

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Era Industri 4.0 menandai fase baru dalam revolusi industri, yang ditandai oleh integrasi komprehensif antara teknologi fisik dan digital. Paradigma ini memerlukan implementasi ekstensif komputerasi dan otomatisasi dalam berbagai bidang teknologi seperti: *sensor, embedded system, artificial intelligence (AI), cloud computing, big data, adaptive robotics, augmented reality (AR), additive manufacturing (AM)*, dan *internet of things (IoT)* (Ustundag & Cevikcan, 2018).

Artificial intelligence secara garis besar terbagi menjadi tujuh cabang ilmu dalam implementasinya, antara lain: *machine learning (ML), expert system, natural language processing (NLP), vision, speech, planning, robotics* (Al Rivian & Setiawan, 2022). *Machine learning* merupakan sub-bidang dari *artificial intelligence* yang berfokus pada pengembangan algoritma yang memiliki kemampuan untuk belajar dari data tanpa memerlukan pemrograman eksplisit (Abadi et al., 2016). Paradigma ini memungkinkan sistem komputasi untuk mengidentifikasi pola, membuat inferensi, dan meningkatkan kinerjanya seiring dengan paparan terhadap data baru. Implementasi teknologi *artificial intelligence* salah satunya adalah untuk menciptakan mode interaksi antara manusia dan komputer yang lebih optimal.

Interaksi manusia dan komputer atau *human-computer interaction (HCI)* telah berkembang melampaui antarmuka tradisional menuju pengalaman yang lebih *immersive*. Implementasi *human-computer interaction* secara *immersive* melibatkan penciptaan lingkungan interaktif yang melibatkan pengguna secara mendalam, baik secara fisik maupun kognitif. Teknologi seperti *virtual reality (VR), augmented reality (AR), dan mixed reality (MR)* memungkinkan interaksi yang lebih alami antara manusia dan komputer. Dalam konteks klasifikasi pose tangan, pendekatan *immersive* dapat mencakup penggunaan sensor gerak tiga dimensi (3D), umpan balik *haptic*, dan visualisasi secara *real-time* dari gerakan tangan pengguna dalam lingkungan virtual.

Perkembangan teknologi pada era industri 4.0 menunjukkan bahwa klasifikasi pose tangan sangatlah penting dalam bidang *human-computer interaction*. Hal ini memungkinkan komputer menangkap dan menafsirkan pose tangan seseorang untuk melakukan tindakan tanpa menyentuh dengan perangkat secara fisik (Indriani et al., 2021). Meskipun interaksi antara manusia dan komputer biasanya terjadi melalui perangkat keras tambahan seperti *keyboard* dan *mouse*, penggunaan perangkat seperti kamera konvensional maupun *webcam* untuk tujuan ini belum terlalu umum digunakan (Ramadhani, 2017). Untuk memanfaatkan *webcam* sebagai perangkat instruksi antara manusia dan komputer sebagai pengganti *mouse*, diperlukan pendekatan berbasis *computer vision* dengan dukungan teknologi *machine learning*.

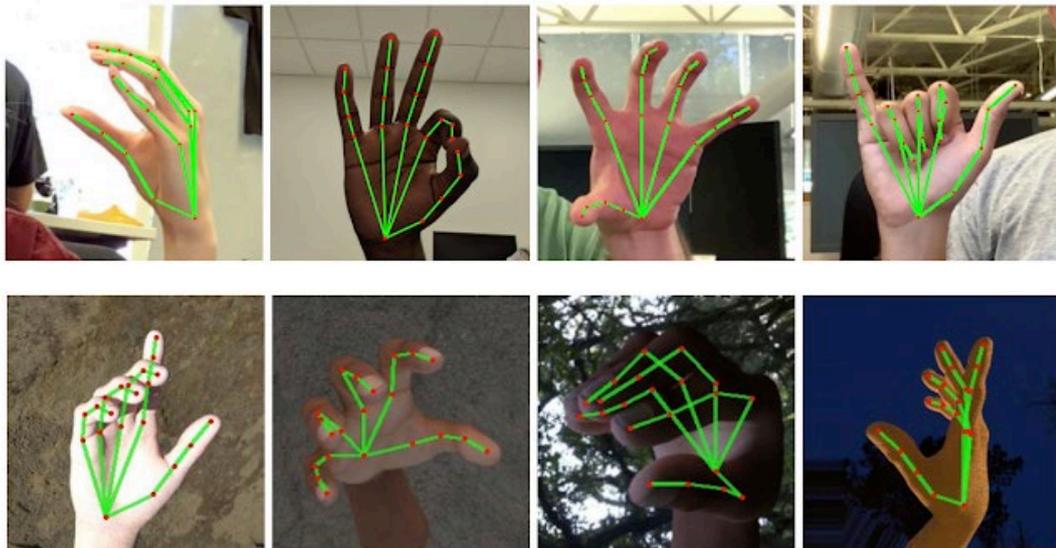
Pengembangan teknologi *machine learning* dalam konteks ini mencakup klasifikasi pose tangan melalui kamera dan visualisasi perangkat *input* tanpa sentuhan. Salah satu definisi pose tangan adalah tindakan fisik dari tangan, lengan, atau bahkan seluruh badan yang berfungsi sebagai sarana untuk menyampaikan pesan. Sistem klasifikasi pose tangan juga memiliki kemampuan untuk memahami perintah tertentu (Reddy et al., 2022). Sistem *mouse* virtual yang mengandalkan algoritma *machine learning* untuk mengidentifikasi pose tangan yang kemudian mengubahnya menjadi gerakan atau fungsi-fungsi *mouse* (Swamy & K, 2023).

