

Security Monitoring System Using the Landmark Method

Sistem Pengawas Keamanan Menggunakan Metode Landmark

Muhammad Shofiyuddin¹⁾, Shazana Dhiya Ayuni²⁾, Arief Wisaksono³⁾, Syamsudduha Syahririni⁴⁾

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: shazana@umsida.ac.id

Abstract. Since typical Closed-Circuit Television (CCTV) cameras now work mostly as passive recorders and require regular manual monitoring by operators, security breaches often result in delayed reactions. This work created a prototype automated security surveillance system with virtual boundary violation detection to solve this problem. This method utilizes computer vision technology by configuring 33 key points from the MediaPipe Human Landmark framework, combined with the OpenCV library for real-time video processing. Scientific findings show that, compared to simply detecting changes in ordinary pixel movement, the system can track and isolate human body frame configurations very effectively. This allows the system to eliminate false positives from non-target objects with a false positive rate of 0% in negative stimulus testing. Field test results show that the system demonstrates stable operational processing speeds averaging 5 FPS. Detection accuracy reached a maximum of 100% under dynamic background conditions and normal lighting. However, reduced pixel contrast at the body's anatomical boundaries decreased the system's accuracy to 80% under low-light conditions. The system concludes that human landmark tracking is a reliable tool for intelligent security automation. Target objects can be accurately identified and monitored in real time, ensuring a high level of security. Detection accuracy reaches as high as 100% under dynamic background conditions and normal lighting. However, a decrease in pixel contrast at anatomical boundaries reduces the system's accuracy to 80% under low-light conditions. The system concludes that human landmark tracking is a reliable tool for intelligent security automation. A future development goal is to optimize the integration of hardware that supports night-vision features.

Keywords - human landmark; virtual boundary; OpenCV; MediaPipe; smart security.

Abstrak. Karena penggunaan kamera Closed-Circuit Television (CCTV) konvensional saat ini sebagian besar masih berfungsi sebagai perekam pasif dan membutuhkan pengawasan manual terus-menerus dari operator, pelanggaran keamanan sering menyebabkan keterlambatan respons. Mengatasi masalah ini, penelitian ini menciptakan prototipe sistem pengawas keamanan otomatis yang menggabungkan deteksi pelanggaran batas virtual (batas virtual). Metode ini menggunakan teknologi visi komputer dengan mengatur 33 titik kunci dari rangka kerja MediaPipe Human Landmark, yang dikombinasikan dengan pustaka OpenCV untuk pemrosesan video secara real-time. Temuan ilmiah menunjukkan bahwa, jika dibandingkan dengan hanya mendeteksi perubahan gerakan piksel biasa, sistem dapat melacak dan mengisolasi konfigurasi kerangka tubuh manusia dengan sangat baik. Ini memungkinkan sistem untuk menghilangkan alarm palsu (false positive) dari objek non-target dengan tingkat false positive rate 0% pada pengujian stimulus negatif. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa sistem menunjukkan kecepatan pemrosesan operasional yang stabil pada rata-rata 5 FPS. Akurasi deteksi tertinggi mencapai 100% dalam kondisi latar belakang dinamis dan pencahayaan normal. Namun demikian, penurunan kontras piksel di batas anatomi tubuh mengurangi akurasi sistem menjadi 80% dalam kondisi pencahayaan redup. Sistem ini menyimpulkan bahwa pelacakan landmark manusia adalah alat yang dapat diandalkan untuk otomatisasi keamanan cerdas. Target pengembangan di masa depan adalah untuk mengoptimalkan integrasi perangkat keras yang mendukung fitur night-vision.

Kata Kunci - landmark manusia; batas virtual; OpenCV; MediaPipe; keamanan cerdas.

