghitung sudut pada suatu persendian, digunakan tiga titik:

Titik A (sendi pertama)

Titik B (sendi tengah)

Titik C (sendi ketiga)

Dari ketiga titik tersebut dibentuk dua vektor:

$$\overrightarrow{BA} = A - B$$

$$\overrightarrow{BC} = C - B$$

Pendekatan ini digunakan dalam sistem estimasi pose untuk merepresentasikan hubungan antar segmen tubuh secara matematis (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025).

2. Perhitungan sudut menggunakan dot product

Sudut antar persendian dihitung menggunakan metode *dot product* dalam matematika vektor. Metode ini digunakan dalam penelitian estimasi pose karena mampu menghasilkan perhitungan sudut yang akurat berdasarkan koordinat titik tubuh.

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

Di mana:

$$\vec{BA} \cdot \vec{BC} = x_1x_2 + y_1y_2$$

dan panjang vektor:

$$|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Menurut (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) perhitungan sudut ini digunakan untuk menentukan sudut lutut, pinggul, dan punggung sebagai fitur utama dalam analisis gerakan berbasis pose estimation.

3. Deviasi sudut terhadap referensi

Dalam sistem penilaian gerakan, digunakan sudut referensi ideal. Deviasi dihitung sebagai:

$$\Delta\theta = |\theta_{referensi} - \theta_{aktual}|$$

Semakin kecil deviasi, semakin baik kualitas gerakan.

4. Normalisasi nilai sudut

Nilai sudut dinormalisasi menjadi skor:

$$Nilai = 100 - \Delta\theta$$

Pendekatan ini digunakan karena mudah dipahami dan memiliki skala konsisten.

5. Analisis stabilitas postur

Stabilitas postur dianalisis melalui posisi pusat tubuh yang dihitung dari koordinat pinggul:

$$Center = \frac{x_{hip_left} + x_{hip_right}}{2}$$

Perubahan posisi pusat tubuh antar frame menunjukkan kestabilan gerakan.

Pendekatan ini digunakan dalam analisis gerakan berbasis pose estimation untuk mengevaluasi keseimbangan tubuh (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025).



Gambar 2.2. contoh penggunaan human pose estimation
(sumber jurnal Identifikasi Atlet Anggar Berdasarkan Pengukuran Antropometri Menggunakan MediaPipe Pose)

2.5. Algoritma MediaPipe Pose

Algoritma MediaPipe Pose merupakan implementasi model *deep learning* yang digunakan untuk mendeteksi dan melacak posisi tubuh manusia dalam metode *Human Pose Estimation*. Algoritma ini menggunakan model BlazePose untuk menghasilkan titik-titik kunci tubuh (*landmarks*) secara real-time. Menurut (Bagas Alif Fimaskoro et al., 2024), MediaPipe Pose mampu mendeteksi posisi tubuh

manusia dengan akurasi tinggi melalui pemetaan koordinat titik-titik tubuh yang kemudian digunakan untuk analisis geometris [1].

Berbeda dengan algoritma klasifikasi tradisional, MediaPipe Pose bekerja dalam bentuk *pipeline processing* yang mengubah data visual menjadi representasi pose tubuh secara terstruktur.

Langkah langkah Algoritma MediaPipe Pose

1. Input data

Sistem menerima input berupa citra atau video dari kamera yang akan diproses secara berurutan (frame-by-frame).

2. Preprocessing

Citra yang diperoleh diproses terlebih dahulu dengan:

Konversi warna (BGR ke RGB)

Normalisasi ukuran gambar

Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas input sebelum diproses oleh model (Bagas Alif Fimaskoro et al., 2024)

3. Deteksi pose

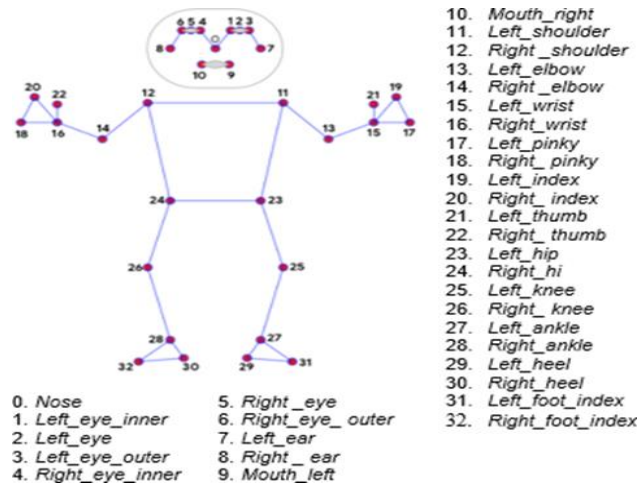
Model BlazePose mendeteksi keberadaan tubuh manusia dan menentukan area fokus (*Region of Interest / ROI*) untuk mempercepat proses analisis. model (Hustinawaty et al., 2025) [1].

4. Estimasi Landmark

Algoritma menghasilkan hingga 33 titik tubuh dalam bentuk koordinat:

$$P_i = (x_i, y_i)$$

Landmark ini merepresentasikan bagian tubuh seperti bahu, siku, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki [1].



Gambar 2.3. 33 Keypoint dalam MediaPipe Pose
(sumber jurnal Identifikasi Atlet Anggar Berdasarkan Pengukuran Antropometri Menggunakan MediaPipe Pose)

5. Pembentukan Vektor Antar Landmark

Untuk menghitung hubungan antar sendi digunakan tiga titik tubuh (A, B, C):

$$\overrightarrow{BA} = A - B$$

$$\overrightarrow{BC} = C - B$$

Pendekatan ini digunakan dalam analisis gerakan berbasis pose estimation (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) Perhitungan Sudut Persendian

Sudut antar sendi dihitung menggunakan metode dot product:

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

Sudut ini digunakan untuk menganalisis gerakan tubuh, seperti sudut lutut, pinggul, dan siku.

Menurut (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025), sudut sendi merupakan fitur utama dalam analisis dan klasifikasi gerakan berbasis pose estimation.

6. **Tracking Landmark**

MediaPipe Pose melakukan pelacakan (*tracking*) posisi landmark pada setiap frame untuk menjaga kestabilan deteksi dan meningkatkan efisiensi komputasi [1].

7. **Output**

Hasil akhir dari algoritma berupa:

Koordinat landmark tubuh

Visualisasi kerangka (*skeleton*)

Nilai sudut persendian

2.6. **Analisis Biomekanika dan Sudut Persendian**

Biomekanika merupakan cabang ilmu yang mempelajari gerakan tubuh manusia berdasarkan prinsip mekanika dan matematika. Dalam analisis gerakan olahraga, biomekanika digunakan untuk mengevaluasi efisiensi, ketepatan, serta kestabilan gerakan tubuh. Menurut penelitian yang dilakukan (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) analisis biomekanika berbasis estimasi pose dapat dilakukan dengan memanfaatkan titik-titik kunci tubuh (*keypoints*) untuk menghitung sudut antar sendi sebagai indikator utama dalam mengevaluasi kualitas gerakan

Dalam konteks analisis gerakan, seperti olahraga maupun seni bela diri, ketepatan teknik sangat dipengaruhi oleh posisi persendian, sudut antar anggota tubuh, stabilitas postur, serta keseimbangan tubuh. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sudut sendi seperti lutut, pinggul, dan punggung memiliki kontribusi besar dalam membedakan fase gerakan serta digunakan sebagai fitur utama dalam proses klasifikasi

1. Konsep Vector dalam Ruang 2D

Setiap persendian tubuh yang terdeteksi oleh sistem pose estimation

direpresentasikan sebagai titik dalam ruang dua dimensi:

$$P_i = (x_i, y_i)$$

Untuk menghitung sudut pada suatu persendian, digunakan tiga titik:

Titik A (sendi pertama)

Titik B (sendi tengah)

Titik C (sendi ketiga)

Dari ketiga titik tersebut dibentuk dua vektor:

$$\overrightarrow{BA} = A - B$$

$$\overrightarrow{BC} = C - B$$

Pendekatan ini digunakan dalam sistem estimasi pose untuk merepresentasikan hubungan antar segmen tubuh secara matematis (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025).

2. Perhitungan Sudut Menggunakan Dot Product

Sudut antar persendian dihitung menggunakan metode *dot product* dalam matematika vektor. Metode ini digunakan dalam penelitian estimasi pose karena mampu menghasilkan perhitungan sudut yang akurat berdasarkan koordinat titik tubuh.

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

Di mana:

$$\overrightarrow{BA} \cdot \overrightarrow{BC} = x_1x_2 + y_1y_2$$

dan panjang vektor:

$$|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Menurut (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025).perhitungan sudut ini digunakan untuk menentukan sudut lutut, pinggul, dan punggung sebagai fitur utama dalam analisis gerakan berbasis pose estimation .

2.7. Analisis Temporal Gerakan

Analisis temporal gerakan merupakan proses analisis perubahan gerakan tubuh manusia terhadap waktu dengan memanfaatkan data pose dari setiap frame video. Berbeda dengan analisis statis yang hanya melihat satu frame, analisis temporal mempertimbangkan urutan frame sehingga mampu memahami dinamika gerakan secara lebih menyeluruh.

Dalam sistem pose estimation, setiap frame menghasilkan koordinat landmark tubuh:

$$P_i^t = (x_i^t, y_i^t)$$

Perubahan gerakan dapat dianalisis dengan menghitung perubahan sudut antar frame:

$$\Delta\theta = \theta_t - \theta_{t-1}$$

Menurut (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) perubahan sudut antar frame digunakan untuk mengidentifikasi fase gerakan seperti posisi naik (*up*) dan turun

(*down*) dalam latihan olahraga. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk memahami urutan gerakan secara dinamis.

Selain itu, analisis temporal juga dapat digunakan untuk menghitung kecepatan gerakan dengan membandingkan perubahan posisi terhadap waktu:

$$v = \frac{d_t - d_{t-1}}{\Delta t}$$

Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi kecepatan dan konsistensi gerakan. Dalam penelitian lain, data pose yang diproses secara berurutan (*sequential data*) digunakan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi gerakan, karena sistem tidak hanya melihat posisi tubuh, tetapi juga pola perubahan gerakan.

Pada sistem berbasis machine learning, analisis temporal dapat dilakukan dengan menggabungkan hasil klasifikasi dari beberapa frame. Misalnya, pada penelitian push-up, hasil klasifikasi tiap frame dikombinasikan menggunakan metode voting untuk menentukan hasil akhir gerakan.

Selain itu, analisis temporal juga penting dalam mengevaluasi stabilitas gerakan. Perubahan posisi tubuh yang tidak stabil dapat menunjukkan kesalahan teknik dalam melakukan gerakan. Hal ini sangat relevan dalam analisis gerakan olahraga maupun pencak silat yang membutuhkan keseimbangan dan ketepatan postur.

Dengan demikian, analisis temporal menjadi komponen penting dalam sistem analisis gerakan karena memungkinkan pemahaman gerakan secara dinamis, meningkatkan akurasi klasifikasi, serta memberikan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap kualitas gerakan.

2.8. Sistem Berbasis Web

Sistem berbasis web merupakan sistem aplikasi yang dapat diakses melalui jaringan internet menggunakan web browser tanpa memerlukan instalasi tambahan pada perangkat pengguna. Sistem ini umumnya dibangun menggunakan teknologi web seperti HTML, CSS, dan JavaScript pada sisi *frontend*, serta bahasa pemrograman seperti Python atau JavaScript pada sisi *backend* untuk pengolahan data.

Dalam konteks pengolahan citra dan computer vision, sistem berbasis web dapat diintegrasikan dengan teknologi real-time untuk menangkap dan memproses data visual dari kamera pengguna. Menurut (Nur Budiman et al., 2022) sistem berbasis computer vision yang memanfaatkan kamera dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan secara langsung dan mengolahnya menjadi informasi yang dapat digunakan oleh sistem secara real-time.

Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa data visual yang diperoleh dari kamera dapat diproses secara berurutan (*frame by frame*) untuk menghasilkan informasi gerakan dinamis. Proses ini memungkinkan sistem untuk melakukan analisis secara berkelanjutan dan real-time dalam berbagai aplikasi seperti gesture recognition dan analisis aktivitas manusia.

Dalam penelitian ini, sistem berbasis web digunakan untuk mengintegrasikan teknologi *Human Pose Estimation* dengan antarmuka pengguna yang interaktif. Kamera pada perangkat pengguna digunakan untuk menangkap video secara langsung, yang kemudian diproses menggunakan algoritma MediaPipe untuk mendeteksi titik-titik tubuh manusia (*landmarks*). Hasil deteksi ini berupa koordinat tubuh yang kemudian digunakan dalam proses analisis gerakan.

Menurut (Mubayyin et al., 2025), data pose dalam bentuk koordinat numerik

dapat digunakan sebagai fitur untuk analisis dan klasifikasi gerakan menggunakan machine learning. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berbasis web tidak hanya berfungsi sebagai antarmuka, tetapi juga sebagai platform untuk integrasi antara computer vision dan machine learning.

Selanjutnya, hasil analisis gerakan ditampilkan melalui antarmuka web dalam bentuk:

Visualisasi kerangka tubuh (*skeleton*)

Nilai sudut persendian

Hasil evaluasi gerakan

Sistem berbasis web juga memungkinkan integrasi dengan metode klasifikasi seperti Random Forest, Convolutional Neural Network (CNN), maupun XGBoost untuk mengenali pola gerakan secara otomatis. Menurut Dyansyah et al. (2025), penggunaan metode machine learning pada data pose mampu meningkatkan akurasi dalam klasifikasi gerakan olahraga secara signifikan.

Dengan demikian, sistem berbasis web menjadi solusi yang efektif dalam pengembangan aplikasi analisis gerakan berbasis computer vision karena mampu menggabungkan kemudahan akses, pemrosesan real-time, serta visualisasi hasil yang informatif dan interaktif.

2.9. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan dalam pengembangan sistem yang diusulkan, khususnya dalam bidang *computer vision*, *human pose estimation*, serta analisis gerakan manusia berbasis teknologi.

1. Penelitian Blazepose

Penelitian yang dilakukan oleh (Bazarevsky et al., 2020). memperkenalkan BlazePose sebagai model *human pose estimation* berbasis *deep learning* yang dirancang untuk berjalan secara real-time pada perangkat mobile. Model ini mampu mendeteksi hingga 33 titik kunci tubuh manusia (*keypoints*) dengan kecepatan lebih dari 30 frame per detik.

Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa BlazePose menggunakan pendekatan kombinasi antara *heatmap* dan *regression* untuk menghasilkan koordinat titik tubuh secara akurat. Selain itu, sistem menggunakan pipeline berupa *detector* dan *tracker*, di mana deteksi awal dilakukan untuk menemukan posisi tubuh, kemudian dilanjutkan dengan pelacakan (*tracking*) pada frame berikutnya untuk meningkatkan efisiensi komputasi.

Pada bagian arsitektur model, BlazePose menggunakan jaringan *encoder-decoder* untuk menghasilkan representasi fitur yang optimal. Selain itu, model ini juga menerapkan teknik *data augmentation* untuk meningkatkan ketahanan terhadap occlusion (tertutupnya bagian tubuh).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa BlazePose mampu berjalan 25 hingga 75 kali lebih cepat dibandingkan metode lain seperti OpenPose, dengan performa yang tetap kompetitif dalam mendeteksi pose manusia, terutama pada kasus olahraga seperti yoga dan fitness.

2. Analisis Pose Pilates

Penelitian oleh (Mubayyin et al., 2025) menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi posisi tubuh manusia dalam analisis gerakan olahraga pilates. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan 33 titik landmark tubuh yang dihasilkan oleh MediaPipe sebagai fitur untuk proses klasifikasi.

Data koordinat tubuh yang diperoleh kemudian diolah menggunakan algoritma Random Forest untuk mengklasifikasikan gerakan menjadi kategori yang benar atau salah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu mencapai akurasi hingga 87%, yang menunjukkan efektivitas MediaPipe dalam analisis gerakan olahraga.

Penelitian ini membuktikan bahwa MediaPipe Pose dapat digunakan sebagai feature extractor yang menghasilkan data numerik yang dapat diproses lebih lanjut menggunakan machine learning.

3. Klasifikasi Gerakan Deadlift

Penelitian oleh (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) menggunakan pendekatan *human pose estimation* untuk menganalisis gerakan deadlift. Dalam penelitian ini, pose tubuh dideteksi menggunakan model MoveNet, kemudian dilakukan perhitungan sudut antar persendian sebagai fitur utama.

Sudut yang dihitung meliputi sudut lutut, pinggul, dan punggung, yang kemudian digunakan sebagai input untuk algoritma XGBoost dalam proses klasifikasi gerakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu mencapai akurasi hingga 98,51%.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sudut sebagai fitur memberikan hasil yang lebih stabil dan akurat dibandingkan koordinat mentah dalam analisis gerakan.

4. Gesture Recognition dengan MediaPipe

Penelitian oleh (Nur Budiman et al., 2022) menggunakan MediaPipe dan OpenCV untuk mendeteksi gesture tangan secara real-time. Sistem ini

memanfaatkan landmark tangan yang dihasilkan oleh MediaPipe untuk menghitung jarak antar jari menggunakan Euclidean Distance.

Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mengontrol volume suara secara interaktif. Penelitian ini menunjukkan bahwa MediaPipe mampu mendeteksi landmark tubuh secara akurat dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi berbasis gesture recognition.

