

# Penggunaan Computer Vision untuk Estimasi Pose Squat sebagai Solusi Alternatif Latihan Kebugaran di Gym

Kevin Ragil Krisna Dyansyah<sup>1</sup>, Septian Dwi Purwantoro<sup>2</sup>, Musthofa Ilmi<sup>3</sup>,  
Resty Wulanningrum<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: <sup>1</sup>[kevinragil768@gmail.com](mailto:kevinragil768@gmail.com), <sup>2</sup>[ilmimusthofa8189@gmail.com](mailto:ilmimusthofa8189@gmail.com),

<sup>3</sup>[alexasalsanaputri1@gmail.com](mailto:alexasalsanaputri1@gmail.com), <sup>4</sup>[restyw@unpkdr.ac.id](mailto:restyw@unpkdr.ac.id)

**Abstrak** – Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi alternatif dalam memastikan form gerakan squat tetap benar melalui teknologi Computer Vision berbasis Python menggunakan MediaPipe dan OpenCV. Latar belakang penelitian ini adalah pentingnya form yang tepat saat melakukan latihan squat untuk mencegah cedera dan memaksimalkan efektivitas latihan, terutama bagi individu yang tidak memiliki akses ke gym trainer. Metode penelitian melibatkan pengembangan sistem estimasi pose yang mendeteksi titik-titik kunci tubuh (landmark) menggunakan MediaPipe, serta perhitungan sudut untuk mengevaluasi form squat secara real-time. Dataset gerakan squat dikumpulkan untuk menguji akurasi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi kesalahan form squat dan memberikan umpan balik secara efektif dengan akurasi tinggi. Diskusi menekankan manfaat teknologi ini dalam menyediakan solusi pelatihan yang efisien, terjangkau. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat baik dengan akurasi sebesar 100%, presisi 100%, recall 100%, dan F1-score 100%. Kesimpulan, implementasi Computer Vision melalui MediaPipe dan OpenCV menawarkan inovasi signifikan dalam bidang latihan kebugaran mandiri dengan teknologi yang mudah diterapkan dan digunakan.

**Kata Kunci** — Computer Vision, MediaPipe, OpenCV, Estimasi Pose, Squat, Latihan Gym

## 1. PENDAHULUAN

Mengunjungi gym dan dilatih oleh seorang instruktur memerlukan biaya yang tidak sedikit dan mungkin sulit dijangkau bagi sebagian orang. Selain itu, jadwal latihan juga harus disesuaikan antara kedua belah pihak [1]. Dalam konteks inilah teknologi seperti Human Pose Estimation menjadi relevan. Pose dapat diartikan sebagai konfigurasi dari sendi-sendi manusia dalam susunan tertentu. Oleh karena itu, Human Pose Estimation (HPE) dapat dipahami sebagai proses untuk menentukan lokasi sendi atau landmark tertentu pada tubuh manusia. Dalam konteks gambar dan video, terdapat berbagai jenis estimasi pose, termasuk estimasi pose tubuh, wajah, dan tangan, terutama dalam bidang computer vision [2]. Estimasi pose menjadi salah satu fungsi penting dalam pelacakan gerak manusia secara otomatis yang didukung oleh kecerdasan buatan (AI).

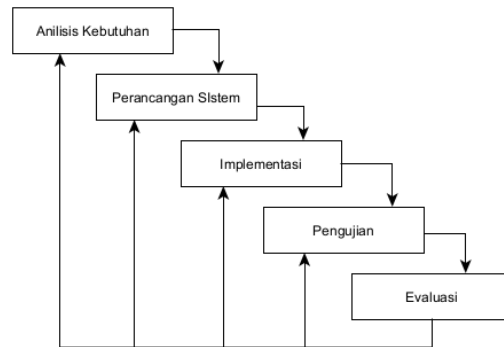
Penggunaan teknik computer vision memungkinkan penentuan lokasi seseorang dengan mempelajari titik-titik kunci (keypoints) tertentu serta kombinasi pose dari orang atau objek tersebut. Pada manusia, titik-titik kunci ini terdiri dari beberapa sendi tubuh, seperti pergelangan tangan, siku, dan lutut. Karena objek memiliki karakteristik bawaan, titik-titik kunci ini mencakup sudut dan fitur-fitur penting lainnya. Tujuan utama dalam menggunakan estimasi pose adalah untuk melacak titik-titik kunci ini dalam video atau foto [3].

Human Pose Estimation telah membuka peluang besar untuk aplikasi yang beragam, seperti animasi dalam permainan, kontrol robot, analisis biomekanika dalam kedokteran, serta pemantauan kinerja atletik di bidang olahraga [4]. Dalam konteks olahraga, estimasi pose digunakan untuk melacak pergerakan tubuh secara otomatis, meningkatkan teknik gerakan, mencegah cedera, dan memaksimalkan efisiensi latihan. Misalnya, analisis gerakan squat atau deadlift memanfaatkan estimasi pose untuk menentukan sudut sendi utama, seperti pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Dengan akurasi tinggi, teknologi ini memungkinkan pelacakan gerakan yang konsisten bahkan dalam kondisi pencahayaan yang berbeda atau lingkungan yang kompleks [5].

