

BAB II

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait dilakukan untuk mengetahui perkembangan penelitian mengenai deteksi pose tubuh (*pose estimation*), termasuk metode, hasil, serta kelebihan dan kekurangannya. Kajian ini menjadi dasar dalam menentukan metode penelitian dan menunjukkan perbedaan serta kontribusi penelitian yang dilakukan. Ringkasannya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terkait

No	Penulis dan Tahun	Judul	Objek penelitian	Kelebihan	Kekurangan	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	(Kim dkk., 2023)	Human Pose Estimation Using MediaPipe Pose and Optimization Method Based on a Humanoid Model	Implementasi MediaPipe Pose untuk estimasi pose tubuh manusia dengan pendekatan model humanoid.	Mampu meningkatkan akurasi estimasi pose dan menghasilkan deteksi landmark tubuh yang lebih stabil melalui optimasi model humanoid. Sistem dapat berjalan secara real-time dengan performa yang baik.	Penelitian lebih berfokus pada peningkatan akurasi estimasi pose dan belum mengevaluasi pengaruh kondisi pencahayaan, perubahan postur yang cepat, maupun penggunaan sumber daya perangkat seperti CPU, RAM, dan FPS pada perangkat spesifikasi menengah.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode optimasi berbasis humanoid mampu meningkatkan kualitas estimasi pose dan menghasilkan deteksi landmark yang lebih akurat dibandingkan pendekatan standar MediaPipe Pose.	Penelitian ini sama-sama menggunakan MediaPipe Pose sebagai metode utama. Perbedaannya, penelitian yang dilakukan tidak hanya mendeteksi pose tubuh, tetapi juga mengklasifikasi aktivitas berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh, serta mengevaluasi performa sistem berdasarkan akurasi, FPS, penggunaan CPU, dan RAM pada perangkat spesifikasi menengah.

2	(Lugar esi dkk., 2019)	Pengemb angan framework MediaPipe e untuk berbagai aplikasi computer vision secara real-time.	Framewor k modular, ringan, dan mendukung pemrosesan real-time pada berbagai platform.	Tidak membah as impleme ntasi khusus deteksi pose maupun klasifikasi aktivitas manusia.	Peneliti a n hanya menjelaskan arsitektur framework MediaPipe dan belum membahas impleme ntasi khusus untuk klasifikasi pose tubuh maupun evaluasi performa sistem.	MediaPipe menjadi framework yang efisien dalam membangun aplikasi computer vision secara real-time.	Penelitian ini mengimpleme ntasikan MediaPipe Pose untuk mendeteksi pose tubuh serta mengklasifikas ikan aktivitas manusia secara real-time.
3	(Cao dkk., 2019)	Realtime Multi- Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields	Estimasi pose banyak orang (multi- person).	Akurasi tinggi dalam mendete ksi pose beberapa orang secara bersamaa n.	Membutu hkan komputas i yang besar sehingga kurang optimal pada perangkat spesifikasi menengah.	Berhasil mendeteks i pose multi- person secara real-time dengan akurasi tingg	Penelitian ini berfokus pada satu pengguna sehingga lebih ringan dijalankan pada laptop spesifikasi menengah dan mengevaluasi penggunaan CPU serta RAM.
4	(Alam dkk., 2022)	Vision- Based Human Fall Detection Using Pose Estimatio n: A Review	Kajian metode deteksi jatuh Berbasis pose estimation.	Menyajik an analisis kompreh ensif mengena i berbagai metode deteksi jatuh.	Hanya berupa kajian literatur Sehingga tidak melakuka n impleme ntasi maupun pengujian sistem.	Pose estimation dinilai efektif Untuk mendeteks i jatuh, namun masih dipengaruh i kondisi pencahaya an dan perubahan posisi tubuh	Penelitian ini mengimpleme ntasikan sistem deteksi berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh menggunakan MediaPipe Pose serta menguji pengaruh pencahayaan terhadap performa sistem.
5	(Mehta dkk., 2017)	VNect: Real-Time 3D Human Pose Estimatio n with a Single RGB Camera	Estimasi pose tubuh manusia tiga dimensi (3D) mengguna kan satu kamera RGB secara real- time.	Mampu mengesti masi pose tubuh 3D secara real- time hanya menggun akan satu kamera tanpa memerlu kan sensor tambah a n.	Membutu hkan kemampu an komputas i yang cukup tinggi dan lebih berfokus pada estimasi pose 3D daripada klasifikas i aktivitas tubuh.	Hasil penelitian menunjuk k an bahwa VNect mampu menghasil kan estimasi pose tubuh 3D secara real-time dengan akurasi yang baik mengguna	Penelitian ini menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi dan mengklasifikas ikan aktivitas berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh pada pose 2D yang lebih ringan sehingga dapat dijalankan pada laptop

