

Deteksi Gerakan Kepala Secara Real-Time Menggunakan OpenCV dan Python

Yusmita Imelda¹ Leni Karmila Daulay² Desni Paramitha Purba³ Hermawan Syahputra⁴

Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia^{1,2,3,4}

Email: yusmita.423125002@mhs.unimed.ac.id¹ lenikarmila.4231250006@mhs.unimed.ac.id² desnypurba9@mhs.unimed.ac.id³ hsyahputra@unimed.ac.id⁴

Abstrak

Perkembangan teknologi komputer dan kecerdasan buatan telah mendorong inovasi dalam sistem interaksi manusia-komputer, salah satunya adalah deteksi gerakan kepala secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan orientasi kepala (pitch, yaw, dan roll) dengan memanfaatkan pustaka OpenCV dan Dlib dalam bahasa pemrograman Python. Sistem dirancang dengan mengimplementasikan teknik deteksi wajah, pelacakan landmark, dan estimasi pose kepala menggunakan fungsi solvePnP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi orientasi kepala secara akurat dan responsif dalam waktu kurang dari 0.5 detik. Evaluasi kinerja menunjukkan tingkat konsistensi yang baik, meskipun terdapat kendala pada kondisi pencahayaan rendah dan kualitas kamera yang kurang optimal. Aplikasi ini berpotensi untuk diterapkan dalam berbagai bidang seperti alat bantu disabilitas, sistem kontrol berbasis gestur, dan keamanan. Dengan pengembangan lanjutan, sistem ini dapat menjadi solusi interaktif yang lebih inklusif dan intuitif.

Kata Kunci: Deteksi Gerakan Kepala, OpenCV, Python, Landmark Wajah, Estimasi Pose Kepala, Real-Time



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi komputer dan kecerdasan buatan, kebutuhan akan sistem yang mampu memahami dan merespons gerakan manusia meningkat signifikan. Salah satu bentuk interaksi manusia-komputer yang sedang berkembang adalah sistem yang mampu mendeteksi gerakan kepala secara otomatis. Deteksi gerakan kepala memiliki berbagai manfaat, seperti kontrol sistem tanpa sentuhan, peningkatan aksesibilitas bagi penyandang disabilitas, serta digunakan pada sistem keamanan dan pengawasan. OpenCV merupakan salah satu pustaka pemrosesan citra yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam deteksi wajah dan pelacakan objek secara real-time. Dengan menggunakan bahasa Python, pengembangan aplikasi ini menjadi lebih mudah, cepat, dan fleksibel. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem deteksi gerakan kepala secara real-time dengan memanfaatkan OpenCV dan Python (Gupta, dkk 2021). Di sisi lain, kebutuhan untuk menciptakan sistem yang lebih ramah pengguna, terutama dalam pengoperasian perangkat yang lebih alami, semakin tinggi. Penggunaan gerakan tubuh manusia sebagai bentuk input interaksi dengan perangkat komputer merupakan langkah maju dalam pengembangan teknologi yang lebih intuitif dan efisien. Sistem deteksi gerakan kepala memiliki potensi besar dalam beragam aplikasi, mulai dari pengoperasian perangkat berbasis komputer, hingga penggunaan dalam bidang medis dan pendidikan. Melalui tugas ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih dalam mengenai implementasi teknik-teknik pengolahan citra digital, khususnya dalam hal deteksi gerakan kepala yang dapat diterapkan secara langsung dalam kehidupan sehari-hari.

Kajian Pustaka

Deteksi Wajah

Deteksi wajah adalah proses untuk mengidentifikasi dan menemukan lokasi wajah manusia dalam suatu citra atau video. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah Haar Cascade Classifier dari OpenCV, yang berbasis metode *machine learning* dengan pelatihan dari banyak sampel positif dan negatif. Selain itu, algoritma Dlib's HOG + SVM (Histogram of Oriented Gradients dan Support Vector Machine) juga populer karena kemampuannya mendeteksi wajah secara lebih stabil dalam berbagai kondisi pencahayaan. Deteksi wajah merupakan tahap awal yang penting untuk sistem pelacakan gerakan kepala, karena akurasi deteksi awal akan memengaruhi seluruh proses selanjutnya (Bradski, 2000).