I. PENDAHULUAN

Karena banyaknya kasus pencurian dan tindak kriminal yang tidak terduga, sistem keamanan lingkungan sekarang menjadi perhatian utama masyarakat. Angka kejahatan properti dan penyusupan area privat terus berubah setiap tahun, menurut data statistik kriminalitas terbaru. Ini menunjukkan bahwa sistem pengamanan yang lebih proaktif diperlukan [1]. Sebagian besar properti saat ini menggunakan kamera Closed-Circuit Television (CCTV) tradisional untuk pemantauan. Sistem tersebut, apa pun alasannya, memiliki beberapa kelemahan yang signifikan. Kamera hanya dapat merekam video dalam mode pasif, dan prosesnya bergantung pada pengoperasian manual oleh operator manusia. Keterbatasan fisik dan konsentrasi operator menyebabkan respons yang terlambat terhadap pelanggaran keamanan, analisis video menjadi tidak efektif, dan risiko kerugian material maupun non-material tetap tinggi [2].

Peluang besar untuk mengotomatiskan pemeliharaan sistem telah muncul sebagai hasil dari kemajuan dalam kecerdasan buatan (AI) dan penglihatan komputer. Dalam penelitian sebelumnya, deteksi otomatis terhadap kegagalan atau batas virtual (virtual boundary) telah diterapkan secara luas menggunakan metode deteksi konvensional seperti pengurangan latar belakang atau algoritma kotak batas berbasis objek seperti YOLO standar. Metode-metode ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan, tetapi masing-masing memiliki kelemahan, yaitu tingginya tingkat peringatan positif palsu. Intensitas cahaya yang tiba-tiba, pergerakan angin di dedaunan, atau kehadiran objek non-target, seperti hewan peliharaan dan kendaraan, memicu peringatan dalam sistem. Karena keterbatasan teknologi atau penelitian, sistem deteksi sidik jari konvensional tidak efektif dalam lingkungan dinamis [3][4][5].

Pendekatan berbasis metode landmark menawarkan alternatif yang lebih luas untuk mengatasi kelemahan tersebut. Metode landmark adalah metode untuk memperoleh dan menyimpan sejumlah besar titik referensi yang stabil pada suatu struktur geometris tertentu. Mengintegrasikan OpenCV sumber terbuka untuk pemrosesan gambar dengan kerangka kerja MediaPipe, yang menyediakan alur kerja waktu nyata untuk mendeteksi kerangka tubuh manusia, dapat secara signifikan meningkatkan keamanan sistem [6][7][8]. Sistem ini mendeteksi struktur anatomi tubuh manusia, bukan sekadar perubahan piksel. Akibatnya, gangguan yang berasal dari sumber non-manusia dapat dihilangkan secara otomatis.

Studi ini bertujuan untuk merancang, menerapkan, dan mengevaluasi prototipe sistem pengawas keamanan yang menggunakan koordinasi 33 titik landmark manusia (seperti sendi utama dan area wajah) untuk mengaktifkan alarm otomatis ketika objek manusia terdeteksi melanggar batas virtual. Fokus evaluasi sistem adalah untuk menguji ketahanan algoritma secara real-time dengan menilai stabilitas kecepatan bingkai gambar (Frame Rate/FPS) dan persentase akurasi deteksi garis di bawah pengaruh variasi kondisi lingkungan riil, seperti fluktuasi intensitas cahaya (normal dan redup) dan kompleksitas latar belakang (statis dan dinamis). Diharapkan bahwa penelitian ini akan menghasilkan sistem otomatisasi keamanan cerdas yang tepat, responsif, dan dapat diintegrasikan dengan perangkat keras pendukung di masa depan [9][10][11][12][13][14].

II. METODE

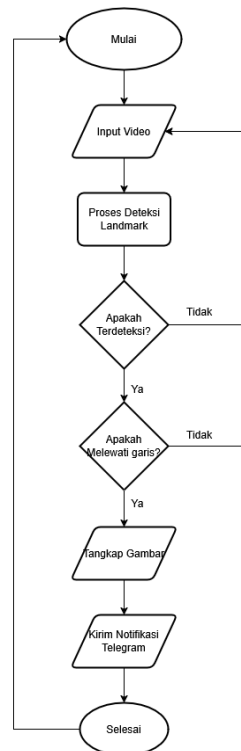
Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental. Pengembangan sistem, pengujian fungsional, pengumpulan data, evaluasi kualitas, dan penyempurnaan fungsional semuanya dilakukan secara berulang. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi keberadaan dan posisi fisik manusia tanpa bergantung pada identitas individu [15].