5. Human Activity Recognition

Penelitian lain menggunakan MediaPipe untuk mendeteksi pose tubuh manusia yang kemudian digunakan sebagai input dalam model Convolutional Neural Network (CNN) untuk klasifikasi aktivitas manusia. Data pose diubah menjadi matriks yang merepresentasikan posisi tubuh, kemudian diproses oleh CNN untuk mengenali pola aktivitas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu mencapai akurasi hingga 97,77%, yang menunjukkan bahwa kombinasi MediaPipe dan CNN sangat efektif dalam klasifikasi aktivitas manusia

NO	Peneliti	Metode	Fitur	Model	Akurasi
1	Bazarevsky	Blazepose	Keypoints.	.	Real-Time
2	Mubayyin	MediaPipe	Koordinat	RandomForest	87%
3	Ragil	MoveNet	Sudut	XG-Boost	98,51%
4	Nur Budiman	MediaPipe	Jarak	-	Tinggi

5	Susiki Nugroho	MediaPip e	MatriksPos e	CNN	97,77%
---	-------------------	---------------	-----------------	-----	--------

Tabel 2.1. Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu

2.10. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan gambaran alur logis yang menjelaskan hubungan antara konsep, teori, dan metode yang digunakan dalam penelitian. Dalam penelitian ini, kerangka berpikir disusun berdasarkan integrasi antara teknologi *computer vision*, *human pose estimation*, analisis biomekanika, serta *machine learning* untuk membangun sistem analisis gerakan pencak silat berbasis web.

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah proses penilaian gerakan pencak silat yang masih dilakukan secara manual oleh pelatih atau juri, sehingga berpotensi menimbulkan subjektivitas dalam penilaian. Menurut (Taruna S et al., 2022), kompleksitas gerakan pencak silat memerlukan metode evaluasi yang lebih efektif dan objektif dengan bantuan teknologi.

Sebagai solusi, penelitian ini memanfaatkan teknologi *computer vision* untuk menangkap dan memproses data visual berupa gerakan tubuh manusia melalui kamera. Menurut (Nur Budiman et al., 2022), teknologi *computer vision* mampu mendeteksi gerakan manusia secara real-time dengan memanfaatkan input citra dari kamera.

Selanjutnya, data visual tersebut dianalisis menggunakan metode *Human Pose Estimation* dengan bantuan MediaPipe Pose untuk mendeteksi titik-titik kunci tubuh (*landmarks*). Menurut (Bagas Alif Fimaskoro et al., 2024), MediaPipe mampu mendeteksi hingga 33 titik tubuh secara real-time dan menghasilkan koordinat numerik yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Koordinat titik tubuh yang diperoleh kemudian diolah menggunakan pendekatan matematis untuk menghitung parameter gerakan seperti sudut persendian dan jarak antar titik tubuh. Menurut (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) sudut antar sendi seperti lutut, pinggul, dan punggung merupakan indikator penting dalam evaluasi gerakan olahraga karena mampu merepresentasikan postur tubuh secara lebih stabil dibandingkan koordinat mentah.

Perhitungan sudut dilakukan menggunakan metode dot product:

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

Selain itu, untuk meningkatkan akurasi analisis, data pose yang telah diolah dapat digunakan sebagai input dalam model *machine learning*. Menurut (Mubayyin et al., 2025) data koordinat tubuh yang dihasilkan dari MediaPipe dapat digunakan sebagai fitur dalam proses klasifikasi gerakan menggunakan algoritma seperti Random Forest. Sementara itu, (Ragil, Dyansyah, Setiawan, et al., 2025) menunjukkan bahwa penggunaan XGBoost dengan fitur sudut mampu menghasilkan akurasi yang sangat tinggi dalam klasifikasi gerakan.

Hasil dari proses analisis kemudian ditampilkan melalui sistem berbasis web dalam bentuk visualisasi kerangka tubuh (*skeleton*), nilai sudut persendian, serta hasil evaluasi gerakan. Sistem berbasis web memungkinkan integrasi antara computer vision dan machine learning sehingga dapat memberikan umpan balik secara real-time kepada pengguna (Nur Budiman et al., 2022).

Dengan demikian, kerangka berpikir dalam penelitian ini menghubungkan antara:

- a) Permasalahan (penilaian manual dan subjektif)
- b) Solusi teknologi (computer vision dan pose estimation)
- c) Metode analisis (perhitungan sudut dan machine learning)

- d) Output sistem (evaluasi gerakan berbasis web)

BAB III

ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

3.1. Analisis Permasalahan

Dalam pertandingan pencak silat kategori Seni Tunggal, penilaian gerakan merupakan aspek yang sangat penting karena menjadi penentu utama hasil pertandingan. Penilaian ini mencakup beberapa komponen utama, seperti ketepatan gerakan, kelancaran transisi, keseimbangan tubuh, serta kesesuaian durasi penampilan dengan standar yang telah ditetapkan.

Namun, pada praktiknya proses penilaian masih dilakukan secara manual oleh juri berdasarkan pengamatan visual. Metode ini memiliki sejumlah keterbatasan yang dapat mempengaruhi kualitas dan objektivitas hasil penilaian

3.1.1. Identifikasi Permasalahan

Ada beberapa permasalahan umum yang terjadi saat menggunakan penilaian secara manual karena masih mengandalkan penglihatan dan fokus pada juri yang mana bisa mengakibatkan kesalahan jika juri kurang fokus pada hal kecil, beberapa permasalahan yang bisa terjadi diantaranya sebagai berikut:

1. Subjektivitas Penilaian

Seperti yang ada dalam identifikasi permasalahan tadi Penilaian yang dilakukan oleh juri sangat bergantung pada persepsi individu. Setiap juri dapat memiliki interpretasi yang berbeda terhadap kualitas gerakan yang sama, terutama pada aspek estetika dan ketepatan teknik, ada beberapa dampak yang bisa terjadi diantaranya

- a. Terjadi Perbedaan Nilai Antar Juri
- b. Penilaian Menjadi Kurang Konsisten

c. Potensi Ketidakadilan Dalam Jalannya Pertandingan

2. Keterbatasan Pengamatan Visual

Gerakan dalam pencak silat seringkali berlangsung cepat dan kompleks, sehingga sulit bagi manusia untuk mengamati detail seperti sudut persendian atau perubahan gerakan secara akurat

Dampak:

a. Kesalahan dalam menilai posisi tubuh

b. Detail gerakan tidak terdeteksi

c. Penilaian hanya berdasarkan estimasi

3. Tidak Adanya Pengukuran Kuantitatif

Penilaian manual tidak menggunakan parameter matematis yang jelas. Tidak ada perhitungan numerik terhadap sudut, kecepatan, atau stabilitas gerakan.

Dampak:

a. Penilaian sulit dipertanggungjawabkan secara ilmiah

b. Tidak dapat dilakukan analisis lanjutan

c. Tidak ada standar numerik yang konsisten

4. Inkonsistensi Penilaian

Faktor seperti kelelahan, konsentrasi, dan pengalaman juri dapat mempengaruhi hasil penilaian.

Dampak:

a. Nilai bisa berubah untuk performa yang sama

b. Penilaian tidak stabil

c. Mengurangi reliabilitas sistem penilaian

5. Keterbatasan Analisis Temporal

Penilaian manual tidak mampu menganalisis perubahan gerakan secara berurutan (frame-by-frame).

Dampak:

- a. Transisi gerakan tidak dinilai secara detail
- b. Gerakan yang tidak halus sulit terdeteksi
- c. Evaluasi gerakan kurang menyeluruh

3.1.2. Analisis Akar Permasalahan

Permasalahan di atas disebabkan oleh beberapa faktor yang bisa terjadi diantaranya:

- a. Ketergantungan pada kemampuan manusia

Sistem manual banyak bergantung pada persepsi manusia yang memiliki keterbatasan dalam akurasi dan konsistensi

- b. Tidak adanya sistem berbasis data

Penilaian tidak didukung oleh data numerik atau perhitungan matematis

- c. Tidak adanya teknologi pendukung

Proses penilaian belum memanfaatkan teknologi computer vision atau kecerdasan buatan.

2. Kompleksitas Gerakan Pencak silat

Gerakan yang cepat dan dinamis sulit dianalisis tanpa bantuan sistem otomatis.

3.1.3. Kebutuhan Sosial

- a) Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, diperlukan suatu

sistem yang mampu:

- b) Mendeteksi posisi tubuh secara otomatis
- c) Mengubah gerakan menjadi data numerik
- d) Menghitung sudut persendian secara akurat
- e) Menganalisis transisi gerakan secara temporal
- f) Menghasilkan nilai penilaian secara objektif

3.1.4. Kesimpulan Analisis Permasalahan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem penilaian manual memiliki berbagai keterbatasan yang dapat mempengaruhi objektivitas dan akurasi penilaian. Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis teknologi yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut.

Penggunaan metode pose estimation menjadi solusi yang tepat karena mampu mengubah data visual menjadi data numerik yang dapat dianalisis secara matematis. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan kualitas penilaian dalam pertandingan pencak silat.

3.2. Gambaran Sistem

Sistem yang dirancang pada penelitian ini merupakan sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat berbasis web yang bertujuan untuk membantu proses penilaian pertandingan secara lebih objektif dan terstruktur. Sistem ini dirancang untuk menganalisis penampilan pesilat berdasarkan proses gerakan, bukan hanya hasil akhir dari suatu pose. Proses gerakan yang dianalisis meliputi rangkaian pose tubuh, transisi antar gerakan, ketepatan sudut persendian, serta durasi penampilan.

Sistem memanfaatkan citra video sebagai input utama karena video mampu

merekam informasi visual dan temporal secara lengkap selama penampilan Seni Tunggal. Video penampilan pesilat diproses menjadi frame-frame citra yang dianalisis secara berurutan menggunakan metode pose estimation. Metode ini digunakan untuk mendeteksi titik-titik persendian tubuh pesilat pada setiap frame video sehingga menghasilkan data rangkaian pose dari waktu ke waktu.

Data pose yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kesesuaian gerakan pesilat dengan standar jurus Seni Tunggal. Analisis dilakukan dengan menghitung sudut persendian tubuh, mengevaluasi urutan dan transisi antar gerakan, serta menghitung durasi penampilan. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menghasilkan nilai penilaian yang bersifat kuantitatif dan terukur.

Sistem penilaian yang dirancang bersifat sebagai alat bantu pendukung keputusan bagi juri. Sistem ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran juri dalam menentukan hasil akhir pertandingan, melainkan membantu juri dengan menyediakan hasil analisis gerakan yang objektif dan konsisten. Dengan demikian, keputusan akhir tetap berada pada juri, sementara sistem berperan sebagai pendukung dalam proses penilaian.

Sebagai sistem berbasis web, rancangan sistem ini diharapkan dapat memudahkan juri dalam mengakses dan menggunakan sistem penilaian di lingkungan pertandingan. Rancangan ini menjadi dasar dalam tahap implementasi dan pengujian sistem yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

3.2.1. Deskripsi sistem sebagai decision-support tool untuk juri

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini merupakan sistem penilaian gerakan pencak silat berbasis *Human Pose Estimation* yang berfungsi sebagai *decision-support tool* atau alat bantu pendukung keputusan bagi juri dalam melakukan

evaluasi gerakan. Sistem ini tidak bertujuan untuk menggantikan peran juri sepenuhnya, melainkan membantu proses penilaian agar menjadi lebih objektif, konsisten, dan terukur.

Dalam proses penilaian konvensional, juri melakukan evaluasi gerakan berdasarkan pengamatan visual secara langsung. Metode tersebut memiliki beberapa keterbatasan, seperti subjektivitas penilaian, perbedaan persepsi antar juri, serta kesulitan dalam mengamati detail gerakan yang berlangsung cepat. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memberikan data penilaian berbasis parameter numerik sebagai pendukung dalam pengambilan keputusan.

Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan kamera untuk menangkap gerakan pesilat secara real-time. Video yang diperoleh kemudian diproses menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi titik-titik tubuh (*landmarks*) pengguna. Data pose yang dihasilkan berupa koordinat tubuh dalam bentuk (x, y, z) digunakan untuk menghitung berbagai parameter gerakan seperti:

- a. sudut persendian,
- b. kestabilan postur,
- c. transisi gerakan,
- d. dan durasi gerakan.

Hasil perhitungan tersebut kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan data referensi gerakan ideal untuk menghasilkan nilai evaluasi gerakan secara otomatis. Nilai yang dihasilkan digunakan sebagai rekomendasi atau pendukung keputusan bagi juri dalam menentukan kualitas gerakan pesilat.

Selain menghasilkan nilai penilaian, sistem juga menampilkan visualisasi skeleton tubuh dan informasi sudut persendian secara real-time sehingga juri dapat

melihat proses analisis gerakan secara lebih detail dan transparan. Dengan adanya visualisasi tersebut, sistem dapat membantu juri dalam memahami kesalahan atau ketidaksesuaian gerakan yang dilakukan peserta.

Sebagai *decision-support tool*, sistem ini memiliki beberapa manfaat, antara lain:

- a. membantu meningkatkan objektivitas penilaian,
- b. mengurangi subjektivitas antar juri,
- c. memberikan pengukuran gerakan secara kuantitatif,
- d. membantu analisis gerakan yang cepat dan kompleks,
- e. serta mendukung proses evaluasi gerakan secara real-time.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu menjadi alat bantu yang efektif dalam mendukung proses penilaian gerakan pencak silat berbasis teknologi *computer vision* dan *Human Pose Estimation*.

3.2.2. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi fungsi-fungsi utama yang harus dimiliki oleh sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat berbasis web. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan proses penilaian pertandingan secara efektif dan terstruktur.

Sistem dirancang sebagai alat bantu juri dalam melakukan penilaian gerakan berdasarkan analisis citra video. Oleh karena itu, sistem harus mampu mengolah data visual menjadi data numerik yang dapat digunakan sebagai dasar perhitungan nilai.

1. Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang berkaitan dengan fungsi

utama yang harus dimiliki oleh sistem agar dapat menjalankan proses penilaian gerakan pencak silat sesuai dengan tujuan penelitian. Kebutuhan ini diperoleh berdasarkan hasil analisis proses bisnis dan fitur yang dibutuhkan pengguna dalam melakukan penilaian gerakan secara otomatis. Adapun kebutuhan fungsional sistem dapat dilihat pada Tabel 3.1.

No	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
1	Login	Pengguna dapat masuk ke sistem
2	Akses Kamera	Sistem dapat mengakses webcam
3	Deteksi Pose	Sistem mendeteksi pose tubuh
4	Ekstraksi Landmark	Sistem memperoleh 33 titik tubuh
5	Perhitungan Sudut	Sistem menghitung sudut persendian
6	Analisis Transisi	Sistem menganalisis perpindahan gerakan
7	Perhitungan Nilai	Sistem menghitung skor gerakan
8	Visualisasi Skeleton	Sistem menampilkan kerangka tubuh
9	Penyimpanan Hasil	Sistem menyimpan hasil penilaian
10	Menampilkan Hasil	Sistem menampilkan nilai akhir

Tabel 3.1. Kebutuhan Fungsional Sistem

Berdasarkan Tabel 3.1, sistem memiliki fungsi utama yang mendukung proses penilaian gerakan pencak silat secara otomatis. Fungsi tersebut meliputi proses autentikasi pengguna, pengambilan video melalui kamera, deteksi pose tubuh, analisis gerakan, hingga penyimpanan dan penyajian hasil penilaian. Seluruh fungsi tersebut saling terintegrasi untuk menghasilkan sistem yang mampu memberikan penilaian secara objektif dan real-time.

2, Kebutuhan Non-Fungsional

Selain kebutuhan fungsional, sistem juga memiliki kebutuhan non-fungsional yang berkaitan dengan kualitas sistem yang akan dibangun. Kebutuhan non-fungsional bertujuan untuk memastikan sistem dapat berjalan dengan baik, memiliki performa yang stabil, mudah digunakan, serta mampu mendukung proses penilaian secara optimal. Adapun kebutuhan non-fungsional sistem dapat dilihat pada Tabel 3.2.

No	Kebutuhan	Deskripsi
1	Performa	Sistem mampu melakukan deteksi pose dan penilaian gerakan secara real-time dengan kecepatan minimal 30 fps.
2	Accuracy	Sistem mampu mendeteksi landmark tubuh dan menghitung sudut persendian dengan tingkat akurasi yang baik menggunakan MediaPipe Pose.
3	Reliability	Sistem dapat berjalan secara stabil selama proses penilaian tanpa mengalami gangguan atau kegagalan sistem.
4	Usability	Antarmuka sistem dirancang sederhana dan mudah digunakan oleh juri maupun pengguna.
5	Compatibility	Sistem dapat dijalankan melalui browser modern seperti Google Chrome, Microsoft Edge, dan Mozilla Firefox.
6	Accessibi	Sistem dapat diakses melalui perangkat yang

No	Kebutuhan	Deskripsi
	lity	memiliki kamera dan koneksi internet tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan.
7	Maintainability	Sistem dirancang agar mudah dikembangkan dan diperbarui apabila terdapat perubahan kebutuhan atau penambahan fitur.
8	Security	Sistem menyediakan mekanisme login untuk membatasi akses pengguna yang berwenang.

Tabel 3.2. Kebutuhan Non Fungsional

Berdasarkan Tabel 3.2, sistem yang dirancang harus memenuhi beberapa aspek kualitas, seperti performa, akurasi, keandalan, kemudahan penggunaan, kompatibilitas, aksesibilitas, kemudahan pemeliharaan, dan keamanan. Pemenuhan kebutuhan non-fungsional tersebut diharapkan mampu mendukung proses penilaian gerakan pencak silat secara real-time sehingga sistem dapat digunakan secara efektif sebagai alat bantu pendukung keputusan bagi juri maupun pelatih.