					Penelitian ini juga tidak mengevaluasi penggunaan CPU, RAM, maupun FPS pada perangkat spesifikasi menengah.	kan kamera RGB tunggal.	spesifikasi menengah serta dievaluasi menggunakan akurasi, FPS, CPU, dan RAM.
6	(Alam dkk., 2024)	Real-Time Human Fall Detection using a Lightweight Pose Estimation Technique	Deteksi jatuh menggunakan pose estimation ringan	Mampu berjalan secara real-time pada perangkat dengan komputasi rendah dan tidak memerlukan GPU khusus	Menggunakan akan MoveNet sehingga tidak mengevaluasi MediaPipe Pose maupun pengaruh kondisi pencahayaan	Sistem berhasil mendeteksi kejadian jatuh secara real-time dengan performa yang baik pada perangkat berdaya komputasi rendah.	Penelitian ini menggunakan MediaPipe Pose, mengevaluasi pengaruh pencahayaan, serta mengukur akurasi, FPS, penggunaan CPU, dan RAM pada laptop spesifikasi menengah.
7	(Aziz & Mahmood, 2023)	Automated Body Postures Assessment from Still Images Using Mediapipe	Sistem penilaian postur tubuh otomatis menggunakan MediaPipe dengan membandingkan pose pengguna terhadap pose referensi.	Menggunakan MediaPipe BlazePose untuk mendeteksi 33 body landmark secara real-time, dapat memberikan umpan balik (feedback) koreksi postur, dan dapat diterapkan pada berbagai aplikasi seperti olahraga dan pelatihan.	Pengujian hanya dilakukan pada pose berdiri dan duduk dengan sudut pandang samping, belum mengevaluasi pengaruh pencahayaan, penggunaan CPU, RAM, FPS, maupun deteksi aktivitas seperti membungkuk dan jatuh	Sistem mampu membandingkan pose pengguna dengan pose referensi secara real-time menggunakan webcam dan memberikan informasi koreksi postur dengan hasil yang menjanjikan pada pengujian berdiri dan duduk	Penelitian ini mengembangkan implementasi MediaPipe Pose untuk mengklasifikasikan empat aktivitas (berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh), menguji pengaruh kondisi pencahayaan, serta mengevaluasi akurasi, FPS, penggunaan CPU, dan RAM pada laptop spesifikasi menengah.

Penelitian mengenai *human pose estimation* telah banyak dilakukan menggunakan berbagai metode, seperti mediapipe Pose, blazepose, openpose, dan metode lainnya.

Sebagian besar penelitian menunjukkan hasil yang baik dalam mendeteksi pose tubuh manusia secara *real-time*. Namun, masih terdapat beberapa keterbatasan, seperti belum dilakukannya evaluasi terhadap penggunaan CPU, RAM, dan FPS, terbatasnya jenis aktivitas yang dideteksi, serta belum adanya pengujian pada berbagai kondisi pencahayaan. Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan mediapipe Pose untuk mendeteksi empat aktivitas tubuh, yaitu berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh secara *real-time*. Selain mengevaluasi tingkat akurasi, penelitian ini juga menganalisis performa sistem berdasarkan FPS, penggunaan CPU, dan RAM pada perangkat dengan spesifikasi menengah sehingga diharapkan dapat memberikan pengembangan terhadap penelitian sebelumnya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pose Estimation

Pose estimation merupakan salah satu teknik dalam bidang *computer vision* yang digunakan untuk mendeteksi dan memperkirakan posisi tubuh manusia berdasarkan citra atau video melalui identifikasi titik-titik penting (*keypoints* atau *landmarks*) pada tubuh manusia (Zhang dkk., 2020). Titik-titik tersebut kemudian dihubungkan sehingga membentuk kerangka tubuh (*human skeleton*) yang dapat digunakan untuk menggambarkan posisi dan gerakan tubuh manusia (Calvin dkk., 2023)

Pose estimation telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, antara lain *Human Activity Recognition* (HAR), analisis olahraga, rehabilitasi medis, sistem keamanan, serta deteksi jatuh (*fall detection*) (Lay, 2022)

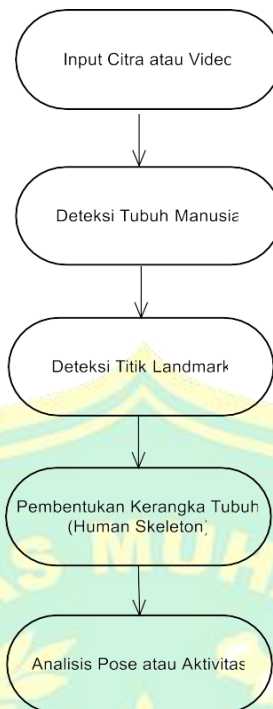
Penggunaan pose estimation memungkinkan sistem mengenali aktivitas

manusia tanpa memerlukan sensor yang dikenakan pada tubuh, sehingga proses identifikasi aktivitas menjadi lebih praktis dan efisien(Fadilatul Islamiah dkk., t.t.)