Dalam penelitian ini, berfokus pada deteksi pose squat dengan menganalisis sudut lutut menggunakan teknologi Human Pose Estimation. Pendekatan ini memungkinkan penilaian kualitas gerakan squat secara otomatis, yang dapat membantu dalam memberikan umpan balik korektif untuk meningkatkan teknik latihan. Teknologi Human Pose Estimation menjadi alternatif yang menjanjikan dalam pelacakan gerakan tubuh manusia secara otomatis. Estimasi pose memungkinkan deteksi dan pelacakan titik-titik penting pada tubuh, seperti sendi-sendi utama, dengan bantuan kecerdasan buatan dan teknik computer vision. Teknologi ini tidak hanya mempermudah pelacakan gerakan dalam video atau foto tetapi juga membuka peluang besar untuk aplikasi dalam berbagai bidang yang melibatkan analisis gerakan manusia.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan perangkat lunak dengan model Waterfall. Model ini dipilih karena pendekatannya yang sistematis dan terstruktur, sehingga setiap tahap pengembangan dapat dilakukan secara berurutan dengan evaluasi di setiap langkah. Metode ini terdiri dari lima tahap utama, yaitu Analisis Kebutuhan, Perancangan Sistem, Implementasi, Pengujian, dan Evaluasi.



Gambar 1. Diagram Waterfall

### 2.1. Analisis Kebutuhan

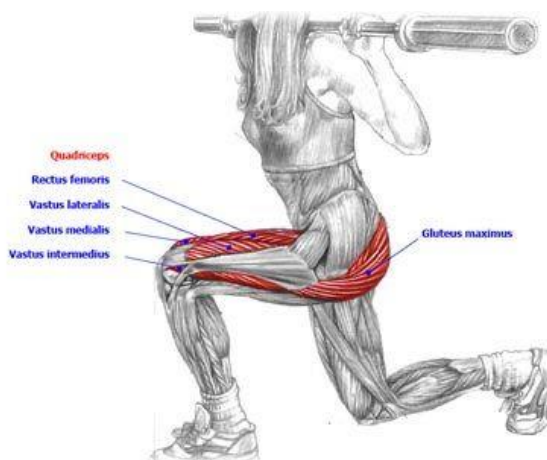
Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan sistem berdasarkan permasalahan yang ada, yaitu kebutuhan untuk mendeteksi pose squat secara real-time. Analisis ini mencakup parameter biomekanika seperti sudut lutut ( $< 120^\circ$  saat posisi turun  $> 160^\circ$  saat posisi naik). Data tersebut kemudian dijadikan acuan untuk menentukan standar biomekanika yang akan digunakan dalam sistem. Kamera digunakan untuk menangkap gerakan tubuh, sementara MediaPipe Pose dipilih sebagai alat utama untuk mendeteksi keypoint tubuh karena kemampuannya yang real-time dan akurat.

#### 2.1.1 Pose Squat

Squat merupakan latihan dasar yang penting dalam berbagai program kekuatan dan pengkondisian atlet. Latihan ini dikenal sebagai salah satu metode efektif untuk meningkatkan kekuatan tubuh bagian bawah, daya ledak, dan stabilitas sendi. Dalam olahraga, squat tidak hanya membantu meningkatkan performa fisik, tetapi juga berkontribusi pada pencegahan cedera dengan memperkuat otot-otot pendukung sendi.

Kedalaman squat memengaruhi distribusi beban dan aktivasi otot. Penelitian menunjukkan bahwa squat parsial (kedalaman lutut  $< 90^\circ$ ) cenderung menargetkan otot quadriceps, sementara squat penuh (kedalaman lutut  $> 110^\circ$ ) meningkatkan aktivasi otot gluteus maximus dan stabilisasi pinggul. Kedalaman squat juga memengaruhi momen flektor pada sendi lutut dan pinggul, yang perlu disesuaikan dengan tujuan latihan [9].

Sudut tibia dan batang tubuh selama squat menentukan rasio beban antara lutut dan pinggul. Misalnya, kemiringan tibia yang lebih besar meningkatkan beban pada lutut, sedangkan kemiringan batang tubuh yang lebih besar lebih membebani pinggul. Hubungan ini penting untuk memastikan distribusi beban yang optimal saat melakukan squat [8].



Gambar 2. Bagian otot ketika melakukan pose squat

Jika dilakukan dengan teknik yang benar, squat dapat dilakukan tanpa risiko cedera signifikan. Penting untuk memastikan stabilitas batang tubuh, distribusi beban merata, dan kontrol selama fase eksentrik dan konsentrik. Squat penuh dapat dilakukan dengan aman asalkan rentang gerak tubuh sesuai dengan fleksibilitas pinggul dan lutut

#### 2.1.2. Human Pose Estimation

Human Pose Estimation (HPE) adalah bidang dalam penglihatan komputer yang bertujuan untuk menentukan lokasi sendi-sendi tubuh manusia, seperti kepala, lutut, pergelangan tangan, dan siku, dalam sebuah citra atau frame video. Tujuannya adalah menghubungkan sendi-sendi ini untuk membentuk representasi kerangka tubuh manusia. Estimasi pose manusia penting karena memungkinkan mesin berinteraksi dengan dunia manusia dengan memahami pose, gerakan, dan perilaku tubuh manusia. HPE memiliki berbagai aplikasi di berbagai bidang, termasuk interaksi manusia-komputer, analisis gerakan, realitas tertambah, dan realitas virtual [10]. Dalam konteks olahraga, HPE digunakan untuk melacak pergerakan tubuh secara otomatis, meningkatkan teknik gerakan, mencegah cedera, dan memaksimalkan efisiensi latihan. Misalnya, analisis gerakan squat atau deadlift memanfaatkan estimasi pose untuk menentukan sudut sendi utama, seperti pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Dengan akurasi tinggi, teknologi ini memungkinkan pelacakan gerakan yang konsisten bahkan dalam kondisi pencahayaan yang berbeda atau lingkungan yang kompleks [16].