A. Arsitektur dan Alur Pemrosesan Sistem

Alur pemrosesan data dan komponen arsitektur di dalam sistem ini secara komprehensif dibagi menjadi tiga blok utama, yaitu:

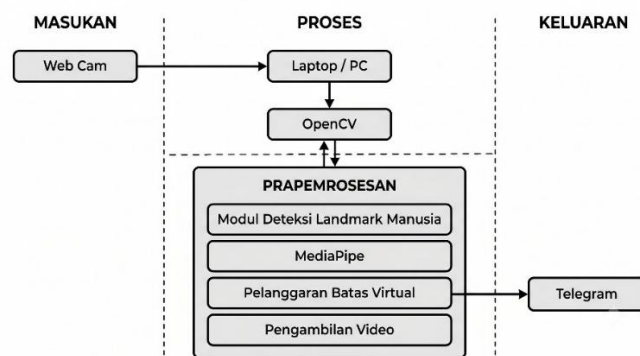
1. Input: Pertama, pemrosesan dimulai dengan pengambilan video secara real-time dengan resolusi 1080p dari perangkat Web Cam. Aliran video ini ditangkap dengan kecepatan bingkai, atau frame rate, standar, dan kemudian diproses.
2. Proses: Kemudian, data video dari blok input dikirim ke PC atau laptop untuk diolah menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV. Untuk menemukan koordinat spasial (x, y, z) dari 33 titik tubuh manusia yang tertangkap oleh kamera, perangkat lunak mengaktifkan modul Deteksi Landmark Man yang berbasis pada struktur MediaPipe. Setelah koordinat didapat, algoritma logika "Cek Garis" digunakan untuk melihat bagaimana titik landmark berinteraksi dengan garis batas virtual yang dikonfigurasi.
3. Output: Sistem segera melakukan pengambilan video untuk menangkap gambar cuplikan pelanggaran jika terjadi pelanggaran batas di mana koordinat landmark tubuh manusia memotong garis batas virtual. Setelah itu, gambar tersebut digunakan sebagai lampiran bukti dan dikirim ke aplikasi Telegram pengguna bersama dengan peringatan teks dengan judul "Alert: Seseorang melewati garis batas!" melalui protokol API Bot Telegram.

Alur logika dari keseluruhan sistem pengawasan keamanan ini direpresentasikan secara jelas melalui flowchart pada Gambar 1. Sedangkan struktur keterhubungan fungsional antarperangkat keras dan perangkat lunak diilustrasikan dalam Diagram Blok pada Gambar 2.



Gambar 1 Flowchart Alur Logika Sistem Pengawas Keamanan

Gambar 1 menunjukkan logika sekuensial yang ditanamkan pada sistem secara operasional. Menurut garis, algoritma harus memverifikasi keberadaan struktur manusia sebelum menerima bingkai gambar (frame). Untuk menghemat memori komputasi, sistem secara otomatis akan mengulang kembali siklus penangkapan input video jika salah satu kondisi tersebut tidak memenuhi kriteria penyeberangan (dinilai Tidak).



Gambar 2 Diagram Blok Arsitektur Perangkat Sistem

Gambar 2 menunjukkan arsitektur sistem yang membagi area kerjanya menjadi tiga area utama, virtual dan fisik: masukan, proses (termasuk tahap prapemrosesan), dan keluaran. Ini menunjukkan hubungan fungsional sistem. Diagram Blok ini menunjukkan bagaimana pustaka OpenCV berfungsi sebagai jembatan middleware. Ini mengumpulkan data visual awal dari perangkat keras webcam, kemudian mengirimkannya ke subsistem perangkat lunak MediaPipe untuk diekstraksi menjadi koordinat numerik, dan kemudian mengirimkan pesan ke Telegram.