Secara umum, proses pose estimation dimulai dengan pengambilan gambar atau video menggunakan kamera. Selanjutnya, sistem mendeteksi tubuh manusia dan menentukan posisi setiap *landmark* pada bagian tubuh (Ragil, Dyansyah, Dwi Purwanto, dkk., 2025). Setelah seluruh *landmark* berhasil dideteksi, titik-titik tersebut dihubungkan sehingga membentuk kerangka tubuh (*human skeleton*) yang digunakan sebagai dasar untuk menganalisis posisi maupun aktivitas seseorang(Yaswindira Ayu Sekar Pawening, 2023)

Perkembangan teknologi *deep learning* telah menghasilkan berbagai metode pose estimation yang mampu bekerja secara *real-time*, seperti OpenPose, BlazePose, dan MediaPipe Pose(Pramudya Cipta Panataagama, 2025).

Di antara berbagai metode tersebut, MediaPipe Pose menjadi salah satu metode yang banyak digunakan karena mampu mendeteksi 33 titik landmark tubuh dengan tingkat akurasi yang baik serta kebutuhan komputasi yang relatif ringan, sehingga dapat diimplementasikan pada perangkat dengan spesifikasi menengah (Daniel Tanugraha dkk., 2022).



Gambar 2. 1 Alur Proses Pose Estimation

Gambar 2.1 menunjukkan tahapan umum proses *pose estimation*.

Proses dimulai dari pengambilan citra atau video sebagai masukan sistem, kemudian dilakukan deteksi tubuh manusia, pendeteksian titik-titik penting (*body landmark*), pembentukan kerangka tubuh (*human skeleton*), hingga proses analisis pose atau aktivitas. Adapun penjelasan dari setiap tahapan pada Gambar 2.1 adalah MediaPipe Pose

1. Input Citra atau Video

Tahap pertama adalah proses pengambilan citra atau video menggunakan kamera sebagai sumber masukan (**input**) sistem. Setiap frame yang diperoleh akan diproses secara berurutan untuk mendeteksi posisi tubuh pengguna secara **real-time**.

2. Deteksi Tubuh Manusia

Pada tahap ini, sistem mendeteksi keberadaan tubuh manusia di dalam citra atau

video. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa objek yang diproses merupakan tubuh manusia sehingga dapat dilanjutkan ke tahap pendeteksian titik-titik tubuh.

3. Deteksi Titik Landmark

Setelah tubuh manusia berhasil dikenali, sistem mendeteksi titik-titik penting (*body landmark*) pada berbagai bagian tubuh, seperti kepala, bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Titik-titik tersebut digunakan sebagai representasi posisi setiap bagian tubuh.

4. Pembentukan Kerangka Tubuh (*Human Skeleton*)

Body landmark yang telah diperoleh kemudian dihubungkan sehingga membentuk kerangka tubuh (*human skeleton*). Kerangka tubuh ini memberikan gambaran mengenai hubungan antarbagian tubuh, sehingga memudahkan sistem dalam menganalisis posisi dan orientasi tubuh pengguna.

5. Analisis Pose atau Aktivitas

Tahap terakhir adalah proses analisis pose atau aktivitas berdasarkan informasi yang diperoleh dari kerangka tubuh. Sistem menganalisis posisi setiap bagian tubuh untuk mengenali aktivitas yang sedang dilakukan oleh pengguna, seperti berdiri, duduk, membungkuk, atau aktivitas lainnya sesuai kebutuhan penelitian.

2.2.2 MediaPipe Pose

MediaPipe Pose merupakan salah satu solusi *pose estimation* yang dikembangkan oleh Google melalui framework MediaPipe untuk mendeteksi posisi tubuh manusia secara *real-time* menggunakan citra maupun video. MediaPipe Pose

memanfaatkan model BlazePose untuk mengidentifikasi titik-titik penting (*landmarks*) pada tubuh manusia secara akurat dengan kebutuhan komputasi yang relatif rendah, sehingga dapat diterapkan pada berbagai perangkat, seperti komputer maupun perangkat bergerak (*mobile devices*) (Bazarevsky dkk., 2020)

MediaPipe Pose bekerja melalui dua tahapan utama, yaitu *pose detection* dan *pose landmark estimation*. Pada tahap *pose detection*, sistem mendeteksi keberadaan tubuh manusia pada citra atau video. Selanjutnya, pada tahap *pose landmark estimation*, sistem menentukan posisi setiap *landmark* sehingga terbentuk representasi kerangka tubuh (*human skeleton*) yang digunakan sebagai dasar dalam menganalisis postur maupun aktivitas pengguna (Camillo dkk., 2019).

Salah satu keunggulan MediaPipe Pose adalah kemampuannya dalam melakukan deteksi pose secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang baik dan penggunaan sumber daya komputasi yang efisien. Selain itu, MediaPipe Pose mampu mendeteksi 33 titik *body landmarks* yang merepresentasikan berbagai bagian tubuh, seperti kepala, bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Informasi posisi setiap *landmark* tersebut dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti analisis gerakan, *Human Activity Recognition* (HAR), rehabilitasi medis, olahraga, dan interaksi manusia dengan computer (Fadilatul Islamiah dkk., t.t.-b).