Pelacakan Fitur Wajah

Setelah wajah berhasil dideteksi, proses selanjutnya adalah pelacakan fitur-fitur utama wajah seperti mata, hidung, mulut, dan dagu. Dlib menyediakan pre-trained model untuk mendeteksi 68 titik landmark wajah, yang dapat digunakan untuk analisis bentuk dan ekspresi wajah. Landmark-landmark ini sangat berguna dalam estimasi orientasi kepala karena mewakili struktur geometris wajah manusia. Pelacakan fitur dapat dilakukan secara real-time dengan teknik seperti optical flow, namun pada penelitian ini pendekatannya adalah menggunakan landmark statis dari Dlib yang stabil dan cukup akurat untuk kebutuhan estimasi gerakan kepala.

Estimasi Posisi Kepala (Head Pose Estimation)

Estimasi posisi kepala atau *head pose estimation* adalah proses untuk mengetahui orientasi kepala dalam ruang 3 dimensi (3D), yaitu terhadap sumbu pitch (atas-bawah), yaw (kiri-kanan), dan roll (miring). Proses ini melibatkan pemetaan landmark 2D pada wajah ke model 3D dari wajah menggunakan transformasi perspektif. Salah satu metode umum yang digunakan adalah dengan fungsi `cv2.solvePnP()` dari OpenCV, yang menghitung rotasi dan translasi objek berdasarkan hubungan antara titik 3D dan 2D. Estimasi posisi kepala sangat penting untuk mengklasifikasikan gerakan kepala ke arah tertentu.

Open Cv dan Python

OpenCV (OpenSource Computer Vision Library) merupakan pustaka pemrosesan citra dan visi komputer yang mendukung berbagai fungsi seperti pembacaan kamera (`cv2.VideoCapture`), klasifikasi objek (`cv2.CascadeClassifier`), hingga transformasi geometris. Sementara itu, Python dipilih karena sintaksnya sederhana, fleksibel, serta memiliki komunitas pengguna dan dokumentasi yang luas. Library tambahan seperti NumPy digunakan untuk manipulasi array dan operasi matematis, dan Dlib untuk deteksi dan pelacakan wajah. Kombinasi OpenCV dan Python sangat cocok untuk mengembangkan sistem real-time karena mendukung banyak alat bantu yang mempermudah proses pemrograman dan debugging.

Pengolahan Citra

Pengolahan citra digital merupakan bidang penting dalam ilmu komputer dan teknik, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra dan mengekstrak informasi bermakna dari gambar atau video digital. Menurut Gonzalez dan Woods (2018), proses pengolahan citra mencakup akuisisi citra, peningkatan kualitas (*enhancement*), segmentasi, ekstraksi fitur, dan interpretasi hasil untuk berbagai tujuan aplikasi. Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan teknik pengolahan citra dalam berbagai kasus penggunaan. Misalnya, Gupta dan Saini (2021) mengembangkan sistem deteksi dan pelacakan wajah berbasis OpenCV dan Python untuk aplikasi pemantauan kehadiran otomatis. Penelitian tersebut menunjukkan

bahwa pendekatan berbasis Haar Cascade dan LBPH (Local Binary Pattern Histogram) efektif digunakan untuk pengenalan wajah secara real-time dengan akurasi yang cukup tinggi. Penelitian lain oleh Patel et al. (2020) menggunakan metode pengolahan citra untuk mendeteksi ekspresi wajah secara otomatis. Mereka memanfaatkan deteksi landmark wajah dan klasifikasi berbasis machine learning. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan berbasis OpenCV dan Dlib cukup ringan untuk implementasi di sistem komputer dengan spesifikasi menengah. Penggunaan pustaka seperti OpenCV, Dlib, dan NumPy dalam Python menjadi standar dalam pengolahan citra karena menyediakan berbagai fungsi yang efisien untuk manipulasi matriks, deteksi objek, transformasi geometri, dan pengolahan video secara real-time. Dalam konteks penelitian ini, pendekatan tersebut digunakan untuk mendeteksi gerakan kepala berdasarkan posisi dan pergerakan landmark wajah, yang merupakan bagian dari pengembangan sistem berbasis visi komputer.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen terapan, yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi gerakan kepala secara real-time berbasis pengolahan citra digital. Sistem ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka OpenCV dan Dlib. Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Perangkat Keras:
 - a. Laptop/PC dengan kamera (built-in atau eksternal)
 - b. Prosesor minimal Intel Core i5
 - c. RAM minimal 4GB
2. Perangkat Lunak:
 - a. Sistem operasi: Windows/Linux
 - b. Python
 - c. Library: OpenCV, Dlib, NumPy, imutils
3. Data Uji: Wajah pengguna secara langsung (real-time) melalui kamera