3.2.3. Analisis Alur Proses Sistem Penilaian

Alur proses sistem penilaian dirancang untuk menggambarkan tahapan bagaimana sistem mengubah input berupa video menjadi nilai akhir. Proses ini dilakukan secara bertahap agar setiap komponen penilaian dapat dianalisis secara terstruktur. Tahapan alur proses sistem penilaian:

a. Inisialisasi Kamera

Proses dimulai ketika pengguna mengakses halaman penilaian dan mengaktifkan kamera. Sistem melakukan inisialisasi perangkat kamera sebagai

sumber data visual yang akan digunakan dalam proses analisis gerakan.

b. Ekstraksi Frame Video

Frame citra diperoleh secara langsung dari kamera secara realtime dan digunakan sebagai input proses pose estimation. Setiap frame merepresentasikan satu momen pose tubuh pesilat pada waktu tertentu. Ekstraksi frame ini penting karena pose estimation bekerja pada tingkat frame citra.

c. Deteksi Pose Tubuh

Setiap frame dianalisis menggunakan metode pose estimation berbasis model pre-trained. Pada tahap ini sistem mendeteksi titik-titik persendian tubuh pesilat dan menghasilkan koordinat (X, Y) untuk setiap keypoint.

Output tahap ini adalah data numerik berupa rangkaian koordinat persendian dari awal hingga akhir penampilan.

d. Penyusunan Rangkaian Pose

Data koordinat dari setiap frame disusun secara berurutan berdasarkan waktu. Penyusunan ini menghasilkan rangkaian pose yang merepresentasikan proses pembentukan gerakan secara menyeluruh.

Tahap ini memungkinkan sistem untuk:

- a) Menganalisis urutan gerakan
- b) Mendeteksi lompatan gerakan
- c) Mengevaluasi transisi antar pose
- d) Perhitungan Sudut Persendian

Sudut persendian dihitung menggunakan tiga titik persendian yang saling terhubung. Nilai sudut yang diperoleh dibandingkan dengan sudut referensi gerakan yang benar.

Selisih sudut digunakan sebagai dasar untuk menentukan tingkat akurasi gerakan pesilat.

e. Analisis transisi gerakan

Perubahan sudut dan posisi antar frame dianalisis untuk menilai kestabilan dan kesinambungan gerakan. Transisi yang halus dan sesuai urutan menunjukkan proses gerakan yang benar.

f. Perhitungan durasi penampilan

Durasi dihitung berdasarkan selang waktu sejak gerakan dimulai hingga gerakan berakhir. Nilai durasi dibandingkan dengan waktu ideal Seni Tunggal, yaitu sekitar 180 detik. Durasi yang mendekati waktu ideal akan memperoleh nilai lebih tinggi.

g. Penggabungan Nilai

Nilai dari masing-masing komponen (akurasi sudut, rangkaian gerakan, transisi, dan durasi) digabungkan untuk menghasilkan nilai akhir. Nilai akhir ini ditampilkan sebagai rekomendasi bagi juri.

3.2.4. Deskripsi Proses Sistem

Secara umum sistem penilaian gerakan pesilat berbasis web terdiri dari beberapa tahapan utama yang saling terhubung. Tahapan tersebut dimulai dari proses pengambilan citra melalui kamera hingga menghasilkan nilai akhir berdasarkan analisis gerakan secara real-time.

Tahap pertama adalah proses aktivasi kamera sebagai sumber input sistem. Kamera digunakan untuk menangkap gerakan pesilat secara langsung selama melakukan rangkaian jurus Seni Tunggal. Setelah kamera aktif, sistem melakukan pengambilan frame secara berkelanjutan sehingga setiap frame dapat

merepresentasikan pose tubuh pesilat pada waktu tertentu.

Setiap frame citra kemudian dianalisis menggunakan metode Human Pose Estimation dengan bantuan MediaPipe Pose. Pada tahap ini sistem mendeteksi titik-titik persendian tubuh pesilat dan menghasilkan koordinat landmark yang merepresentasikan struktur kerangka tubuh.

Data landmark yang diperoleh selanjutnya disusun secara berurutan berdasarkan waktu untuk membentuk rangkaian pose gerakan. Rangkaian pose ini digunakan untuk menghitung sudut antar persendian serta menganalisis perubahan gerakan antar frame. Selain itu sistem juga menghitung durasi penampilan pesilat berdasarkan waktu sejak gerakan dimulai hingga gerakan berakhir.

Setelah seluruh parameter dianalisis, sistem melakukan proses penggabungan nilai dari beberapa komponen penilaian, yaitu akurasi sudut, transisi gerakan, dan durasi penampilan. Nilai akhir yang dihasilkan kemudian ditampilkan kepada pengguna melalui antarmuka sistem secara real-time sebagai rekomendasi penilaian bagi juri.

3.3. Algoritma Sistem

Algoritma pose estimation merupakan bagian utama dalam sistem yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia secara realtime. Pada penelitian ini, algoritma pose estimation yang digunakan adalah MediaPipe Pose dari Google. Algoritma ini dipilih karena mampu melakukan deteksi pose tubuh secara realtime dengan tingkat akurasi yang baik dan performa yang ringan sehingga dapat dijalankan menggunakan webcam biasa.

MediaPipe Pose bekerja dengan cara mendeteksi titik-titik penting tubuh manusia (landmark) pada setiap frame video yang diambil dari kamera. Titik

landmark tersebut digunakan untuk mengetahui posisi persendian tubuh seperti bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, dan mata kaki. Hasil landmark kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan sudut persendian dan penilaian gerakan pencak silat.

Pada sistem yang dirancang, proses pose estimation dimulai ketika kamera aktif dan sistem mengambil frame video secara realtime. Setiap frame yang diperoleh akan diproses menggunakan modul MediaPipe Pose untuk mendeteksi pose tubuh pengguna.

3.3.1. Pipeline Sistem

Pipeline sistem merupakan rangkaian tahapan pemrosesan data yang dilakukan oleh sistem dalam mengubah input berupa citra dari kamera menjadi output berupa nilai penilaian gerakan secara real-time. Berbeda dengan sistem berbasis video statis, pipeline pada sistem ini bersifat **kontinu (streaming)**, di mana setiap frame yang ditangkap oleh kamera akan langsung diproses dan dianalisis.

Pipeline ini dirancang berdasarkan konsep **computer vision** dan **human pose estimation**, di mana data visual diubah menjadi data numerik yang kemudian diolah untuk menghasilkan nilai penilaian secara objektif.

Alur Pipeline Sistem:

1. Inisialisasi

Pada tahap awal, sistem mengaktifkan kamera sebagai sumber input utama. Kamera akan digunakan untuk menangkap citra secara langsung dari pengguna. Fungsinya untuk:

- a. Menghubungkan sistem dengan perangkat kamera
- b. Menentukan parameter seperti resolusi dan frame rate

2. Pengambilan Frame

Setelah kamera aktif, sistem akan menangkap frame secara kontinu sesuai dengan frame rate (misalnya 30 fps). Setiap frame merupakan citra statis yang merepresentasikan posisi tubuh pada suatu waktu tertentu.

Fungsi:

- a. Mengambil data visual secara terus-menerus
- b. Menjadi input untuk tahap selanjutnya

3. Deteksi Pose

Setiap frame yang diambil kemudian diproses menggunakan model MediaPipe Pose untuk mendeteksi posisi tubuh manusia.

Fungsi:

- a. Mengidentifikasi struktur tubuh
- b. Membentuk skeleton tubuh

Output:

Titik-titik persendian tubuh

4. Ekstraksi Landmark

Setelah pose terdeteksi, sistem mengekstraksi koordinat landmark tubuh dalam bentuk numerik.

Setiap landmark memiliki:

- a. $x \rightarrow$ posisi horizontal
- b. $y \rightarrow$ posisi vertikal
- c. $z \rightarrow$ kedalaman
- d. $\text{visibility} \rightarrow$ tingkat kepercayaan

Fungsi:

- a. Mengubah data visual menjadi data numerik
- b. Menjadi dasar perhitungan matematis

5. Perhitungan Sudut

Berdasarkan koordinat landmark, sistem menghitung sudut antar persendian tubuh menggunakan metode vektor.

Fungsi:

- a. Mengukur ketepatan posisi tubuh
- b. Mengevaluasi teknik gerakan

6. Analisis Gerakan

Sistem menganalisis perubahan sudut antar frame untuk menilai kelancaran gerakan.

Fungsi:

- a. Mengukur stabilitas gerakan
- b. Menilai transisi antar gerakan

7. Perhitungan Nilai

Nilai dihitung berdasarkan beberapa komponen:

- a. Akurasi sudut
- b. Transisi gerakan
- c. Durasi

Nilai akan diperbarui secara terus-menerus pada setiap frame.

Fungsi:

- a. Menghasilkan nilai penilaian
- b. Memberikan feedback langsung

8. Visualisasi Output

Hasil perhitungan ditampilkan langsung pada layar dalam bentuk:

Nilai numerik

Overlay pada video (opsional)

Fungsi:

- a. Memberikan feedback langsung kepada pengguna

Karakteristik Pipeline Real-Time

Pipeline sistem ini memiliki beberapa karakteristik utama:

- a. Kontinu (Looping)

Proses dilakukan berulang selama kamera aktif

- b. Low Latency

Output dihasilkan dengan jeda waktu minimal

- c. Interaktif

Pengguna dapat melihat hasil secara langsung

- d. Frame-Based_Processing

Setiap frame diproses secara independen

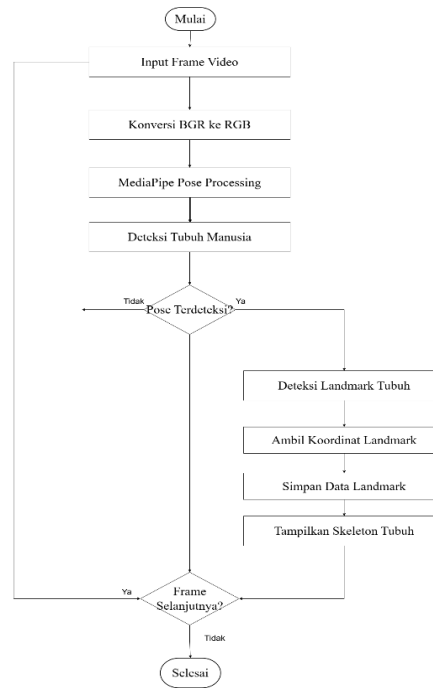
3.3.2. Alur Kerja Metode Pose Estimation

Alur Kerja metode pose estimation digunakan untuk menggambarkan tahapan proses deteksi titik tubuh manusia menggunakan algoritma MediaPipe Pose. Metode ini digunakan untuk memperoleh koordinat landmark tubuh yang nantinya dipakai dalam proses perhitungan sudut persendian dan penilaian gerakan pencak silat.

Pada penelitian ini, MediaPipe Pose bekerja dengan cara memproses frame video secara realtime untuk mendeteksi posisi tubuh manusia dan menghasilkan

titik-titik landmark tubuh. Landmark tersebut digunakan sebagai representasi pose tubuh pengguna.

Berikut merupakan Proses Alur metode pose estimation yang digunakan dalam



sistem.

Gambar 3.1. Alur Pose Estimation

Alur metode pose estimation digunakan untuk menjelaskan proses deteksi pose tubuh manusia menggunakan algoritma MediaPipe Pose secara realtime. Proses dimulai ketika sistem menerima input frame video dari kamera yang digunakan dalam proses penilaian gerakan pencak silat.

Frame video yang diperoleh dari OpenCV masih menggunakan format warna BGR (Blue, Green, Red). Oleh karena itu, sistem terlebih dahulu melakukan konversi frame ke format RGB (Red, Green, Blue) karena MediaPipe Pose bekerja menggunakan format RGB dalam proses analisis citra.

Setelah proses konversi selesai, frame video diproses menggunakan MediaPipe Pose Processing. Pada tahap ini, algoritma MediaPipe melakukan analisis terhadap

citra untuk mendeteksi keberadaan tubuh manusia pada frame video.

Jika tubuh manusia tidak terdeteksi, maka sistem akan kembali mengambil frame video berikutnya dan proses pose estimation diulang kembali. Namun apabila tubuh manusia berhasil dideteksi, sistem akan melanjutkan proses deteksi landmark tubuh.

Tahap deteksi landmark bertujuan untuk menghasilkan titik-titik koordinat tubuh manusia yang disebut landmark. MediaPipe Pose menghasilkan beberapa landmark tubuh penting seperti:

- a. bahu,
- b. siku,
- c. pergelangan tangan,
- d. pinggul,
- e. lutut,
- f. mata kaki,
- g. dan bagian tubuh lainnya.

Setiap landmark memiliki koordinat posisi berupa nilai x dan y yang menunjukkan letak titik tubuh pada frame video. Koordinat landmark tersebut kemudian diambil dan disimpan untuk digunakan dalam proses perhitungan sudut persendian.

Setelah proses ekstraksi landmark selesai, sistem menampilkan skeleton tubuh hasil deteksi pose secara realtime pada layar. Skeleton tersebut terbentuk dari hubungan antar landmark tubuh yang saling terhubung.

Seluruh proses pose estimation dilakukan secara berulang pada setiap frame video selama kamera masih aktif. Dengan mekanisme realtime ini, sistem mampu

mendeteksi gerakan tubuh pengguna secara langsung dan berkelanjutan.

Berdasarkan flowchart tersebut, metode MediaPipe Pose Estimation mampu menghasilkan landmark tubuh manusia secara realtime yang digunakan sebagai dasar dalam proses analisis gerakan dan penilaian seni tunggal pencak silat.

3.3.3. Perhitungan Sistem

Dalam Perhitungan penilaian yang ada di dalam sistem penilaian seni Tunggal pencak silat dilakukan berdasarkan 3 komponen utama yaitu:

1. Akurasi Sudut Persendian
2. Kesesuaian rangkaian gerakan dan transisi gerakan
3. Kesesuaian durasi penampilan berdasarkan standart seni Tunggal

Setiap komponen dihitung secara matematis agar sistem menghasilkan nilai yang objektif dan terukur.

3.3.4. Perhitungan sudut persendian

A. Konsep Dasar

Sudut persendian dihitung dengan menggunakan 3 titik persendian yaitu:

- a. Bahu (A)
- b. Siku (B)
- c. Pergelangan tangan (C)

Sudut yang dihitung Adalah sudut di titik siku (B)

B. Rumus Matematis

Diketahui koordinat:

A (x_1, y_1)

B (x_2, y_2)

C (x_3, y_3)

Langkah 1. Bentuk vektor:

$$\overrightarrow{BA} = (x_1 - x_2, y_1 - y_2)$$

$$\overrightarrow{BC} = (x_3 - x_2, y_3 - y_2)$$

Langkah 2. Hitung dot product:

$$\overrightarrow{BA} \cdot \overrightarrow{BC} = (x_1 - x_2)(x_3 - x_2) + (y_1 - y_2)(y_3 - y_2)$$

Langkah 3. Hitung panjang vektor:

$$|\overrightarrow{BA}| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$|\overrightarrow{BC}| = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}$$

Langkah 4. Hitung sudut:

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

C. Contoh Perhitungan Manual

Misalnya diperoleh koordinat:

A (2, 5)

B (4, 3)

C (6, 5)

Langkah 1: Bentuk Vektor

$$\overrightarrow{BA} = (2 - 4, 5 - 3) = (-2, 2)$$

$$\overrightarrow{BC} = (6 - 4, 5 - 3) = (2, 2)$$

Langkah 2: Dot Product

$$(-2)(2) + (2)(2) = -4 + 4 = 0$$

Langkah 3: Panjang Vektor

$$|\overrightarrow{BA}| = \sqrt{(-2)^2 + 2^2} = \sqrt{4 + 4} = \sqrt{8}$$

$$|\overrightarrow{BC}| = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{4 + 4} = \sqrt{8}$$

Langkah 4: Hitung Sudut

$$\theta = \cos^{-1}(0/(\sqrt{8} \times \sqrt{8}))$$

$$\theta = \cos^{-1}(0)$$

$$\theta = 90^\circ$$

D. Perhitungan nilai akurasi

Misalnya sudut referensi = 100°

Sudut pesilat = 90°

Selisih sudut:

$$\Delta = |100 - 90| = 10^\circ$$

Nilai akurasi dapat dihitung:

$$Nilai = 100 - \Delta$$

$$Nilai = 100 - 10 = 90$$

Semakin kecil selisih $\rightarrow$ semakin tinggi nilai.

3.3.5. Perhitungan Nilai Transisi Gerakan

Transisi dihitung berdasarkan perubahan sudut antar frame.

Misalnya:

Frame 1 = 60°

Frame 2 = 70°

Frame 3 = 80°

Perubahan antar frame:

$$\Delta_1 = 70 - 60 = 10^\circ$$

$$\Delta_2 = 80 - 70 = 10^\circ$$

Jika perubahan stabil $\rightarrow$ gerakan dinilai baik.

Jika terjadi lonjakan ekstrem:

$60^\circ \rightarrow 120^\circ$ (loncat 60°)

Maka sistem mengurangi nilai transisi.

3.3.6. Perhitungan Nilai Durasi

Durasi ideal dilihat video referensi, jika kita ambil contoh durasinya 180 detik

maka hasilnya jika dicontohkan Misalnya:

Durasi pesilat = 175 detik

Selisih waktu:

$$\Delta t = |180 - 175| = 5 \text{ detik}$$

Nilai durasi dihitung:

$$\text{Nilai}_{durasi} = 100 - \Delta t$$

$$\text{Nilai}_{durasi} = 100 - 5 = 95$$

Semakin mendekati 180 detik $\rightarrow$ nilai semakin tinggi.