Gambar 2. 2 Hasil Deteksi Pose Tubuh Menggunakan MediaPipe Pose

Gambar 2. 2 Hasil Deteksi Pose Tubuh Menggunakan MediaPipe Pose menunjukkan hasil deteksi pose tubuh menggunakan MediaPipe Pose. Sistem berhasil mendeteksi posisi tubuh manusia dengan mengidentifikasi titik-titik *landmark* pada setiap bagian tubuh, kemudian menghubungkan titik-titik tersebut sehingga membentuk kerangka tubuh (*human skeleton*). Hasil deteksi ini merepresentasikan posisi tubuh pengguna dan menjadi dasar dalam proses analisis gerakan yang dilakukan oleh sistem.

2.2.3 Body Landmark

MediaPipe Pose merupakan model pose estimation yang dikembangkan oleh Google untuk mendeteksi posisi tubuh manusia secara real-time melalui citra digital. Model ini mampu mendeteksi 33 titik *landmark* (body landmarks) yang merepresentasikan bagian-bagian tubuh manusia, mulai dari wajah, badan, lengan, hingga tungkai. Setiap *landmark* direpresentasikan dalam bentuk koordinat tiga dimensi, yaitu x, y, dan z, serta memiliki nilai *visibility* yang menunjukkan tingkat kepercayaan (*confidence*) terhadap hasil deteksi (Taqwa dkk., 2023).

Koordinat x menunjukkan posisi horizontal *landmark* terhadap lebar citra, koordinat y menunjukkan posisi vertikal terhadap tinggi citra, sedangkan koordinat

z menunjukkan posisi kedalaman (depth) relatif terhadap kamera. Nilai koordinat tersebut telah dinormalisasi (normalized coordinates) sehingga nilainya akan berubah mengikuti posisi tubuh pada setiap frame yang diproses (Andriawan dkk., 2025).

Perlu diketahui bahwa MediaPipe Pose tidak secara langsung menghasilkan nilai sudut (derajat) pada setiap landmark. Keluaran utama MediaPipe Pose hanyalah koordinat (x, y, z) dan nilai visibility dari masing-masing landmark. Oleh karena itu, parameter seperti sudut lutut, sudut tubuh, kemiringan tubuh, maupun parameter geometris lainnya tidak diperoleh secara langsung dari MediaPipe Pose, melainkan dihitung menggunakan metode geometri berdasarkan koordinat beberapa landmark yang saling berhubungan (Aziz & Mahmood, 2023).

sudut lutut diperoleh melalui perhitungan tiga titik, yaitu pinggul (hip), lutut (knee), dan pergelangan kaki (ankle). Sementara itu, sudut tubuh dihitung menggunakan koordinat titik tengah bahu dan titik tengah pinggul. Dengan demikian, koordinat (x, y, z) merupakan data utama yang dihasilkan oleh MediaPipe Pose, sedangkan nilai sudut merupakan hasil pengolahan lanjutan yang dilakukan oleh algoritma pada sistem.

Tabel 2. 2 Daftar 33 Landmark MediaPipe Pose

No	Nama Landmark	Representasi Koordinat
1	Hidung (<i>Nose</i>)	(x_0, y_0, z_0)
2	Mata Kiri Dalam (<i>Left Eye Inner</i>)	(x_1, y_1, z_1)
3	Mata Kiri (<i>Left Eye</i>)	(x_2, y_2, z_2)

4	Mata Kiri Luar (<i>Left Eye Outer</i>)	(x_3, y_3, z_3)
5	Mata Kanan Dalam (<i>Right Eye Inner</i>)	(x_4, y_4, z_4)
6	Mata Kanan (<i>Right Eye</i>)	(x_5, y_5, z_5)
7	Mata Kanan Luar (<i>Right Eye Outer</i>)	(x_6, y_6, z_6)
8	Telinga Kiri (<i>Left Ear</i>)	(x_7, y_7, z_7)
9	Telinga Kanan (<i>Right Ear</i>)	(x_8, y_8, z_8)
10	Mulut Kiri (<i>Mouth Left</i>)	(x_9, y_9, z_9)
11	Mulut Kanan (<i>Mouth Right</i>)	(x_{10}, y_{10}, z_{10})
12	Bahu Kiri (<i>Left Shoulder</i>)	(x_{11}, y_{11}, z_{11})
13	Bahu Kanan (<i>Right Shoulder</i>)	(x_{12}, y_{12}, z_{12})
14	Siku Kiri (<i>Left Elbow</i>)	(x_{13}, y_{13}, z_{13})
15	Siku Kanan (<i>Right Elbow</i>)	(x_{14}, y_{14}, z_{14})
16	Pergelangan Tangan Kiri (<i>Left Wrist</i>)	(x_{15}, y_{15}, z_{15})
17	Pergelangan Tangan Kanan (<i>Right Wrist</i>)	(x_{16}, y_{16}, z_{16})
18	Kelingking Kiri (<i>Left Pinky</i>)	(x_{17}, y_{17}, z_{17})
19	Kelingking Kanan (<i>Right Pinky</i>)	(x_{18}, y_{18}, z_{18})
20	Telunjuk Kiri (<i>Left Index</i>)	(x_{19}, y_{19}, z_{19})
21	Telunjuk Kanan (<i>Right Index</i>)	(x_{20}, y_{20}, z_{20})
22	Jempol Kiri (<i>Left Thumb</i>)	(x_{21}, y_{21}, z_{21})