Dengan demikian, HPE membuka peluang besar untuk aplikasi yang beragam, seperti animasi dalam permainan, kontrol robot, analisis biomekanika dalam kedokteran, serta pemantauan kinerja atletik di bidang olahraga. Teknologi ini tidak hanya mempermudah pelacakan gerakan dalam video atau foto tetapi juga berfungsi sebagai landasan dalam membangun solusi otomatis untuk latihan yang lebih aman dan efisien.

#### 2.2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini, dirancang alur kerja sistem secara terstruktur menggunakan flowchart. Flowchart menggambarkan tahapan prosedural mulai dari pengambilan data video hingga pemberian umpan balik kepada pengguna. Sistem dirancang untuk mendeteksi keypoint tubuh seperti bahu, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki menggunakan MediaPipe, serta menghitung sudut antar-segmen tubuh dengan pendekatan berbasis geometri vektor.

#### 2.3. Implementasi

Tahap implementasi melibatkan pengembangan sistem menggunakan bahasa pemrograman Python dengan library MediaPipe dan OpenCV. MediaPipe digunakan untuk mendeteksi dan menghasilkan koordinat keypoint tubuh dalam setiap frame video secara real-time. Koordinat ini kemudian diolah untuk menghitung sudut antara tiga landmark utama, seperti sudut lutut dan pinggul, menggunakan rumus trigonometri berbasis vektor. OpenCV berperan dalam pengolahan data video dan visualisasi hasil analisis, seperti menampilkan garis kerangka tubuh dan sudut yang terdeteksi pada layar.

#### 2.4. Pengujian

Sistem diuji dengan menggunakan dataset gerakan squat dari berbagai subjek untuk mengevaluasi akurasi deteksi sudut dan fase gerakan (turun dan naik). Data yang diperoleh dibandingkan dengan pengukuran manual untuk memvalidasi keakuratan hasil sistem. Pengujian juga dilakukan dalam berbagai kondisi, seperti pencahayaan yang berbeda, untuk memastikan stabilitas dan keandalan sistem dalam situasi real-time.

#### 2.5. Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas dan akurasi sistem secara keseluruhan. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan sistem, termasuk aspek seperti akurasi deteksi sudut, waktu respons, dan performa dalam berbagai kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil evaluasi, rekomendasi perbaikan diusulkan untuk memastikan sistem dapat terus dioptimalkan sesuai kebutuhan pengguna.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis Kebutuhan

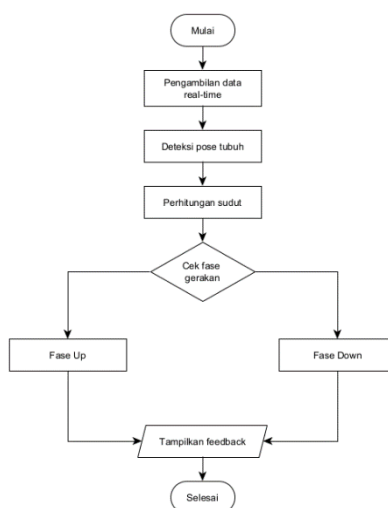
Pada tahap ini, dilakukan analisis kebutuhan untuk merancang sistem yang mampu mendeteksi dan menganalisis gerakan squat secara akurat berdasarkan standar biomekanika. Tujuan utama dari tahap ini adalah mengidentifikasi parameter biomekanika yang relevan serta teknologi pendukung yang dapat digunakan. Dalam penelitian ini, parameter yang diamati mencakup sudut lutut ( $< 120^\circ$  saat posisi turun dan  $> 160^\circ$  pada posisi naik) pada tampak depan.

Data untuk sistem ini dikumpulkan menggunakan kamera webcam dengan resolusi minimal 720p dalam kondisi pencahayaan yang cukup. Kamera ini digunakan untuk menangkap gerakan tubuh secara real-time, yang kemudian diolah menggunakan MediaPipe Pose dan OpenCV [11]. MediaPipe Pose berperan dalam mendeteksi keypoint

tubuh (landmark) secara real-time, seperti bahu, pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Sedangkan OpenCV digunakan untuk membaca, memproses, dan menampilkan video secara visual, termasuk overlay hasil deteksi landmark pada tubuh pengguna. Library ini juga berfungsi dalam preprocessing, seperti penyesuaian kontras dan pencahayaan video, untuk memastikan akurasi deteksi yang optimal [12]. Koordinat landmark ini menjadi dasar untuk menghitung sudut tubuh antar-segmen. Hasil pengolahan dari MediaPipe dan OpenCV digunakan untuk menghitung sudut antar-segmen tubuh menggunakan pendekatan trigonometri berbasis vektor. Sebagai contoh, sudut lutut dihitung dari koordinat landmark pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Data sudut ini kemudian digunakan untuk menentukan fase gerakan squat, yakni turun (descent) dan naik (ascent), serta memberikan umpan balik real-time kepada pengguna terkait form squat.