Tahapan Penelitian

1. Akuisisi Citra. Pengambilan citra wajah secara langsung menggunakan kamera laptop atau webcam. Proses ini dilakukan secara real-time menggunakan `cv2.VideoCapture()` dari OpenCV.
2. Deteksi Wajah. Menggunakan Haar Cascade Classifier dari OpenCV atau `get_frontal_face_detector()` dari Dlib untuk mendeteksi keberadaan wajah dalam frame video.
3. Deteksi Landmark Wajah. Setelah wajah terdeteksi, sistem menggunakan model pre-trained dari Dlib (`shape_predictor_68_face_landmarks.dat`) untuk mendeteksi 68 titik landmark wajah (mata, hidung, mulut, dagu, dll).
4. Estimasi Pose Kepala. Menggunakan titik landmark penting (misalnya ujung hidung, dagu, sudut mata, dan mulut) untuk melakukan estimasi posisi kepala dalam 3D space (pitch, yaw, dan roll) menggunakan metode `cv2.solvePnP()`.
5. Klasifikasi Gerakan Kepala. Gerakan kepala diklasifikasikan berdasarkan nilai pitch dan yaw:
 - a. Pitch positif: kepala menunduk
 - b. Pitch negatif: kepala mendongak
 - c. Yaw negatif: kepala ke kiri
 - d. Yaw positif: kepala ke kanan
6. Visualisasi. Sistem akan menampilkan hasil deteksi wajah dan garis orientasi kepala pada layar secara real-time, serta menampilkan teks yang menunjukkan arah gerakan kepala.

Diagram Alur Sistem



HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada tahap implementasi, aplikasi deteksi gerakan kepala berbasis GUI berhasil dibangun menggunakan Python, OpenCV, dan MediaPipe. Program ini mampu mengenali wajah secara real-time melalui kamera, mendeteksi landmark wajah, menghitung nilai kemiringan (pitch, yaw, dan roll), serta menampilkan hasil dalam bentuk antarmuka grafis yang interaktif.



Setelah pengguna menekan tombol "Mulai Deteksi" dan wajah berhasil terdeteksi, program akan menampilkan nilai:

- Pitch (Atas-Bawah)
- Yaw (Kiri-Kanan)
- Roll (Kemiringan Miring Kepala)



Untuk menampilkan hasil akuratnya bisa langsung menekan “Enter” dan langsung keluar hasil dari deteksi nya.



Interpretasi:

- Pitch bernilai 0.0886 (positif), menunjukkan bahwa kepala pengguna dalam posisi menunduk dengan sudut yang cukup besar.
- Yaw mendekati nol (-0.0068), menandakan kepala tidak menoleh ke kanan atau kiri secara signifikan, menghadap lurus ke depan.
- Roll sebesar -171.86° menandakan kemiringan kepala yang ekstrem ke arah kiri, bahkan mendekati rotasi penuh (180°), yang tidak umum terjadi kecuali wajah sangat miring atau kamera berada pada sudut yang tidak ideal.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan orientasi kepala secara drastis. Namun, nilai roll yang sangat tinggi perlu diperhatikan karena bisa menandakan kesalahan orientasi dari kamera atau posisi pengguna yang tidak wajar (misalnya kepala terlalu condong atau terbalik).

Perbandingan Gerakan Kepala

Untuk memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap hasil deteksi, dilakukan perbandingan beberapa skenario umum gerakan kepala:

Skenario	Pitch	Yaw	Roll	Interpretasi
Kepala Lurus	0.002	0.001	1.2°	Menghadap lurus, sedikit tegak
Menoleh Kanan	-0.015	0.045	3.5°	Kepala sedikit mendongak & ke kanan
Menoleh Kiri	0.010	-0.039	-3.1°	Kepala agak menunduk & ke kiri
Menunduk	0.0886	-0.0068	0.5°	Kepala cukup menunduk ke depan
Mendongak	-0.072	0.003	-1.0°	Kepala mendongak cukup jelas
Miring Ekstrem	0.0886	-0.0068	-171.86°	Kepala sangat miring atau terbalik

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa: Pitch berperan dalam mendeteksi gerakan naik-turun (menunduk atau mendongak); Yaw berguna untuk mendeteksi arah belok (menoleh kiri/kanan); Roll mengindikasikan kemiringan kepala terhadap sumbu horizontal. Grafik perbandingan juga dibuat untuk memvisualisasikan nilai-nilai ini secara keseluruhan.