Menurut penelitian (Garg et al., 2009) dijelaskan bahwa ada dua pendekatan untuk teknologi *hand gesture recognition* (HGR), yaitu metode *data-glove* dan *computer vision*. Metode *data-glove* membutuhkan beberapa perangkat sensorik untuk mengubah pose tangan menjadi data *multiparametric*, namun memiliki kelemahan berupa biaya implementasi yang relatif tinggi dan sering menimbulkan berbagai kendala (*error system*).

Penggunaan perangkat kamera konvensional maupun *webcam* pada teknologi *computer vision* adalah solusi untuk pemecahan masalah tersebut. Dengan teknologi *computer vision*, komputer dapat memahami dan merespon visual dengan cara yang lebih mudah, hal ini memungkinkan terciptanya interaksi yang lebih alami dan *immersive* antara manusia dan komputer tanpa memerlukan perangkat tambahan lainnya (Velaskar et al., 2017). Menurut penelitian (Oudah et al., 2020) menyatakan bahwa *hand gesture recognition* merupakan tantangan sekaligus

peluang baru dalam teknologi *computer vision* yang memiliki peran dalam pengembangan aplikasi di berbagai bidang seperti: *virtual reality*, *video games*, dan komunikasi. Penelitian yang dilakukan oleh (Bazarevsky & Zhang, 2019) menekankan peran penting *hand landmark model* dalam meningkatkan efektivitas klasifikasi pose tangan.

Dalam implementasi sistem *mouse* virtual, setiap pose tangan direpresentasikan oleh 21 titik (*landmark points*) yang membentuk konstelasi unik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1. Konstelasi ini mencakup titik-titik kunci pada pergelangan tangan, telapak tangan, dan setiap jari, yang berperan penting dalam menentukan pose spesifik untuk sistem kontrol *mouse*. Perbedaan konstelasi antar pose ini memungkinkan sistem untuk membedakan berbagai perintah atau fungsi pada sistem *mouse* virtual.



Gambar 1.1 Hand Landmark Point

(Sumber: [Hand landmarks detection guide](#) | [Google AI Edge](#) | [Google AI for Developers](#))

Kelebihan dari penggunaan *hand landmark model* dalam implementasi sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan adalah kemampuannya untuk mengidentifikasi dan melacak *landmark points* pada tangan. Model ini memungkinkan sistem untuk menghasilkan representasi digital dari posisi dan orientasi tangan dalam ruang tiga dimensi (3D). Selain itu, *hand landmark model* juga mampu membedakan antara tangan kanan dan kiri, yang memungkinkan pengembangan fungsi *mouse* yang lebih kompleks dan intuitif. Dengan kemampuan ini, sistem kemungkinan bisa memberikan respon yang sesuai dengan pose tangan

yang dilakukan pengguna untuk melakukan fungsionalitas *mouse* virtual secara *real-time*.