B. Konfigurasi Batas Virtual dan Logika "Cek Garis"

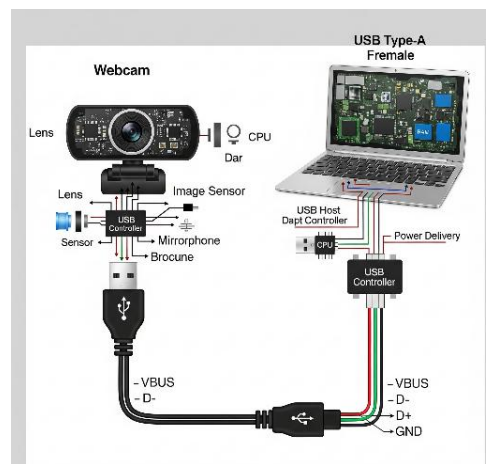
Dengan menggunakan pustaka OpenCV, garis batas virtual (virtual boundary) dikonfigurasi pada bidang matriks citra layar video dalam dua dimensi. Garis ini ditentukan oleh koordinat piksel linear dari titik awal (x_1, y_1) ke titik akhir (x_2, y_2), yang memisahkan area aman dari area terlarang (restricted zone).

Algoritma logika "Cek Garis" mengamati pergerakan beberapa titik penting MediaPipe, terutama koordinat pergelangan kaki (marker ankle) dan pusat massa tubuh (pinggang). Persamaan posisi relatif objek terhadap garis pembatas digunakan untuk menghitung evaluasi pelanggaran. Status logika sistem akan berubah dari False (Aman) menjadi True (Pelanggaran) jika fungsi logika menemukan bahwa koordinat spasial point kunci manusia telah melewati batas nilai ambang matematika persamaan garis yang ditentukan. Perubahan status inilah yang memicu interlock pada blok keluaran sistem, yang memungkinkan fungsi alarm otomatis diaktifkan.

C. Spesifikasi Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan kombinasi komponen hardware dan lingkungan pengembangan perangkat lunak (software) berikut :

- Perangkat Keras: Pengujian dilakukan pada laptop yang memiliki prosesor Intel i5 minimal dan unit pemrosesan sentral 8 GB. Sensor input adalah webcam Web resolusi 1080p yang terhubung ke laptop melalui antarmuka USB standar.



Gambar 3 Dokumentasi Rangkaian Perangkat Keras Sistem Pengawas.

- Perangkat lunak: Lingkungan pengembangan berbasis Windows/Linux. Bahasa pemrograman Python digunakan untuk membuat kode program dalam teks editor Visual Studio Code. Sementara pustaka OpenCV digunakan untuk mengolah gambar digital, MediaPipe digunakan untuk mengekstraksi pose dan struktur kerangka tubuh. .

D. Skenario Eksperimen dan Pengujian

Pengujian kotak hitam digunakan untuk mengevaluasi keandalan prototipe. Senario eksperimen dibagi menjadi beberapa parameter kontrol untuk memastikan stabilitas komputasi dan akurasi deteksi algoritma dalam lingkungan nyata.

1. Pengujian Intensitas Cahaya: Ini menguji sensitivitas ekstraksi 33 titik landmark MediaPipe di luar dengan pencahayaan Normal dan Redup.
2. Pengujian Stabilitas Latar Belakang: Ini menguji kinerja sistem terhadap area pemantauan dalam kondisi Latar Belakang Statis (tanpa objek bergerak lain) dan Latar Belakang Dinamis (dengan objek bergerak non-target di belakang area deteksi).

Setiap skenario pengujian menggunakan satu objek manusia sebagai target penyusup dan diulang sepuluh kali. Untuk mengukur performa waktu-nyata (real-time), data yang dikumpulkan dari eksperimen ini mencakup stabilitas kecepatan bingkai gambar (Frame Rate/FPS) dan persentase keberhasilan akurasi deteksi pemotongan garis pembatas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap prototipe sistem pengawas keamanan berbasis human landmark dilakukan melalui serangkaian eksperimen uji coba lapangan yang terukur. Fokus pengujian diarahkan untuk mengevaluasi ketahanan fungsionalitas logika sistem dalam mendeteksi pelanggaran batas virtual (virtual boundary), mengukur pemrosesan data waktu-nyata (real-time processing), serta menganalisis sensitivitas sistem terhadap variasi kondisi lingkungan fisik.