### 3.2. Perancangan Sistem

Pada bagian *perancangan sistem*, dijelaskan alur kerja sistem yang dirancang untuk mendeteksi dan menganalisis gerakan squat secara real-time menggunakan pendekatan berbasis computer vision. Flowchart sistem digunakan untuk memvisualisasikan alur kerja dalam penelitian ini, yang secara keseluruhan menggambarkan tahapan prosedural dari sistem secara terstruktur dan sistematis [13]. Dengan adanya flowchart, dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai bagaimana setiap proses di dalam sistem berinteraksi dan saling mendukung untuk mencapai tujuan akhir, yaitu memberikan umpan balik yang akurat terkait dengan gerakan squat.



Gambar 3. flowchart pose estimation dengan mediapipe

Flowchart dimulai dengan proses Mulai, yang merupakan tahap inisialisasi sistem. Pada tahap ini, sistem menunggu input dari pengguna, yaitu dengan menyalakan perangkat keras dan memulai aplikasi yang terhubung dengan kamera. Setelah perangkat siap, tahap berikutnya adalah Pengambilan Data Real-Time, di mana kamera akan merekam gerakan squat yang dilakukan oleh pengguna.

Data yang diambil dari kamera ini akan menjadi input utama untuk pemrosesan selanjutnya. Deteksi landmark tubuh sangat bergantung pada kualitas video, di mana pencahayaan yang baik membantu algoritma seperti OpenPose atau MediaPipe untuk membedakan keypoint secara akurat. Selain itu, stabilitas video diperlukan untuk mengurangi efek blur akibat gerakan, yang dapat memengaruhi keakuratan identifikasi pose. Faktor-faktor ini menjadi kritis dalam aplikasi real-time seperti olahraga atau analisis biomekanika, yang memerlukan presisi tinggi dalam mendeteksi gerakan tubuh[15].

Setelah data video diperoleh, sistem melanjutkan ke proses Deteksi Pose Tubuh. Pada tahap ini, sistem menggunakan MediaPipe Pose untuk mendeteksi landmark tubuh secara real-time, seperti pinggul, lutut, bahu, dan pergelangan kaki. Landmark tersebut digunakan untuk mengetahui posisi tubuh pengguna, dan menjadi dasar untuk langkah selanjutnya dalam analisis gerakan. Deteksi pose ini sangat penting karena dengan mengetahui posisi tubuh secara akurat, sistem dapat menentukan apakah gerakan squat dilakukan dengan benar atau tidak [14].

Dengan menggunakan koordinat dari landmark yang terdeteksi, tahap berikutnya adalah Perhitungan Sudut. Sistem menghitung sudut antar-segmen tubuh, misalnya sudut yang terbentuk antara pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Hasil perhitungan sudut ini digunakan untuk menganalisis apakah tubuh berada pada posisi yang benar, sesuai dengan standar biomekanika squat. Angka sudut ini sangat penting untuk menentukan apakah squat yang dilakukan sudah dalam fase yang tepat.

Selanjutnya, sistem akan memasuki tahap Cek Fase Gerakan. Berdasarkan hasil perhitungan sudut, sistem memeriksa fase gerakan squat yang dilakukan oleh pengguna. Pada fase ini, sistem mengecek apakah gerakan squat

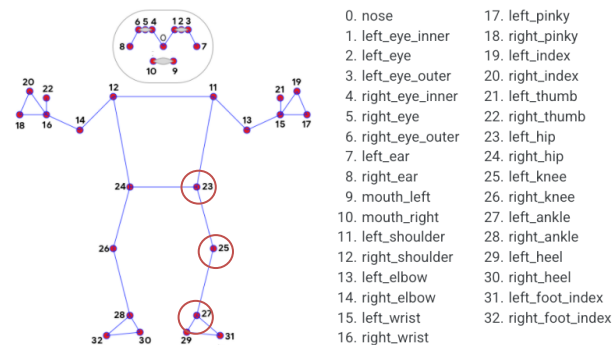
berada dalam fase yang benar: fase turun (descent) atau fase naik (ascent). Jika fase gerakan tidak sesuai, sistem dapat memberikan umpan balik yang mengarahkan pengguna untuk memperbaiki form squat mereka. Pengecekan fase ini dilakukan untuk memastikan gerakan squat dilakukan dengan teknik yang benar dan aman.

Setelah fase gerakan diperiksa, sistem akan melanjutkan ke tahap Tampilkan Feedback. Di sini, sistem menampilkan umpan balik kepada pengguna secara real-time. Feedback ini berupa informasi jumlah repetisi squat yang telah dilakukan, serta status form gerakan apakah sudah benar atau perlu perbaikan. Feedback ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui apakah mereka telah melakukan squat dengan benar dan membantu mereka untuk terus meningkatkan teknik gerakan mereka.

Proses ini berlanjut hingga tahap Selesai, ketika pengguna memutuskan untuk menghentikan sesi latihan mereka. Pada tahap ini, sistem akan berhenti memproses data dan mengakhiri sesi, menandakan bahwa analisis gerakan telah selesai. Semua data yang diperoleh selama sesi latihan akan dibersihkan, dan aplikasi akan menutup kamera serta menampilkan hasil akhir dari analisis gerakan yang dilakukan.

### 3.3. Implementasi

Pada tahap implementasi ini, sistem dirancang dan dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan dukungan library MediaPipe dan OpenCV. Mediapipe Pose (MPP), suatu kerangka kerja lintas platform yang bersifat open-source yang dikembangkan oleh Google, digunakan untuk memperkirakan koordinat artikulasi manusia dalam setiap frame citra [4]. Output dari MediaPipe berupa daftar titik-titik kunci yang sesuai dengan koordinat kartesius X, Y, dan Z. Titik-titik kunci ini dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan orientasi tubuh manusia dalam gambar atau video secara real-time [5].