3.3.7. Perhitungan Nilai Akhir

Nilai akhir dihitung dari gabungan:

- a) Akurasi sudut (60%)
- b) Transisi gerakan (25%)
- c) Durasi (15%)

$$\text{Nilai Akhir} = (0.65 \times \text{NilaiSudut}) + (0.20 \times \text{NilaiTransisi}) + (0.15 \times \text{NilaiDurasi})$$

Contoh:

Sudut = 90

Transisi = 85

Durasi = 95

$$\begin{aligned}
 \text{NilaiAkhir} &= (0.6 \times 90) + (0.25 \times 85) + (0.15 \times 95) \\
 &= 54 + 21.25 + 14.25 \\
 &= 89,5.
 \end{aligned}$$

3.4. Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem bertujuan untuk menggambarkan struktur utama sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat berbasis web yang dikembangkan. Arsitektur ini menjelaskan bagaimana komponen sistem saling terhubung dan berinteraksi dalam melakukan proses penilaian secara real-time, mulai dari pengambilan data hingga menghasilkan nilai akhir.

Sistem dirancang menggunakan pendekatan arsitektur berbasis web yang terintegrasi dengan teknologi computer vision. Selain itu, sistem juga mendukung pemrosesan secara real-time yang dilengkapi dengan fitur perekaman (recording) dan pemutaran ulang (replay), sehingga dapat digunakan tidak hanya untuk penilaian, tetapi juga sebagai media evaluasi gerakan.

Secara umum, arsitektur sistem terdiri dari beberapa komponen utama sebagai berikut:

1. Frontend (Antarmuka Pengguna)

Frontend merupakan bagian sistem yang berinteraksi langsung dengan pengguna, baik juri maupun atlet. Komponen ini diakses melalui web browser dan menyediakan tampilan untuk mengoperasikan sistem.

Fungsi utama frontend meliputi:

- a. Melakukan login pengguna

- b. Mengaktifkan kamera untuk proses real-time
- c. Menampilkan video streaming secara langsung
- d. Menampilkan hasil deteksi pose (overlay skeleton)
- e. Menampilkan nilai penilaian secara real-time
- f. Menyediakan fitur replay untuk memutar ulang video

Frontend berperan sebagai penghubung antara pengguna dan sistem backend, sehingga harus memiliki antarmuka yang sederhana dan responsif.

2. Backend (Server Aplikasi)

Backend merupakan pusat pemrosesan sistem yang bertanggung jawab dalam mengelola seluruh proses utama. Backend menerima data dari frontend, kemudian memprosesnya dan mengirimkan hasil kembali ke pengguna.

Fungsi backend meliputi:

- a. Mengelola aliran data dari kamera
- b. Mengatur proses streaming frame secara real-time
- c. Mengintegrasikan modul pose estimation dan perhitungan nilai
- d. Mengelola proses perekaman video
- e. Menyimpan data hasil penilaian

Backend menjadi komponen utama yang memastikan sistem dapat berjalan secara stabil dan terintegrasi.

3. Modul Pose Estimation

Modul pose estimation merupakan komponen yang bertugas mendeteksi posisi tubuh manusia dari setiap frame yang diambil oleh kamera. Modul ini menggunakan model pre-trained dari **MediaPipe Pose**, yang mampu mendeteksi 33 titik landmark tubuh secara real-time.

Fungsi utama modul ini:

- a. Mendeteksi struktur tubuh pengguna
- b. Menghasilkan koordinat keypoint (x, y, z)
- c. Membentuk representasi skeleton tubuh

Output dari modul ini akan digunakan sebagai input dalam proses perhitungan nilai.

4. Modul Perhitungan Nilai (Scoring Module)

Modul perhitungan nilai bertanggung jawab dalam mengolah data hasil pose estimation menjadi nilai penilaian.

Proses yang dilakukan dalam modul ini meliputi:

- a. Perhitungan sudut persendian
- b. Perbandingan dengan gerakan referensi
- c. Analisis transisi gerakan
- d. Perhitungan skor kelancaran
- e. Perhitungan skor per frame
- f. Akumulasi skor
- g. Perhitungan nilai akhir

Modul ini bekerja secara real-time, sehingga nilai akan diperbarui secara terus-menerus selama proses berlangsung.

5. Modul Recording dan Replay

Modul ini merupakan pengembangan dari sistem real-time yang memungkinkan data video disimpan dan diputar ulang.

Fungsi modul ini:

- a. Menyimpan video selama proses berlangsung

- b. Menyimpan data frame dan hasil penilaian
- c. Menyediakan fitur replay untuk evaluasi ulang

Dengan adanya modul ini, sistem tidak hanya memberikan feedback langsung, tetapi juga memungkinkan analisis mendalam terhadap performa pengguna.

6. Database

Database digunakan sebagai media penyimpanan data dalam sistem.

Data yang disimpan meliputi:

- a. Data pengguna
- b. Data video hasil rekaman
- c. Data landmark (opsional)
- d. Data nilai penilaian

Database memungkinkan sistem untuk menyimpan riwayat penilaian yang dapat digunakan untuk analisis lanjutan.

7. Integrasi Antar Komponen

Seluruh komponen dalam sistem saling terhubung dan bekerja secara terintegrasi. Frontend mengirimkan input berupa video streaming ke backend, kemudian backend memproses data tersebut melalui modul pose estimation dan modul perhitungan nilai.

Hasil dari proses tersebut dikirim kembali ke frontend untuk ditampilkan secara real-time. Secara bersamaan, sistem juga menyimpan data ke dalam database untuk keperluan dokumentasi dan evaluasi ulang.

.

3.5. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan bagaimana sistem

penilaian Seni Tunggal Pencak Silat bekerja secara keseluruhan mulai dari proses penerimaan data hingga menghasilkan nilai akhir. Tahap perancangan ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai struktur sistem, alur proses, serta hubungan antar komponen yang terlibat dalam sistem.

Dalam penelitian ini, sistem dirancang sebagai aplikasi berbasis web yang mampu melakukan analisis gerakan pesilat menggunakan metode pose estimation. Sistem menerima input berupa video penampilan pesilat yang kemudian diproses melalui beberapa tahapan analisis, mulai dari ekstraksi frame, deteksi pose tubuh, perhitungan sudut persendian, analisis transisi gerakan, hingga menghasilkan nilai penilaian secara otomatis.

Untuk memodelkan proses sistem secara visual, penelitian ini menggunakan *Unified Modeling Language* (UML). UML digunakan karena mampu menggambarkan struktur sistem dan alur proses secara sistematis sehingga memudahkan proses implementasi dan pengembangan sistem.

Pada penelitian ini, beberapa jenis diagram UML digunakan untuk menjelaskan perancangan sistem, yaitu:

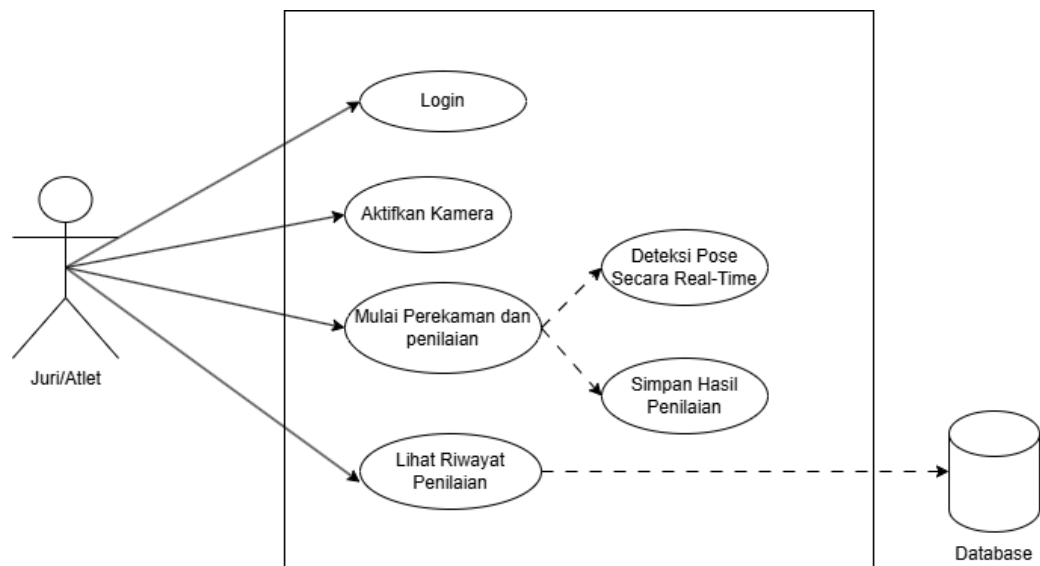
1. *Use Case Diagram*, untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem serta fungsi-fungsi utama yang tersedia.
2. *Activity Diagram*, untuk menggambarkan alur aktivitas sistem secara keseluruhan.
3. *Sequence Diagram*, untuk menggambarkan interaksi antar komponen sistem.

4. *Class Diagram*, untuk menggambarkan struktur data dan hubungan antar kelas dalam sistem.

Dengan menggunakan diagram UML, rancangan sistem dapat dipahami secara lebih jelas baik dari sisi alur proses maupun struktur data yang digunakan.

3.5.1. Use Case Diagram

Use Case Diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem.



Gambar 3.2. Use Case Diagram

Use Case Diagram pada Gambar 3.2 memodelkan fungsionalitas sistem yang berfokus pada kendali pengguna atas proses perekaman dan penilaian. Berbeda dengan sistem otomatis penuh, diagram ini menempatkan pengguna sebagai kendali utama (*User-Controlled*) untuk memastikan durasi penilaian sesuai dengan waktu dimulainya gerakan

Seni Tunggal Pencak Silat.

Nama Use Case	Deskripsi
Login	Proses verifikasi identitas pengguna (Juri atau Atlet) guna memastikan aksesibilitas dan keamanan data hasil penilaian.
Aktifkan Kamera	Tahap inisialisasi perangkat keras kamera yang menampilkan live preview. Pada tahap ini, sistem belum melakukan proses komputasi visi komputer (idle state), sehingga pengguna dapat memastikan posisi atlet sudah masuk dalam frame dengan tepat.
Mulai Perekaman dan Penilaian	Trigger utama sistem. Ketika tombol ditekan, sistem secara simultan mengaktifkan fungsi perekaman video dan modul analisis visi komputer untuk melakukan penilaian real-time.
Deteksi Pose Secara Real-Time	Proses komputasi menggunakan framework MediaPipe untuk mengidentifikasi 33 titik kunci (keypoints) tubuh atlet secara frame-by-frame. Proses ini berstatus include karena hanya akan berjalan selama sesi penilaian

	berlangsung.
Simpan Hasil Penilaian	Proses sistem pasca-penilaian yang mengintegrasikan metadata (skor) dengan berkas video rekaman ke dalam basis data (database) untuk keperluan pengarsipan dan evaluasi.
Lihat Riwayat Penilaian	Akses bagi pengguna untuk meninjau kembali hasil performa yang telah tersimpan sebelumnya, memungkinkan analisis perkembangan atlet secara historis.

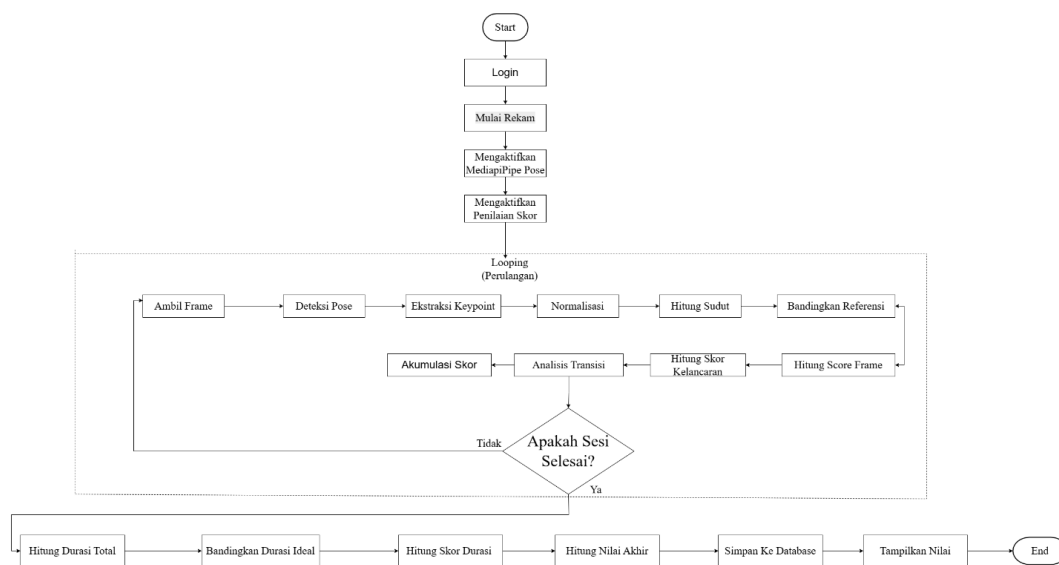
Tabel 3.1 Tabel use case Diagram

3.5.2. Activity Diagram

Activity diagram ini menggambarkan alur proses sistem penilaian gerakan pencak silat berbasis pengolahan citra digital yang memanfaatkan teknologi *pose estimation* menggunakan MediaPipe Pose. Diagram ini disusun untuk memberikan representasi visual mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan oleh sistem, mulai dari interaksi awal pengguna hingga menghasilkan nilai akhir penilaian.

Proses diawali dengan pengguna melakukan autentikasi melalui fitur login untuk memperoleh akses ke dalam sistem. Setelah berhasil masuk, pengguna dapat memulai proses perekaman gerakan silat. Pada tahap ini, sistem akan mengaktifkan modul deteksi pose serta modul penilaian skor yang akan bekerja secara simultan selama proses perekaman berlangsung.

Selanjutnya, sistem memasuki tahap pemrosesan utama yang bersifat iteratif (*looping*). Pada tahap ini, setiap frame video yang ditangkap akan diproses secara berulang melalui serangkaian tahapan, yaitu pengambilan frame, deteksi pose, ekstraksi titik-titik kunci (*keypoints*), normalisasi data, serta perhitungan sudut antar bagian tubuh. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data referensi gerakan yang telah ditentukan sebelumnya sebagai dasar penilaian.



Gambar 3.3 Activity Diagram

Berdasarkan activity diagram yang ditampilkan, dapat dijelaskan bahwa sistem melakukan pemrosesan data secara berulang pada setiap frame video untuk menghasilkan penilaian gerakan yang akurat dan objektif. Setiap frame yang diperoleh dari proses perekaman akan dianalisis menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi posisi tubuh pengguna dan menghasilkan koordinat titik-titik kunci.

Koordinat yang diperoleh kemudian melalui proses normalisasi guna memastikan keseragaman skala dan posisi, sehingga dapat digunakan dalam

perhitungan sudut antar segmen tubuh. Nilai sudut yang dihasilkan selanjutnya dibandingkan dengan nilai sudut pada gerakan referensi untuk menentukan tingkat kesesuaian gerakan.

Selain itu, sistem juga menghitung skor pada setiap frame serta melakukan analisis transisi gerakan untuk menilai aspek kelancaran. Skor yang dihasilkan akan diakumulasi selama sesi berlangsung hingga mencapai kondisi akhir, yaitu ketika sesi dinyatakan selesai.

Setelah proses perekaman berakhir, sistem akan menghitung durasi total gerakan yang dilakukan oleh pengguna dan membandingkannya dengan durasi ideal yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, sistem menghitung skor durasi yang kemudian dikombinasikan dengan skor sebelumnya untuk menghasilkan nilai akhir. Nilai akhir tersebut selanjutnya disimpan ke dalam basis data dan ditampilkan kepada pengguna sebagai hasil evaluasi kinerja gerakan yang telah dilakukan.

3.5.3. Sequence Diagram

Sequence diagram digunakan untuk menggambarkan alur interaksi antar komponen dalam sistem penilaian seni tunggal secara real-time. Diagram ini menunjukkan bagaimana data mengalir dari pengguna hingga menghasilkan nilai penilaian.

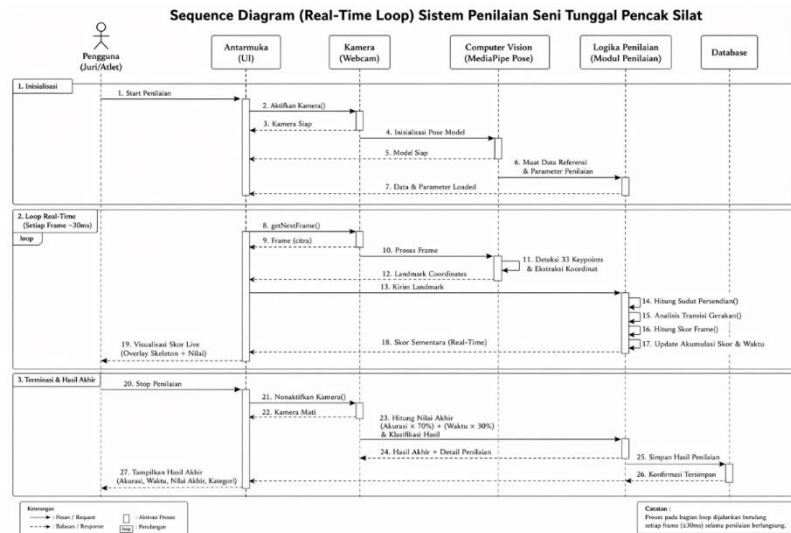
Pada sistem ini, terdapat beberapa komponen utama yang terlibat, yaitu pengguna (user), antarmuka (user interface), kamera sebagai perangkat input, modul computer vision menggunakan pose estimation, serta modul logika penilaian.