A. Pengujian Berdasarkan Kondisi Pencahayaan

Skenario pertama dibuat untuk menilai dampak fluktuasi intensitas curah hujan terhadap kemampuan MediaPipe dalam memetakan 33 landmark dan memberikan pemberitahuan peringatan tepat waktu melalui Telegram. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk masing-masing kondisi pencahayaan, yaitu kondisi Normal (pencahayaan ruangan cukup) dan kondisi Redup (pencahayaan minimal). Hasil penelitian tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Pengaruh Kondisi Pencahayaan terhadap Kinerja Sistem

Kondisi Pencahayaan	Deteksi Landmark Berhasil	Deteksi Pelanggaran Garis	Notifikasi Terkirim	Rata-rata FPS	Akurasi (%)
Normal	Berhasil (10/10)	Berhasil (10/10)	Terkirim (10/10)	5 FPS	100%
Redup	Berhasil (8/10)	Berhasil (8/10)	Terkirim (8/10)	5 FPS	80%

Sistem menunjukkan performa mutlak dengan akurasi seratus persen pada kondisi pencahayaan normal, seperti yang ditunjukkan dalam data Tabel 1. Setiap langkah, mulai dari memantau kerangka tubuh, mengidentifikasi pergeseran garis pembatas, dan mengirimkan bukti cuplikan gambar ke bot Telegram, berjalan lancar. Namun, akurasi sistem menurun menjadi 80% dalam kondisi redup. Ada dua kegagalan deteksi dari sepuluh uji coba.

Karakteristik sensor kamera web standar mengalami penurunan ketegasan kontras piksel di lingkungan minim cahaya, yang menyebabkan penurunan akurasi ini. Akibatnya, algoritma MediaPipe gagal mengekstrak noise spasial dari beberapa titik referensi (keypoints) di area ekstremitas tubuh, seperti pergelangan kaki. Untuk kedua kondisi pencahayaan, kecepatan pemrosesan gambar (frame rate) dicatat sangat stabil dan konstan pada rata-rata 5 FPS, meskipun ada variasi dalam akurasi, menunjukkan bahwa algoritma ini sangat efektif dalam komputasi waktu-nyata.

Gambar 3 menunjukkan bukti visual dari hasil pengujian sistem pengawasan ini. Gambar tersebut menunjukkan kemampuan algoritma untuk mengekstrak 33 titik landmark tubuh secara real-time dan mendeteksi garis batas virtual (virtual boundary) saat objek target melakukan pelanggaran dalam kondisi normal.



Gambar 4 Sampel Hasil Tangkapan Layar Deteksi Human Landmark dan Batas Virtual saat Uji Coba.

B. Pengujian Berdasarkan Kondisi Latar Belakang

Skenario pengujian kedua ditujukan untuk mengevaluasi ketahanan sistem terhadap kompleksitas objek di sekitar area pengawasan. Pengujian melibatkan lingkungan dengan Latar Belakang Statis (tanpa ada pergerakan objek lain) dan Latar Belakang Dinamis (terdapat objek bergerak non-target seperti kipas angin berputar atau gorden yang tertiuap angin di sekitar area garis pembatas). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Pengaruh Kondisi Latar Belakang

Kondisi Pencahayaan	Deteksi Landmark Berhasil	Deteksi Pelanggaran Garis	Notifikasi Terkirim	Rata-rata FPS	Akurasi (%)
---------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	---------------	-------------

Statis	Berhasil (10/10)	Berhasil (10/10)	Terkirim (10/10)	5 FPS	100%
Dinamis	Berhasil (8/10)	Berhasil (8/10)	Terkirim (8/10)	5 FPS	80%