Gambar 4. Landmark Mediapipe

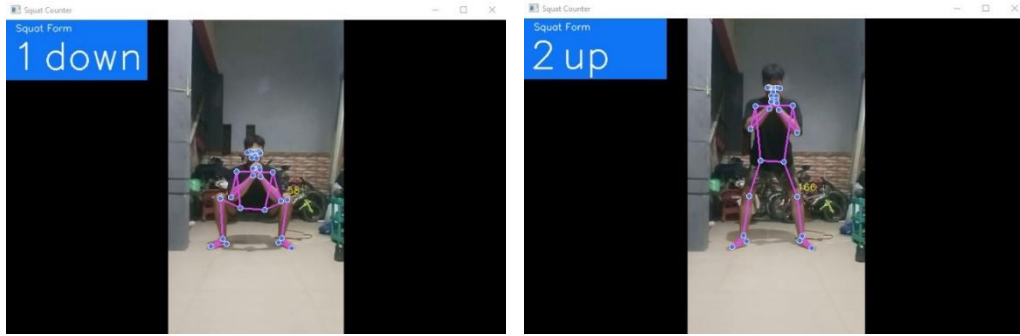
Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa Mediapipe memiliki 33 kerangka landmark pada tubuh manusia. Dengan *framework* ini, sistem dapat melacak perubahan sudut pada *landmark* utama selama gerakan squat. Berdasarkan penelitian yang tersedia, MediaPipe BlazePose adalah model berbasis *deep learning* yang dirancang untuk deteksi pose tubuh, termasuk gerakan olahraga seperti squat [2].

```
hip = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].x * frame_width,  
       landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].y * frame_height]  
knee = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value].x * frame_width,  
        landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_KNEE.value].y * frame_height]  
ankle = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.value].x * frame_width,  
         landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ANKLE.value].y * frame_height]
```

Gambar 5. Code landmark sudut pinggul (hip), lutut (knee), dan pergelangan kaki (ankle) mediapipe

Pada penelitian ini menggunakan 3 titik sudut landmark untuk mendeteksi pose squat yang benar diantaranya yaitu, pinggul kiri (*left hip*), lutut kiri (*left knee*), pergelangan kaki kiri (*left ankle*). Parameter yang diamati mencakup sudut lutut ( $<120^\circ$  saat posisi turun) dari tampak depan, dan pergelangan kaki untuk menjaga stabilitas tubuh. Data berasal dari rekaman video gerakan squat yang diambil dengan resolusi minimal 720p dalam kondisi pencahayaan cukup. Video ini diolah menggunakan MediaPipe Pose untuk menghasilkan koordinat landmark tubuh secara real-time. Hasil landmark digunakan untuk menghitung sudut antar-segmen tubuh, seperti

lutut-pinggul-pergelangan kaki, dengan rumus vektor.



Gambar 6. Jumlah sudut posisi squat ketika turun dan naik

Koordinat yang diperoleh melalui proses estimasi pose akan dihubungkan untuk membentuk vektor-vektor yang merepresentasikan segmen tubuh. Dengan menggunakan tiga vektor, sudut tertentu dapat dihitung berdasarkan relasi geometris antar-vektor tersebut. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan radian sebagai satuan perhitungan sudut memberikan akurasi yang tinggi dalam analisis gerakan tubuh. Perhitungan sudut ini memainkan peran penting dalam mendeteksi perubahan posisi tubuh yang diperlukan untuk evaluasi dan penghitungan repetisi dalam aktivitas fisik [6]. Untuk mendapatkan sudut antara vektor maka koordinat A, B, dan C dijadikan dua vektor dan untuk mendapatkan sudut dapat menggunakan rumus internal vektor (1). untuk mendapatkan sudut dari tiga poin dapat didefinisikan seperti (2).

$$\begin{aligned}\overrightarrow{BA} &= (x_1 - x_3, y_1 - y_3, z_1 - z_3) \\ \overrightarrow{BC} &= (x_2 - x_3, y_2 - y_3, z_2 - z_3)\end{aligned}\quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\overrightarrow{BA} \times \overrightarrow{BC}}{|\overrightarrow{BA}| |\overrightarrow{BC}|} \right) \quad (2)$$

Sudut ini penting untuk mengevaluasi perubahan posisi tubuh selama gerakan squat dan mendeteksi apakah gerakan sudah sesuai dengan standar ideal [7].

Pada tahap implementasi ini, sistem juga memanfaatkan OpenCV sebagai library utama untuk pengolahan data video real-time dan visualisasi hasil analisis. OpenCV digunakan untuk membaca data video dari kamera secara langsung, memastikan kualitas frame yang optimal untuk mendukung deteksi landmark tubuh oleh MediaPipe [11]. Open-Source Computer Vision (OpenCV) merupakan library open-source yang dirancang untuk pengolahan gambar dan video, dengan tujuan memberikan kemampuan pengolahan visual pada komputer yang mirip dengan cara kerja penglihatan manusia. OpenCV menyediakan banyak algoritma visi komputer dasar serta modul pendeteksian objek yang menggunakan metode computer vision [16].