Selanjutnya, peran fitur *Euclidean distance* digunakan untuk membantu dalam klasifikasi pose tangan dengan teknik pengukuran jarak antara koordinat *landmark* tangan dengan koordinat referensi yang telah ditetapkan untuk setiap pose tangan. Pengukuran jarak ini berfungsi sebagai *input* untuk proses klasifikasi dan dikombinasikan dengan algoritma *machine learning*, seperti *support vector machine* (SVM). Algoritma *support vector machine* kemudian mengkategorikan pose tangan yang terdeteksi ke dalam sebuah model yang selanjutnya akan dikonversi menjadi perintah *mouse* yang sesuai, hal ini memungkinkan sistem untuk mengonversi gerakan tangan menjadi kontrol yang efektif pada antarmuka pengguna. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi interaksi manusia dan komputer yang lebih alami dan *immersive*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini akan mengkaji lebih rinci mengenai implementasi sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan berdasarkan *hand landmark model* dan fitur *Euclidean distance*. Untuk mengarahkan penelitian ini, adapun beberapa rumusan masalah yang akan diidentifikasi adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana cara mengembangkan metode ekstraksi fitur dari *hand landmark model* dengan memanfaatkan modul *MediaPipe* untuk menghasilkan representasi yang efektif dari pose tangan?
- b. Bagaimana cara mengembangkan model klasifikasi pose tangan yang efisien, termasuk mengintegrasikan fitur hasil ekstraksi dengan peran fitur *Euclidean distance* untuk mengklasifikasikan pose tangan dalam sistem *mouse* virtual?
- c. Bagaimana peran fitur *Euclidean distance* dalam mendukung proses klasifikasi pose tangan dan sejauh mana pengaruhnya terhadap kinerja sistem *mouse* virtual berbasis *hand landmark model*?
- d. Bagaimana hasil pengujian sistem dengan menggunakan *confusion matrix* dan *blackbox testing* dalam mengevaluasi kinerja dan akurasi sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diidentifikasi, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mengembangkan metode ekstraksi fitur dari *hand landmark model* menggunakan modul *MediaPipe* untuk menghasilkan representasi yang efektif dari pose tangan.
- b. Mengembangkan model klasifikasi pose tangan yang efisien, dengan mengintegrasikan fitur hasil ekstraksi dan memanfaatkan fitur *Euclidean distance* untuk mengklasifikasikan pose tangan dalam sistem *mouse* virtual.
- c. Mengkaji peran fitur *Euclidean distance* dalam mendukung proses klasifikasi pose tangan dan menentukan pengaruhnya terhadap kinerja sistem *mouse* virtual berbasis *hand landmark model*.
- d. Melakukan pengujian sistem dengan menggunakan *confusion matrix* dan *blackbox testing* untuk mengevaluasi kinerja dan akurasi sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi dalam pengembangan sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan dan memberikan implikasi positif baik secara teoritis maupun praktis. Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1.4.1 Manfaat Teoritis

- a. Pengembangan Ilmu Pengetahuan: Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan di bidang *human-computer interaction*, *computer vision*, dan *machine learning*, khususnya dalam implementasi *hand gesture recognition* pada sistem *mouse* virtual.
- b. Referensi Akademis: Hasil penelitian ini dapat menjadi sumber referensi dan panduan bagi penulis lain yang akan melakukan penelitian serupa di masa mendatang, memperkaya literatur ilmiah tentang klasifikasi pose tangan berdasarkan *hand landmark model* dan fitur *Euclidean distance* dalam sistem *mouse* virtual.

- c. Inovasi Teknologi: Penelitian ini dapat mendorong inovasi dalam pengembangan antarmuka manusia dan komputer yang lebih alami dan *immersive*, sehingga dapat membuka peluang untuk aplikasi teknologi serupa di berbagai bidang.

1.4.2 Manfaat Praktis

a. Bagi Peneliti:

1. Memenuhi persyaratan tugas akhir dalam penyelesaian studi.
2. Mengaplikasikan pengetahuan teoritis ke dalam proyek praktis, meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam bidang *computer vision* dan *machine learning*.
3. Mengembangkan kemampuan dalam merancang dan mengimplementasikan sistem *mouse* virtual berbasis klasifikasi pose tangan.

b. Bagi Masyarakat

Sistem *mouse* virtual ini diharapkan mampu menjadi alternatif untuk penggunaan *mouse* saat ini dan menjadi media interaktif dalam proses interaksi antara manusia dan komputer.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun beberapa ruang lingkup yang difokuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Pengembangan dan Pengujian Model: Penelitian berfokus pada pengembangan sistem klasifikasi pose tangan yang mengintegrasikan *hand landmark model* dan fitur *Euclidean distance* untuk implementasi *mouse* virtual. Pengujian sistem dilaksanakan dalam lingkungan terkontrol dengan kondisi pencahayaan dan latar belakang yang konsisten untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil.
- b. Akuisisi dan Pengelolaan Data: Proses pengumpulan data melibatkan akuisisi sampel pose tangan dari berbagai subjek dengan mempertimbangkan variasi, seperti: ukuran tangan, orientasi (sudut), dan jarak pengambilan. Data yang terkumpul akan dilabelisasi secara sistematis untuk keperluan pelatihan dan validasi model.