Sistem mampu mempertahankan tingkat akurasi sempurna sebesar 100% dalam skenario latar belakang statis dan dinamis, seperti yang ditunjukkan oleh hasil eksperimen yang ditunjukkan pada Tabel 2. Karakteristik ini menunjukkan bahwa penerapan metode landmark manusia lebih baik daripada metode deteksi gerakan konvensional berbasis subtraction background. Metode landmark secara independen mengekstrak koordinat struktur tulang dalam tubuh manusia, sehingga pergeseran objek atau perubahan piksel tidak akan mengganggu pembacaan sistem selama kerangka manusia terdeteksi utuh.

C. Analisis Kasus Uji Negatif (False Positive)

Guna memastikan sistem tidak rentan terhadap alarm palsu (false alarm), pengujian khusus (uji negatif) dilakukan dengan melewati objek non-manusia ke garis batas virtual. Objek uji coba yang digunakan meliputi hewan peliharaan (kucing), bola menggelinding, serta bayangan dinamis akibat sorotan lampu.

Tabel 3. Hasil Pengujian Stimulus Negatif (False Positive)

Jenis Objek Non-Target	Jumlah Pengujian	Deteksi Landmark Tubuh	Pemicuan Alarm Otomatis	Notifikasi Terkirim	Status Kesimpulan
Hewan Peliharaan (Kucing/Anjing)	5 Kali	Tidak Terdeteksi	Tidak Mengaktifkan	Tidak Terkirim	Valid (0% False Alarm)
Objek Bergerak (Bola Menggelinding)	5 Kali	Tidak Terdeteksi	Tidak Mengaktifkan	Tidak Terkirim	Valid (0% False Alarm)
Total Pengujian Keseluruhan	10 Kali	0 / 10 Berhasil	0 / 10 Aktif	0 / 10 Terkirim	Rata-rata False Positive: 0%

Hasil eksperimen di Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem mencatat angka False Positive Rate sebesar 0% dari total sepuluh kali pengujian stimulus negatif tersebut. Logika pemrograman dapat mengabaikan semua gerakan objek non-manusia dan tidak mengirimkan notifikasi ke Telegram. Hasil menunjukkan bahwa parameter 33 koordinat tombol MediaPipe dapat digunakan secara efektif sebagai filter spasial. Dalam hal objek yang melanggar memiliki ciri geometris morfologis tubuh manusia, sistem akan memberikan sinyal pertahanan (alarm).

VII. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menerapkan prototipe sistem pengawas keamanan berbasis visi komputer yang menggunakan metode landmark manusia untuk mendeteksi pelanggaran batas virtual secara otomatis. Sebagai hasil dari kemampuan sistem ini untuk membedakan konfigurasi kerangka tubuh manusia dari pergerakan piksel latar belakang, mereka dapat menghindari alarm palsu (false alarms) yang sering terjadi pada sistem pemantauan konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara konstan pada rata-rata 5 FPS. Tingkat akurasi deteksi mencapai 100% dalam kondisi pencahayaan normal dan lingkungan latar belakang dinamis. Sistem ini, bagaimanapun, memiliki keterbatasan sensitivitas. Akibat pengurangan ketegasan piksel tubuh, akurasinya menurun menjadi 80% dalam kondisi pencahayaan redup. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian ini memerlukan optimalisasi integrasi perangkat keras yang mendukung fitur night-vision untuk menjaga kinerja deteksi dalam kondisi cahaya yang rendah.

REFERENSI

- [1] Shazana Dhiya Ayuni and Syamsudduha Syahririni, "STRATEGI MITIGASI BENCANA TANGGUL LAPINDO DI DESA GEMPOLSARI: DISASTER MITIGATION STRATEGY OF LAPINDO EMPIRE IN GEMPOLSARI VILLAGE," *Jurnal Teknologi dan Terapan Bisnis (JTBT) ISSN (P)*, vol. 2615, p. 8817, 2021.