Selain itu, OpenCV berperan dalam preprocessing citra, seperti penyesuaian kontras, kecerahan, serta pengurangan noise, guna meningkatkan akurasi algoritma deteksi pose. Hasil deteksi landmark divisualisasikan menggunakan OpenCV dalam bentuk overlay berupa garis dan titik-titik yang menghubungkan segmen tubuh pengguna. Visualisasi ini memberikan umpan balik instan berupa informasi jumlah repetisi, sudut tubuh, serta indikator posisi yang tidak sesuai. Dengan kemampuannya yang real-time, OpenCV memungkinkan pengguna untuk secara langsung melihat koreksi pada teknik squat mereka, menjadikan sistem ini lebih interaktif dan efektif dalam membantu pelatihan gerakan squat yang benar.

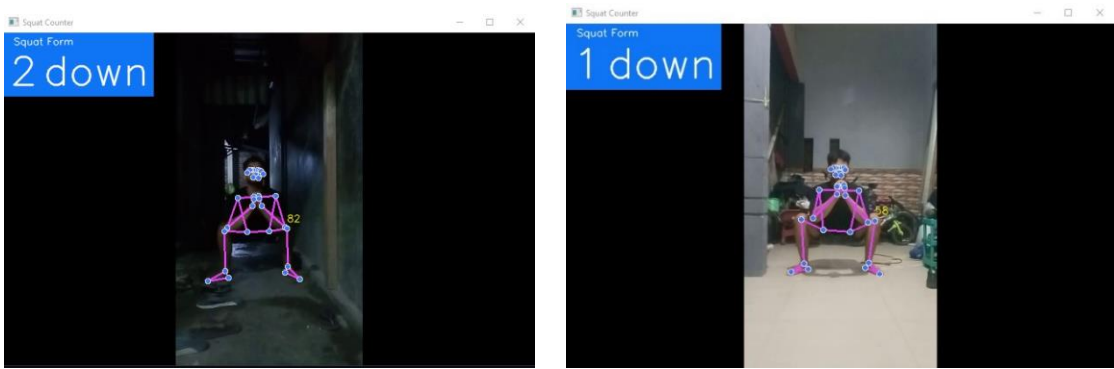
### 3.4. Pengujian

Pada pengujian ini, sistem diuji menggunakan dataset yang dikumpulkan dari gerakan squat berbagai subjek untuk mengevaluasi kemampuan deteksi sudut dan fase gerakan dengan akurasi tinggi. Metode pengujian melibatkan validasi hasil perhitungan sudut terhadap pengukuran manual, serta penilaian performa sistem dalam berbagai skenario untuk memastikan stabilitas dan keandalan. Dataset dalam penelitian ini dirancang untuk mendukung analisis mendalam terhadap pose squat, dengan fokus pada pengambilan data sudut yang dihasilkan dari titik-titik kunci (keypoints) tubuh manusia yang relevan, seperti lutut, pinggul, dan pergelangan kaki. Keypoint ini, yang diekstraksi menggunakan library MediaPipe, mencakup koordinat tiga dimensi (x, y, z) untuk setiap landmark tubuh [5]. Sudut antara titik-titik kunci ini dihitung menggunakan rumus trigonometri berbasis hubungan geometris antara tiga landmark, misalnya sudut pada lutut dihitung dari paha, lutut, dan betis, yang idealnya berkisar antara kurang dari 120° dari tampilan depan selama posisi turun dan lebih dari 160° dari tampilan depan selama



posisi naik untuk memastikan form squat yang benar.

Sistem juga diuji dalam berbagai kondisi pencahayaan untuk mengevaluasi kemampuannya mendeteksi pose tubuh secara akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi landmark dan menghitung repetisi dengan lancar pada kondisi pencahayaan terang. Dalam pencahayaan yang sedikit gelap atau remang-remang, selama subjek masih terlihat jelas di kamera, program tetap berjalan dengan baik dan dapat menghitung repetisi secara akurat. Namun, pada kondisi yang sangat gelap, di mana subjek hampir tidak terlihat di kamera, program gagal mendeteksi landmark pada tubuh, sehingga tidak dapat melanjutkan penghitungan. Hal ini mengindikasikan pentingnya pencahayaan yang memadai untuk memastikan keberhasilan deteksi pose tubuh.



Gambar 7. Program pada pencahayaan gelap dan terang

Selain itu, pengujian juga mengungkapkan bahwa model yang digunakan, yaitu MediaPipe Pose, dirancang untuk mendeteksi satu orang dalam satu frame kamera (model single pose). Ketika ada lebih dari satu orang dalam frame, sistem akan mendeteksi salah satu individu secara acak, tergantung pada orientasi dan posisi tubuh. Oleh karena itu, pengguna diharuskan untuk berada dalam frame kamera sendirian agar hasil deteksi dan perhitungan repetisi tetap akurat.

Tabel 1. Detail Dataset

Keypoint	Landmark (X, Y, Z)	sudut(°)	Deskripsi	Gerakan
Lutut (Knee Angle)	(x1, y1, z1), (x2, y2, z2), (x3, y3, z3)	< 120°	Sudut antara paha, lutut, dan betis.	Turun (Descent)
Lutut (Knee Angle)	(x1, y1, z1), (x2, y2, z2), (x3, y3, z3)	> 160°	Sudut kembali ke posisi berdiri tegak.	Naik (Ascent)

Dataset ini juga diklasifikasikan berdasarkan fase gerakan squat, yakni turun (descent) dan naik (ascent), dengan label yang mencerminkan perubahan sudut lutut. Pada fase turun, sudut lutut mendekati nilai minimum (sekitar < 120°), sedangkan pada fase naik, sudut kembali ke posisi berdiri tegak (>160°). Data sudut ini tidak hanya memberikan indikasi visual tetapi juga dianalisis untuk memberikan umpan balik real-time pada pengguna.