Proses dalam sequence diagram dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu tahap inisialisasi, proses utama (loop real-time), dan terminasi. Tahap-tahap ini

menunjukkan bagaimana sistem bekerja secara kontinu selama proses penilaian berlangsung.

Gambar berikut menunjukkan sequence diagram sistem penilaian yang diusulkan.

Gambar
3.4.



Sequence Diagram

Berdasarkan Gambar 3.4 proses dimulai ketika pengguna mengaktifkan fitur penilaian melalui antarmuka sistem. Selanjutnya sistem akan mengaktifkan kamera dan memastikan perangkat siap digunakan.

Pada tahap proses utama, sistem bekerja secara berulang (loop) untuk setiap frame video yang diambil dari kamera. Frame tersebut diproses menggunakan metode pose estimation untuk mendapatkan koordinat titik-titik tubuh pengguna.

Data koordinat tersebut kemudian dikirim ke modul logika penilaian untuk dilakukan analisis lebih lanjut, seperti perhitungan sudut persendian dan evaluasi transisi gerakan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sistem menghitung nilai secara real-time.

Nilai yang dihasilkan kemudian ditampilkan kembali kepada pengguna melalui antarmuka dalam bentuk visualisasi langsung (real-time overlay). Proses ini

berlangsung terus menerus selama kamera aktif.

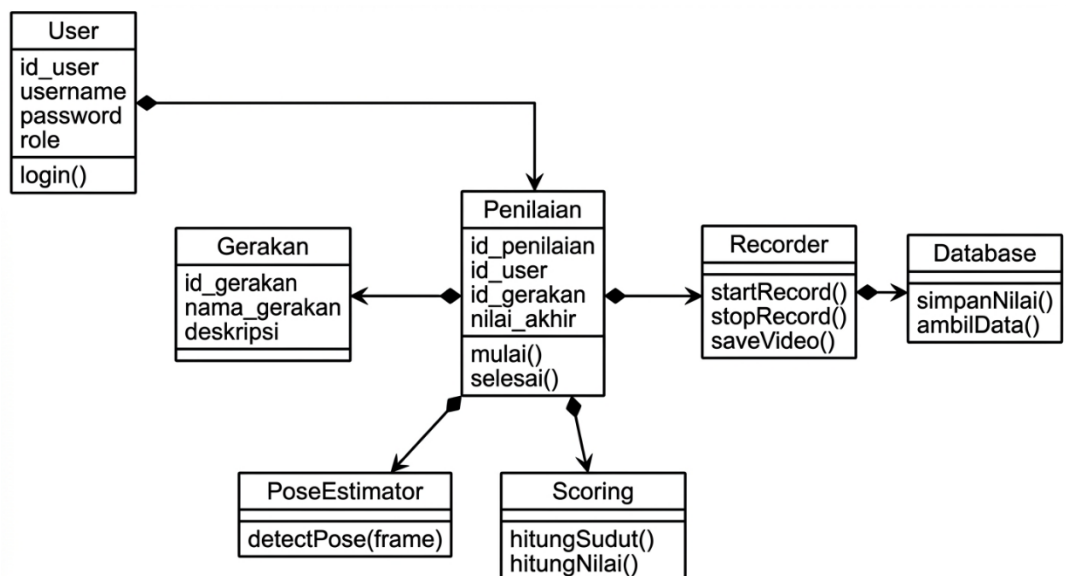
Ketika pengguna menghentikan proses penilaian, sistem akan menghentikan pengambilan data dan menonaktifkan kamera, sehingga seluruh proses berakhir.

3.5.4. Class Diagram

Class diagram digunakan untuk menggambarkan struktur sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat yang dikembangkan. Diagram ini menunjukkan komponen utama sistem dalam bentuk kelas, beserta atribut, metode, dan hubungan antar kelas yang saling terintegrasi.

Pada penelitian ini, class diagram disederhanakan agar sistem lebih mudah diimplementasikan dalam waktu pengembangan yang terbatas. Meskipun demikian, diagram ini tetap mencakup komponen inti yang dibutuhkan dalam proses penilaian gerakan secara real-time, yaitu pengelolaan pengguna, proses penilaian, deteksi pose, perhitungan nilai, perekaman video, serta penyimpanan data.

Dengan adanya class diagram ini, perancangan sistem menjadi lebih terstruktur dan memudahkan dalam proses implementasi, karena setiap komponen sistem telah



didefinisikan dengan jelas beserta fungsinya.

Gambar 3.5. Class Diagram

Berdasarkan gambar class diagram di atas, sistem terdiri dari beberapa class utama yang saling berhubungan.

1. User

Class User merepresentasikan pengguna sistem yang memiliki atribut seperti `id_user`, `username`, `password`, dan `role`. class ini memiliki fungsi login yang digunakan untuk mengakses sistem. User memiliki hubungan dengan class Penilaian, yang menunjukkan bahwa pengguna dapat melakukan proses penilaian.

2. Penilaian

Class Penilaian merupakan pusat dari sistem yang mengelola seluruh proses penilaian. class ini menyimpan data seperti `id_penilaian`, `id_user`, `id_gerakan`, dan `nilai_akhir`. Selain itu, class ini memiliki metode `mulai()` dan `selesai()` untuk mengatur jalannya proses penilaian. Penilaian berperan sebagai penghubung antara berbagai komponen dalam sistem.

3. Gerakan

Class Gerakan digunakan untuk menyimpan informasi mengenai jenis gerakan pencak silat, seperti `id_gerakan`, `nama_gerakan`, dan `deskripsi`. class ini terhubung dengan Penilaian karena setiap proses penilaian dilakukan berdasarkan jenis gerakan tertentu.

4. PoseEstimator

Class PoseEstimator bertugas untuk melakukan deteksi pose dari frame video yang diambil secara real-time. Metode `detectPose(frame)` digunakan

untuk menghasilkan data posisi tubuh yang akan digunakan dalam proses penilaian.

5. Scoring

Class Scoring berfungsi untuk menghitung nilai berdasarkan hasil deteksi pose. class ini memiliki metode `hitungSudut()` untuk menghitung sudut persendian dan `hitungNilai()` untuk menghasilkan nilai akhir.

6. Recorder

Class Recorder digunakan untuk mengelola proses perekaman video selama penilaian berlangsung. Metode yang tersedia meliputi `startRecord()`, `stopRecord()`, dan `saveVideo()` untuk menyimpan hasil rekaman.

7. Database

Class Database berfungsi sebagai media penyimpanan data dalam sistem. class ini menyediakan fungsi `simpanNilai()` untuk menyimpan hasil penilaian serta `ambilData()` untuk mengambil data yang tersimpan.

Hubungan antar Class menunjukkan bahwa kelas Penilaian menjadi pusat yang menghubungkan User, Gerakan, PoseEstimator, Scoring, Recorder, dan Database. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh proses dalam sistem terintegrasi dalam satu alur penilaian yang terstruktur.

3.6.Rancangan Antarmuka Aplikasi

Rancangan antarmuka aplikasi bertujuan untuk menggambarkan tampilan sistem yang digunakan oleh pengguna dalam mengoperasikan sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat. Antarmuka dirancang berbasis web agar mudah diakses serta memiliki tampilan yang sederhana, interaktif, dan responsif.

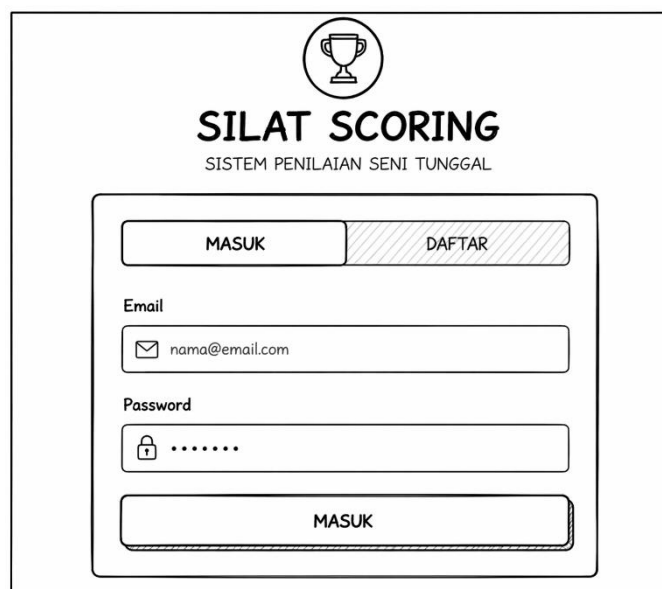
Perancangan antarmuka ini disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang mampu

melakukan penilaian secara real-time, menampilkan hasil secara langsung, serta menyediakan fitur perekaman dan pemutaran ulang (replay). Dengan demikian, pengguna dapat dengan mudah melakukan proses penilaian maupun evaluasi gerakan.

1. Halaman Login

Halaman login adalah halaman pertama yang ditampilkan ketika pengguna mengakses sistem, Halaman login merupakan tampilan awal yang digunakan pengguna untuk mengakses sistem penilaian Seni Tunggal Pencak Silat. Halaman ini berfungsi sebagai proses autentikasi untuk memastikan bahwa hanya pengguna yang terdaftar yang dapat masuk ke dalam sistem.

Antarmuka pada halaman login dirancang secara sederhana dan terpusat, dengan tujuan agar pengguna dapat langsung memahami fungsi utama halaman tanpa adanya distraksi. Elemen utama yang disediakan berupa input email dan password serta tombol aksi untuk masuk ke dalam sistem.



Gambar 3.6. Halaman Login Sistem

Berdasarkan gambar tersebut, halaman login terdiri dari beberapa komponen

utama, yaitu form input email, form input password, serta tombol “Masuk”. Selain itu, terdapat opsi “Daftar” yang memungkinkan pengguna baru untuk membuat akun.

Desain yang digunakan bersifat minimalis dengan penempatan elemen di tengah layar, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan proses login. Dengan tampilan ini, pengguna dapat dengan cepat mengakses sistem tanpa mengalami kesulitan dalam memahami alur penggunaan.

2. Halaman Dashboard

Halaman dashboard merupakan halaman utama yang ditampilkan setelah pengguna berhasil melakukan login. Halaman ini berfungsi sebagai pusat navigasi yang menghubungkan pengguna dengan berbagai fitur yang tersedia dalam sistem.

Perancangan dashboard bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai sistem serta menyediakan akses cepat ke fitur utama seperti penilaian dan data peserta.



Gambar 3.7. Halaman Dashboard Sistem Penilaian

Berdasarkan gambar tersebut, halaman dashboard menampilkan elemen navigasi di bagian atas yang berisi menu seperti “Penilaian” dan “Peserta”, serta informasi pengguna.

Pada bagian utama, terdapat judul sistem “Seni Tunggal Pencak Silat” yang disertai dengan deskripsi singkat mengenai fungsi sistem. Selain itu, terdapat tombol aksi seperti “Mulai Penilaian” dan “Lihat Peserta” yang memudahkan pengguna dalam mengakses fitur utama.

Tampilan dashboard dirancang menarik namun tetap sederhana, sehingga pengguna dapat memahami fungsi sistem sekaligus melakukan navigasi dengan mudah.

3. Halaman Penilaian

Halaman penilaian merupakan bagian inti dari sistem, di mana proses analisis gerakan dilakukan menggunakan kamera secara real-time. Halaman ini dirancang untuk memberikan pengalaman interaksi yang langsung dan fokus pada proses penilaian.

Sebelum kamera diaktifkan, sistem menampilkan tampilan awal berupa area penilaian dengan instruksi kepada pengguna untuk memulai proses dengan mengaktifkan kamera



Gambar 3.8. Halaman Penilaian Sistem

Berdasarkan gambar tersebut, halaman penilaian menampilkan elemen utama berupa ikon kamera, judul “Area Penilaian”, serta instruksi penggunaan. Terdapat tombol “Aktifkan Kamera” yang berfungsi untuk memulai proses pengambilan data secara real-time.

Desain halaman dibuat sederhana dan terfokus pada satu aksi utama agar pengguna tidak mengalami kebingungan. Setelah tombol ditekan, sistem akan mengaktifkan kamera dan melanjutkan ke proses deteksi pose serta penilaian gerakan.

Dengan rancangan ini, pengguna dapat dengan mudah memulai proses penilaian tanpa harus memahami sistem yang kompleks.

BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

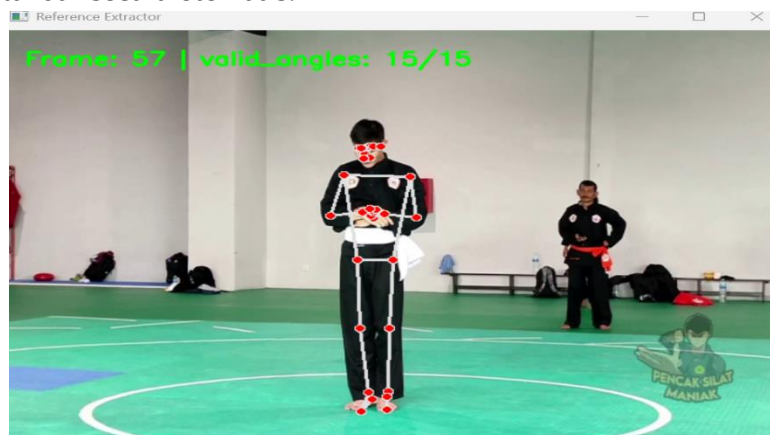
4.1. Implementasi Data dan Metode

4.1.1 Implementasi Data dan Referensi Gerakan

Data referensi gerakan digunakan sebagai standar dalam proses penilaian gerakan yang dilakukan oleh sistem. Data ini diperoleh dari video gerakan yang dianggap benar dan sesuai kriteria penilaian yang telah ditentukan. Video referensi diproses menggunakan metode Human Pose Estimation untuk memperoleh informasi posisi tubuh pada setiap frame Video.

Pada tahap ini, sistem melakukan ekstraksi pose terhadap seluruh frame video referensi. Hasil ekstraksi berupa koordinat landmark tubuh yang kemudian digunakan untuk menghitung sudut pada beberapa bagian tubuh yang menjadi parameter penilaian. Nilai sudut diperoleh dari setiap frame disimpan sebagai data referensi yang akan digunakan pada proses pencocokan gerakan pengguna.

Penyimpanan data referensi dilakukan dalam format terstruktur sehingga dapat diakses kembali oleh sistem pada saat proses penilaian berlangsung. Dengan adanya data referensi ini, sistem dapat membandingkan gerakan pengguna terhadap gerakan standar secara otomatis.



Gambar 4.1. : Data Referensi gerakan

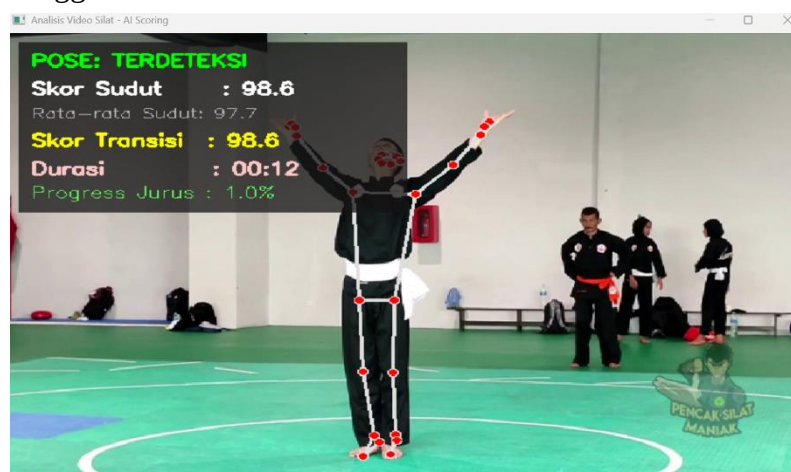
Berdasarkan gambar 4.1 data referensi berisi informasi sudut tubuh pada setiap frame video yang digunakan sebagai acuan dalam proses penilaian gerakan.

4.1.2. Implementasi Human Pose Estimation

Tahap berikutnya adalah implementasi Human Pose Estimation yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia pada video. Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi titik-titik penting tubuh (landmark) yang nantinya digunakan dalam proses analisis gerakan.

Sistem melakukan deteksi pose pada setiap frame video yang diproses. Landmark yang berhasil dideteksi merepresentasikan posisi berbagai bagian tubuh seperti bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan sudut tubuh.

Penerapan Human Pose Estimation memungkinkan sistem melakukan analisis gerakan secara otomatis tanpa memerlukan sensor tambahan pada tubuh pengguna. Seluruh proses dilakukan hanya dengan memanfaatkan input berupa video yang direkam menggunakan kamera.



Gambar 4.2: Hasil Test Extract menggunakan Mediapipe Pose

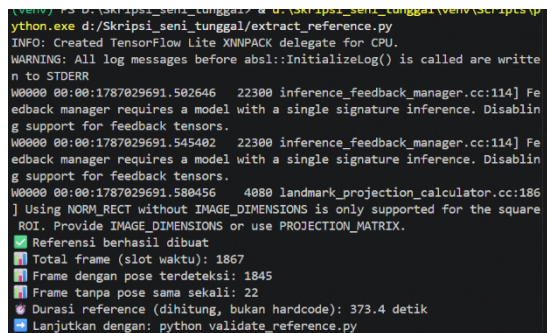
4.1.3. Implementasi Perhitungan Sudut Tubuh

Setelah proses deteksi pose selesai dilakukan, sistem menghitung sudut pada

beberapa bagian tubuh yang digunakan sebagai parameter penilaian. Perhitungan sudut dilakukan menggunakan koordinat tiga titik landmark yang membentuk suatu sudut tertentu.