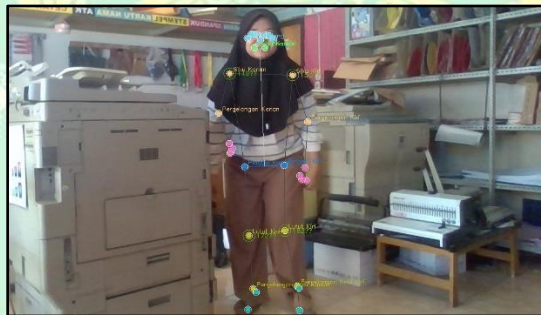
23	Jempol Kanan (<i>Right Thumb</i>)	(x_{22}, y_{22}, z_{22})
24	Pinggul Kiri (<i>Left Hip</i>)	(x_{23}, y_{23}, z_{23})
25	Pinggul Kanan (<i>Right Hip</i>)	(x_{24}, y_{24}, z_{24})
26	Lutut Kiri (<i>Left Knee</i>)	(x_{25}, y_{25}, z_{25})
27	Lutut Kanan (<i>Right Knee</i>)	(x_{26}, y_{26}, z_{26})
28	Pergelangan Kaki Kiri (<i>Left Ankle</i>)	(x_{27}, y_{27}, z_{27})
29	Pergelangan Kaki Kanan (<i>Right Ankle</i>)	(x_{28}, y_{28}, z_{28})
30	Tumit Kiri (<i>Left Heel</i>)	(x_{29}, y_{29}, z_{29})
31	Tumit Kanan (<i>Right Heel</i>)	(x_{30}, y_{30}, z_{30})
32	Ujung Kaki Kiri (<i>Left Foot Index</i>)	(x_{31}, y_{31}, z_{31})
33	Ujung Kaki Kanan (<i>Right Foot Index</i>)	(x_{32}, y_{32}, z_{32})

Setiap *body landmark* pada MediaPipe Pose memiliki koordinat (x, y, z) yang menunjukkan posisi bagian tubuh yang terdeteksi. Pada tabel ini, notasi (x_0, y_0, z_0) hingga (x_{32}, y_{32}, z_{32}) digunakan untuk membedakan koordinat masing-masing landmark berdasarkan urutan indeksnya. Indeks 0–32 menunjukkan urutan *body landmark* pada MediaPipe Pose, sedangkan nilai koordinat akan berubah mengikuti posisi tubuh pada setiap *frame* yang diproses. Data koordinat tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung sudut tubuh, menentukan orientasi tubuh, dan melakukan klasifikasi pose.

Selain menghasilkan koordinat setiap landmark berupa nilai (x, y, z), MediaPipe Pose juga menghubungkan landmark-landmark tersebut sehingga membentuk human skeleton (kerangka tubuh). Human skeleton merupakan

representasi struktur tubuh manusia yang dibentuk dari hubungan antarlandmark sesuai dengan anatomi tubuh, seperti kepala, bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, pergelangan kaki, dan ujung kaki. Representasi skeleton memudahkan visualisasi hasil deteksi pose serta menunjukkan hubungan antarbagian tubuh secara lebih jelas.

Pada penelitian ini, human skeleton digunakan sebagai dasar untuk menganalisis hubungan antarlandmark dalam menentukan posisi dan orientasi tubuh. Hubungan antarlandmark tersebut dimanfaatkan untuk menghitung sudut pada beberapa bagian tubuh, seperti bahu, pinggul, dan lutut, yang kemudian digunakan dalam proses klasifikasi aktivitas. Dengan adanya skeleton, perubahan postur tubuh dapat diamati secara lebih sistematis sehingga sistem mampu mengenali aktivitas seperti berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh secara real-time.