Seluruh proses ini diimplementasikan menggunakan kombinasi MediaPipe dan OpenCV. MediaPipe mendeteksi keypoint tubuh secara real-time, menghasilkan data landmark yang diolah lebih lanjut untuk menghitung sudut dan fase gerakan, sementara OpenCV digunakan untuk memvisualisasikan pose, sudut, dan pergerakan, memberikan representasi interaktif yang membantu pengguna memahami form squat mereka. Dengan pendekatan ini, dataset tidak hanya mendukung analisis pose squat tetapi juga berfungsi sebagai landasan dalam membangun solusi otomatis untuk latihan gym yang lebih aman dan efisien.

3.5. Evaluasi

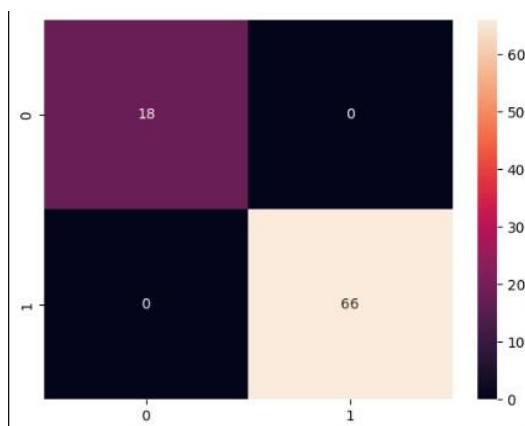
Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai performa sistem deteksi pose squat secara menyeluruh berdasarkan hasil pengujian akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Berdasarkan hasil evaluasi yang diperoleh, sistem berhasil mencapai kinerja optimal dengan nilai akurasi sebesar 100%, yang berarti seluruh data pengujian dapat diklasifikasikan dengan benar. Tingginya nilai presisi dan recall, yang sama-sama mencapai 100%, menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berhasil mendeteksi fase gerakan squat dengan benar, tetapi juga mampu meminimalkan kesalahan klasifikasi pada kedua fase tersebut.

Nilai F1-score yang sempurna mengindikasikan keseimbangan yang optimal antara presisi dan recall, di mana setiap deteksi fase *down* dan *up* tidak mengalami kesalahan.

Tabel 2. Tabel Ringkasan Metrik Evaluasi

Kelas	Presisi	Recall	F1-Score	Support
Down	1.00	1.00	1.00	18
Up	1.00	1.00	1.00	66

Dari tabel di atas, terlihat bahwa performa sistem dalam mengklasifikasikan fase down dan up sangat baik, dengan semua prediksi akurat.



Gambar 8. Gambar heatmap confusion matrix

Gambar confusion matrix menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan kedua kelas dengan baik. Pada fase down, sebanyak 18 data berhasil diklasifikasikan dengan benar, sedangkan pada fase up, sebanyak 66 data juga diklasifikasikan secara akurat tanpa adanya nilai false positive atau false negative. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan tinggi dalam mendeteksi kedua fase gerakan squat secara konsisten.

Namun demikian, performa sistem juga diuji dalam berbagai kondisi lingkungan, terutama dari aspek pencahayaan. Pada kondisi pencahayaan terang, sistem bekerja optimal dengan deteksi landmark tubuh yang akurat dan perhitungan sudut yang stabil. Semua titik tubuh seperti bahu, siku, pinggul, dan lutut dapat terlihat jelas oleh sistem, sehingga klasifikasi fase gerakan dapat dilakukan dengan baik. Sementara itu, dalam kondisi pencahayaan redup atau minim cahaya, sistem masih mampu mendeteksi pose pengguna selama tubuh tetap terlihat oleh kamera. Penurunan performa hanya terjadi jika visibilitas keypoint tubuh berkurang secara signifikan, seperti pada situasi dengan pencahayaan yang sangat gelap. Dalam kondisi ini, sistem gagal mendeteksi pose akibat keterbatasan model MediaPipe yang membutuhkan visibilitas yang cukup untuk memetakan landmark tubuh secara presisi.

Selain itu, evaluasi juga mengidentifikasi potensi kendala jika terdapat lebih dari satu individu dalam satu frame kamera. Model deteksi yang digunakan, yakni berbasis single-pose estimation, hanya mampu fokus pada satu subjek utama, sehingga dapat menyebabkan kebingungan jika pengguna tidak berada pada posisi yang tepat. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan sistem dengan menggunakan model multi-pose estimation agar deteksi dapat berjalan lebih fleksibel dan mendukung skenario multi-pengguna.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat baik untuk mendeteksi pose squat dalam kondisi optimal dengan akurasi tinggi. Namun, perbaikan pada aspek pencahayaan dan dukungan deteksi multi-pose akan membantu meningkatkan stabilitas performa sistem dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat digunakan secara lebih luas dan efektif oleh pengguna.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem deteksi pose berbasis Computer Vision menggunakan MediaPipe dan OpenCV mampu memberikan solusi efektif untuk memantau dan mengevaluasi gerakan squat secara real-time. Dengan memanfaatkan deteksi landmark tubuh dan perhitungan sudut kunci seperti lutut, pinggul, dan pergelangan kaki, sistem ini dapat mengidentifikasi fase turun (descent) dan naik (ascent) pada gerakan squat. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai akurasi, presisi, recall, dan F1-Score sebesar 1.0, menegaskan keandalan sistem dalam kondisi ideal. Evaluasi terhadap pencahayaan juga