Sudut tubuh dipilih karena mampu merepresentasikan bentuk dan posisi gerakan secara lebih konsisten dibandingkan penggunaan koordinat mentah. Dengan menggunakan sudut, pengaruh perbedaan ukuran tubuh dan posisi pengguna terhadap kamera dapat diminimalkan.

Proses perhitungan dilakukan pada setiap frame video sehingga menghasilkan rangkaian nilai sudut yang menggambarkan perubahan gerakan dari awal hingga akhir.



```
(venv) PS D:\Skripsi_seni_tunggal> python.exe d:/Skripsi_seni_tunggal/extract_reference.py
INFO: Created TensorFlow Lite XNNPACK delegate for CPU.
WARNING: All log messages before absl::InitializeLog() is called are written to STDERR
W0000 00:00:1787029691.502646 22300 inference_feedback_manager.cc:114] Feedback manager requires a model with a single signature inference. Disabling support for feedback tensors.
W0000 00:00:1787029691.545402 22300 inference_feedback_manager.cc:114] Feedback manager requires a model with a single signature inference. Disabling support for feedback tensors.
W0000 00:00:1787029691.580456 4080 landmark_projection_calculator.cc:186] Using NORM_RECT without IMAGE_DIMENSIONS is only supported for the square ROI. Provide IMAGE_DIMENSIONS or use PROJECTION_MATRIX.
✓ Referensi berhasil dibuat
📊 Total frame (slot waktu): 1867
📊 Frame dengan pose terdeteksi: 1845
📊 Frame tanpa pose sama sekali: 22
🕒 Durasi reference (dihitung, bukan hardcode): 373.4 detik
🔗 Lanjutkan dengan: python validate_reference.py
```

Gambar 4.3: Hasil Perhitungan Sudut Tubuh

Berdasarkan Gambar 4.3, sistem menghitung sudut tubuh menggunakan koordinat landmark hasil deteksi pose. Nilai sudut yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses pencocokan gerakan.

4.1.4. Implementasi Pencocokan Gerakan

Proses pencocokan gerakan merupakan tahap yang digunakan untuk membandingkan gerakan atlet dengan data gerakan *reference* yang telah diekstraksi sebelumnya. Data *reference* berisi informasi sudut tubuh pada setiap frame yang diperoleh dari proses *Human Pose Estimation*. Data tersebut digunakan sebagai

acuan dalam menentukan tingkat kesesuaian gerakan atlet.

Pada saat proses penilaian dimulai, sistem menginisialisasi pointer *reference* yang digunakan untuk menentukan posisi gerakan pada data *reference*. Pointer bergerak mengikuti perkembangan gerakan atlet secara berurutan sehingga pencocokan tidak dilakukan secara acak terhadap seluruh frame *reference*.

Setiap frame yang diperoleh dari kamera diproses untuk mendapatkan nilai sudut tubuh. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai sudut pada frame *reference* yang berada pada posisi pointer. Sistem menghitung perbedaan antara sudut tubuh atlet dengan sudut pada *reference*. Semakin kecil perbedaan sudut yang dihasilkan, semakin tinggi tingkat kesesuaian gerakan.

Untuk mencegah pointer berpindah terlalu jauh akibat adanya kemiripan pose secara kebetulan, sistem menerapkan batas waktu (*time ceiling*). Batas tersebut menentukan sejauh mana pointer dapat bergerak berdasarkan waktu penilaian yang telah berlangsung. Dengan mekanisme ini, atlet tidak dapat memperoleh kecocokan dengan gerakan *reference* yang seharusnya belum dilakukan hanya karena terdapat pose yang kebetulan memiliki kemiripan.

Selain pencocokan berdasarkan sudut, sistem juga menganalisis perubahan gerakan antarframe untuk memperoleh Transition Score. Transisi digunakan untuk melihat kesesuaian perpindahan dari satu gerakan ke gerakan berikutnya. Dengan demikian, sistem tidak hanya memperhatikan apakah suatu pose memiliki bentuk yang sesuai, tetapi juga mempertimbangkan kesesuaian perpindahan gerakan.

Hasil pencocokan setiap frame kemudian dikumpulkan selama proses penilaian berlangsung. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai dasar untuk memperoleh nilai komponen Angle Score dan Transition Score. Sistem juga memperhitungkan tingkat penyelesaian rangkaian gerakan (*completion*) sehingga nilai yang diperoleh tetap mempertimbangkan seberapa jauh rangkaian gerakan *reference* telah diikuti



oleh atlet.

Gambar 4.4: Proses Ekstraksi Referensi Dan Pencocokan Gerakan

Berdasarkan Gambar 4.4, data gerakan *reference* terlebih dahulu diekstraksi menggunakan *Human Pose Estimation* sehingga menghasilkan informasi landmark dan sudut tubuh. Data tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses pencocokan gerakan atlet. Sistem membandingkan pose atlet dengan pose *reference* secara berurutan untuk memperoleh tingkat kesesuaian gerakan.

4.1.5. Implementasi Perhitungan Score

Tahap akhir pada proses analisis adalah perhitungan skor. Skor digunakan sebagai indikator tingkat kesesuaian gerakan pengguna terhadap gerakan referensi yang telah ditentukan.

Nilai skor diperoleh dari hasil agregasi seluruh proses pencocokan yang dilakukan pada setiap frame video. Semakin tinggi tingkat kesesuaian gerakan yang

dihasilkan maka semakin tinggi pula skor yang diperoleh pengguna.

Hasil akhir ditampilkan dalam bentuk nilai numerik yang memudahkan proses evaluasi dan perbandingan antar pengguna. Nilai tersebut juga digunakan sebagai dasar dalam penyusunan peringkat pada sistem.



Gambar 4.5 Hasil Perhitungan Skor

Berdasarkan Gambar 4.5, sistem berhasil menghasilkan nilai penilaian secara otomatis berdasarkan tingkat kesesuaian gerakan yang dilakukan pengguna terhadap gerakan referensi.

4.2. Implementasi sistem

4.2.1. Halaman Login

Halaman login merupakan halaman awal yang ditampilkan ketika pengguna mengakses sistem. Halaman ini digunakan untuk melakukan autentikasi pengguna sebelum memperoleh akses terhadap fitur-fitur yang tersedia pada sistem.

Gambar 4.6: Halaman Login

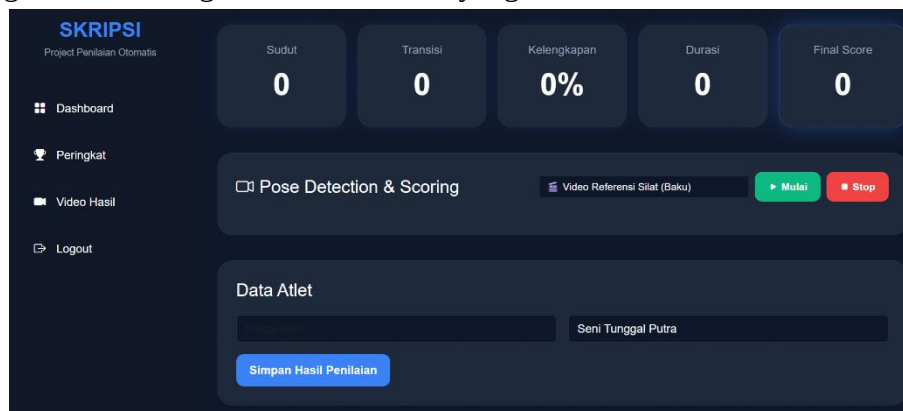
Berdasarkan Gambar 4.6, pengguna diharuskan memasukkan data akun yang telah terdaftar pada sistem. Setelah data yang dimasukkan berhasil diverifikasi, pengguna akan diarahkan menuju halaman utama sistem. Apabila data yang

dimasukkan tidak sesuai, sistem akan menampilkan pesan kesalahan dan meminta pengguna untuk melakukan login kembali.

Keberadaan fitur login bertujuan untuk menjaga keamanan data serta membatasi akses sistem hanya kepada pengguna yang memiliki hak akses.

4.2.2. Halaman Dashboard

Dashboard merupakan halaman utama yang ditampilkan setelah pengguna berhasil melakukan login ke dalam sistem. Halaman ini berfungsi sebagai pusat navigasi untuk mengakses seluruh fitur yang tersedia.



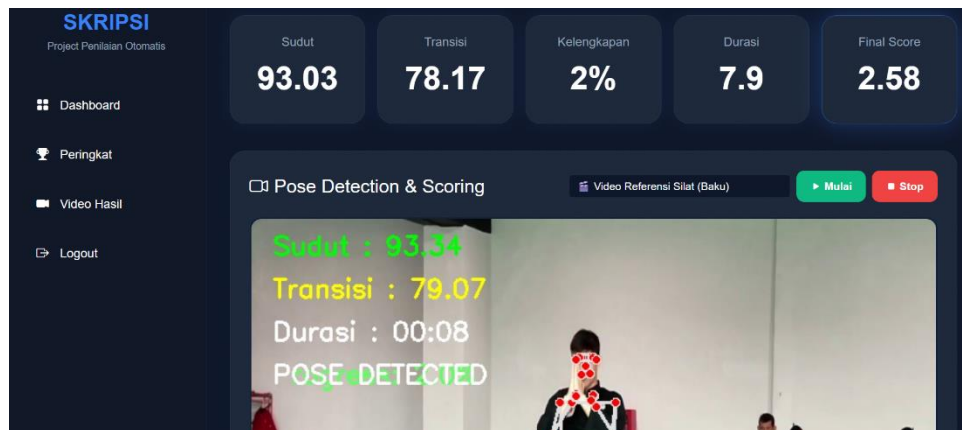
Gambar 4.7: Dashboard Sistem

Pada halaman dashboard ditampilkan berbagai menu yang dapat digunakan oleh pengguna untuk mengakses proses penilaian, melihat hasil penilaian, melihat data peserta, serta melihat informasi lainnya yang berkaitan dengan sistem.

Dashboard dirancang dengan tampilan yang sederhana dan mudah digunakan sehingga memudahkan pengguna dalam mengoperasikan sistem.

4.2.3. Halaman Penilaian

Halaman penilaian gerakan merupakan inti dari sistem yang dibangun. Pada halaman ini seluruh proses analisis gerakan dilakukan secara realtime menggunakan kamera yang terhubung dengan perangkat pengguna.



Gambar 4.8: Halaman Penilaian

Setelah pengguna menekan tombol Mulai Penilaian pada dashboard, sistem akan mengaktifkan kamera dan mulai mengambil frame video secara terus-menerus. Setiap frame yang diperoleh kemudian diproses menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi landmark tubuh pengguna.

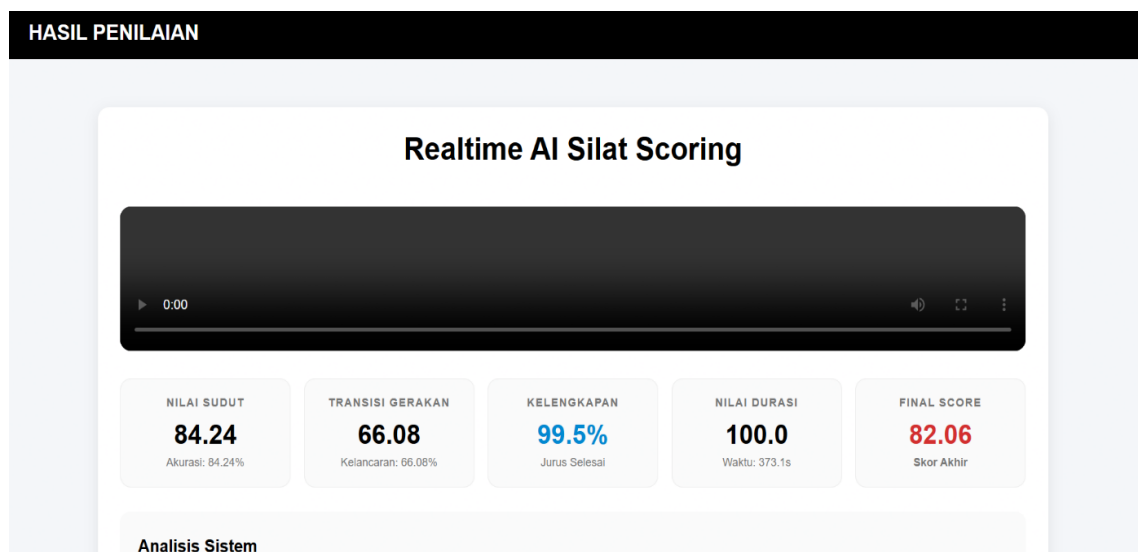
Landmark yang berhasil dideteksi selanjutnya digunakan untuk menghitung sudut tubuh sesuai parameter yang telah ditentukan. Nilai sudut tersebut dibandingkan dengan data referensi sehingga sistem dapat menghitung tingkat kesesuaian gerakan secara realtime.

Selama proses berlangsung, sistem juga menampilkan visualisasi skeleton hasil deteksi pose sehingga pengguna dapat mengetahui bahwa proses pendeteksian berjalan dengan baik. Selain itu, sistem secara otomatis menghitung nilai penilaian berdasarkan tingkat kesesuaian gerakan terhadap data referensi hingga proses penilaian selesai dilakukan.

Implementasi penilaian secara realtime memberikan keuntungan karena pengguna tidak perlu melakukan proses unggah video terlebih dahulu. Seluruh proses analisis dilakukan secara langsung sehingga hasil penilaian dapat diperoleh dalam waktu yang relatif singkat.

4.2.4. Halaman Hasil Penilaian

Halaman hasil penilaian merupakan halaman yang digunakan untuk menampilkan hasil akhir dari proses penilaian gerakan pencak silat yang telah dilakukan secara realtime. Halaman ini menampilkan video hasil proses penilaian serta beberapa komponen nilai yang digunakan dalam menentukan skor akhir peserta.



Gambar 4.9: Halaman Hasil Penilaian

Pada halaman hasil penilaian terdapat video hasil analisis yang dapat diputar kembali oleh pengguna. Video tersebut digunakan sebagai dokumentasi sekaligus bahan evaluasi terhadap gerakan yang telah dilakukan selama proses penilaian.

Selain video hasil penilaian, sistem menampilkan beberapa komponen penilaian, yaitu Nilai Sudut, Transisi Gerakan, Kelengkapan, Nilai Durasi, dan Final Score.

Nilai Sudut menunjukkan hasil penilaian berdasarkan kesesuaian sudut tubuh pengguna terhadap data referensi gerakan. Pada tampilan hasil pengujian pada Gambar 4.X, nilai sudut yang diperoleh adalah 84,24.

Transisi Gerakan menunjukkan nilai yang diperoleh berdasarkan kelancaran perpindahan gerakan selama proses penilaian. Pada hasil yang ditampilkan, nilai transisi gerakan adalah 66,08.

Kelengkapan menunjukkan persentase penyelesaian rangkaian gerakan yang berhasil dilakukan dan terdeteksi oleh sistem. Pada hasil pengujian tersebut, tingkat kelengkapan yang diperoleh adalah 99,5%, dengan keterangan bahwa rangkaian gerakan hampir seluruhnya berhasil diselesaikan.

Nilai Durasi menunjukkan hasil penilaian terhadap kesesuaian durasi pelaksanaan gerakan. Pada hasil yang ditampilkan, sistem memberikan nilai durasi sebesar 100,0 dengan waktu pelaksanaan 373,1 detik.

Seluruh komponen tersebut kemudian digunakan dalam proses perhitungan nilai akhir. Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Gambar 4.X, sistem menghasilkan Final Score sebesar 82,06.

Dengan adanya halaman hasil penilaian ini, pengguna dapat mengetahui hasil penilaian secara lebih terperinci, tidak hanya berupa nilai akhir tetapi juga komponen-komponen yang membentuk nilai tersebut. Video hasil penilaian juga dapat digunakan untuk melakukan evaluasi kembali terhadap pelaksanaan gerakan.

4.2.5. Halaman Peringkat

Halaman ranking digunakan untuk menampilkan daftar peserta berdasarkan hasil penilaian yang diperoleh. Data ditampilkan dalam bentuk tabel yang disusun berdasarkan nilai tertinggi hingga nilai terendah.

Ranking Penilaian Seni Tunggal

RANK	NAMA ATLET	KATEGORI	SUDUT	TRANSISI	DURASI	FINAL SCORE
1	udin	Seni Tunggal Putra	84	71	100	83
2	dinn	Seni Tunggal Putra	95	90	100	83
3	wahyu	Seni Tunggal Putra	90	91	100	82
4	alucrad	Seni Tunggal Putra	83	66	100	81
5	muuuuuuu	Seni Tunggal Putra	57	50	78	58
6	uus	Seni Tunggal Putra	57	44	9	54
7	ipsi	Seni Tunggal Putra	57	43	96	27
8	budi	Seni Tunggal Putra	29	40	9	26

Gambar 4.10: Halaman Peringkat atau Ranking

Informasi yang ditampilkan pada halaman ini meliputi nama peserta, nilai hasil penilaian, serta informasi lain yang berkaitan dengan proses penilaian.

Penyusunan ranking dilakukan secara otomatis berdasarkan nilai yang tersimpan pada basis data.

Fitur ranking memudahkan pengguna maupun administrator dalam melakukan perbandingan hasil penilaian antar peserta sehingga proses evaluasi dapat dilakukan dengan lebih objektif.

4.2.6. Implementasi Penyimpanan Data

Setiap proses penilaian yang berhasil dilakukan akan disimpan secara otomatis ke dalam basis data. Penyimpanan data dilakukan untuk menjaga riwayat hasil penilaian sehingga dapat diakses kembali apabila diperlukan.