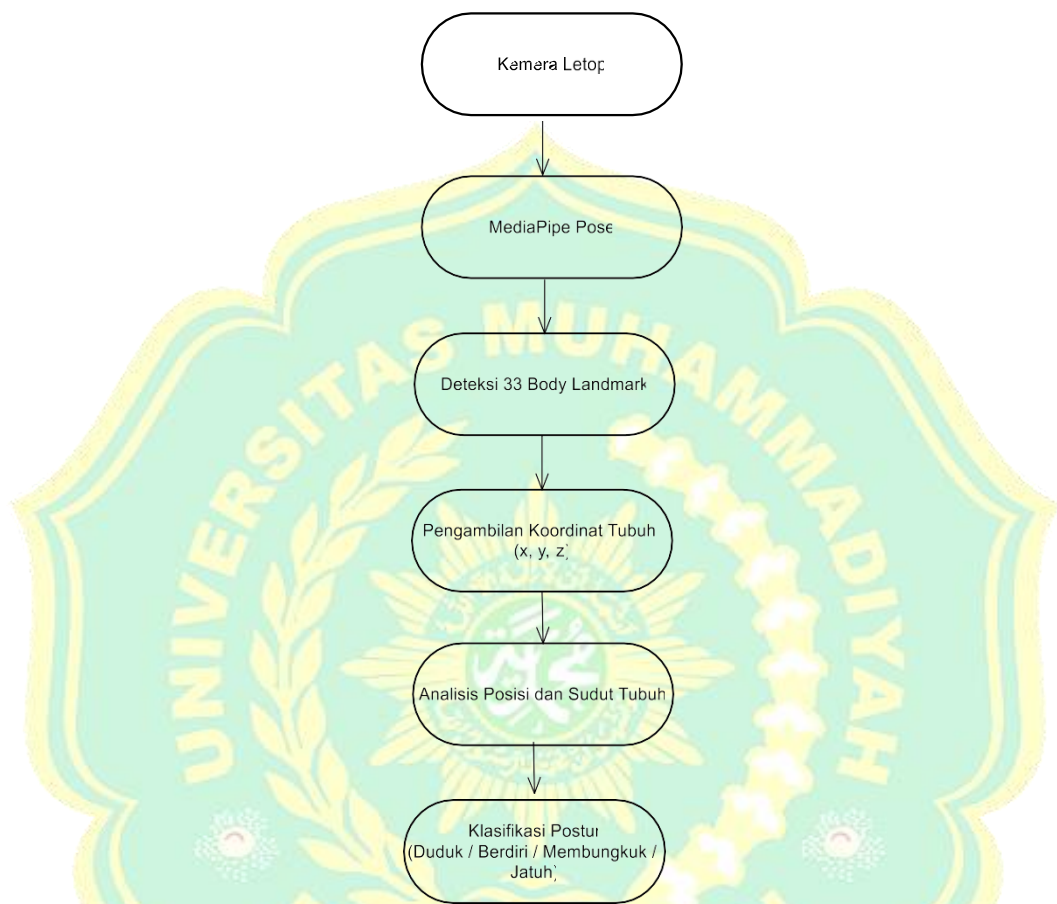


Gambar 2. 3 Human Skeleton hasil deteksi Meidapipe pose

Terlihat bahwa setiap landmark saling terhubung membentuk human skeleton sehingga struktur tubuh manusia dapat direpresentasikan secara visual. Hubungan antarlandmark tersebut menjadi dasar dalam proses analisis pose karena mampu menggambarkan posisi, orientasi, dan pergerakan tubuh. Informasi yang diperoleh dari human skeleton selanjutnya digunakan untuk menghitung sudut

antarbagian tubuh dan mendukung proses klasifikasi aktivitas secara real-time.

Secara sederhana, proses penggunaan BodyLandmark pada penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Proses Penggunaan Body Landmark

Setiap tahapan memiliki fungsi yang saling berkaitan, mulai dari proses pengambilan citra menggunakan kamera hingga proses klasifikasi aktivitas pengguna. Adapun penjelasan dari masing-masing tahapan pada Gambar 2.4 adalah sebagai berikut:

1. Kamera Laptop

Kamera laptop berfungsi sebagai perangkat masukan (input) yang digunakan untuk menangkap citra atau video pengguna secara real-time. Setiap frame yang dihasilkan oleh kamera menjadi sumber data utama yang akan diproses oleh sistem untuk mendeteksi posisi tubuh pengguna.

2. MediaPipe Pose

MediaPipe Pose merupakan model pose estimation yang digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia dari setiap frame video yang diterima. Pada tahap ini, citra dianalisis untuk mengenali tubuh manusia dan mendeteksi titik-titik penting (body landmark) yang merepresentasikan bagian-bagian tubuh pengguna.

3. Deteksi 33 Body Landmark

Setelah tubuh berhasil dikenali, MediaPipe Pose mendeteksi 33 body landmark yang merepresentasikan berbagai bagian tubuh manusia, seperti kepala, bahu, siku, pergelangan tangan, pinggul, lutut, pergelangan kaki, tumit, dan ujung kaki. Titik-titik tersebut menjadi dasar dalam mengetahui posisi, orientasi, dan pergerakan tubuh pengguna.