mengungkapkan bahwa sistem masih berfungsi dengan baik dalam pencahayaan redup selama objek (pengguna) masih terlihat jelas di kamera. Namun, kinerja sistem menurun signifikan pada kondisi cahaya yang sangat gelap. Selain itu, kendala muncul ketika terdapat lebih dari satu orang dalam frame kamera, mengingat sistem ini dirancang untuk mendeteksi pose single person. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa sistem dapat menjadi solusi alternatif yang efisien dan terjangkau untuk menjaga form squat yang benar bagi pengguna.

## 5. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem deteksi pose ini perlu ditingkatkan agar mampu mendeteksi dan membedakan gerakan dari beberapa individu dalam satu frame kamera dengan menerapkan model multiple pose estimation. Selain itu, performa sistem dalam kondisi pencahayaan rendah dapat dioptimalkan melalui penggunaan metode peningkatan kualitas gambar atau integrasi teknologi pendeteksian berbasis deep learning yang lebih adaptif. Pengujian tambahan dengan dataset yang lebih bervariasi, mencakup perbedaan gender, postur tubuh, dan lingkungan fisik, juga diperlukan untuk memastikan keakuratan dan keandalan sistem di berbagai kondisi. Integrasi sistem ini dengan perangkat berbasis IoT atau aplikasi mobile dapat menjadikannya lebih praktis dan mudah digunakan oleh pengguna dalam aktivitas latihan sehari-hari. Selain itu, pengembangan fitur tambahan berupa analisis postur tubuh untuk berbagai jenis latihan kebugaran lainnya dapat memperluas manfaat sistem, sehingga mampu menjadi solusi komprehensif bagi pengguna dalam menjaga kualitas dan keamanan latihan kebugaran mereka.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Pardeshi, A. Ghaiwat, and A. Thongire. 2021. "Fitness Freaks : A System For Detecting Definite Body Posture Using Open Pose Estimation". Mumbai
- [2] R. Josyula, S. Ostadabbas. 2021 "A Review on Human Pose Estimation,". Northeastern University.
- [3] Irfan, I., Kartika, K., & Meliala, S. M. S. (2023). Pengiraan Pose Model Manusia Pada Repetisi Kebugaran Ai Pemograman Python Berbasis Komputerisasi. *INFOTECH journal*, 9(1), 11-19.
- [4] Kim, J. W., Choi, J. Y., Ha, E. J., & Choi, J. H. (2023). Human pose estimation using mediapipe pose and optimization method based on a humanoid model. *Applied sciences*, 13(4), 2700.
- [5] Anilkumar, A., KT, A., Sajan, S., & KA, S. (2021, July). Pose estimated yoga monitoring system. In *Proceedings of the International Conference on IoT Based Control Networks & Intelligent Systems-ICICNIS*.
- [6] Kwon, Y., & Kim, D. (2022). Real-Time workout posture correction using OpenCV and MediaPipe., 20(1), 199-208.
- [7] Suhandi, V., & Santoso, H. (2024). Personal Training with Tai Chi: Classifying Movement using Mediapipe Pose Estimation and LSTM. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 6(2), 767-775.
- [8] Barrack, A. J., Straub, R. K., Cannon, J., & Powers, C. M. (2021). The relative orientation of the trunk and tibia can be used to estimate the demands on the hip and knee extensors during the barbell back squat. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 16(4), 1004-1010.
- [9] Straub, R. K., & Powers, C. M. (2024). A biomechanical review of the squat exercise: implications for clinical practice. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 19(4), 490.
- [10] Samkari, E., Arif, M., Alghamdi, M., & Al Ghamdi, M. A. (2023). Human Pose Estimation Using Deep Learning: A Systematic Literature Review. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), 1612-1659. <https://doi.org/10.3390/make5040081>
- [11] Bradski, G., & Kaehler, A. (2000). OpenCV. *Dr. Dobb's journal of software tools*, 3(2).
- [12] Putri, R. L. (2016). Peningkatan Kualitas Produk Melalui Penerapan Prosedur dan Sistem Produksi: Studi Pada UD Wijaya Kusuma Kota Blitar. *Wahana Riset Akuntansi*, 4(2), 813-828.
- [13] El Kaid, A., & Baina, K. (2023). A Systematic Review of Recent Deep Learning Approaches for 3D Human Pose Estimation. *Journal of Imaging*, 9(12), 275.
- [14] Stenum, J., Rossi, C., & Roemmich, R. T. (2021). Two-dimensional video-based analysis of human gait using pose estimation. *PLOS Computational Biology*, 17(6), e1008935.
- [15] Makahaube, S., Sambul, A. M., & Sompie, S. R. (2021). Implementation of Gesture Recognition Technology for Self-Education Service Platform. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(4), 465-472.
- [16] Stenum, J., Cherry-Allen, K. M., Pyles, C. O., Reetzke, R. D., Vignos, M. F., & Roemmich, R. T. (2021). Applications of Pose Estimation in Human Health and Performance across the Lifespan. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(21), 731