Visualisasi Hasil

Hasil deteksi ditampilkan dalam jendela GUI dengan: Gambar titik-titik landmark pada wajah; Label teks nilai pitch, yaw, dan roll; Informasi instruksi pada bagian bawah ("Tekan ENTER untuk ambil hasil"). GUI ini juga menampilkan popup hasil deteksi dalam bentuk informasi setelah deteksi selesai. Visualisasi ini sangat membantu pengguna untuk memahami arah kemiringan kepala secara langsung.

Evaluasi Kinerja

- Akurasi: Deteksi wajah dan landmark berjalan dengan akurasi tinggi dalam pencahayaan standar ruangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa deteksi arah kepala sesuai dengan orientasi kepala sebenarnya.
- Responsivitas: Aplikasi merespons gerakan kepala dalam waktu kurang dari 0.5 detik, yang menunjukkan kinerja real-time.
- Konsistensi: Hasil deteksi relatif konsisten untuk gerakan kepala berulang dengan arah dan sudut yang sama. Ini penting agar sistem dapat digunakan untuk pengambilan keputusan atau pengendalian gestur.
- Kestabilan: Titik landmark tidak terlalu goyah saat wajah bergerak pelan, dan perubahan orientasi tidak menyebabkan data fluktuatif berlebihan.

Namun, ada beberapa kendala teknis:

- Deteksi wajah terganggu jika pencahayaan terlalu rendah atau wajah terlalu miring keluar dari kamera.
- Pada beberapa laptop dengan kamera kualitas rendah, deteksi sedikit lambat.
- Jika pengguna memakai masker atau menutupi sebagian wajah, landmark tidak lengkap dan estimasi orientasi gagal dilakukan.

Secara keseluruhan, sistem sudah memenuhi tujuan awal untuk mendeteksi orientasi kepala dengan pitch, yaw, dan roll secara akurat dan efisien. Aplikasi ini berfungsi sebagai alat bantu praktis dalam memahami arah dan posisi wajah, serta dapat dikembangkan lebih lanjut untuk integrasi ke sistem kontrol atau identifikasi gerakan berbasis kamera.

KESIMPULAN

Aplikasi deteksi gerakan kepala berbasis GUI telah berhasil dibangun dan diuji. Program ini mampu melakukan: Deteksi wajah secara real-time; Perhitungan pitch, yaw, dan roll; Penampilan hasil ke GUI yang interaktif dan mudah digunakan; Memberikan hasil yang akurat dan sesuai dengan arah gerakan kepala pengguna. Metode yang digunakan terbukti efektif dalam memberikan estimasi orientasi kepala pengguna dan dapat diterapkan pada sistem kontrol berbasis gestur, alat bantu disabilitas, maupun sistem keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradski, G. (2000). *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal Of Software Tools.
- Dlib.Net. (2023). *Dlib C++ Library*.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th Ed.). Pearson Education.
- Gupta, R., & Saini, A. (2021). Real-Time Face Detection And Attendance System Using Opencv. *International Journal Of Computer Applications*, 183(22), 25–29.
- Patel, M., Shah, R., & Vekariya, M. (2020). Real-Time Facial Expression Recognition Using Dlib And Machine Learning Algorithms. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, 9(4), 420–425.
- Kazemi, V., & Sullivan, J. (2014). One Millisecond Face Alignment With An Ensemble Of Regression Trees. *Proceedings Of The Ieee Conference On Computer Vision And Pattern Recognition (Cvpr)*, 1867–1874.
- King, D. E. (2009). Dlib-Ml: A Machine Learning Toolkit. *Journal Of Machine Learning Research*, 10(Jul), 1755–1758.
- Murphy-Chutorian, E., & Trivedi, M. M. (2009). Head Pose Estimation In Computer Vision: A Survey. *Ieee Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 31(4), 607–626.



Numpy Developers. (2023). *Numpy Documentation*. Diakses Dari: <https://Numpy.Org/Doc/>
Opencv.Org. (2023). *Opencv Documentation*. Diakses Dari: <https://Docs.Opencv.Org/>
Zhang, K., Zhang, Z., Li, Z., & Qiao, Y. (2016). Joint Face Detection And Alignment Using Multi-Task Cascaded Convolutional Networks. *Ieee Signal Processing Letters*, 23(10), 1499–1503.