4. Pengambilan Koordinat Tubuh (x, y, z)

Pada tahap ini, sistem mengambil nilai koordinat x, y, dan z dari setiap body landmark yang telah berhasil dideteksi. Koordinat x menunjukkan posisi horizontal, koordinat y menunjukkan posisi vertikal, sedangkan koordinat z menunjukkan perkiraan kedalaman atau jarak titik tubuh terhadap kamera.

Seluruh koordinat tersebut digunakan sebagai data masukan untuk proses analisis gerakan tubuh.

5. Analisis Posisi dan Sudut Tubuh

Koordinat dari setiap body landmark kemudian dianalisis untuk menghitung sudut pada beberapa bagian tubuh, seperti bahu, pinggul, dan lutut. Perhitungan sudut dilakukan berdasarkan hubungan antarbody landmark sehingga sistem dapat mengenali perubahan posisi dan orientasi tubuh. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam menentukan aktivitas yang sedang dilakukan oleh pengguna.

6. Klasifikasi Aktivitas

Berdasarkan hasil analisis posisi dan sudut tubuh, sistem mengklasifikasikan aktivitas pengguna ke dalam empat kategori, yaitu berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh. Proses klasifikasi dilakukan secara real-time, sehingga setiap perubahan aktivitas dapat langsung dikenali dan ditampilkan sebagai keluaran sistem.

2.2.4 Analisis Gerakan Tubuh

Analisis gerakan tubuh merupakan proses untuk mengenali dan mengidentifikasi posisi atau aktivitas tubuh seseorang berdasarkan hubungan antar body landmark yang dihasilkan oleh proses pose estimation. Setiap body landmark memiliki koordinat tiga dimensi, yaitu x , y , dan z , yang menunjukkan posisi masing-masing bagian tubuh pada setiap frame, serta memiliki nilai visibility yang menunjukkan tingkat kepercayaan hasil deteksi. Hubungan antar koordinat tersebut

dapat digunakan untuk menghitung sudut, menentukan orientasi tubuh, dan menganalisis perubahan gerakan secara real-time (Kendall, 2005).

Pada penelitian ini, analisis gerakan tubuh dilakukan menggunakan 33 body landmark yang dihasilkan oleh MediaPipe Pose. Meskipun seluruh body landmark berhasil dideteksi, proses analisis difokuskan pada beberapa titik utama, yaitu bahu (shoulder), pinggul (hip), lutut (knee), dan pergelangan kaki (ankle). Landmark-landmark tersebut dipilih karena memiliki peran penting dalam menggambarkan perubahan posisi tubuh dan digunakan sebagai dasar untuk menghitung sudut tubuh serta menentukan orientasi tubuh dalam proses klasifikasi gerakan.

Tabel 2. 3 Menunjukkan body landmark utama yang digunakan dalam proses analisis gerakan tubuh.

Parameter Postur	Landmark yang Digunakan	Analisis
Posisi kepala	Nose	Menentukan posisi kepala terlalu maju atau normal
Kemiringan bahu	Left Shoulder dan Right Shoulder	Mengetahui keseimbangan bahu kiri dan kanan
Kondisi punggung	Shoulder dan Hip	Menentukan posisi tubuh tegak atau membungkuk
Posisi pinggul	Left Hip dan Right Hip	Mengetahui kestabilan posisi duduk
Posisi siku	Left Elbow dan Right Elbow	Menganalisis posisi lengan
Posisi pergelangan tangan	Left Wrist dan Right Wrist	Mengetahui posisi tangan pengguna
Posisi lutut	Left Knee dan Right Knee	Mengukur kondisi kaki saat duduk
Posisi kaki	Left Ankle dan Right Ankle	Mengetahui kestabilan posisi kaki

Berdasarkan hubungan antar *body landmark* tersebut, sistem melakukan perhitungan sudut dan orientasi tubuh untuk mengklasifikasikan gerakan menjadi berdiri, duduk, membungkuk, dan jatuh. Pose berdiri dikenali ketika tubuh berada

pada posisi tegak dengan sudut lutut mendekati lurus. Pose duduk dikenali ketika sudut lutut membentuk posisi menekuk. Pose membungkuk dikenali ketika tubuh bagian atas condong ke depan berdasarkan hubungan antara bahu dan pinggul. Sementara itu, pose jatuh dikenali ketika orientasi tubuh berubah secara signifikan sehingga posisi tubuh mendekati horizontal.

Melalui analisis gerakan tubuh berbasis *body landmark*, sistem mampu mengenali aktivitas pengguna secara real-time tanpa memerlukan sensor tambahan. Pendekatan ini memanfaatkan koordinat yang dihasilkan oleh MediaPipe Pose sebagai dasar dalam menghitung parameter geometris dan melakukan klasifikasi gerakan tubuh, sehingga sistem dapat bekerja secara ringan pada perangkat dengan spesifikasi menengah.