<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>			id	athlete_name	category	angle_score	transition_score	duration_score	final_score	created_at	
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	1	uus	Seni Tunggal Putra	57.68	44.54	9.12	54	2026-07-16 22:59:01
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	2	budi	Seni Tunggal Putra	29.67	40.78	9.33	26.76	2026-07-16 23:10:27
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	4	ipsi	Seni Tunggal Putra	57.11	43.08	96.91	27.29	2026-08-21 18:10:41
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	5	wahyu	Seni Tunggal Putra	90.85	91.14	100	82.47	2026-08-21 18:30:20
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	6	dinn	Seni Tunggal Putra	95.91	90.91	100	83.04	2026-08-23 15:57:23
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	7	muuuuuuuu	Seni Tunggal Putra	57.42	50.78	78	58.85	2026-08-23 16:15:18
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	8	alucrad	Seni Tunggal Putra	83.37	66.68	100	81.69	2026-08-24 17:58:03
<div><div><div></div><div></div><div></div></div></div>	<div>Ubah</div>	<div>Salin</div>	<div>Hapus</div>	9	udinnnn	Seni Tunggal Putra	84.55	71.27	100	83.55	2026-08-26 22:31:11

Konsol

Pilih Semua

Dengan pilihan:

Ubah

Salin

Hapus

Ekspor

Gambar 4.11: Data hasil penilaian pada database

Data yang disimpan meliputi identitas peserta, nilai hasil penilaian, waktu pelaksanaan, serta lokasi penyimpanan video hasil penilaian. Seluruh proses penyimpanan dilakukan secara otomatis setelah sistem menyelesaikan proses analisis gerakan.

Dengan adanya penyimpanan data, sistem mampu mengelola riwayat penilaian secara lebih terstruktur dan memudahkan proses pencarian maupun pengolahan data pada waktu berikutnya.

4.3. Pengujian Sistem

4.3.1. Pengujian fungsional sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah setiap fitur utama pada sistem dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem dari proses login hingga proses penyimpanan hasil penilaian.

Fitur yang diuji meliputi autentikasi pengguna, dashboard, akses kamera, proses

penilaian realtime, penghentian penilaian, halaman hasil penilaian, penyimpanan hasil, halaman video hasil, serta halaman peringkat.

Pengujian dilakukan menggunakan metode black-box testing, yaitu pengujian yang berfokus pada fungsi sistem berdasarkan input dan output yang dihasilkan tanpa memperhatikan struktur kode program di dalam sistem.

No	Fitur	Kenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Register	Mengisi data pendaftaran dengan lengkap dan valid	Sistem Menerima dan menyimpan data yang di input ke database	Berhasil
2	Register	Mengisi data pendaftaran dengan data yang tidak lengkap	Sistem menolak pendaftaran dan meminta pengguna melengkapi data	Berhasil
3	Login	Memasukkan Username dan Password yang benar	Sistem menerima data dari pengguna dan berhasil masuk ke dashboard	Berhasil
4	Login	Memasukkan Data Yang Salah	Sistem menolak proses login dari user	Berhasil
5	Dashboard	Membuka Halaman Dashboard	Dashboard sitem berhasil ditampilkan	Berhasil

6	Kamera	Menekan Tombol Mulai	Kamera aktif dan memulai proses penilaian	Berhasil
7	Penilaian	Atlet Melakukan Gerakan	Sistem melakukan deteksi pose dan penilaian secara realtime	Berhasil
8	Stop	Menekan tombol Stop	Sistem berhenti menilai dan merekam dan masuk ke halaman hasil penilaian	Berhasil
9	Hasil	Setelah Penilaian Selesai	Nilai Sudut, Transisi, Durasi, kelengkapan dan Final Score ditampilkan	Berhasil
10	Penyimpanan	Menyimpan Hasil Atlet	Data Hasil Penilaian Tersimpan	Berhasil
11	Video	Membuka Halaman Video Hasil	Video hasil ditampilkan dan dapat diputar	Belum sepenuhnya
12	Download	Menekan Tombol Download	Video berhasil diunduh dan dapat diputar	Berhasil

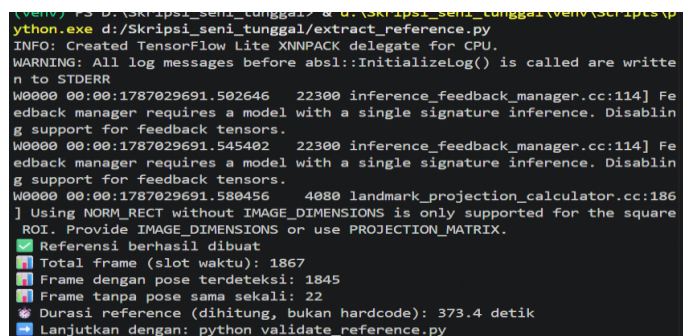
13	Ranking	Membuka halaman peringkat	Data peserta dan urutan peringkat ditampilkan	Berhasil
14	Log out	Menekan tombol Log Out	Sistem mengakhiri sesi dan kembali ke halaman login	Berhasil

Tabel 4.1: Pengujian Fungsional Sistem

4.3.2. Pengujian Human Pose Estimation

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi pose atlet melalui kamera. Sistem menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi 33 landmark tubuh pada setiap frame yang berhasil diproses.

Pengujian dilakukan dengan atlet melakukan gerakan Seni Tunggal di depan kamera. Sistem kemudian mengidentifikasi posisi landmark dan menampilkan skeleton pada video secara realtime.



```

venv/Scripts/python.exe d:/Skripsi_seni_tunggal/extract_reference.py
INFO: Created TensorFlow Lite XNNPACK delegate for CPU.
WARNING: All log messages before absl::InitializeLog() is called are written to STDERR
W0000 00:00:1787029691.502646 22300 inference_feedback_manager.cc:114] Feedback manager requires a model with a single signature inference. Disabling support for feedback tensors.
W0000 00:00:1787029691.545402 22300 inference_feedback_manager.cc:114] Feedback manager requires a model with a single signature inference. Disabling support for feedback tensors.
W0000 00:00:1787029691.580456 4080 landmark_projection_calculator.cc:186] Using NORM_RECT without IMAGE_DIMENSIONS is only supported for the square ROI. Provide IMAGE_DIMENSIONS or use PROJECTION_MATRIX.
✓ Referensi berhasil dibuat
📊 Total frame (slot waktu): 1867
📊 Frame dengan pose terdeteksi: 1845
📊 Frame tanpa pose sama sekali: 22
🕒 Durasi reference (dihitung, bukan hardcoded): 373.4 detik
👉 Lanjutkan dengan: python validate_reference.py

```

Gambar 4.12: Hasil deteksi HPE

Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat mendeteksi posisi tubuh atlet dan menghasilkan landmark yang digunakan dalam proses perhitungan sudut. Hasil validasi data reference sebelumnya menunjukkan bahwa dari 1.867 slot frame, sebanyak 1.845 frame memiliki pose yang dapat digunakan, sedangkan 22 frame

tidak memiliki angle valid.

4.3.3. Pengujian perhitungan Sudut tubuh

Setelah landmark berhasil diperoleh, sistem melakukan perhitungan sudut tubuh. Perhitungan dilakukan menggunakan tiga titik landmark yang membentuk sudut tertentu.

Penggunaan sudut bertujuan untuk memperoleh representasi bentuk gerakan yang lebih sesuai dibandingkan menggunakan koordinat posisi secara langsung. Nilai sudut dapat menggambarkan posisi relatif antara beberapa bagian tubuh sehingga dapat digunakan sebagai parameter dalam membandingkan gerakan atlet dengan reference.

Sistem menggunakan 15 parameter sudut, yaitu:

1. left elbow;
2. right elbow;
3. left wrist;
4. right wrist;
5. left shoulder;
6. right shoulder;
7. left hip;
8. right hip;
9. left knee;
10. right knee;
11. left ankle;
12. right ankle;

- 13. torso;
- 14. waist;
- 15. neck.

No	Parameter	Frame Valid	Validitas
1	Left Elbow	1476	79,1%
2	Right Elbow	1513	81%
3	Left Wrist	1453	77,8%
4	Right Wrist	1503	80,5%
5	Left Shoulders	1519	81,4%
6	Right Shoulders	1547	82,9%
7	Left Hip	1777	95,2%
8	Right Hip	1832	98,1%
9	Left Knee	1745	93,5%
10	Right Knee	1771	94,9%
11	Left Angkle	1739	93,1%
12	Right Angkle	1765	94,5%
13	Torso	1845	98,8%
14	Waist	1845	98,8%
15	Neck	1845	98,8%

Tabel 4.2: Hasil Validasi Parameter Sudut

Perhitungan dilakukan pada setiap frame yang memiliki landmark yang memenuhi kondisi validitas yang telah ditentukan.

Data reference yang digunakan terdiri dari 1.867 frame slot, dengan 1.845 frame memiliki angle valid dan 22 frame tidak memiliki angle valid. Dengan demikian, persentase frame dengan angle valid mencapai:

$$1.845 / 1.867 \times 100\% = 98,8\%$$

Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh parameter sudut berada di atas ambang validitas 70%. Data tersebut kemudian digunakan dalam proses pencocokan

```

=====
VALIDASI REFERENCE: reference/data/seni_ref.json
=====
Movement      : seni_tunggal
Total frame (slot) : 1867
Source FPS     : 25.0
Frame skip     : 5
Detik per frame ref : 0.2
Durasi reference : 373.4 detik
Visibility threshold : 0.5

Frame tanpa angle valid sama sekali : 22 (1.2% dari total)

=====
ANGLE          VALID      %      MIN      MAX      MEAN      STD      FLAG
=====
left_elbow      1476    79.1%    0.3    179.8    103.4    55.3
right_elbow     1513    81.0%    0.2    180.0    109.7    56.5
left_wrist      1453    77.8%    0.4    180.0    153.1    27.6
right_wrist     1503    80.5%    3.1    180.0    157.4    26.9
left_shoulder   1519    81.4%    0.0    179.6    44.6    51.4
right_shoulder  1547    82.9%    0.0    179.8    52.3    54.5
left_hip        1777    95.2%    0.6    180.0    143.1    41.4
right_hip       1832    98.1%    0.1    180.0    138.4    48.3
left_knee       1745    93.5%    0.4    180.0    142.1    42.3
right_knee      1771    94.9%    0.4    180.0    129.7    55.3
left_ankle      1739    93.1%    3.0    180.0    137.8    28.9
right_ankle     1765    94.5%    2.4    180.0    135.1    31.2
torso           1845    98.8%    0.6    180.0    171.1    23.0
waist           1845    98.8%    0.6    180.0    171.1    23.0
neck            1845    98.8%    3.6    180.0    152.8    21.7
=====

```

☑ Semua angle di atas ambang 70% validity.

gerakan.

Gambar 4.13 Hasil Perhitungan Parameter Sudut

4.3.4. Pengujian Kelengkapan gerakan

Pengujian kelengkapan gerakan dilakukan untuk mengetahui bagaimana sistem memberikan respons terhadap tingkat penyelesaian rangkaian gerakan reference. Sistem menggunakan informasi perkembangan pointer terhadap jumlah frame reference untuk memperoleh completion rate. Completion rate menggambarkan seberapa jauh rangkaian gerakan telah berhasil diikuti oleh atlet.

Mekanisme tersebut digunakan agar sistem tidak hanya memperhatikan kualitas beberapa gerakan yang berhasil dilakukan, tetapi juga mempertimbangkan sejauh mana rangkaian gerakan telah diselesaikan.

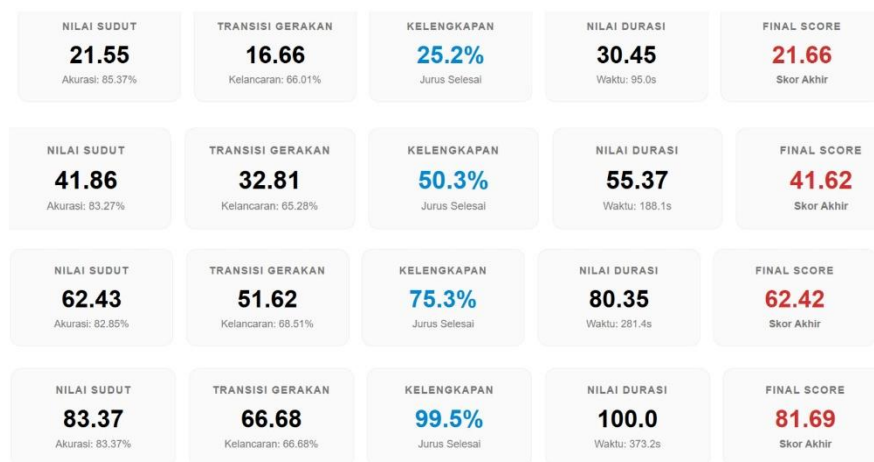
Sebagai contoh, apabila atlet hanya mengikuti sebagian awal reference, completion rate akan menunjukkan bahwa rangkaian belum selesai secara

keseluruhan.

Sistem juga memberikan toleransi penyelesaian sebesar **95%**. Apabila tingkat penyelesaian mencapai minimal 95%, sistem menganggap rangkaian telah selesai sepenuhnya.

No	Skenario	Completion	Kondisi yang Diharapkan
1	Seperempat rangkaian	$\pm 25\%$	Nilai disesuaikan dengan tingkat penyelesaian
2	Setengah rangkaian	$\pm 50\%$	Nilai disesuaikan dengan tingkat penyelesaian
3	Tiga perempat rangkaian	$\pm 75\%$	Nilai disesuaikan dengan tingkat penyelesaian
4	Hampir selesai	$\geq 95\%$	Dianggap selesai penuh
5	Selesai	100%	Dianggap selesai penuh

Tabel 4.3: Progress Pencocokan Gerakan
Nilai aktual masing-masing skenario nantinya diperoleh dari hasil pengujian



sistem

Gambar 4.14 Progress Pencocokan Reference

4.3.5. Pengujian Perhitungan Score

Pengujian perhitungan skor dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat menggabungkan hasil penilaian dari seluruh proses pencocokan menjadi nilai akhir.

Sistem tidak menentukan nilai akhir hanya berdasarkan satu frame atau gerakan terakhir. Nilai yang diperoleh dari proses pencocokan selama keseluruhan penampilan dikumpulkan dan digunakan untuk memperoleh nilai komponen penilaian.

Komponen penilaian terdiri dari:

1. Angle : 60%
2. Transition : 25
3. Duration; 15%

Sehingga:

$$\text{Final Score} = (\text{Angle} \times 0,60) + (\text{Transition} \times 0,25) + (\text{Duration} \times 0,15)$$

Angle menjadi komponen dengan bobot terbesar karena kesesuaian bentuk atau posisi tubuh merupakan faktor utama yang digunakan sistem dalam menilai gerakan.

Transition digunakan untuk menilai perubahan antar gerakan. Pada sistem, nilai transisi juga mempertimbangkan kualitas pose sehingga transisi tidak memperoleh nilai tinggi ketika pose yang dilakukan tidak sesuai.

Duration digunakan untuk menilai kesesuaian waktu penampilan terhadap reference. Selain itu, nilai Angle dan Transition disesuaikan dengan tingkat completion sehingga atlet yang hanya menyelesaikan sebagian rangkaian tidak secara otomatis memperoleh nilai penuh hanya karena sebagian gerakannya memiliki kesesuaian tinggi.

No	Skenario	Angle	Transition	Duration	Final Score
1	Gerakan Sangat	84.55	71.27	100	83,55

	Sesuai				
2	Gerakan Sebagian Sesuai	20.24	24,65	77,89	30,1
3	Gerakan Kurang Sesuai	0	0	100	
4	Gerakan Tidak Sesuai	0	0	100	15

Tabel 4.4; Tampilan Hasil Perhitungan Score

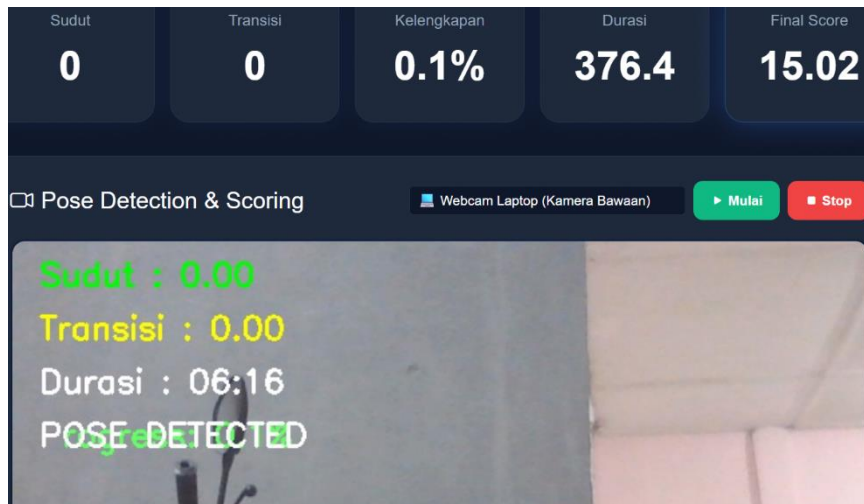
4.3.6. Pengujian Durasi

Pengujian durasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membandingkan durasi penampilan atlet dengan durasi reference.

Durasi reference diperoleh berdasarkan data video yang telah diproses. Sistem tidak menggunakan durasi yang ditentukan secara manual, tetapi menggunakan durasi yang diperoleh dari data reference.

Pada proses pengujian, durasi penampilan dibandingkan dengan durasi reference. Semakin sesuai durasi penampilan dengan durasi reference, semakin tinggi nilai Duration yang diperoleh.

Pada pengujian yang telah dilakukan, durasi reference tercatat sekitar **377 detik**, dan ketika waktu penampilan mencapai durasi yang sama, komponen Duration mencapai nilai maksimal sebesar 15 poin sesuai dengan bobot komponen Duration.