- c. Implementasi *Hand Landmark Detection*: Sistem mengimplementasikan modul *MediaPipe* sebagai basis ekstraksi fitur *hand landmark* untuk mendeteksi dan melacak 21 *landmark points* pada tangan. Proses ini mencakup tahap *pre-processing* hingga estimasi posisi *landmark* saat sistem dijalankan.
- d. Perancangan Model Klasifikasi: Pengembangan model klasifikasi pose tangan dirancang dengan mengadopsi metode *machine learning* yang optimal, dengan fokus pada efisiensi komputasi dan akurasi prediksi. Model didesain untuk mengintegrasikan fitur-fitur yang diekstraksi dari *hand landmark* dan fitur *Euclidean distance*.
- e. Analisis Fitur *Euclidean Distance*: Implementasi perhitungan *Euclidean distance* antara *landmark points* digunakan sebagai fitur utama dalam klasifikasi pose tangan. Sistem menganalisis pola jarak antar *landmark points* untuk mengidentifikasi dan membedakan berbagai pose tangan dengan baik.
- f. Pengembangan Fungsi *Mouse Virtual*: Sistem mengimplementasikan mekanisme interpretasi hasil klasifikasi pose tangan menjadi perintah dasar *mouse* yang mencakup pergerakan kursor (*cursor movement*), klik (*click*), seret (*drag*), dan lepas (*drop*). Setiap fungsi dirancang untuk memberikan respons yang alami dan *immersive*.
- g. Integrasi Sistem: Penelitian mencakup proses integrasi seluruh komponen sistem, meliputi akuisisi data, pemrosesan data, ekstraksi fitur, klasifikasi pose tangan, dan fungsi *mouse* ke dalam sebuah sistem *mouse* virtual yang dapat beroperasi secara *real-time*.
- h. Spesifikasi Perangkat: Implementasi sistem dirancang untuk bekerja pada perangkat keras yang umum tersedia, seperti kamera konvensional maupun *webcam* standar dan komputer dengan spesifikasi umum, untuk mendukung penerapan atau proses pada sistem.

1.6 Batasan Penelitian

Untuk memastikan penelitian dapat dilaksanakan secara sistematis dan menghasilkan luaran yang terukur, beberapa batasan penelitian ditetapkan adalah sebagai berikut.

- a. Ruang Lingkup Fungsional: Penelitian secara spesifik berfokus pada pengembangan sistem *mouse* virtual yang mengimplementasikan klasifikasi pose tangan berbasis *hand landmark model* dan fitur *Euclidean distance*. Modalitas interaksi lain seperti pengenalan suara, gestur tubuh, atau sistem *tracking* berbasis sensor tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.
- b. Definisi Pose Tangan: Sistem mengimplementasikan sekumpulan pose tangan yang telah didefinisikan secara spesifik dan dioptimalkan untuk mengakomodasi perintah dasar *mouse* yang mencakup pergerakan kursor (*cursor movement*), klik (*click*), seret (*drag*), dan lepas (*drop*). Pose-pose ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek ergonomis dan kemudahan penggunaan.
- c. Keterbatasan Klasifikasi: Model klasifikasi didesain dan dilatih khusus untuk mengenali pose tangan yang telah ditentukan dalam dataset. Sistem tidak dikembangkan untuk mengakomodasi pose tangan yang kompleks atau dinamis di luar definisi yang telah ditetapkan dalam penelitian ini.
- d. Lingkungan Pengujian: Evaluasi sistem dilaksanakan dalam lingkungan terkontrol dengan kondisi pencahayaan yang memadai dan latar belakang yang konsisten. Hal ini ditujukan untuk meminimalisir variabel eksternal yang dapat mempengaruhi kinerja sistem dan memastikan validitas hasil pengujian.
- e. Metode Evaluasi: Pengukuran performa sistem dilakukan menggunakan dua pendekatan utama:
 - 1) *Confusion matrix* untuk menganalisis akurasi klasifikasi pose tangan.
 - 2) *Blackbox testing* untuk mengevaluasi fungsionalitas dan responsivitas sistem *mouse* virtual secara keseluruhan.
- f. Implementasi Teknis: Pengembangan sistem direalisasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan memanfaatkan pustaka-pustaka pendukung yang relevan untuk mendukung pengembangan sistem *mouse* virtual.