2.2.5 OpenCV



Gambar 2. 5 Logo OpenCV

Menurut (Bradski & Kaehler, 2008) OpenCV banyak digunakan dalam berbagai penelitian berbasis pengolahan citra karena memiliki kemampuan dalam menangani data visual secara cepat dan efisien. OpenCV juga mendukung bahasa pemrograman Python sehingga mudah diterapkan dalam pengembangan sistem berbasis kamera.

Pada penelitian ini, OpenCV digunakan sebagai komponen pendukung dalam membangun sistem deteksi postur duduk secara *real-time*. OpenCV berfungsi untuk menghubungkan kamera dengan sistem, mengambil gambar setiap frame dari video, serta melakukan proses awal citra sebelum dianalisis oleh MediaPipe Pose.

Selain itu, OpenCV digunakan untuk menampilkan hasil deteksi pada layar, seperti gambar kerangka tubuh (*skeleton*), titik *landmark* tubuh, informasi kondisi postur, nilai FPS (*Frame Per Second*), serta tampilan informasi sistem (*HUD*). OpenCV juga digunakan untuk menyimpan hasil tangkapan gambar selama proses pengujian sistem.

Dalam sistem ini, OpenCV berperan sebagai pengolah data visual dari kamera, sedangkan MediaPipe Pose digunakan untuk mendeteksi 33 titik *body landmark* pada tubuh manusia. Hasil deteksi tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan kondisi postur duduk pengguna.

2.2.6 Python

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi (high-level programming language) yang banyak digunakan dalam pengembangan perangkat lunak, analisis data, kecerdasan buatan, dan computer vision. Python memiliki sintaks yang sederhana sehingga mudah dipahami serta menyediakan berbagai pustaka (library) yang mendukung proses pengembangan aplikasi berbasis teknologi modern (Sitohang & Pangaribuan, t.t.).

Dalam bidang computer vision, Python banyak digunakan karena memiliki dukungan terhadap berbagai library yang dapat membantu proses pengolahan citra dan analisis data. Beberapa library yang sering digunakan antara lain OpenCV

untuk pengolahan gambar dan video, MediaPipe untuk deteksi pose manusia, serta NumPy untuk membantu proses Perhitungan matematis.

Pada penelitian ini, Python digunakan sebagai bahasa pemrograman utama dalam membangun sistem deteksi postur duduk secara real-time. Python digunakan untuk mengintegrasikan kamera dengan sistem, melakukan proses pengolahan citra menggunakan OpenCV, menjalankan proses deteksi pose menggunakan MediaPipe Pose, mengolah data 33 titik Body Landmark, serta melakukan analisis dan klasifikasi kondisi postur pengguna.

Implementasi sistem dibuat menggunakan beberapa library Python, yaitu:

2.2.1 OpenCV (cv2)

Digunakan untuk mengambil gambar dari kamera, membaca frame video, melakukan pengolahan citra, serta menampilkan hasil deteksi secara real-time.

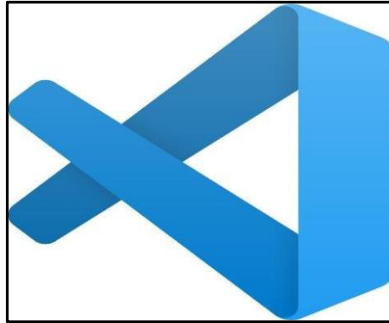
2.2.2 MediaPipe

Digunakan untuk mendeteksi posisi tubuh manusia melalui 33 titik Body Landmark yang menjadi dasar analisis postur.

2.2.3 NumPy

Digunakan untuk membantu proses perhitungan matematis, seperti menghitung jarak dan sudut antar titik tubuh. Dengan memanfaatkan Python dan berbagai library pendukung tersebut, sistem dapat melakukan proses deteksi postur duduk secara real-time berdasarkan data visual yang diperoleh dari kamera.

2.2.7 Visual Studio Code



Gambar 2. 6 Logo Visual Studio Code

Visual Studio Code merupakan aplikasi editor kode (*source code editor*) yang digunakan untuk menulis, mengelola, dan menjalankan program dalam berbagai bahasa pemrograman, termasuk Python. Visual Studio Code menyediakan berbagai fitur pendukung seperti *syntax highlighting*, pengelolaan file program, serta dukungan ekstensi yang membantu proses pengembangan perangkat lunak (Microsoft, 2025).

Pada penelitian ini, Visual Studio Code digunakan sebagai lingkungan pengembangan untuk membuat sistem deteksi postur duduk berbasis Python. Program yang dibuat menggunakan bahasa Python dengan memanfaatkan beberapa library pendukung, yaitu OpenCV untuk pengolahan citra, MediaPipe Pose untuk deteksi 33 titik *Body Landmark*, dan NumPy untuk proses perhitungan data.

Penggunaan Visual Studio Code membantu proses pembuatan, pengujian, dan pengembangan sistem agar program dapat berjalan secara terstruktur. Namun, Visual Studio Code bukan merupakan metode utama dalam penelitian ini, melainkan hanya sebagai perangkat lunak pendukung dalam proses implementasi sistem.