Gambar 4.15: Perhitungan Durasi

4.3.7. Pengujian Video Hasil Penilaian

Pengujian video hasil dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat menyimpan video penampilan atlet setelah proses penilaian selesai.

Video hasil digunakan sebagai dokumentasi penampilan dan dapat ditampilkan kembali melalui halaman Video Hasil.

Pengujian meliputi proses:

1. memulai penilaian;
2. melakukan gerakan;
3. menghentikan penilaian;
4. menyimpan video;
5. membuka halaman Video Hasil;
6. memutar video;
7. mengunduh video.

4.3.8. Pengujian Penyimpanan dan Ranking

Pengujian penyimpanan dilakukan untuk memastikan hasil penilaian dapat disimpan dan digunakan sebagai data peserta.

Data yang disimpan meliputi informasi atlet dan hasil penilaian. Data tersebut kemudian digunakan pada halaman peringkat untuk menampilkan urutan peserta berdasarkan nilai yang diperoleh.

No	Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Perekaman	Video Berhasil Direkam	Berhasil
2	Penyimpanan	File Video Tersimpan	Berhasil
3	Tampilan	Video Muncul Pada Halaman	Berhasil
4	Pemutaran	Video Dapat Diputar	Kurang Berhasil
5	Download	Video Dapat Didownload dan diputar	Berhasil

Tabel 4.5: Tabel Pengujian Sistem

4.3.9. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan keseluruhan pengujian, sistem dianalisis berdasarkan kemampuan setiap komponen dalam menjalankan proses penilaian Seni Tunggal.

Pada tahap deteksi pose, sistem mampu memperoleh landmark tubuh dari input kamera yang digunakan. Data landmark tersebut menjadi dasar dalam perhitungan sudut tubuh.

Berdasarkan validasi reference, sebanyak 1.845 dari 1.867 frame memiliki angle yang valid. Hal tersebut menghasilkan tingkat validitas sebesar 98,8%. Sementara itu, terdapat 22 frame atau sekitar 1,2% yang tidak memiliki angle valid.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar data reference dapat digunakan dalam proses analisis. Frame yang tidak memiliki angle valid tidak secara otomatis diberikan nilai nol, tetapi dilewati dalam proses perhitungan sesuai

mekanisme sistem.

Pada proses pencocokan gerakan, sistem membandingkan data gerakan atlet dengan reference secara berurutan. Penggunaan pointer dan time ceiling membantu menjaga pencocokan tetap mengikuti perkembangan waktu penampilan.

Pada proses penilaian, sistem menggabungkan hasil dari tiga komponen utama. Angle memiliki bobot terbesar sebesar 60%, Transition sebesar 25%, dan Duration sebesar 15%.

Penggunaan completion rate juga membantu sistem mempertimbangkan tingkat penyelesaian rangkaian gerakan. Dengan demikian, hasil penilaian tidak hanya bergantung pada beberapa frame yang memiliki kemiripan tinggi, tetapi juga mempertimbangkan seberapa jauh rangkaian gerakan reference telah diikuti.

Pada komponen Duration, pengujian menunjukkan bahwa ketika durasi penampilan sesuai dengan durasi reference, nilai Duration dapat mencapai nilai maksimal sebesar 15 poin.

Hasil akhir dari pengujian selanjutnya digunakan untuk mengetahui apakah sistem telah memenuhi kebutuhan sebagai sistem penilaian otomatis berbasis Human Pose Estimation.

4.4. Kelebihan dan Kekurangan Sistem

Bagian ini menjelaskan hasil evaluasi terhadap sistem setelah proses implementasi dan pengujian dilakukan. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kelebihan yang dimiliki sistem dalam membantu proses penilaian gerakan Seni Tunggal serta keterbatasan yang masih terdapat pada sistem. Hasil evaluasi ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya.

4.4.1. Kelebihan Sistem

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. Penilaian dilakukan secara realtime.

Sistem dapat melakukan proses analisis gerakan secara langsung menggunakan kamera. Ketika atlet melakukan gerakan, sistem memperoleh data pose dan melakukan proses penilaian secara realtime sehingga pengguna tidak harus menunggu proses analisis setelah video selesai direkam.

2. Menggunakan Human Pose Estimation.

Sistem menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi posisi tubuh atlet. Hasil deteksi berupa landmark tubuh digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan sudut dan analisis gerakan.

3. Tidak memerlukan sensor tambahan.

Sistem hanya memanfaatkan kamera sebagai perangkat input. Dengan demikian, atlet tidak memerlukan sensor atau perangkat khusus yang harus dipasang pada tubuh selama proses penilaian.

4. Penilaian dilakukan secara otomatis.

Sistem melakukan beberapa tahapan secara otomatis, mulai dari pendeteksian pose, ekstraksi landmark, perhitungan sudut tubuh, pencocokan dengan gerakan reference, hingga menghasilkan nilai penilaian.

5. Menggunakan data gerakan reference sebagai acuan.

Penilaian dilakukan dengan membandingkan gerakan atlet terhadap data gerakan reference yang telah diproses sebelumnya. Hal ini memungkinkan sistem

memiliki acuan gerakan dalam menentukan tingkat kesesuaian gerakan atlet.

6. Mempertimbangkan beberapa aspek penilaian.

Sistem tidak hanya menggunakan satu parameter dalam menentukan nilai akhir, tetapi menggabungkan tiga komponen penilaian, yaitu Angle Score sebesar 60%, Transition Score sebesar 25%, dan Duration Score sebesar 15%. Penggunaan beberapa komponen tersebut memungkinkan penilaian mempertimbangkan bentuk gerakan, perpindahan gerakan, serta kesesuaian durasi penampilan.

7. Mempertimbangkan tingkat penyelesaian gerakan.

Sistem menggunakan informasi completion untuk mempertimbangkan sejauh mana rangkaian gerakan telah diikuti oleh atlet. Dengan demikian, atlet yang hanya melakukan sebagian rangkaian tidak secara otomatis memperoleh nilai penuh hanya karena sebagian gerakannya memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi.

8. Menyediakan visualisasi skeleton secara realtime.

Sistem menampilkan hasil deteksi pose dalam bentuk titik landmark dan garis skeleton sehingga proses pendeteksian posisi tubuh dapat diamati secara langsung selama penilaian.

9. Menyediakan hasil penilaian yang dapat didokumentasikan.

Setelah proses penilaian selesai, sistem menyediakan hasil penilaian beserta video hasil penampilan. Video tersebut dapat digunakan untuk melihat kembali penampilan atlet dan menjadi bahan evaluasi.

10. Hasil penilaian dapat disimpan.

Data atlet dan hasil penilaian dapat disimpan dalam sistem sehingga hasil yang telah diperoleh dapat digunakan kembali untuk keperluan dokumentasi dan

pengelolaan data peserta.

11. Tersedia fitur peringkat.

Sistem menyediakan halaman peringkat yang dapat digunakan untuk menampilkan urutan peserta berdasarkan hasil penilaian. Fitur ini membantu proses perbandingan nilai antar peserta.

12. Berbasis web.

Sistem dibangun dalam bentuk aplikasi berbasis web sehingga antarmuka penilaian dapat digunakan melalui web browser. Hal tersebut membuat proses penggunaan sistem lebih terintegrasi dalam satu aplikasi.

4.4.2. Kekurangan Sistem

Selain memiliki beberapa kelebihan, sistem yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan. Berdasarkan proses implementasi dan pengujian, beberapa kekurangan sistem adalah sebagai berikut:

1. Bergantung pada kualitas kamera.

Kualitas kamera dapat mempengaruhi hasil pendeteksian pose. Resolusi yang rendah atau kualitas gambar yang kurang baik dapat menyebabkan landmark tertentu lebih sulit dideteksi dan pada akhirnya mempengaruhi proses analisis gerakan.

2. Dipengaruhi kondisi pencahayaan.

Kondisi pencahayaan yang terlalu gelap atau tidak merata dapat mempengaruhi kemampuan Human Pose Estimation dalam mendeteksi landmark tubuh.

3. Posisi dan jarak kamera perlu diperhatikan.

Atlet perlu berada pada posisi dan jarak yang sesuai agar bagian tubuh yang digunakan dalam proses penilaian dapat terlihat oleh kamera. Apabila sebagian

tubuh berada di luar area kamera, hasil deteksi dapat berkurang.

4. Occlusion dapat mempengaruhi pendeteksian landmark.

Gerakan Seni Tunggal memiliki berbagai posisi tubuh, termasuk gerakan dengan tangan atau kaki yang dapat menutupi bagian tubuh lainnya. Kondisi tersebut dapat menyebabkan sebagian landmark tidak terdeteksi dengan baik pada frame tertentu.

5. Sistem bergantung pada data reference.

Kualitas proses pencocokan dipengaruhi oleh kualitas data reference yang digunakan. Reference harus memiliki data pose yang cukup baik agar dapat digunakan sebagai acuan dalam proses penilaian.

6. Sistem belum mencakup seluruh aspek penilaian Seni Tunggal seperti penilaian juri manusia.

Sistem berfokus pada aspek gerakan yang dapat dianalisis melalui data pose, sudut tubuh, transisi, dan durasi. Aspek lain yang memerlukan pengamatan langsung oleh manusia belum sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh sistem.

7. Perbedaan karakteristik gerakan atlet dapat mempengaruhi hasil penilaian.

Setiap atlet dapat memiliki perbedaan postur tubuh, kecepatan gerakan, maupun gaya dalam melakukan gerakan. Perbedaan tersebut dapat menghasilkan nilai yang berbeda ketika dibandingkan dengan reference.

8. Sistem masih terbatas untuk satu atlet dalam satu proses penilaian.

Sistem belum dirancang untuk melakukan analisis beberapa atlet secara bersamaan menggunakan satu kamera. Oleh karena itu, proses penilaian dilakukan terhadap satu atlet pada satu waktu.

9. Belum memberikan koreksi gerakan secara spesifik.

Sistem menghasilkan nilai berdasarkan tingkat kesesuaian gerakan, tetapi belum memberikan penjelasan secara detail seperti "*siku kiri terlalu rendah*" atau "*sudut lutut terlalu besar*". Dengan demikian, pengguna masih perlu melihat kembali video hasil untuk mengetahui bagian gerakan yang perlu diperbaiki.

10. Kinerja realtime dipengaruhi kemampuan perangkat.

Proses Human Pose Estimation dan perhitungan skor dilakukan secara realtime sehingga performa sistem dapat dipengaruhi oleh kemampuan komputer yang digunakan, khususnya kemampuan CPU dan kualitas koneksi kamera.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, implementasi, dan pengujian sistem pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penilaian seni tunggal pencak silat berbasis web berhasil diimplementasikan dengan memanfaatkan Human Pose Estimation menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi *landmark* tubuh atlet secara realtime. Data *landmark* tersebut digunakan untuk memperoleh parameter sudut tubuh sebagai dasar dalam proses analisis gerakan.
2. Sistem berhasil melakukan pencocokan gerakan atlet terhadap gerakan reference secara berurutan dengan memanfaatkan *reference pointer*. Proses pencocokan mempertimbangkan kesesuaian sudut tubuh, perpindahan gerakan, serta tingkat penyelesaian rangkaian gerakan sehingga gerakan yang dilakukan atlet dapat dinilai berdasarkan tingkat kesesuaiannya terhadap gerakan reference.
3. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem telah dapat menjalankan proses penilaian secara otomatis dengan menggunakan tiga komponen penilaian, yaitu Angle Score sebesar 60%, Transition Score sebesar 25%, dan Duration Score sebesar 15%, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan *Final Score*. Sistem juga menyediakan penyimpanan hasil penilaian, video hasil, dan peringkat peserta sebagai pendukung proses evaluasi.

5.2. Saran

Berdasarkan keterbatasan dan hasil yang telah diperoleh, maka saran untuk pengembangan penelitian dan sistem ke depan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data *reference* dan data

pengujian yang lebih beragam serta melibatkan lebih banyak atlet agar sistem dapat diuji pada variasi gerakan, kecepatan, dan kondisi pengambilan video yang lebih luas.

2. Pengembangan sistem selanjutnya disarankan meningkatkan metode pencocokan gerakan agar dapat menangani perbedaan tempo dan kecepatan gerakan atlet terhadap gerakan reference dengan lebih optimal.

3. Penelitian berikutnya disarankan menambahkan analisis yang lebih detail terhadap kesalahan gerakan, sehingga sistem tidak hanya menghasilkan nilai penilaian, tetapi juga dapat memberikan informasi mengenai bagian tubuh atau gerakan yang menyebabkan penurunan nilai.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibah Sahrani, A. Q. (2023, 5 23). SISTEM PEMBELAJARAN PENCAK SILAT BERBASIS MULTIMEDIA MENGGUNAKAN ANDROID. *pencak silat*, 5, 95-99. doi:<http://dx.doi.org/10.35329/jp.v4i1.3510>
- Agus, R. M., & F. E. (2020). ANALISIS TINGKAT KEPERCAYAAN DIRI SAAT BERTANDING ATLET PENCAK SILAT PERGURUAN SATRIA SEJATI. *ANALISIS TINGKAT KEPERCAYAAN DIRI SAAT BERTANDING ATLET PENCAK SILAT PERGURUAN SATRIA SEJATI*, 12.
- Archana, R., & P. S. (2024). Deep Learning Models for Digital Image Processing: A Review. doi:10.1007/s10462-023-10631-z
- Badiola-Bengoa, A., & A. M.-Z. (2021). A Systematic Review of the Application of Camera-Based Human Pose Estimation in the Field of Sport and Physical Exercise. *A Systematic Review of the Application of Camera-Based Human Pose Estimation in the Field of Sport and Physical Exercise*. doi:10.3390/s21185996
- Bagas Alif Fimaskoro, S. A. (2024, Februari 1). Identifikasi Atlet Anggar Berdasarkan Pengukuran Antropometri Menggunakan MediaPipe Pose. *mpp*, ID 11 - ID 16.
- Fukushima, T. (2024). The Potential of Human Pose Estimation for Motion Capture in Sports: A Validation Study. *Sports Engineering*, 27, artikel 19. doi:10.1007/s12283-024-00460-w
- I P Julian Taruna S, K. Q. (2022, Februari). PENGENALAN GERAKAN SIKAP DASAR PENCAK SILAT BAKTI NEGARA BERBASIS APLIKASI MOBILE MENGGUNAKAN NEURAL NETWORK. *Pengenalan_Gerakan_Sikap_Dasar_Pencak_Silat_Bakti_*, 58 - 65.
- Image Feature Extraction Techniques: A Comprehensive Review. (2025). *Image Feature Extraction Techniques: A Comprehensive Review*. From <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100366>
- Kevin Ragil Krisna Dyansyah, A. B. (2022, 5 1). Penerapan Estimasi Pose dengan Model MoveNet untuk Klasifikasi Posisi Gerakan Deadlift Menggunakan XGBoost. *pengenalan gerakan olahraga, Volume 4*, 37-45. doi:<https://doi.org/10.52435/jaiit.v4i1.182>
- Kevin Ragil Krisna Dyansyah, S. D. (2025, Januari 25). Penggunaan Computer Vision untuk Estimasi Pose Squat sebagai. *stains2021*, +5825+199-207+Penggunaan+Computer+Vision+untuk+Estimasi+Pose+Squat+sebagai+Solusi+Alternatif+Latihan+Kebugaran+di+Gym, 199-206.
- Kriswanto, E. S. (2015). *Pencak Silat* (154 ed.). Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Meylin Tiflakhul Mubayyin, E. M. (2025, 6 13). Klasifikasi dan deteksi pose pilates menggunakan Mediapipe dan Random Forest Classifier. *7.+Mubayyin+dkk+(56-63), 19(1)*, 56-63. doi:10.24252/teknosains.v19i1.53698
- Riko Andriawan, P. K. (2025). Implementasi Teknik Ekstraksi Pose dengan MediaPipe dan Klasifikasi Random Forest untuk Penentuan Kualitas Gerakan Push-Up. *1723-1732+7159+Implementasi+Teknik+Ekstraksi+Pose+dengan+MediaPipe+dan+Klasifikasi+Random+Forest+untuk+Penentuan+Kualitas+Gerakan+Push-Up*, 9, 1723 - 1732. From : <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/>
- S, B. N. (2022). PENGENALAN GESTUR GERAKAN JARI UNTUK MENGONTROL VOLUME DI KOMPUTER MENGGUNAKAN LIBRARY OPENCV DAN MEDIAPIPE. *library open cv dan mediappe*.
- Saiful Nur Budiman, S. L. (2025, 11 25). PENGENALAN GESTUR GERAKAN JARI UNTUK MENGONTROL VOLUME DI KOMPUTER MENGGUNAKAN LIBRARY OPENCV DAN MEDIAPIPE. *library open cv dan mediapipe*, 16,

- 223 - 232. doi:<https://doi.org/10.35457/antivirus.v16i2.2508>
- Salma Ashillah, S. A. (2025, 5 26). Implementasi Algoritma Pengolahan Citra Digital untuk Perbaikan Kualitas Gambar. *implementasi gerakan citra*, 274-280.
- Syaifullah, R. (2020). Pencak silat talent test development. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 361-368.
- Valentin Bazarevsky, I. G. (2020, 7 17). BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking. *BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking*, 1-3.
- Vartin Suhandi^{1*}, H. S. (2024, September). Personal Training with Tai Chi: Classifying Movement using Mediapipe. *personal training taichi*, 767–775.
- Yovi Apridiansyah, A. W. (2024). Pengolahan Citra Berbasis Video Proccesing dengan Metode Frame. *citra 2*, 81-89.