- [2] S. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Sosialisasi Aplikasi Monitoring Keamanan Tanggul Lapindo via Smartphone di Desa Gempolsari," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Progresif Humanis Brainstorming*, vol. 5, pp. 154–161, Jan. 2022, doi: 10.30591/japhb.v5i1.2717.
- [3] Arifin Musthofa Wasis Waskito, Oczha Alifian Fernanda Rochim, Fadli Asmid, Eriyadi Nata Syahputra, and Wahyu Pratama, "Rancang Bangun Sistem Pengawasan pada Ruangan Berbasis Internet of Things," *Mars : Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 4, pp. 181–189, Jul. 2024, doi: 10.61132/mars.v2i4.252.
- [4] JEDITOR, "Inovasi Kamera Pengawas Pintar Dengan CCTV AI Detection - JocoDEV." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://jocodev.id/inovasi-kamera-pengawas-pintar-dengan-cctv-ai-detection/>
- [5] D. Aryanto, S. Dhiya Ayuni, A. Ahfas, and A. H. Falah, "Sistem Keamanan Sangkar Burung Berbasis Citra dengan Notifikasi Telegram," *Journal homepage: Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 6, no. 2, 2024, doi: 10.33650/jeeecom.v4i2.
- [6] Gede Bakti Pratama Putra, Putu Hendra Suputra, Ni Wayan Marti, N. W. Marti, and Kadek Feny Sugiantari, "Deteksi Jatuh Lansia Berbasis Landmark Sendi Pada Model LSTM," *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, vol. Volume 11, pp. 261–266, 2025, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com>.
- [7] "Pose landmark detection guide | Google AI Edge | Google for Developers." Accessed: Jun. 15, 2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/edge/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker
- [8] S. Nur Budiman, S. Lestanti, S. Marselius Evvandri, and R. Kartika Putri, "PENGENALAN GESTUR GERAKAN JARI UNTUK MENGONTROL VOLUME DI KOMPUTER MENGGUNAKAN LIBRARY OPENCV DAN MEDIAPIPE," *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 223–232, Nov. 2022, doi: 10.35457/antivirus.v16i2.2508.
- [9] A. Raza, M. H. Yousaf, W. Ahmad, S. A. Velastin, and S. Viriri, "Human fall detection using pose estimation: From traditional machine learning to vision transformers," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 143, p. 109809, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.ENGAPPAI.2024.109809.
- [10] M. Chakole, S. Sontakke, L. Umredkar, V. Rathod, R. Umate, and S. Dorle, "Real-Time Full-Body Detection Using Computer Vision: Leveraging OpenCV and MediaPipe," *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 11, no. 11, pp. 231–240, Nov. 2024, doi: 10.14445/23488379/IJEEE-V11I11P123.
- [11] M. Chakole, S. Sontakke, L. Umredkar, V. Rathod, R. Umate, and S. Dorle, "Real-Time Full-Body Detection Using Computer Vision: Leveraging OpenCV and MediaPipe," *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 11, no. 11, pp. 231–240, Nov. 2024, doi: 10.14445/23488379/IJEEE-V11I11P123.
- [12] B. Zhong, J. B. M. Sharif, S. Salam, C. Ran, Y. Liang, and Z. Cheng, "Research on Optimization of Boundary Detection and Dangerous Area Warning Algorithms Based on Deep Learning in Campus Security System," *Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.55267/iadt.07.13844.
- [13] Hendri Maruli Tua, Saniman, and Deski Helsa Pane, "IMPLEMENTASI IOT PADA SISTEM KEAMANAN CCTV BERBASIS NODEMCU," *Jurnal CyberTech*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, Sep. 2020, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/>
- [14] S. Erpanji, R. Munadi, and S. N. Hertiana, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KEAMANAN KANTOR MENGGUNAKAN CCTV DENGAN MEDIA APLIKASI ANDROID DESIGN AND IMPLEMENTATION OF OFFICE SECURITY SYSTEM USING CCTV WITH ANDROID APPLICATION MEDIA."
- [15] Prof. Dr. Sugiyono, "Metode Penelitian : Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D," 2022.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.